

CAPÍTULO III

LINEA BASE AMBIENTAL

3.1 Introducción

En el presente capítulo se describen las características del ambiente continental y marino del área de influencia del Proyecto Fosfatos, describiendo y analizando los aspectos más relevantes de los recursos naturales y humanos.

La descripción o caracterización del medio ambiente comprende a los sistemas marino y terrestre con sus diversos componentes de los medios: físico, biológico y antropogénico. En el medio físico se ha considerado los aspectos: aire, ruido, agua, sedimentos marinos, suelos, clima, hidrología, hidrología, entre otros.; en el medio biológico se considera la flora y fauna marina y terrestre y en cuanto al medio antropogénico los aspectos socio-económicos y culturales referidos al área de influencia del Proyecto. La ubicación del Proyecto se aprecia en el plano **830MA0001A-010-20-001**.

El estudio de línea base para el Proyecto Fosfatos comprendió un conjunto de mediciones y muestreos en los medios marino y terrestre, a fin de evaluar la calidad ambiental del área de estudio, comprendida entre el estuario de Virrilá y el Océano Pacífico al norte, el cerro Illescas al Oeste, y las concesión Bayóvar 9 al Sur.

3.2 Área de influencia ambiental del proyecto

3.2.1 Definición de las áreas de influencia ambiental del proyecto

El concepto de “Área de Influencia”, si bien es común en el manejo de problemas ambientales, es un concepto difícil de abordar en su instrumentación práctica, por

cuanto las metodologías involucradas cambiarán de manera sustancial dependiendo de los criterios que utilicemos como variables para su delimitación.

Los instrumentos de Gestión Ambiental de operaciones minero metalúrgicas requieren delimitar el área de influencia, para evaluar cuál será la afectación o no afectación de los componentes (físico, biológico y socioeconómico-cultural); con el propósito de poder recomendar un adecuado Plan de Manejo Ambiental, donde se establezcan de manera prioritaria las medidas de prevención, control y/o mitigación de impactos negativos a generarse como consecuencia de las actividades de los Proyectos.

Metodología para la delimitación del área de influencia

La definición del Área de Influencia tiene ciertas características que les son propias, ya que todo Proyecto desarrolla sus actividades en dos áreas de influencia (directa e indirecta), donde los componentes socios ambientales y los impactos pueden variar significativamente, es así que se han considerado los siguientes pasos para determinar el área de influencia del presente EIA:

- Análisis multi e interdisciplinario, donde diferentes especialistas deben interactuar para lograr una visión integral de la delimitación del área.
- Análisis de los distintos componentes ambientales (físico, biológico, socioeconómico, cultural y de interés humano).
- Evaluación de los resultados de los parámetros tomados en campo (aire, ruido, suelo, agua, etc.).
- Superposición de planos temáticos versus el mapa de las componentes del Proyecto.
- Delimitación del área de influencia social, para lo cual se proyecta el área hasta los poblados más cercanos.

El conocimiento de las características ambientales del área donde se ejecutará el Proyecto es de suma importancia, ya que servirá como base para la identificación y evaluación de los potenciales impactos ambientales que puedan ocurrir por el desarrollo del Proyecto, durante sus fases de preparación, operación y cierre.

Los componentes básicos estudiados en estas áreas de influencia, corresponden a los siguientes:

- **Ambiente físico:** topografía, geología, suelos, clima y meteorología, calidad de aire y agua.
- **Ambiente biológico:** flora y fauna.
- **Componente socio-económico:** social y económico
- **Ambiente cultural y de interés humano:** cultural.

3.2.1.1 Área de influencia ambiental directa

Comprende el área del Proyecto entendida como la suma de espacios ocupados por los componentes del Proyecto. Asimismo, los espacios localizados fuera del área del Proyecto, susceptibles de ser afectados por los impactos directos que se derivan de sus actividades o de los componentes ambientales que se prevé podrían ser objeto de alguna modificación relevante por dichas actividades.

Criterios para la definición del área de influencia ambiental directa:

- Componentes del proyecto: Es la superficie sobre la cual se tienen contemplado la construcción de las instalaciones del Proyecto. Para el Proyecto Fosfatos estos son:
 - Instalaciones de mina (tajo a cielo abierto)
 - Instalaciones de procesamiento (planta de beneficio)
 - Instalaciones de manejo de desechos (poza lodos residuales y poza de evaporación)

- Instalaciones de suministro de agua de mar y planta de ósmosis
 - Instalaciones portuarias marítimas y terrestres (puerto de embarque de concentrados)
 - Instalaciones de abastecimiento de energía eléctrica (línea de transmisión de 138, 60 kv y subestaciones)
 - Carretera de la planta de beneficio al puerto Bayóvar.
- Área de concesión minera: el Proyecto se encuentra comprendido dentro de las concesiones mineras de otorgada a Fosfatos del Pacífico S.A. y a su matriz Cemento Pacasmayo. En estas, FOSPAC cuenta con derecho de superficie, derecho de usufructo y derecho de servidumbre.
 - Área de los terrenos superficiales: Los terrenos superficiales son de propiedad de la comunidad campesina San Martín; con las que Fosfatos del Pacífico S.A. ha firmado contratos para el uso de los terrenos superficiales.
 - Población más cercana: la localidad más cercana al área del Proyecto es Illescas; el cual pertenece al distrito de Sechura, provincia de Sechura departamento de Piura.
 - Impactos ambientales directos: Se están considerando los impactos directos que se van a generar como consecuencia de las actividades de construcción, operación y cierre del Proyecto; como son; cambio del paisaje por actividades de nivelación del terreno, posible alteración de la calidad del agua superficial, etc. En este sentido, los impactos al componente físico (aire, suelo y agua), componente biológico (flora y fauna), social y cultural, consideraron como variable principal a la dispersión del polvo la cual fue considerada determinándose el espacio físico, en que dicha variable sería significativa y no significativa de impacto.
 - Áreas naturales protegidas: Parte de los componentes del proyecto (Línea de transmisión eléctrica, tubería de conducción de agua de mar y carretera mina-puerto) están proyectados en el sector norte de la zona reservada Illescas en

un área de aproximadamente 1 000 (ha) o 10 km². En total, la zona reservada Illescas posee una extensión de 37 452,58 hectáreas.

3.2.1.2 Área de influencia ambiental indirecta

Comprende los espacios localizados fuera del área de influencia directa, que pueden ser susceptibles de ser afectados por los impactos indirectos del Proyecto que se derivan de las actividades del mismo o de los componentes ambientales que se prevé podrían ser objeto de alguna modificación relevante por dicha actividad.

Criterios para la definición del área de influencia ambiental indirecta:

- Topografía del área: El área del proyecto muestra en general un relieve topográfico llano, que corresponde a los denominados tablazos, a excepción de las zonas altas del cerro Illescas por donde se ubicará algunos componentes del Proyecto (altitud estimada a 150 msnm). Adicionalmente, hacia la parte central y sur se observan depresiones estimada en -24 m.s.n.m., en la que se encuentran los depósitos de fosfatos de Bayóvar.
- Fisiografía: El área del Proyecto comprende cordón litoral, áreas de gran depresión, llanuras de inundación, dunas, estuarios, tablazos y rezagos de la cordillera de la costa representada por el cerro Illescas.
- Cuencas y microcuenca hidrográfica: La delimitación y dirección de las microcuencas nos permite establecer cuáles podrían ser los cursos de agua que se verían afectados una vez que inicien con las actividades del Proyecto.
- Dirección y velocidad del viento: En el área del Proyecto la dirección predominante del viento es sur-sur-oeste, registrando velocidades mensuales promedios de 3,4 a 7,9 m/s.
- Impactos indirectos: También se están considerando los impactos indirectos que se puedan generar durante la etapa de construcción, operación y cierre.

Las áreas de influencia ambiental se presentan en el plano **830MA0001A-010-20-004**.

3.2.2 Definición de las áreas de influencia social del proyecto

Esta sección nos permite determinar el espacio geográfico o área total afectada por algunos componentes del Proyecto, en las diferentes etapas del proyecto y su relación socioeconómica con las localidades circundantes al Proyecto. Visto de esta manera, el área de influencia se enuncia bajo las siguientes denominaciones:

3.2.2.1 Área de influencia social directa

El área de influencia social directa comprende un área total de 29 792.3 hectáreas y abarca a localidad de Illescas por ser el más próximo a las inmediaciones del Proyecto. Políticamente pertenece al distrito de Sechura, provincia de Sechura, departamento de Piura.

Criterios para la definición del área de influencia social directa:

Proximidad al Proyecto: Está relacionado con la ubicación de las localidades más próximas al proyecto y sus vías de acceso que permiten su comunicación entre ellas, para ello se han identificado los principales agentes sociales en las inmediaciones del área del Proyecto.

Impactos socioeconómicos. Positivos y negativos; como el Proyecto impactará en cambios en la economía local: empleo e ingresos por la contratación de mano de obra local, así como la dinamización económica directa e indirecta (adquisición de bienes y/o servicios) que generará el Proyecto en sus fases de construcción y operación.

3.2.2.2 Área de influencia social indirecta

Los criterios desde el punto de vista social para la definición del área de influencia social indirecta (AISI) son:

División político administrativo: El cual toma en cuenta la delimitación territorial y la ubicación del Proyecto en el ámbito distrital, provincial y departamental.

Ingresos económicos: Teniendo en cuenta el incremento del aporte presupuestal al gobierno local, provincial y regional como consecuencia de arbitrios, canon minero, el derecho de vigencia y de las regalías; impuestos establecidos a la actividad minera y distribuidos según Ley.

Impactos indirectos. El Proyecto impactará indirectamente a los distritos, provincias del departamento como consecuencia de los beneficios de la actividad minera.

De acuerdo a este criterio, se considera como AISI, al espacio geográfico donde se relacionan las poblaciones con la actividad minera, a través de los accesos que une las localidades impactadas indirectamente por el Proyecto.

Puesto que el proyecto generará ingresos municipales para el distrito, así como empleo directo e indirecto. La actividad minera tiene un efecto multiplicador, pues la población se vincula a ella a través de variadas actividades directas e indirectas de venta de bienes (comercio al por menor y mayor) o prestación de servicios (transporte público, alojamiento, alimentación, vestimenta, telefonía celular, recreación, etc.).

Las áreas de influencia social se representan en el plano **830MA0001A-010-20-005**.

3.3 Ambiente físico

3.3.1 Geomorfología, topografía y paisaje

3.3.1.1 Introducción

Los fenómenos geomorfológicos que actuaron en el área de estudio son el resultado de un proceso activo morfotectónico que se desarrolló durante el Cenozoico. Los elementos activos predominantes que modelaron geomórficamente la zona fueron: un bloque rígido en levantamiento intermitente (macizo de Illescas) y una cubeta de sedimentación sujeta a sucesivos hundimientos (cuenca Sechura) por movimientos a lo largo de la zona de influencia de la falla Illescas.

Como resultado de estos procesos erosivos y geodinámicos sobre las áreas del macizo de Illescas y la cuenca Sechura, han desarrollado las unidades que se describen en las siguientes secciones.

3.3.1.2 Objetivo

El objetivo del presente estudio es conocer las características geológicas, geomorfológicas, y de aspectos de geodinámica externa e interna y vulnerabilidad del área de influencia ambiental del Proyecto Fosfatos.

3.3.1.3 Metodología

Para la ejecución de este trabajo se ha efectuado estudios de campo y gabinete tanto en el área de influencia directa desde el punto de vista ambiental del proyecto, como el área de influencia indirecta. Los estudios han permitido establecer las condiciones geológicas geomorfológicas y geodinámicas actuales que presenta el área comprendida entre la carretera Piura - Chiclayo entre La

subestación eléctrica La Niña y la carretera Sechura – Bayóvar en el sector de los pozos de agua subterránea, donde se ubica la línea de transmisión que conducirá la energía eléctrica necesaria para el proyecto.

3.3.1.4 Resultados

3.3.1.4.1 Dunas

Las dunas gigantes y barjanes en movimiento, son los rasgos más resaltantes del paisaje desértico y cubren en parte a las unidades geomorfológicas anteriormente desarrolladas (ver fotografía 3.3.1-1).

En el área de estudio, las arenas migran en dirección S-N, siguiendo 3 rutas más o menos definidas.

La primera ruta se localiza de la playa Los Chanchos-Depresión Salina Grande-Sechura, en esta, la ruta de la duna gigante Salina Cerro es el rasgo más resaltante;

La segunda ruta se encuentra entre la quebrada Namuc y Chutuque aquí sobresalen las dunas gigantes Los Perritos, Julián Grande y Julián Chico,

En el tercer corredor se encuentran Las Salinas y Alto de Minchales, donde las dunas Tres Marías son las mayores.

La duna gigante Salina Cerro crece constantemente al fusionarse con los barjanes que migran desde la playa Los Chanchos, pero no avanza puesto que sus brazos son fijados por la humedad del fondo de la Depresión Salina Grande.

Fotografía 3.3.1-1. Unidad geomorfológica de dunas



Fuente: BISA, 2012.

3.3.1.4.2 Cordón litoral

La intensa actividad geodinámica que produjo la deriva de las riberas marinas dió como resultado la formación de cordones litorales, que bordean el desierto de Sechura.

El cordón litoral de la bahía de Sechura ha moldeado el litoral de la zona de estudio, es de forma cóncava; y hacia el sur, tiene una forma recta.

El cordón litoral tiene forma alargada con una altura promedio de 2,50 m, está fijada superficialmente por el desarrollo de una vegetación herbácea, de modo que limitan las zonas alcanzadas por la alta marea de las llanuras bajas, con cotas a nivel o por debajo del mar y que constituyen las llanuras inundables.

3.3.1.4.3 Llanura de inundación

Son superficies extensas bajas y planas que se ubican entre el cordón litoral y los tablazos, comprende a las marismas antiguas y las zonas de inundación fluvial (ver fotografía 3.3.1-2)

El origen de estas geoformas fue el hundimiento del litoral en los sectores de la bahía de Sechura y el sureste de Reventazón, como consecuencia de la última transgresión.

Estas llanuras muestran relieves casi planos; con cotas por debajo del nivel del mar, están cubiertas por arenas salitrosas y esporádicamente existen lagunas saladas; la presencia de cordones litorales los protege de la invasión marina. En la época de avenida, las planicies son inundadas parcialmente por el desborde del río Piura.

Fotografía 3.3.1-2. Nótese al fondo la unidad Llanura de inundación



Fuente: BISA, 2012.

3.3.1.4.4 Depresión

En el sector meridional del área estudiada, se destacan dos rasgos geomórficos cuyo origen no es fácilmente entendible. El mayor de ellos, es la depresión de tipo endorreico denominada Salina Grande que ha sido excavada en dos formaciones geológicas de la cuenca Sechura las Formaciones Zapallal y Miramar. Se considera que la formación de la depresión se inició después de una abrasión marina cuaternaria tentativamente correlacionada con uno de los dos tablazos principales del noroeste peruano: T. Mancora (Collin-Delavaud, 1969) ó T. Talara (Ingemmet, 1979, Caldas et al 1980, De Vries 1987), por lo que se puede manifestar que la depresión existe desde el pleistoceno medio (Guevara y Otros, 2001). Esta depresión está delimitada por una escarpa cuyo perímetro varía entre 19 y 14 Km., y 40 m de profundidad promedio, encontrándose en su fondo los mayores yacimientos de fosfatos del país; La depresión menor está ubicada a pocos Km, al sur de la anterior, y tiene un promedio de diámetro de 2,5 Km. Ambas depresiones se han desarrollado por erosión del Tablazo Talara y los niveles superiores de las formaciones miocenas.

En el área este de la zona de estudio, se ubica un sistema de depresiones alargadas de dirección N-S (Ñamuc, Zapallal y Ramón) que en las épocas de lluvias intensas que ocurren con la presencia del fenómeno climatológico de El Niño, con la crecida de los ríos La Leche, Motupe, Piura, Olmos y Cascajal en los departamentos de Piura y Lambayeque, el excedente de las aguas vertidas por estos ríos se desvió hacia estas llanuras y depresiones del desierto de Sechura, dando origen a extensos espejos de agua que alcanzaron una superficie de 2 200 Km² (Novoa,1998).La inundación ocurrió sobremanera en las lagunas denominadas Las Salinas, la mayor denominada “Laguna La Niña” y la menor depresión Salina Grande.

Fotografía 3.3.1-3. Vista a la unidad geomorfológica Depresión Salina



Fuente: BISA, 2012.

3.3.1.4.5 Estuarios

En la zona se distingue la presencia de un estuario conocido con el nombre de Virrilá (ver fotografía 3.3.1-4).

El estuario de Virrilá es huella de la antigua desembocadura del río Cascajal, que actualmente está obstruida por la falta de drenaje suficiente y por los efectos de la colmatación de arena eólica que ha migrado desde el sur.

La desembocadura del estuario de Virrilá está desplazada hacia el norte, debido al desarrollo del cordón litoral que acompaña a la derivación de la playa, proceso que es ayudado por la migración de arenas eólicas.

Fotografía 3.3.1-4. Estuario Virrilá que constituye la unidad Estuarios



Fuente: BISA, 2012.

3.3.1.4.6 Tablazos

En noroeste del Perú se conocen como tablazos a las extensas áreas de la plataforma continental emergida, por levantamientos sucesivos del macizo andino durante el Cuaternario. Estos rasgos geomorfológicos, de relieve escalonado litológicamente están compuestos por materiales coquiníferos (fotografía 3.3.1-5).

En el área de estudio, sólo afloran dos de estas plataformas, que corresponden a los tablazos Lobitos y Talara.

Fotografía 3.3.1-5. Vista a la unidad Tablazo



Fuente: BISA, 2012.

a) Tablazo Lobitos

Corresponde a la plataforma más baja, Sus afloramientos empiezan en las proximidades de la Silla de Paíta, en el área de estudio tienen una ligera inclinación hacia el sur (partes altas de Miramar, Yapato y el estuario de Virrilá), sus cotas están alrededor de 13 m. y en el sector de Bayóvar, se encuentra a una altura promedio de 10 m.s.n.m.

En el sector de Bayóvar la cota promedio del Tablazo Lobitos es bastante cercana a la del Tablazo Talara lo que indicaría que en el Pleistoceno la costa en la bahía de Sechura emergió y el sector Sur se sumergió; produciéndose ingresos del mar en el sector destruyendo parte del Tablazo Talara ya desarrollado, como resultado de un movimiento basculatorio de esta parte del territorio.

b) Tablazo Talara

Es la plataforma más alta de la llanura baja del desierto de Sechura. Se encuentra disectada por fenómenos erosivos, tanto fluviales como marinos y en los sectores de Salinas, Ramón, Namuc y Minchales está cubierto por las acumulaciones aluviales y eólicas.

El tablazo Talara es una superficie casi plana con una ligera inclinación hacia el Suroeste de manera que en el sector de las dunas Los Julianes (área de Ramón) se encuentra a una cota promedio de 125 m. disminuyendo a 65 m. en las pampas de Yapato y, finalmente en los sectores de Reventazón y Mórrope baja hasta los 10 msnm, terminando en una escarpa que sirva de límite a la zona de marismas.

3.3.1.4.7 Cordillera de la Costa

Es un alineamiento de cerros de cumbres elevadas, y está representada por el macizo de Illescas ubicado en el borde continental y que contrasta con la llanura adyacente.

3.3.1.4.8 Hidromorfología

a) Cuencas hidrográficas

El área de estudio regional comprende el área de la cuenca media y baja del río Piura. Sin embargo, el río más próximo al área del proyecto es el río Cascajal, cuya cuenca responde a características de una cuenca endorreica.

a.1) Cuenca del Río Piura

El río Piura pertenece a la vertiente del Pacífico y tiene su origen en la cadena de Huancabamba de los andes, sobre una elevación de alrededor de 3 400 m.s.n.m. Luego de recorrer las tres partes del valle de su nombre (alto, medio y bajo Piura) el río llega a las lagunas Ramón y Ñapique y, de acuerdo a los volúmenes que

discurran, rebosan sus aguas inundando las pampas aledañas, llegando eventualmente al mar a través del Estuario de Virrilá.

La cuenca del río Piura tiene aproximadamente 12 850 km² con dos sectores bien definidos: costero y cordillerano. El régimen del río Piura presenta un régimen irregular sin posibilidad (dentro del área de estudio) de reservorios u otras facilidades para regulación y uso de agua.

Las lagunas Ramón, Ñapique y Mala Vida constituyen reservorios naturales, ubicados cerca del extremo sureste del valle del Bajo Piura.

El régimen de caudales del río Piura es similar al de los demás ríos de la vertiente del pacífico, una época de caudal alto que va de enero a abril, seguida de un período de menor caudal que dura los ocho meses restantes del año.

a.2) Cuenca del río Cascajal

La cuenca endorreica del río Cascajal, participa con el río Piura en la formación de la laguna La Niña y eventualmente contribuyen con la recarga del acuífero. Este río suele ser muy limitado en sus caudales, motivo por el cual sólo da lugar a pequeñas áreas cultivadas. Los aforos recientes del río Cascajal muestran que es un río que en años “normales” como 2003 y 2004 probablemente no tiene excedentes importantes de su área agrícola. Destaca por comparación la diferencia en el comportamiento del río Cascajal entre un año “normal” (1999) y un año de “El Niño” (1998), donde se observa que los caudales se incrementan hasta siete u ocho veces con respecto de los caudales “normales”.

Las masas anuales para un año “normal” del río Cascajal ascienden a 79 Mm³. Estos flujos se distribuyen en el desierto que, al no tener salida al mar, se infiltran y se evaporan. Esta situación es más considerable durante “El Niño” donde se pueden infiltrar hasta 750 Mm³.

b) Cuencas hidrográficas en el área del Proyecto

La morfología del área del proyecto muestra en general un relieve topográfico llano, que corresponde a los denominados Tablazos, con excepción de las zonas altas del cerro Illescas hacia el oeste y nor-oeste del área de la mina. Adicionalmente, hacia la parte central y sur se observan depresiones como la denominada Salina Grande o Gran Depresión, (estimada en -24 m.s.n.m.) en la que se encuentran los depósitos de fosfatos de Bayóvar.

El cerro Illescas se encuentra cortado o interceptado por gran cantidad de cauces de quebradas secas entre las cuales destacan las quebradas La Montera, Los Hornillos, Nuche y Santuyo. Las cuencas de las quebradas presentes en esta zona, reciben la escorrentía generada por precipitaciones intensas y persistentes como las que se presentan en los eventos de El Niño, período durante el cual la actividad hídrica de estas quebradas se manifiesta con las descargas naturales hacia la parte baja del cerro, propiciando la inundación del Tablazo, específicamente de la Pampa Los Hornillos (hacia el norte del área de la mina) y la Pampa San Antonio y la zona de Reventazón (hacia el sur del área de la Mina) lo cual también significa la descarga directa hacia el área de la depresión Salina Grande.

La escorrentía superficial ha desbordado estos cauces durante los pasados eventos de alta precipitación (fenómeno El Niño de 1983 y 1998), resultando en daños significativos a las carreteras de acceso que bordean el área de la mina. Sin embargo, de manera general en el relieve del Tablazo que rodea esta área, no se presentan cauces de drenaje bien definidos para el flujo de escorrentía derivado de las altas precipitaciones.

En cuanto a depresión Salina Grande, ésta se encuentra rodeada por la formación Tablazo y se constituye como el punto de almacenamiento de la escorrentía generada por la cuenca endorreica que la rodea. Su configuración propicia la recolección de una gran cantidad de escorrentía al interior de la depresión durante

eventos de alta precipitación acentuado por las condiciones de suelos secos y suelos de grano fino que limitan la tasa de infiltración durante estos eventos. El diámetro aproximado de la depresión es de 16 km y su mínimo nivel se ha identificado en la cota -23 m.

La depresión Salina Grande, es el fondo de una cuenca endorreica (cerrada) a la que no ingresan superficialmente caudales de otras cuencas, por lo tanto, a la depresión sólo pueden fluir escurrimientos producto de las precipitaciones caídas en su propia cuenca. La intensidad de las precipitaciones, inclusive en los años muy húmedos no logra superar la infiltración de la capa arenosa del suelo y la retención superficial de las pequeñas depresiones existentes en el tablazo que conforman gran parte de su cuenca.

Existen referencias que el año 1983, las intensidades y duración de las precipitaciones, superaron la velocidad de infiltración e inclusive saturaron la capa arenosa produciendo escurrimientos que fluyeron por diversos cauces formados en toda el área, hacia la parte más profunda de la depresión, inundándola y formando una laguna sin salida cuya altura fue ascendiendo hasta que terminaron las lluvias, después de ello el nivel del agua fue decreciendo por efectos de la evaporación. Se estima que el área de la cuenca endorreica de la Salina Grande es de 590 km² de los cuales 31 km² corresponde a la zona del cerro Illescas. Se estima que el área inundable dentro de la Salina Grande es aproximadamente 140 km².

El plano **830MA0001A-010-20-008** grafica las formaciones geomorfológicas del área del Proyecto.

3.3.2 Clima y meteorología

3.3.2.1 Objetivos

El objetivo del presente estudio es elaborar la línea base climatológica del área de estudio del Proyecto Fosfatos.

Los objetivos específicos comprenden:

- Análisis de la precipitación total mensual y anual y para escenarios de fenómenos del niño de las estaciones evaluadas.
- Análisis de la influencia del fenómeno del Niño.
- Análisis a paso mensual y anual de la temperatura, humedad relativa, evaporación, horas de sol y velocidad de viento.
- Cálculo de evapotranspiración potencial por el método Penman-Monteith.
- Determinación del balance hídrico climático del área del proyecto.
- Clasificación de clima del área del área del proyecto.

3.3.2.2 Área de estudio

El área de estudio para la caracterización climatológica del Proyecto Fosfatos, está delimitado por el área de influencia ambiental indirecta, para el análisis de parámetros meteorológicos se ha elegido estaciones representativas a nivel regional, que presenten similitudes con respecto al área de estudio, asimismo cuenten con series de largo plazo y actualizados, además los registros sean oficiales.

3.3.2.3 Metodología

3.3.2.3.1 Análisis de precipitación

a) Información disponible

Para el estudio de precipitación en el Proyecto Fosfatos, se empleó la información a nivel regional de las estaciones Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores. Estas estaciones presentan las siguientes características:

- Las 4 estaciones elegidas, fueron debido a que en el área del proyecto no se cuenta con información histórica de precipitación, las estaciones antes mencionadas, presentan similitudes hidrológicas y sobre todo son las más cercanas. La información histórica lo registró el Servicio Nacional de Meteorología Hidrología (SENAMHI). La información se adjunta en el **Anexo 3-1**.
- Las altitudes de los 3 observatorios varían de 6,0 m.s.n.m., hasta 30,0 m.s.n.m.
- El número de años de registro mínimo aconsejado por el World Meteorological Organization (WMO), para realizar análisis estadísticos es de 15 años, pudiéndose trabajar con registros de hasta 10 años pero en ningún caso menor de 10 años, se desprende lo siguiente: El número de registro de las estaciones Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores es de 24, 45, 29 y 29 años, superando el mínimo establecido, en el cuadro 3.2-1 se aprecia sus características y ubicación y en el plano **830MA0001A-010-20-010** se muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas a nivel espacial.

b) Procesamiento de la información

El análisis de consistencia de la precipitación, es un proceso que consiste en la identificación o detección, descripción y remoción de los errores de la serie de datos, a fin de obtener series confiables, para lo cual se empleó el método de doble masa, del análisis se obtuvo que la serie histórica de las precipitaciones

registradas en las estaciones evaluadas son consistentes, la metodología y los resultados se muestran en el **Anexo 3-2**.

Cuadro 3.3.2-1. Estaciones con registro de precipitación total mensual

Estación	Tipo	Ubicación			Coordenadas (UTM)		Altitud (msnm)	Periodo	Años de Registro	Fuente
		Departamento	Provincia	Distrito	Este	Norte				
Chusis	CO	Piura	Sechura	Sechura	518461	9390221	6.0	1981-1984, 1988-1990 y 1995-2011	24	SENAMHI
Bernal	CO	Piura	Sechura	Bernal	527692	9393903	7.0	1964-1982 y 1986-2011	45	SENAMHI
San Miguel	CO	Piura	Sechura	Sechura	535030	9310992	13.0	1981-1991 y 1994-2011	29	SENAMHI
Miraflores	CO	Piura	Piura	Piura	542484	9428900	30.0	1981-1992 y 1995-2011	29	SENAMHI

UTM = Datum: WGS 84. CO = Climatológica Ordinaria.

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

3.3.2.3.2 Influencia del fenómeno de El Niño

Para analizar la influencia del fenómeno El Niño Southern Oscillation (ENSO) en relación a la variabilidad de precipitación de las estaciones evaluadas, se consideró un evento Niño a la fase cálida y un evento niña a la fase fría. Para ello se utilizó el Índice Oceánico para El Niño (Oceanic Niño Index, ONI), monitoreado por la Administración Nacional Oceanográfica y Atmosférica de los Estados Unidos de América.

El ONI es registrado por un sistema de boyas oceánicas que mide la variación de la temperatura superficial del mar, los episodios fríos o cálidos se determinan con base a umbrales de variación de +/- 5°C cada tres meses consecutivos cada tres

meses. Los episodios cálidos o fríos se definen cuando se alcanza un periodo de al menos cinco meses consecutivos de temperatura por encima o por debajo de los valores normales, mientras los periodos neutros son aquellos que no reportan anomalías en los valores de la temperatura superficial del mar.

Los ONI de valores positivos o de mayor valor de temperatura superficial del mar, se asocian a la fase calida denominados fenómeno El Niño y los de valores negativos corresponden a temperaturas superficiales del mar más frías de los normales denominados fenómenos La Niña.

En el cuadro 3.3.2-2, se presentan los registros ONI obtenidos por la NOAA, para el periodo 1964-2011. Los números marcados en rojo corresponden a episodios calientes del ENSO, mientras que los marcados en azul representan los episodios fríos del ENSO.

Cuadro 3.3.2-2. Índice Oceánico para el Niño (ONI)

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1964	0.8	0.4	-0.1	-0.5	-0.8	-0.8	-0.9	-1	-1.1	-1.2	-1.2	-1
1965	-0.8	-0.4	-0.2	0	0.3	0.6	1	1.2	1.4	1.5	1.6	1.5
1966	1.2	1	0.8	0.5	0.2	0.2	0.2	0	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3
1967	-0.4	-0.4	-0.6	-0.5	-0.3	0	0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.4	-0.5
1968	-0.7	-0.9	-0.8	-0.7	-0.3	0	0.3	0.4	0.3	0.4	0.7	0.9
1969	1	1	0.9	0.7	0.6	0.5	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.7
1970	0.5	0.3	0.2	0.1	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.9	-1.1
1971	-1.3	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0	0.2	0.5	0.8	1	1.3	1.5	1.8	2	2.1
1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.6	-0.9	-1.1	-1.3	-1.4	-1.7	-2	-2.1
1974	-1.9	-1.7	-1.3	-1.1	-0.9	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.7	-0.9	-0.7
1975	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.9	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.6	-1.7	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.8	-0.6	-0.5	-0.2	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.7
1977	0.6	0.5	0.2	0.2	0.2	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6	0.7	0.7
1978	0.7	0.4	0	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1
1979	-0.1	0	0.1	0.1	0.1	-0.1	0	0.1	0.3	0.4	0.5	0.5
1980	0.5	0.3	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0	-0.1	-0.1	0	-0.1
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.3	-0.2	-0.1	-0.1
1982	0	0.1	0.1	0.3	0.6	0.7	0.7	1	1.5	1.9	2.2	2.3
1983	2.3	2	1.5	1.2	1	0.6	0.2	-0.2	-0.6	-0.8	-0.9	-0.7
1984	-0.4	-0.2	-0.2	-0.3	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.3	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.4	-0.2	-0.2	-0.1	0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.3	1.2	1.1	1	1.2	1.4	1.6	1.6	1.5	1.3	1.1

Año	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1988	0.7	0.5	0.1	-0.2	-0.7	-1.2	-1.3	-1.2	-1.3	-1.6	-1.9	-1.9
1989	-1.7	-1.5	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.1
1990	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4
1991	0.4	0.3	0.3	0.4	0.6	0.8	1	0.9	0.9	1	1.4	1.6
1992	1.8	1.6	1.5	1.4	1.2	0.8	0.5	0.2	0	-0.1	0	0.2
1993	0.3	0.4	0.6	0.7	0.8	0.7	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2
1994	0.2	0.2	0.3	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6	0.7	0.9	1.2	1.3
1995	1.2	0.9	0.7	0.4	0.3	0.2	0	-0.2	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
1996	-0.7	-0.7	-0.5	-0.3	-0.1	-0.1	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1997	-0.4	-0.3	0	0.4	0.8	1.3	1.7	2	2.2	2.4	2.5	2.5
1998	2.3	1.9	1.5	1	0.5	0	-0.5	-0.8	-1	-1.1	-1.3	-1.4
1999	-1.4	-1.2	-0.9	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-0.9	-1	-1.1	-1.3	-1.6
2000	-1.6	-1.4	-1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7
2001	-0.6	-0.5	-0.4	-0.2	-0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0	-0.1	-0.1
2002	-0.1	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1	1.1	1.3	1.5	1.4
2003	1.2	0.9	0.5	0.1	-0.1	0.1	0.4	0.5	0.6	0.5	0.6	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	0.8	0.8	0.8
2005	0.7	0.5	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3	0.2	-0.1	-0.4	-0.7
2006	-0.7	-0.6	-0.4	-0.1	0.1	0.2	0.3	0.5	0.6	0.9	1.1	1.1
2007	0.8	0.4	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-1	-1.1	-1.3
2008	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0	0	0	-0.3	-0.6
2009	-0.8	-0.7	-0.5	-0.1	0.2	0.6	0.7	0.8	0.9	1.2	1.5	1.8
2010	1.7	1.5	1.2	0.8	0.3	-0.2	-0.6	-1	-1.3	-1.4	-1.4	-1.4
2011	-1.3	-1.2	-0.9	-0.6	-0.2	0	0	-0.2	-0.4	-0.7	-0.8	-0.9

Donde:

DJF Diciembre-Enero-Febrero
Marzo-Abril

MAM Marzo-Abril-Mayo
Julio

JJA Junio-Julio-Agosto
Septiembre-Octubre

SON Septiembre-Octubre-Noviembre
Diciembre – Enero

JFM Enero-Febrero-Marzo

AMJ Abril-Mayo-Junio

JAS Julio-Agosto-Septiembre

OND Octubre-Noviembre-Diciembre

FMA Febrero-

MJJ Mayo-Junio-

ASO Agosto-

NDJ Noviembre-

Fuente: National Oceanic and Atmospheric Administration

3.3.2.3.3 Análisis de temperatura

El análisis de este parámetro se ha realizado en base a la data histórica de las estaciones Chusis y Bernal, determinando la temperatura media mensual, temperatura mínima media mensual y temperatura máxima media mensual.

a) Información disponible

Los registros utilizados para el análisis de temperatura se detallan en el cuadro 3.3.2-3.

Cuadro 3.3.2-3. Información disponible de temperatura

Estación	Periodo	Años de Registro	Fuente
Chusis	2000-2011	12	SENAMHI
Bernal	2005-2011	7	SENAMHI

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

b) Procesamiento de la Información

Se determinó la variación mensual e interanual de la temperatura en los observatorios analizados.

3.3.2.3.4 Análisis de humedad relativa

Para la evaluación de la humedad relativa en el área de estudio se analizó la información histórica registrada en las estaciones Chusis y Bernal.

a) Información disponible

Los registros utilizados para el análisis de humedad relativa se detallan en el cuadro 3.3.2-4.

Cuadro 3.3.2-4. Información disponible de humedad relativa

Estación	Periodo	Años de Registro	Fuente
Chusis	2000-2011	12	SENAMHI
Bernal	2005-2011	7	SENAMHI

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

b) Procesamiento de la Información

Se determinó la variación mensual e interanual de la humedad relativa en los observatorios analizados.

3.3.2.3.5 Análisis de evaporación

Para el estudio de evaporación en el área de estudio, se ha analizado la serie histórica de la estación Chusis.

a) Información disponible

Los registros utilizados para el análisis de evaporación se detallan en el cuadro 3.3.2-5.

Cuadro 3.3.2-5. Información disponible de evaporación

Estación	Periodo	Años de Registro	Fuente
Chusis	1991-2005	15	SENAMHI

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

b) Procesamiento de la información

Se determinó la variación mensual e interanual de evaporación registrada en la estación Chusis.

3.3.2.3.6 Análisis de horas de sol

Este parámetro se refiere al número total de horas de sol que se recibe. El registro histórico evaluado es lo observado en la estación Chusis.

a) Información disponible

Los registros utilizados para el análisis de horas de sol se detallan en el cuadro 3.3.2-6.

Cuadro 3.3.2-6. Información disponible de horas de sol

Estación	Periodo	Años de Registro	Fuente
Chusis	2000-2011	12	SENAMHI

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

b) Procesamiento de la información

Se determinó la variación mensual e interanual de horas de sol registrada en la estación Chusis.

3.3.2.3.7 Análisis de viento

Para el análisis de los vientos, se ha procesado la velocidad media registrada en el mes de las estaciones Chusis y Bernal.

a) Información disponible

Los registros utilizados para el análisis de viento se detallan en el cuadro 3.3.2-7.

Cuadro 3.3.2-7. Información disponible de velocidad de viento registrada en el mes

Estación	Periodo	Años de Registro	Fuente
Chusis	2000-2011	12	SENAMHI
Bernal	2006-2011	6	SENAMHI

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

b) Procesamiento de la información

Se determinó la variación mensual e interanual de velocidad de viento en los observatorios analizados.

c) Frecuencia de velocidad de viento

Para el análisis de la frecuencia de vientos, la denominación y el intervalo de la velocidad del viento, se ha utilizado la tabla de escalas propuesta por Beaufort, la cual se basa en los efectos de la fuerza del viento sobre la superficie terrestre y sobre el mar y se aprecia en el cuadro 3.3.2-8.

Cuadro 3.3.2-8. Escala de Beaufort

Escala	Denominación	m/s	km/h	Efectos en tierra
0	Calma	0 - 0,2	0 - 1,0	El humo sube verticalmente.
1	Ventolina	0,3 -1,5	1,0 - 5,0	El humo se inclina.
2	Flojito (brisa ligera)	1,5 -3,3	6,0 - 11,0	Mueve hojas de árboles y banderas. El viento se siente en la cara. Los gallardetes comienzan a ondear.
3	Flojo(brisa débil)	3,3 -5,4	12,0 - 19,0	Agita hojas y ramas de árboles en constante movimiento. Los gallardetes ondean plenamente.
4	Bonancible(brisa moderada)	5,4 -7,9	20,0 - 28,0	Mueve las ramas. Polvareda. Se elevan los papeles ligeros. Ondeán las banderas.
5	Fresquito (brisa fresca)	7,9 -10,7	29,0 - 38,0	Mueve arbolitos. Se forman ondas en lagos y estanques. Levanta bastante polvo.
6	Fresco(brisa fuerte)	10,7 -13,8	39,0 - 49,0	Mueve ramas grandes y es muy difícil llevar abierto el paraguas. Silbar del viento en tendidos de líneas eléctricas.
7	Frescachón (viento fuerte)	13,8 -17,1	50,0 - 61,0	Mueve árboles y es difícil caminar contra el viento. Las banderas son arrancadas. Aparecen los primeros daños en tendidos de líneas eléctricas.
8	Duro(viento tormentoso Temporal)	17,1 -20,7	62,0 - 74,0	Desgaja ramas y apenas se puede caminar al descubierto. Caídas de anuncios mal soportados.
9	Muy duro(tormenta) (Temporal fuerte)	20,7 -24,4	75,0 - 88,0	Derriba chimeneas y arranca tejas y cubiertas. Ruptura de ramas gruesas de árboles. Causa ligeros desperfectos.
10	Temporal (Tormenta intensa) (temporal duro)	24,4 -28,4	89,0 - 102,0	Desgarra ramas de árboles frondosos. Daños considerables en construcciones. Imposibilidad de mantenerse en pie y al descubierto.
11	Borrasca (Tormenta huracanada) (temporal muy duro)	28,4 -32,6	103,0 - 117,0	Comienzan a ser arrastrados objetos pesados. Grandes destrozos en general.
12	Huracán	> 32,7	> 118,0	Arranca árboles de cuajo y destruye construcciones de adobe y madera. Arrastra vehículos, daños graves y generalizados.

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

d) Dirección del Viento

Para el estudio de la dirección predominante del viento, se analizaron las estaciones Chusis y Bernal y se utilizó la rosa de vientos para clasificar dirección del viento.

3.3.2.3.8 Evapotranspiración potencial (ETP)

La evapotranspiración es un fenómeno físico que suma la evaporación y la transpiración. La unidad utilizada para la evapotranspiración es el milímetro de altura de agua, al igual que la lluvia y que equivale a 1 l/m^2 ó $10 \text{ m}^3/\text{ha}$.

La evaporación es el paso del estado líquido al estado gaseoso del agua. La transpiración es básicamente el mismo fenómeno pero que ocurre a través del sistema circulatorio de las plantas, y que a su vez toman agua del suelo edáfico. En las superficies cubiertas por la vegetación, se reúnen ambos conceptos de manera que la separación cuantitativa es prácticamente imposible.

Es importante indicar que existen muchos métodos empíricos que permiten determinar la evapotranspiración en una forma aproximada, sin duda la medición directa por lisímetro o evapotranspirómetro mejorará cualquier deducción numérica.

Para determinar la evapotranspiración potencial se empleó el software CROPWAT versión 8.0, del año 2009, fue desarrollado por Joss Swennenhuis para la Unidad de Fomento y Gestión de las Aguas de la FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y Alimentación).

Cropwat es un programa que utiliza el método Penman-Monteith para determinar la evapotranspiración potencial.

3.3.2.3.9 Balance hídrico climático

El balance hídrico en el área de estudio se ha realizado para un año promedio y para una ocurrencia de los fenómenos del niño calificados como niños excepcionales de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998.

A partir de la información de precipitación y evapotranspiración mensual, se estimaron los siguientes parámetros: evapotranspiración real, déficit, variación de reserva y excedentes en el área del proyecto. A continuación se describen los parámetros que intervienen en el balance hídrico climático.

a) Precipitación

- Para el balance hídrico se ha considerado la precipitación total mensual registrada en la estación Chusis, sin considerar valores del fenómeno del niño ocurrido en 1982-1983 y 1997-1998. Se eligió la estación Chusis debido a que el observatorio es la más cercana al área de estudio con respecto a otras estaciones evaluadas.
- Se ha realizado el balance hídrico, solo considerando las precipitaciones registradas en la estación Chusis en el fenómeno del niño 1982-1983 y 1997-1998.

b) Evapotranspiración potencial (ETP)

- La evapotranspiración que se emplea en el balance hídrico fue determinada por el método de Penman Monteith, con datos de la estación Chusis.

c) Evapotranspiración real (ETR)

- La evapotranspiración real es el volumen de agua que realmente se evapotranspira en el mes, lo cual depende de la suficiente disponibilidad de agua para evaporar y así llegar a la ETP (por tanto, la ETP es siempre mayor o igual a la ETR). El agua disponible para evaporar será la que cae como precipitación en el mes considerado y la existente en la reserva del suelo.

d) Déficit

- Es el volumen de agua que falta para cubrir las necesidades potenciales de agua (para evaporar y transpirar).

e) Reserva

- Cuando en un mes se producen más entradas que salidas, (precipitación > ETP), el agua sobrante pasa a engrosar la reserva del suelo; por el contrario, cuando las salidas son mayores que las entradas, se reduce la reserva del suelo.
- El suelo tiene una capacidad de retención de humedad en función de sus características físicas y cuando se alcanza la capacidad de retención máxima del suelo, el agua añadida «en exceso» escurrirá superficialmente o en profundidad. Por tanto, se debe exponer el concepto de reserva máxima o cantidad de agua por unidad de superficie (mm) que el suelo es capaz de almacenar en su perfil.
- Para el balance hídrico se tomó una reserva máxima de 100 mm. Thornthwaite (1948) en su clasificación climática, utilizó como referencia climática la reserva de 100 mm, y Turc (1967) en su índice de productividad agrícola emplea una reserva de 100 mm (RFU = reservoir facilement utilisable).

f) Excedentes

- Es el agua que excede la reserva máxima y que se pierde por escorrentía superficial o profunda.

3.3.2.3.10 Clasificación del clima

Para determinar el tipo de clima en el área de estudio, se empleó la metodología propuesta por Thornthwaite (1948). Previamente se realizó el balance hídrico climático para una ocurrencia hidrológica de año promedio, determinando el excedente y déficit; asimismo, se calcularon los siguientes índices: índice de eficiencia termal, índice de eficiencia termal en verano, índice de excedente, índice de déficit e índice de humedad.

3.3.2.4 Resultados

3.3.2.4.1 Análisis de precipitación

Se analizó la precipitación total mensual de las estaciones para dos escenarios con y sin presencia del fenómeno del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998. En el diagrama de cajas se muestra la variación temporal de cada estación, donde se observa el valor mínimo, máximo y valores de la serie histórica de cada mes del año.

A) Estación Chusis

- La estación Chusis, ha registrado las precipitaciones ocurridas en los fenómenos de El Niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998.
- La precipitación promedio mensual sin presencia del fenómeno de El Niño varía entre 0,0 mm (setiembre y agosto) hasta 6,9 mm (abril), el promedio es de 1,9 mm. El 83,5% de la precipitación se presenta entre los meses de febrero y abril (temporada húmeda).
- El valor mínimo y máximo histórico mensual sin presencia del fenómeno de El Niño registrado en la estación es de 0,0 mm y 66,9 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual sin presencia del fenómeno de El Niño oscila entre 1,2 mm (1989-1990) hasta 92,5 mm (2001-2002), el promedio es del orden de 23,2 mm.
- La precipitación promedio mensual con presencia del fenómeno de El Niño está en el rango de 0,0 mm (setiembre y agosto) hasta 22,4 mm (marzo), el promedio es del orden de 6,2mm. El 91,2% de la precipitación se presenta entre los meses de enero y abril.
- El valor mínimo y máximo histórico mensual con presencia del fenómeno de El Niño registrado en el observatorio es de 0,0 mm y 500,9 mm, respectivamente.

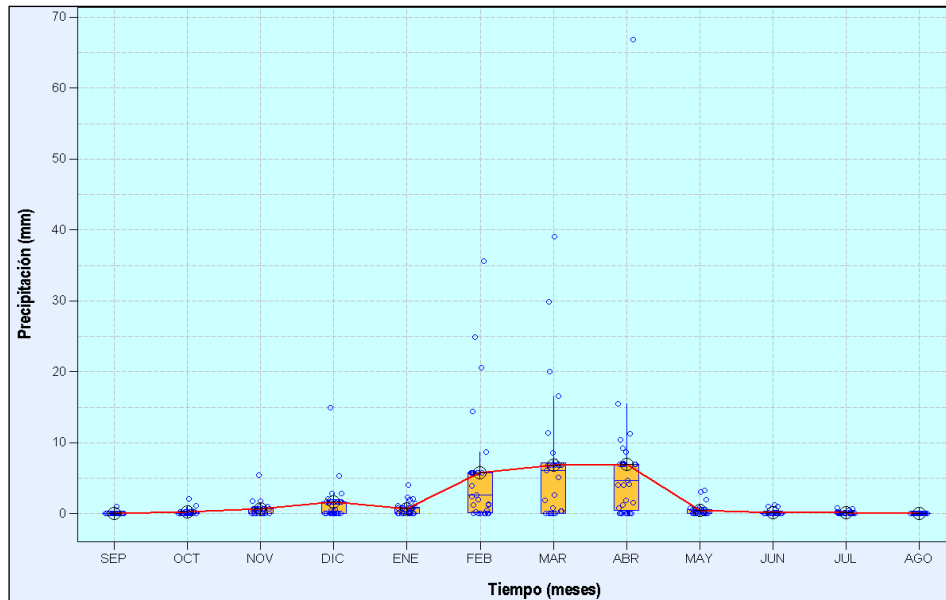
- La precipitación total anual con presencia del fenómeno de El Niño oscila entre 1,2 mm (1989-1990) hasta 1027,4 mm (1997-1998), el promedio es del orden de 74,4 mm. La precipitación total anual en los fenómenos de El Niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, fue de 607,2 mm y 1027,4 mm, respectivamente.
- Los resultados antes indicados se muestran en el cuadro 3.3.2-9 y figuras 3.3.2-1 hasta 3.3.2-3.

Cuadro 3.3.2-9. Variación precipitación, estación Chusis.

Mes	Valores de precipitación (mm) - sin El Niño			Valores de precipitación (mm) - con El Niño		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
SEP	0,0	0,0	1,0	0,0	0,0	1,0
OCT	0,2	0,0	2,0	0,2	0,0	2,0
NOV	0,6	0,0	5,4	0,6	0,0	5,4
DIC	1,6	0,0	14,9	2,9	0,0	42,2
ENE	0,7	0,0	4,0	18,6	0,0	500,9
FEB	5,7	0,0	35,6	14,2	0,0	272,3
MAR	6,8	0,0	39,1	22,4	0,0	294,3
ABR	6,9	0,0	66,9	12,8	0,0	189,1
MAY	0,5	0,0	3,2	1,3	0,0	25,5
JUN	0,1	0,0	1,2	1,4	0,0	39,2
JUL	0,1	0,0	0,8	0,1	0,0	0,8
AGO	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

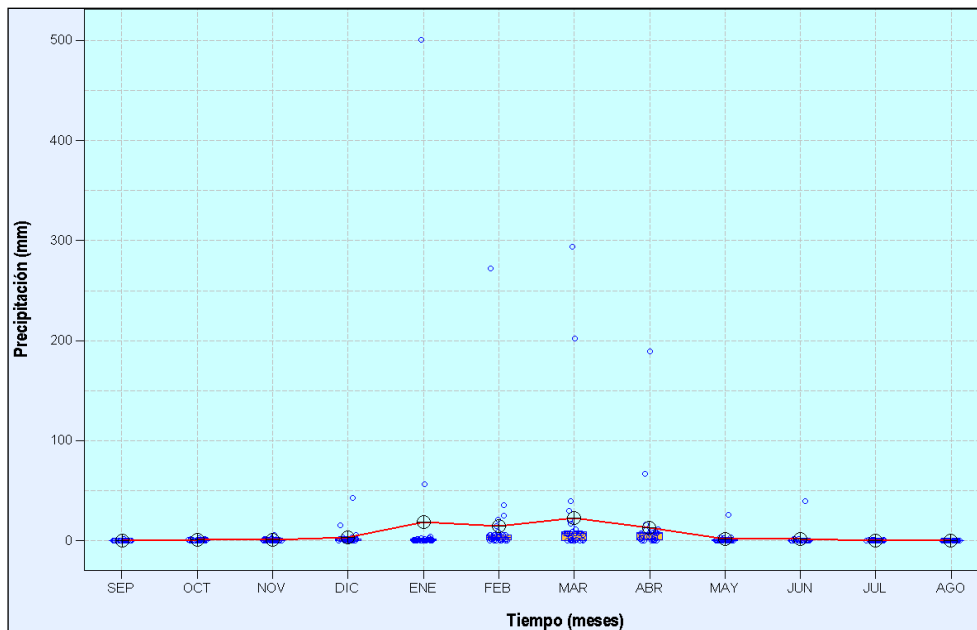
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Figura 3.3.2-1. Variación temporal promedio de precipitación, estación Chusis, sin El Niño



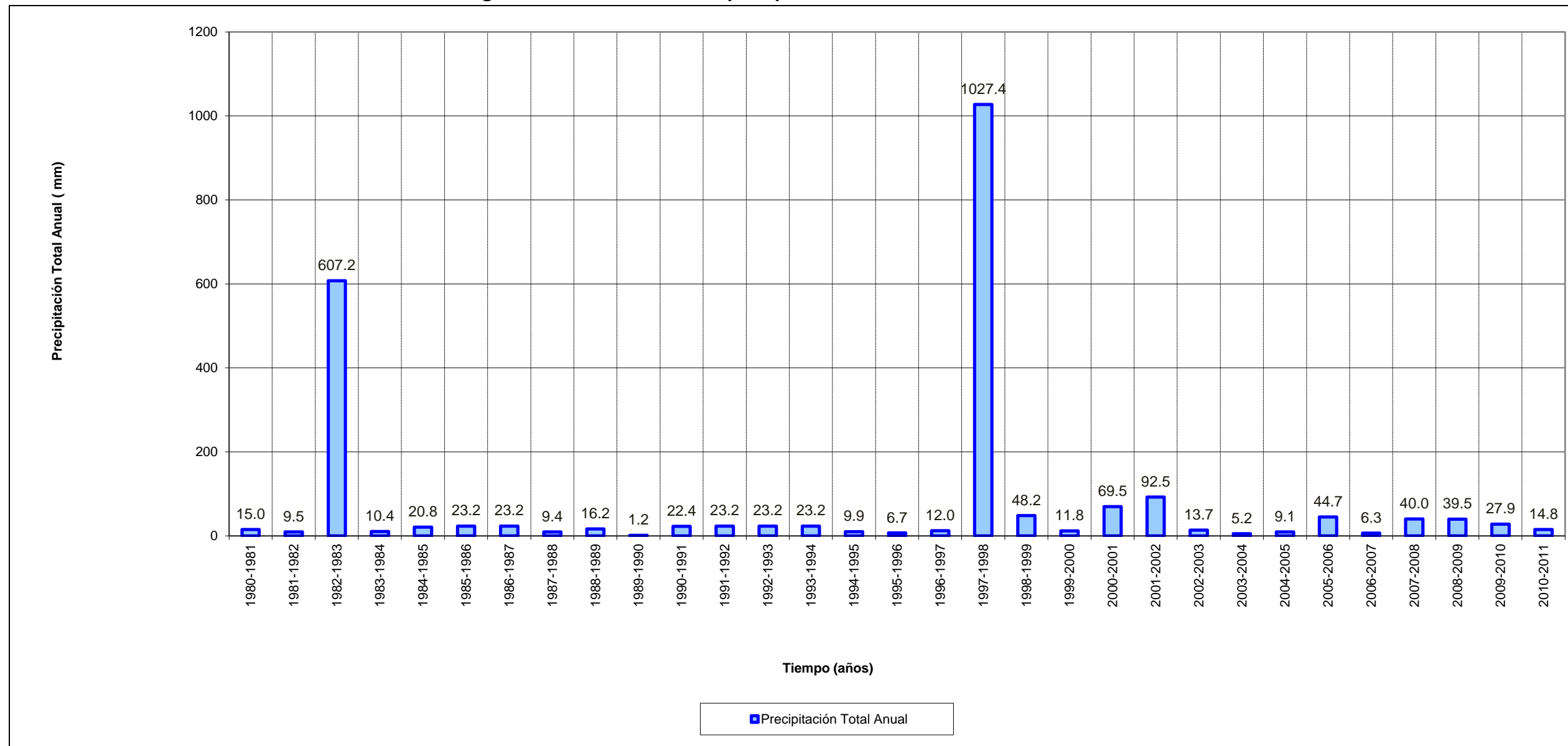
Fuente: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-2. Variación temporal promedio de precipitación, estación Chusis, con El Niño



Fuente: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-3. Variación de precipitación total anual, estación Chusis



Fuente: BISA, 2012.

b) Estación Bernal

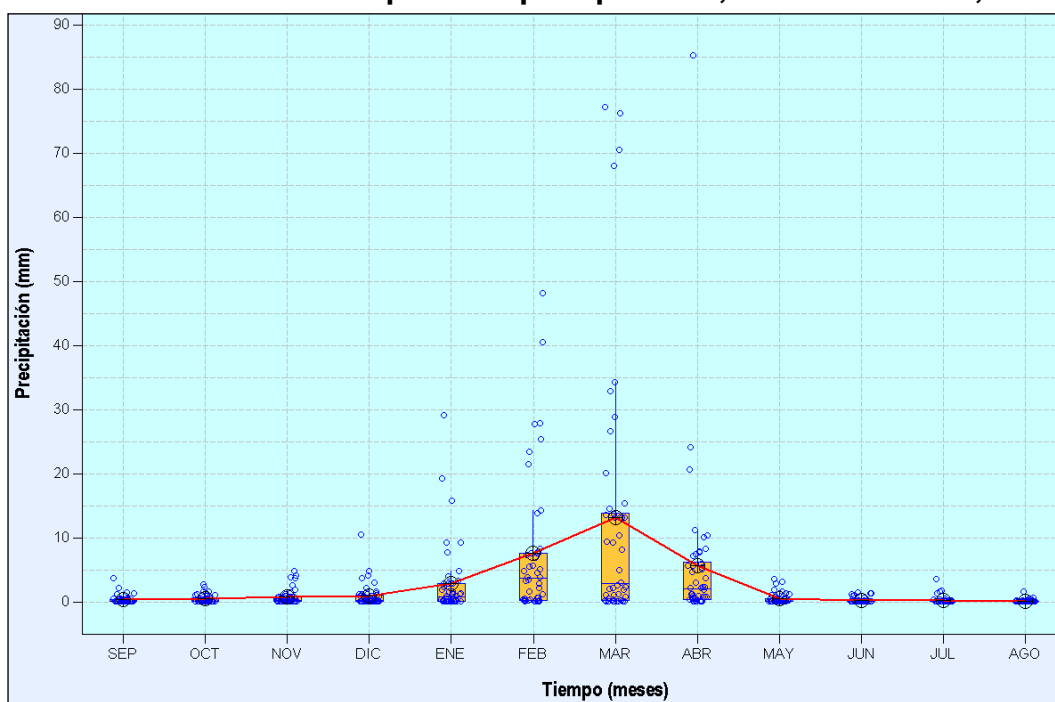
- La estación Bernal, no ha registrado precipitaciones en los meses donde se ha presentado el fenómeno del niño del año hidrológico 1982-1983.
- La precipitación promedio mensual sin presencia del fenómeno del niño varía entre 0,1 mm (agosto) hasta 13,1 mm (marzo), el promedio es de 2,7 mm. El 81,2% de la precipitación se presenta entre los meses de febrero y abril (temporada húmeda).
- El valor mínimo y máximo histórico mensual sin presencia del fenómeno del niño registrado en la estación es de 0,0 mm y 85,3 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual sin presencia del fenómeno del niño oscila entre 2,3 mm (1981-1982) hasta 119,8 mm (2001-2002), el promedio es del orden de 32,3 mm.
- La precipitación promedio mensual con presencia del fenómeno del niño del periodo 1997-1998, está en el rango de 0,1 mm (agosto) hasta 15,6 mm (febrero), el promedio es del orden de 4,3 mm. El 92,2% de la precipitación se presenta entre los meses de enero y abril.
- El valor mínimo y máximo histórico mensual con presencia del fenómeno de El Niño registrado en el observatorio es de 0,0 mm y 459,1 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual con presencia del fenómeno de El Niño del periodo 1997-1998 oscila entre 2,3 mm (1981-1982) hasta 938,8 mm (1997-1998), el promedio es del orden de 51,6 mm.
- La precipitación total anual en el fenómeno de El Niño del año hidrológico 1997-1998, fue de 938,8 mm.
- Los resultados antes indicados se muestran en el cuadro 3.3.2-10 y figuras 3.3.2-4 hasta 3.3.2-6.

Cuadro 3.3.2-10. Variación de precipitación, estación Bernal

Mes	Valores de precipitación (mm) - Sin El Niño			Valores de precipitación (mm) - Con El Niño		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
SEP	0,3	0,0	3,6	0,3	0,0	3,6
OCT	0,4	0,0	2,7	0,4	0,0	2,7
NOV	0,7	0,0	4,7	0,7	0,0	4,7
DIC	0,9	0,0	10,5	1,7	0,0	36,5
ENE	2,8	0,0	29,1	12,5	0,0	459,1
FEB	7,5	0,0	48,1	15,6	0,0	389,8
MAR	13,1	0,0	77,3	13,6	0,0	77,3
ABR	5,6	0,0	85,3	5,8	0,0	85,3
MAY	0,5	0,0	3,5	0,5	0,0	3,5
JUN	0,2	0,0	1,4	0,2	0,0	1,4
JUL	0,2	0,0	3,5	0,2	0,0	3,5
AGO	0,1	0,0	1,5	0,1	0,0	1,5

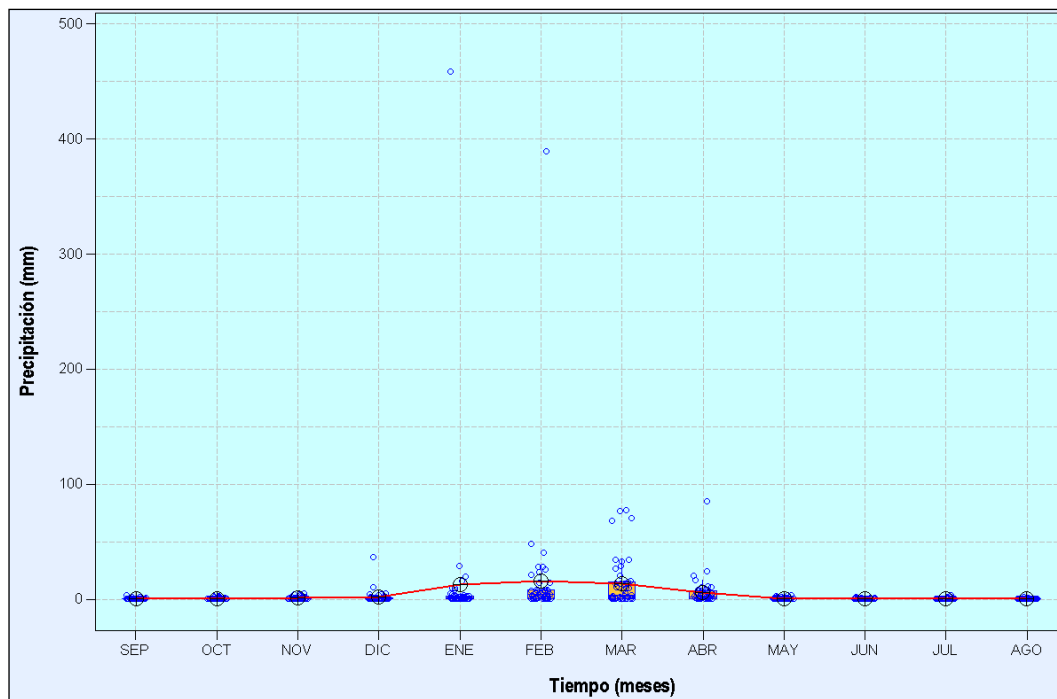
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI.

Figura 3.3.2-4. Variación temporal de precipitación, estación Bernal, sin Niño



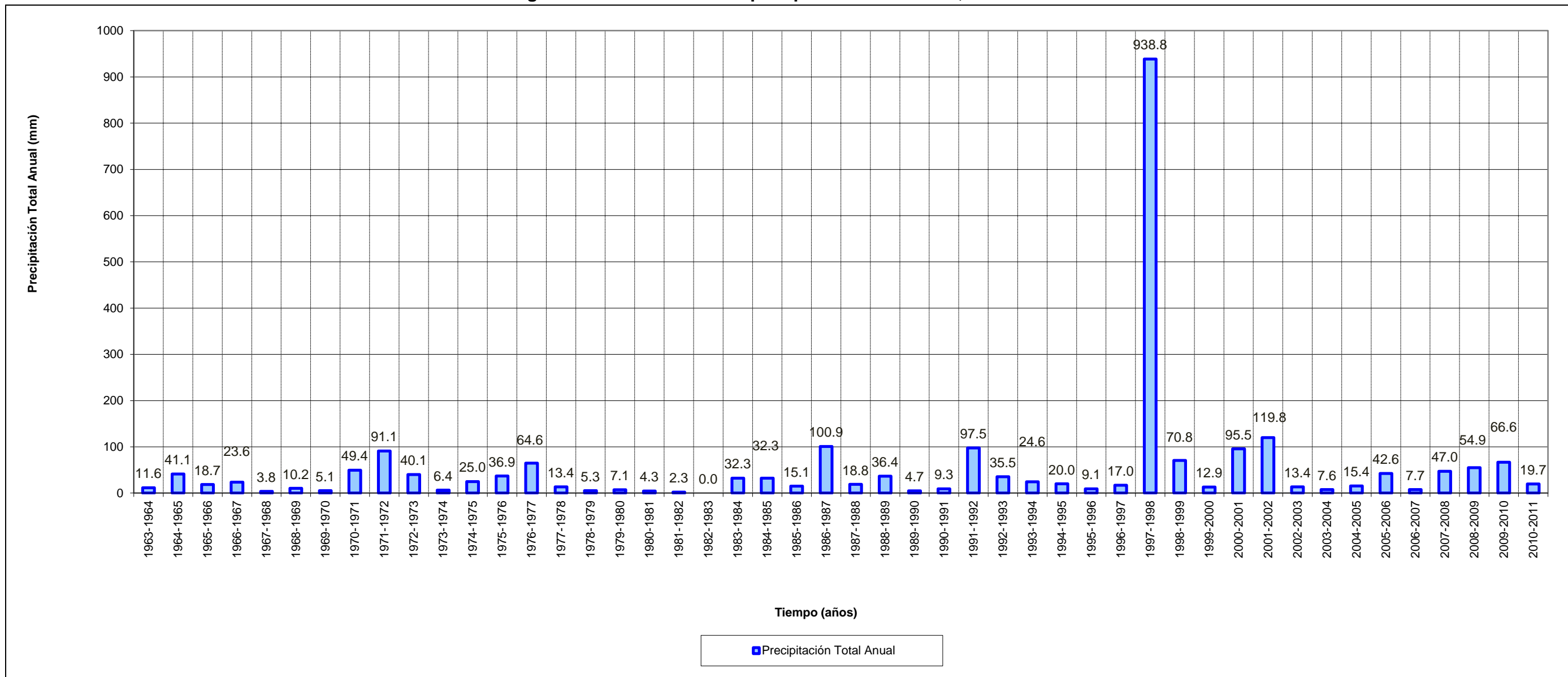
Fuente: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-5. Variación Temporal de Precipitación, Estación Bernal, Con El Niño



Fuente: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-6. Variación de precipitación total anual, estación Bernal



Fuente: BISA, 2012.

c) Estación San Miguel

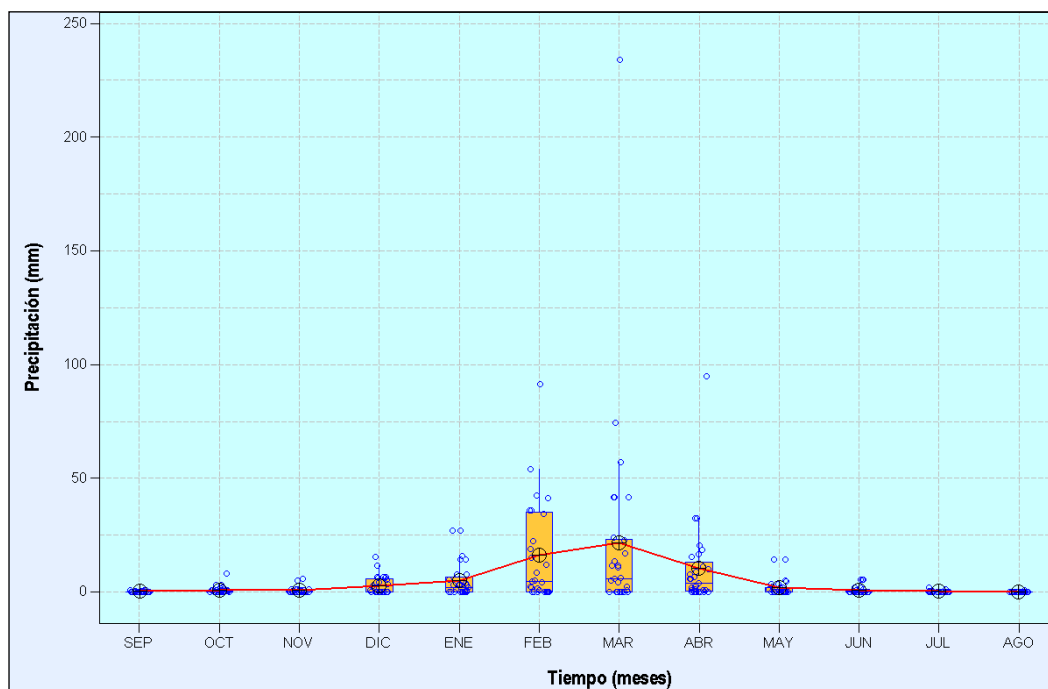
- El observatorio San Miguel, ha registrado las precipitaciones ocurridas en los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998.
- La precipitación promedio mensual sin presencia del fenómeno de El Niño varía entre 0,0 mm (agosto) hasta 21,5 mm (marzo), el promedio es de 5,0 mm. El 80,5% de la precipitación se presenta entre los meses de febrero y abril (temporada húmeda).
- El valor mínimo y máximo histórico mensual sin presencia del fenómeno del niño registrado en la estación es de 0,0 mm y 234,2 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual sin presencia del fenómeno del niño oscila entre 4.5 mm (1989-1990) hasta 225,8 mm (2000-2001), el promedio es del orden de 59,5 mm.
- La precipitación promedio mensual con presencia del fenómeno del niño está en el rango de 0,0 mm (agosto) hasta 39,7 mm (marzo), el promedio es del orden de 12,9 mm. El 83,1% de la precipitación se presenta entre los meses de enero y abril.
- El valor mínimo y máximo histórico mensual con presencia del fenómeno del niño registrado en el observatorio es de 0.0 mm y 549.7 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual con presencia del fenómeno de El Niño oscila entre 4,5 mm (1989-1990) hasta 1764 mm (1982-1983), el promedio es del orden de 154,7 mm.
- La precipitación total anual en los fenómenos de El Niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, fue de 1 764 mm y 1 306.4 mm, respectivamente.
- Los resultados antes indicados se muestran en el cuadro 3.3.2-11 y figuras 3.3.2-7 hasta 3.3.2-9.

Cuadro 3.3.2-11. Variación de precipitación, estación San Miguel

Mes	Valores de precipitación (mm) - cin El Niño			Valores de precipitación (mm) - con El Niño		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
SEP	0,1	0,0	0,8	0,1	0,0	1,6
OCT	0,8	0,0	7,9	0,7	0,0	7,9
NOV	0,6	0,0	5,6	0,8	0,0	6,5
DIC	2,7	0,0	15,3	6,3	0,0	104,3
ENE	4,9	0,0	27,0	25,2	0,0	390,7
FEB	16,1	0,0	91,2	33,5	0,0	405,9
MAR	21,5	0,0	234,2	39,7	0,0	311,3
ABR	10,3	0,0	95,0	30,2	0,0	549,7
MAY	1,7	0,0	14,0	13,1	0,0	351,9
JUN	0,7	0,0	5,2	4,9	0,0	130,6
JUL	0,1	0,0	1,6	0,1	0,0	1,6
AGO	0,0	0,0	0,5	0,0	0,0	0,5

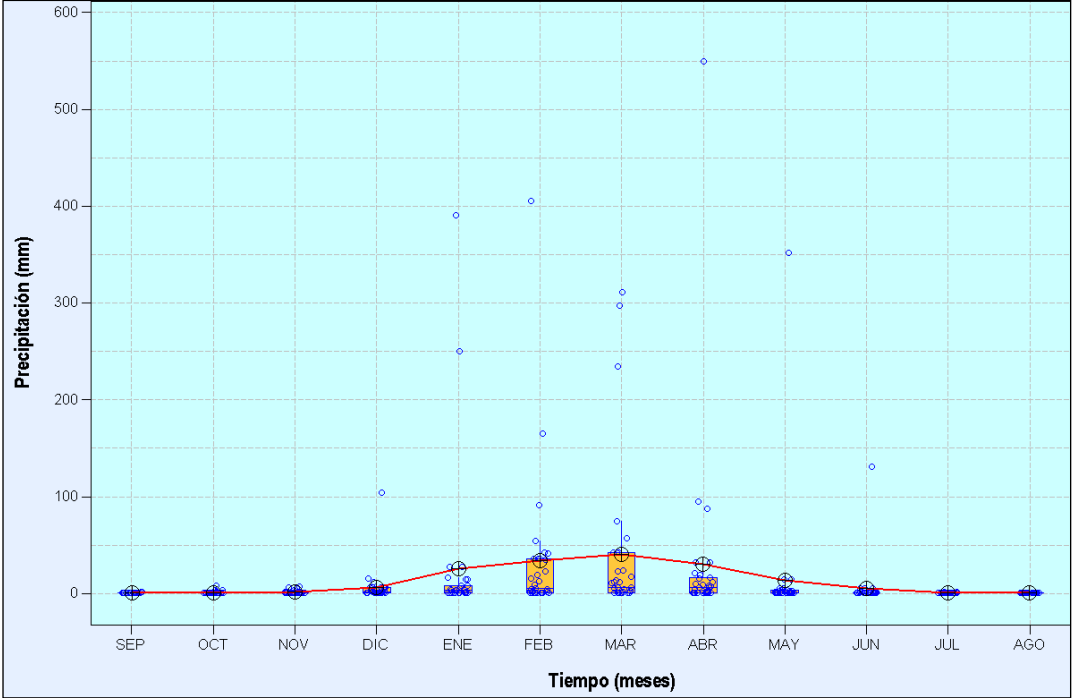
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Figura 3.3.2-7. Variación temporal de precipitación, estación San Miguel, sin El Niño



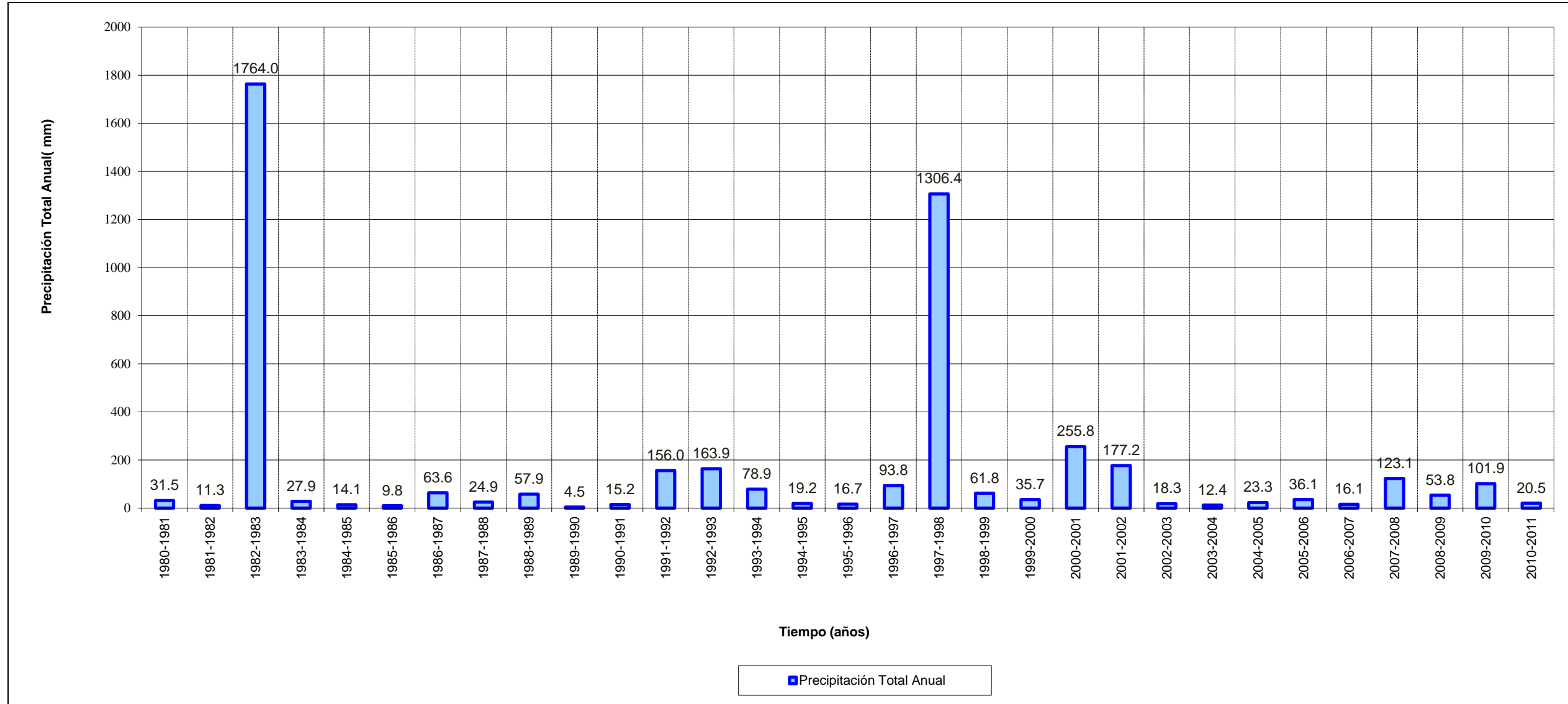
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-8. Variación temporal de precipitación, estación San Miguel, con El Niño



Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-9.Variación de precipitación total anual, estación San Miguel



Elaboración: BISA, 2012.

d) Estación Miraflores

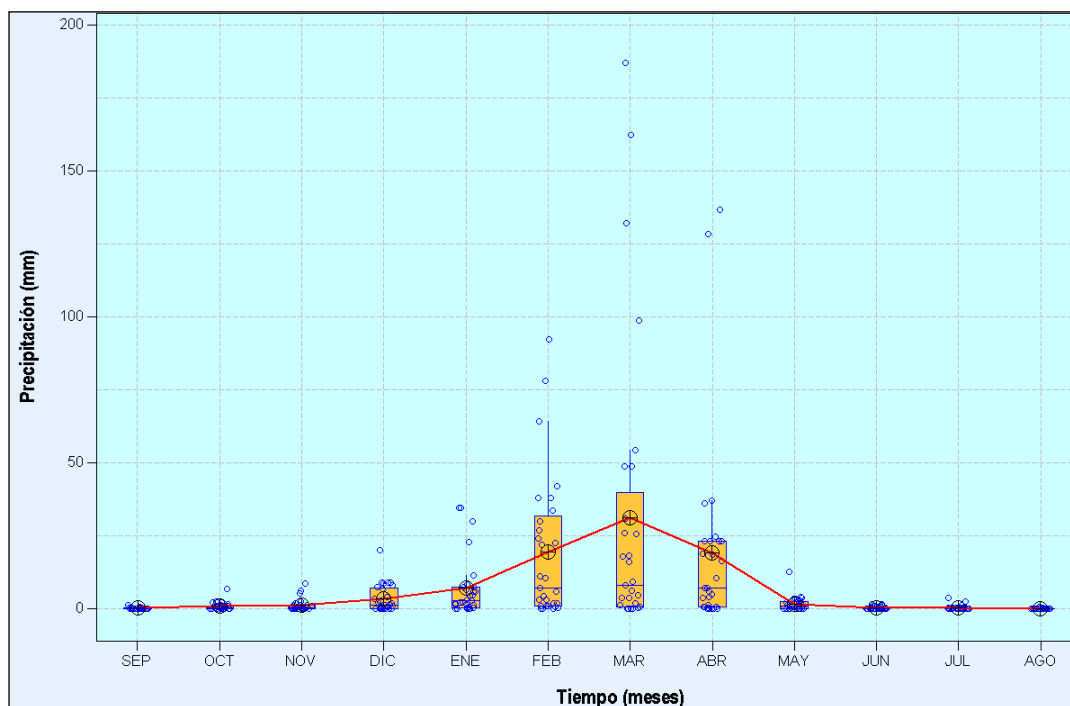
- La estación Miraflores, ha registrado las precipitaciones ocurridas en los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998.
- La precipitación promedio mensual sin presencia del fenómeno del niño varía entre 0,0 mm (agosto) hasta 31,2 mm (marzo), el promedio es de 7,0 mm. El 83,0% de la precipitación se presenta entre los meses de febrero y abril (temporada húmeda).
- El valor mínimo y máximo histórico mensual sin presencia del fenómeno del niño registrado en la estación es de 0,0 mm y 187,1 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual sin presencia del fenómeno del niño oscila entre 6,7 mm (1989-1990) hasta 347,8 mm (1991-1992), el promedio es del orden de 83,9 mm.
- La precipitación promedio mensual con presencia del fenómeno del niño está en el rango de 0,0 mm (agosto) hasta 58,6 mm (marzo), el promedio es del orden de 18,0 mm. El 85,4% de la precipitación se presenta entre los meses de enero y abril.
- El valor mínimo y máximo histórico mensual con presencia del fenómeno del niño registrado en el observatorio es de 0,0 mm y 768,7 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual con presencia del fenómeno del niño oscila entre 6.7 mm (1989-1990) hasta 2237.6 mm (1982-1983), el promedio es del orden de 215,9 mm.
- La precipitación total anual en los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, fue de 2237,6 mm y 2023,2 mm, respectivamente.
- Los resultados antes indicados se muestran en el cuadro 3.3.2-12 y figuras 3.3.2-10 hasta 3.3.2-12.

Cuadro 3.3.2-12. Variación de precipitación, estación Miraflores

Mes	Valores de precipitación (mm) - Sin Niño			Valores de precipitación (mm) - Con Niño		
	Promedio	Mínimo	Máximo	Promedio	Mínimo	Máximo
SEP	0,1	0,0	1,1	0,1	0,0	1,1
OCT	0,8	0,0	6,7	0,8	0,0	6,7
NOV	1,1	0,0	8,4	1,3	0,0	8,4
DIC	3,3	0,0	19,9	8,7	0,0	165,0
ENE	6,9	0,0	34,6	41,7	0,0	768,7
FEB	19,4	0,0	92,3	39,5	0,0	500,0
MAR	31,2	0,0	187,1	58,6	0,0	485,8
ABR	19,1	0,0	136,7	44,5	0,0	732,5
MAY	1,5	0,0	12,5	13,9	0,0	379,6
JUN	0,3	0,0	1,4	6,5	0,0	192,4
JUL	0,3	0,0	3,6	0,3	0,0	3,6
AGO	0,0	0,0	0,6	0,0	0,0	0,6

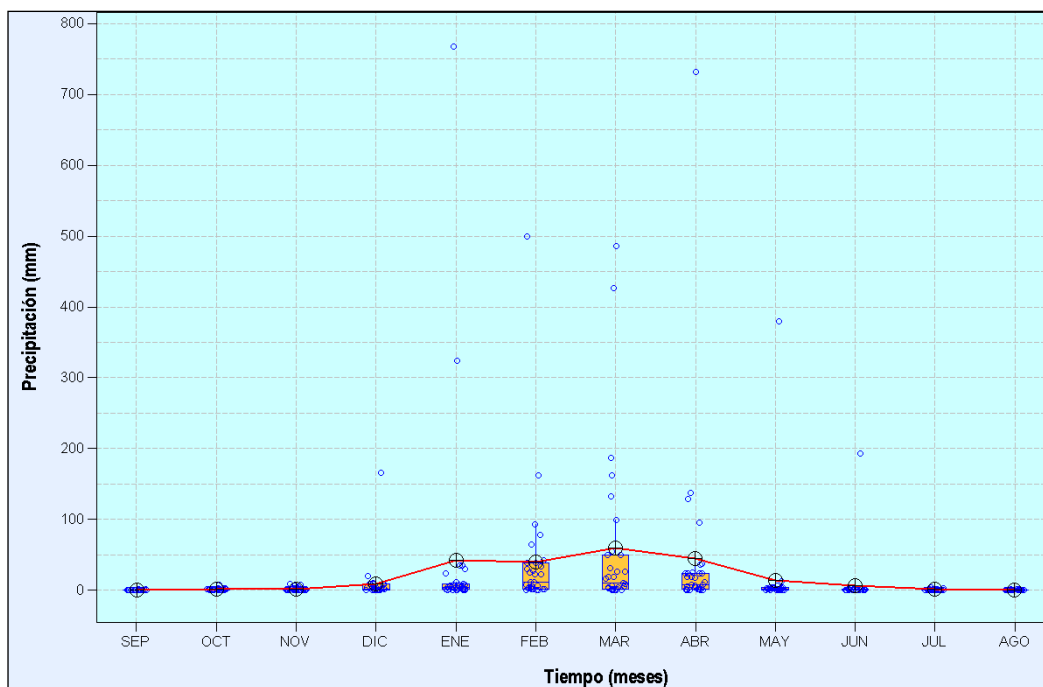
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Figura 3.3.2-10. Variación temporal de precipitación, estación Miraflores, sin El Niño



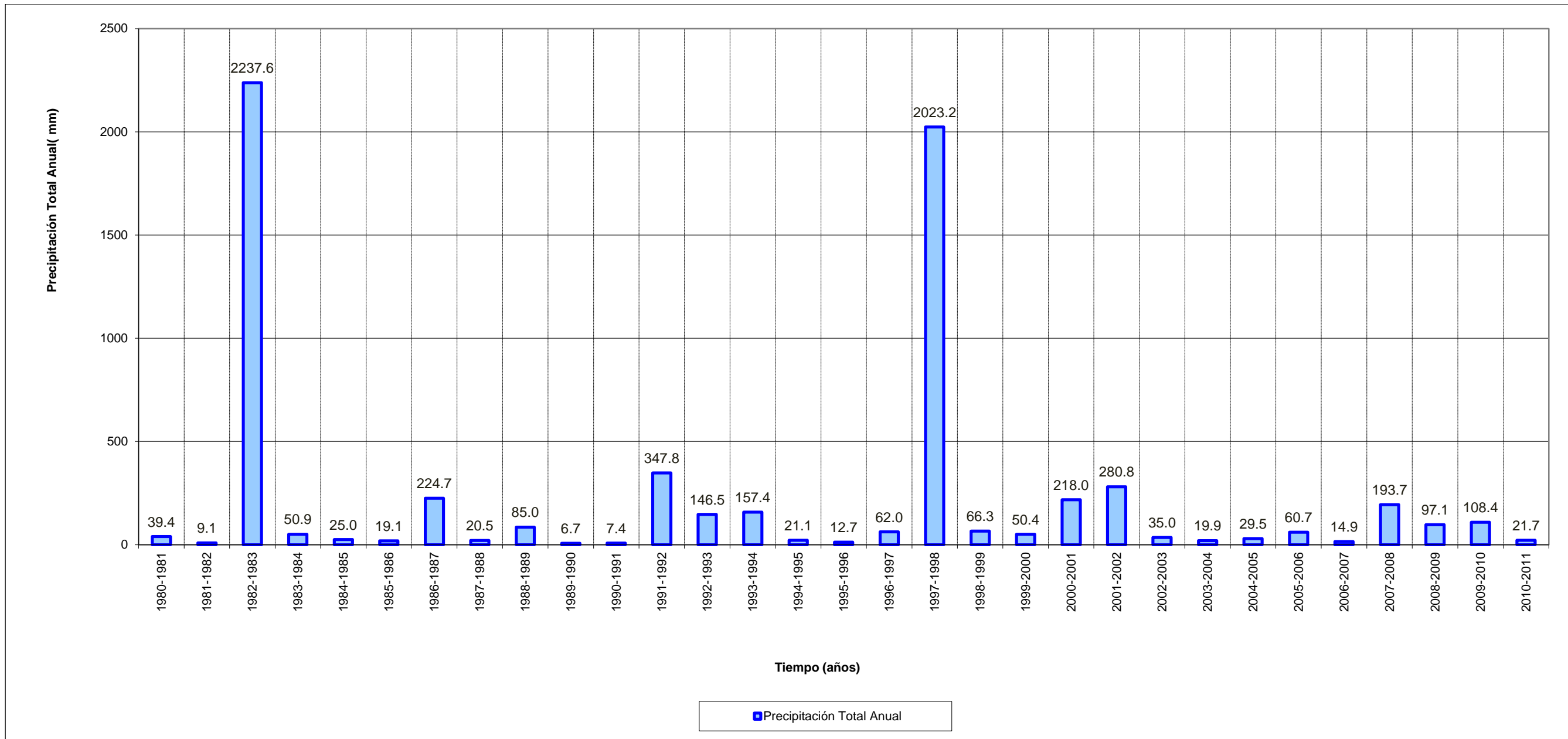
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-11. Variación temporal de precipitación, estación Miraflores, con El Niño



Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-12. Variación de precipitación total anual, estación Miraflores



Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.2 Influencia del fenómeno de El Niño

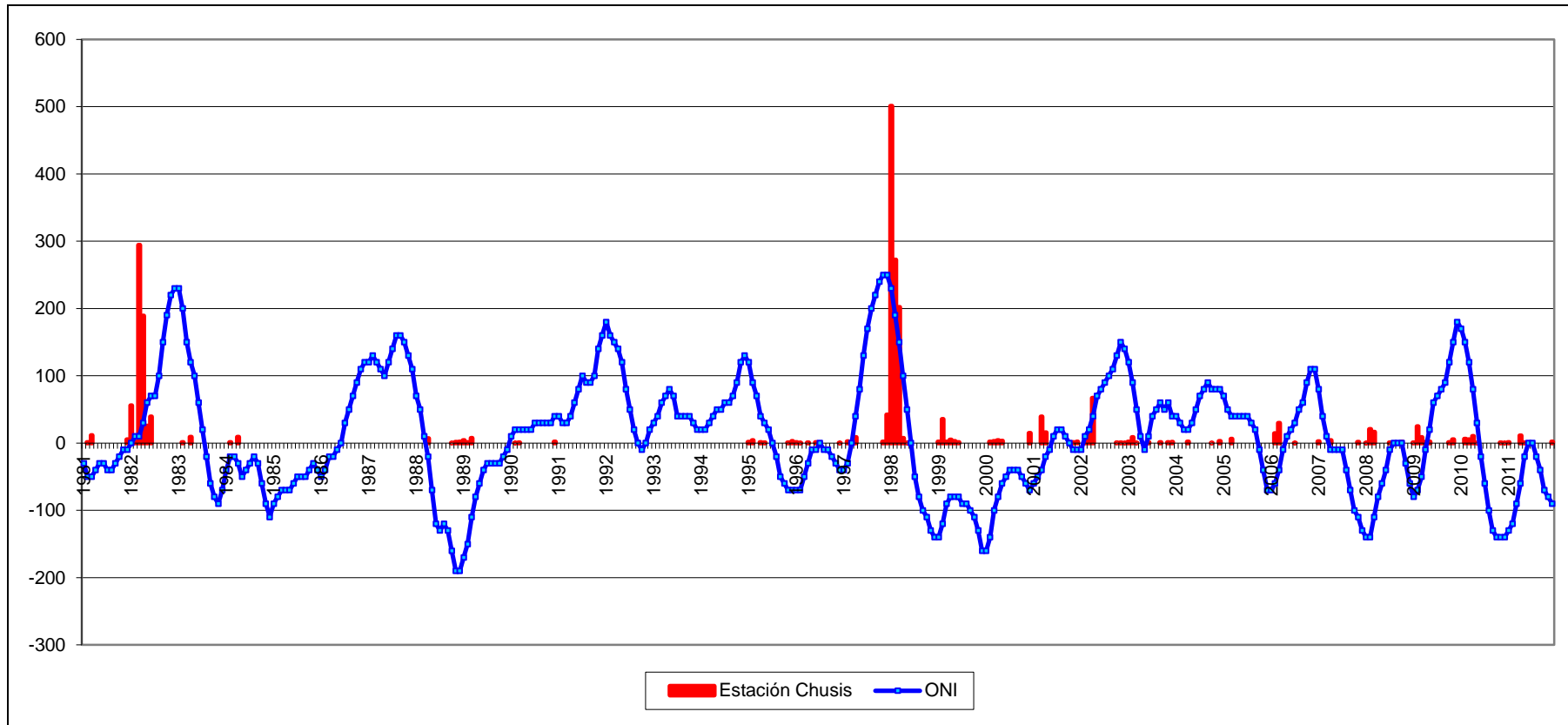
En las figuras 3.3.2-13 a 3.3.2-16, se presentan los registros históricos de precipitación comparados con los valores de ONI, para una mejor representación se multiplicó a los valores de ONI por cien unidades.

En la figura de la estación Chusis (precipitación versus ONI), se puede apreciar que los máximos valores de ONI, se presentan, al final del año hidrológico 1982-1983 y durante el año hidrológico 1997-1998, por lo tanto se puede atribuir que las precipitaciones inusuales en la zona está influenciado por la presencia del fenómeno El Niño.

El observatorio Bernal no registró precipitaciones del niño excepcional 1982-1983, pero se aprecia en el gráfico que en el periodo antes indicado los valores de ONI son elevados, asimismo, se confirma que el año hidrológico 1997-1998, los valores ONI son elevados, por lo tanto se confirma la influencia del fenómeno del niño para el observatorio analizado.

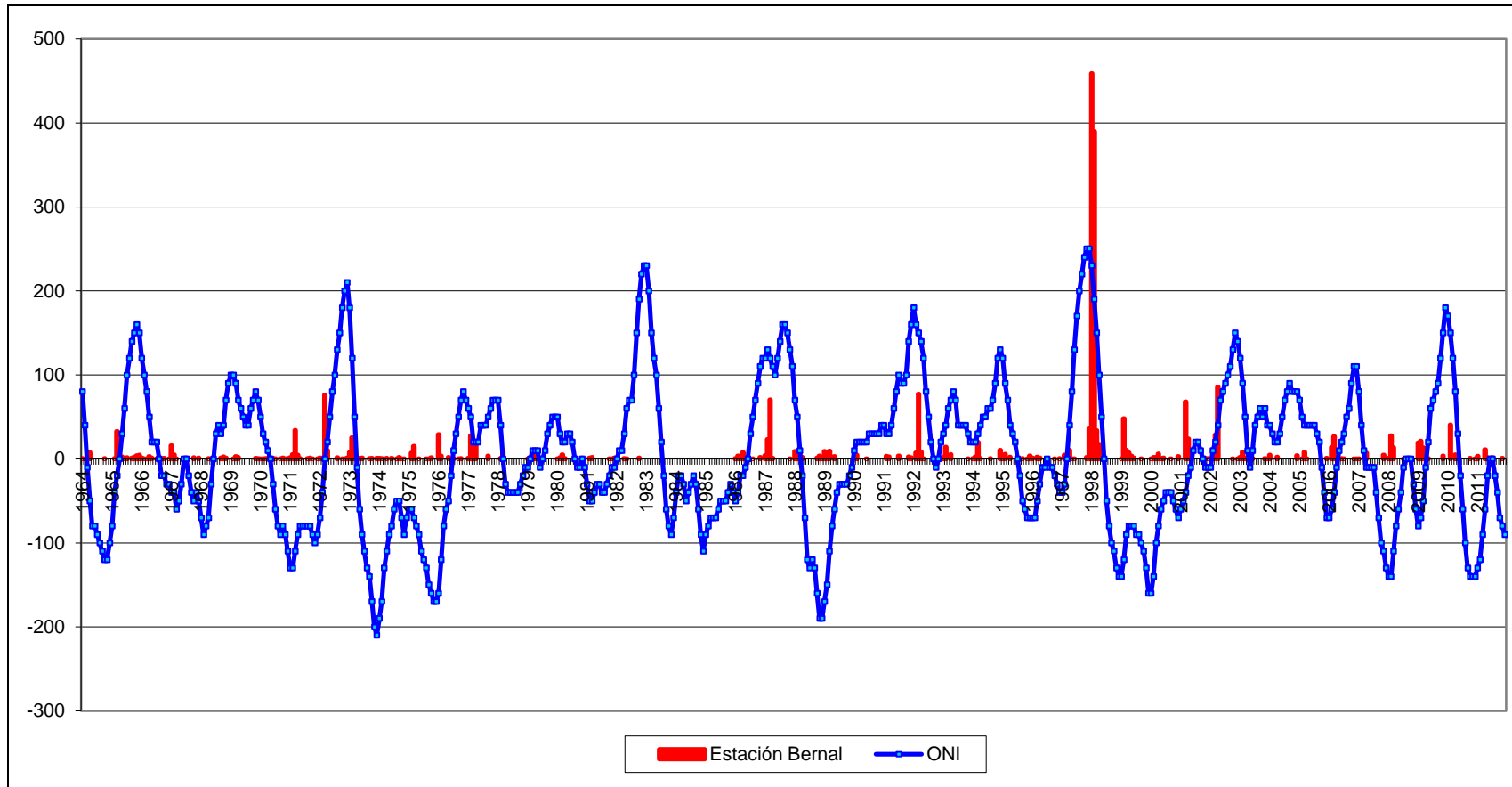
En las figuras de las estaciones San Miguel y Miraflores se observa una relación directa entre la precipitación versus los valores de ONI, se observa que las precipitaciones máximas se presentan cuando valores de ONI son máximos, por lo tanto, se concluye que los observatorios evaluados están fuertemente influenciados por el fenómeno de El Niño.

Figura 3.3.2-13. Precipitación mensual estación Chusis, ONI



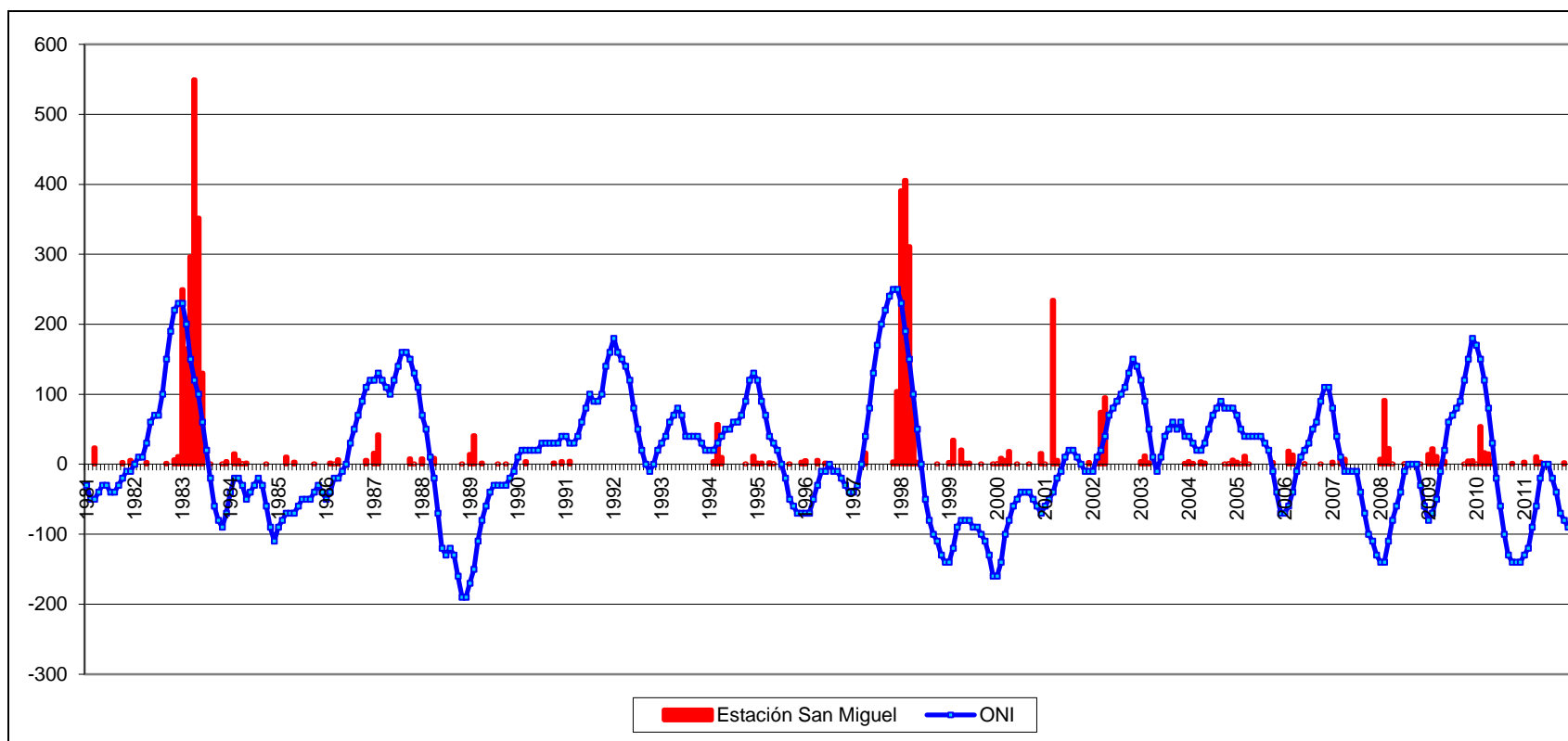
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-14. Precipitación mensual estación Bernal, ONI



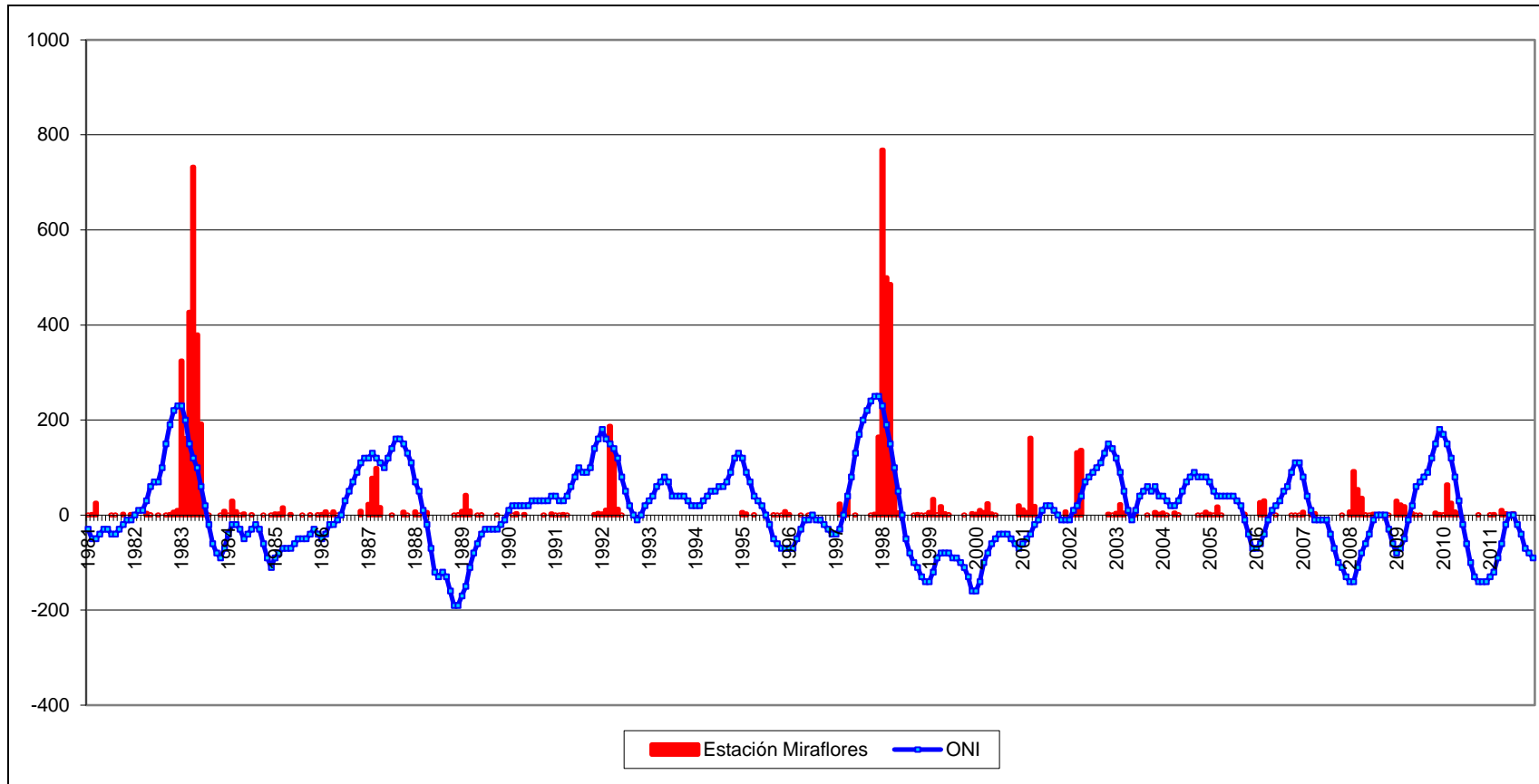
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-15. Precipitación mensual estación San Miguel, ONI



Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-161. Precipitación mensual estación Miraflores, ONI



Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.3 Análisis de temperatura

A continuación se muestra la variación mensual e interanual de la temperatura registrada en las estaciones Chusis y Bernal.

a) Temperatura mensual

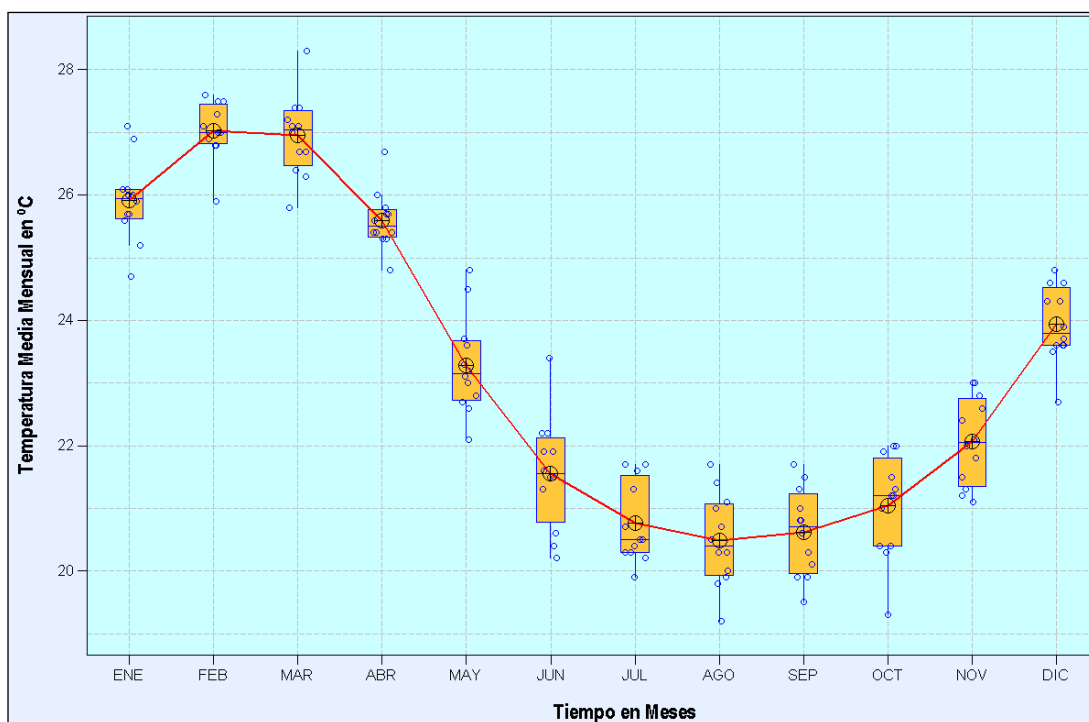
- La temperatura media mensual, presenta el valor más bajo en el mes de setiembre, mientras el valor más alto se registró en el mes de febrero y marzo.
- La temperatura mínima media mensual presenta el valor más bajo y alto en los meses de setiembre y febrero, respectivamente.
- La temperatura máxima media mensual muestra el valor más bajo y alto en los meses de marzo y setiembre, respectivamente.
- La temperatura media mensual en la estación Chusis, oscila entre 20,5 °C y 27,0 °C, siendo el promedio mensual de 23,3 °C, en tanto, la temperatura mínima media mensual, varía entre 16,6 °C y 22,5 °C, el promedio es del orden de 18,9 °C y la temperatura máxima media mensual fluctúa entre 25,7 °C y 32,6 °C, el promedio es del orden de 28,9 °C.
- La temperatura media mensual en el observatorio Bernal, varía entre 21,3 °C y 27,7 °C, siendo el promedio mensual de 24,0 °C, en tanto, la temperatura mínima media mensual, fluctúa entre 16,7 °C y 22,7 °C, el promedio es del orden de 19,0 °C y la temperatura máxima media mensual oscila entre 26,8 °C y 33,6 °C, el promedio es del orden de 29,8 °C.
- Los resultados antes indicados se muestran en el cuadro 3.3.2-13 y figuras 3.3.2-17 hasta 3.3.2-22.

Cuadro 3.3.2-13. Temperatura mensual, estaciones evaluadas

Meses	Estación Chusis			Estación Bernal		
	Temperatura media mensual en °C	Temperatura mínima media mensual en °C	Temperatura máxima media mensual en °C	Temperatura media mensual en °C	Temperatura mínima media mensual en °C	Temperatura máxima media mensual en °C
ENE	25,9	21,2	31,5	26,8	21,8	32,8
FEB	27,0	22,5	32,5	27,7	22,7	33,6
MAR	27,0	22,2	32,6	27,4	22,2	33,3
ABR	25,6	20,6	31,6	26,1	20,5	32,1
MAY	23,3	18,6	29,0	23,7	18,8	29,3
JUN	21,6	17,7	26,5	22,3	18,0	27,4
JUL	20,8	17,1	25,7	21,7	17,4	26,8
AGO	20,5	16,8	25,7	21,3	16,9	27,0
SEP	20,6	16,6	26,5	21,5	16,7	27,7
OCT	21,0	16,9	26,9	21,7	16,7	27,9
NOV	22,1	17,3	28,0	22,9	17,5	29,2
DIC	23,9	19,1	29,8	24,5	19,0	30,7

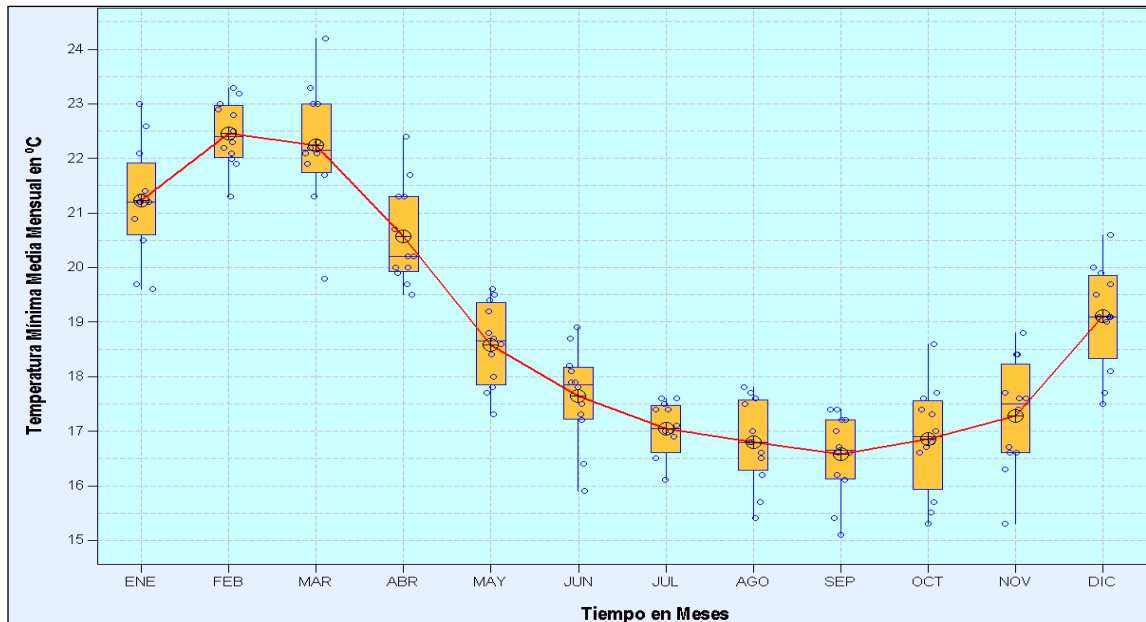
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Figura 3.3.2-17. Variación temporal de temperatura media mensual, estación Chusis



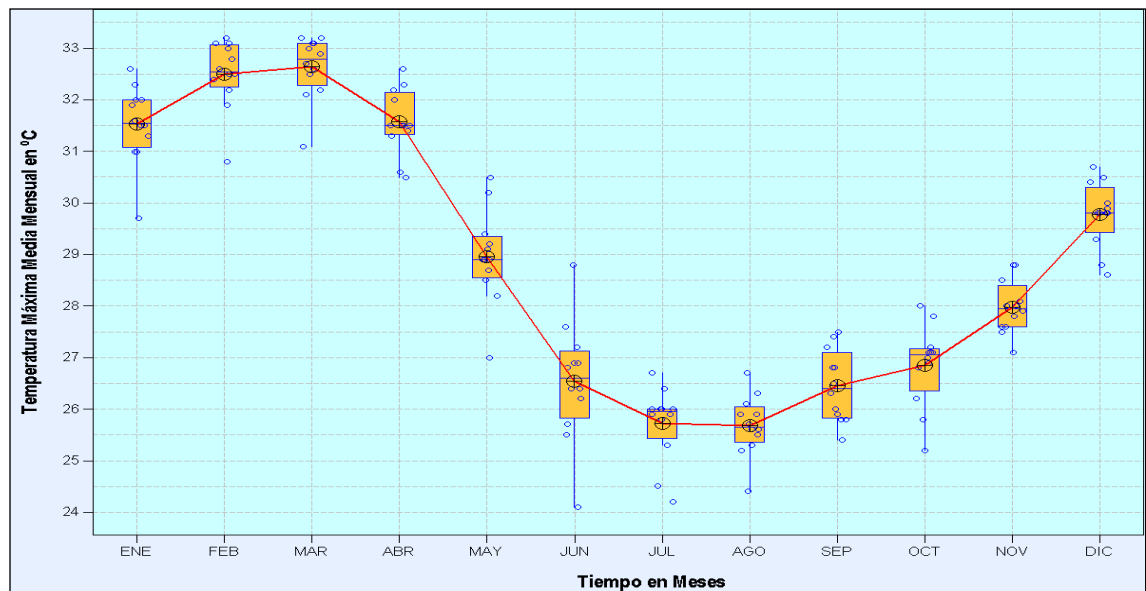
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-18. Variación temporal de temperatura mínima media mensual, estación Chusis



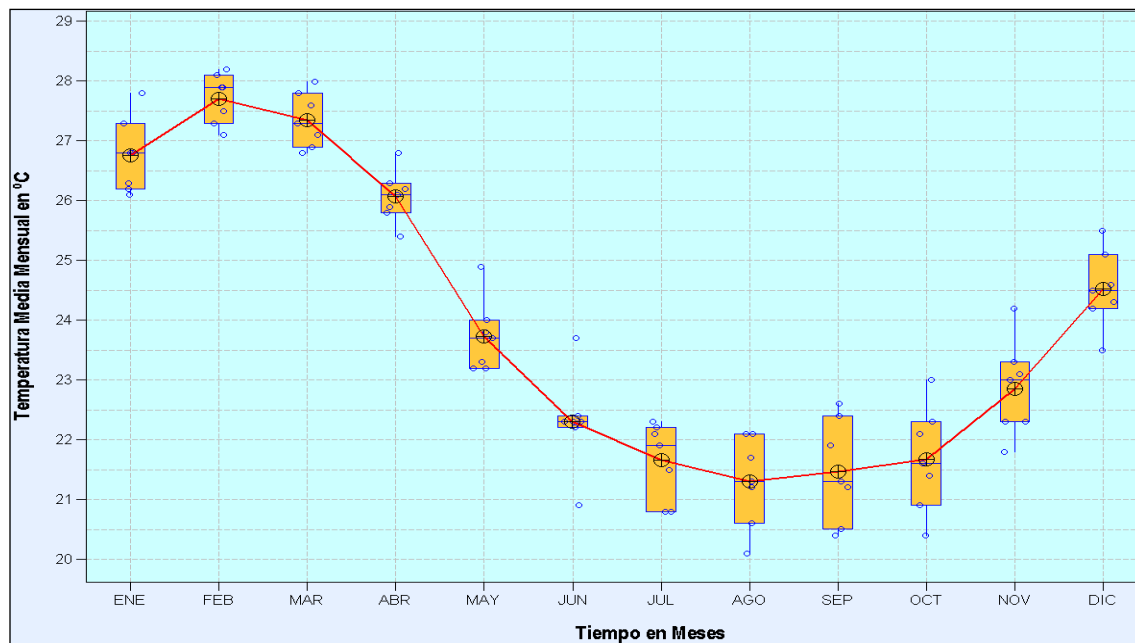
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-192. Variación temporal de temperatura máxima media mensual, estación Chusis



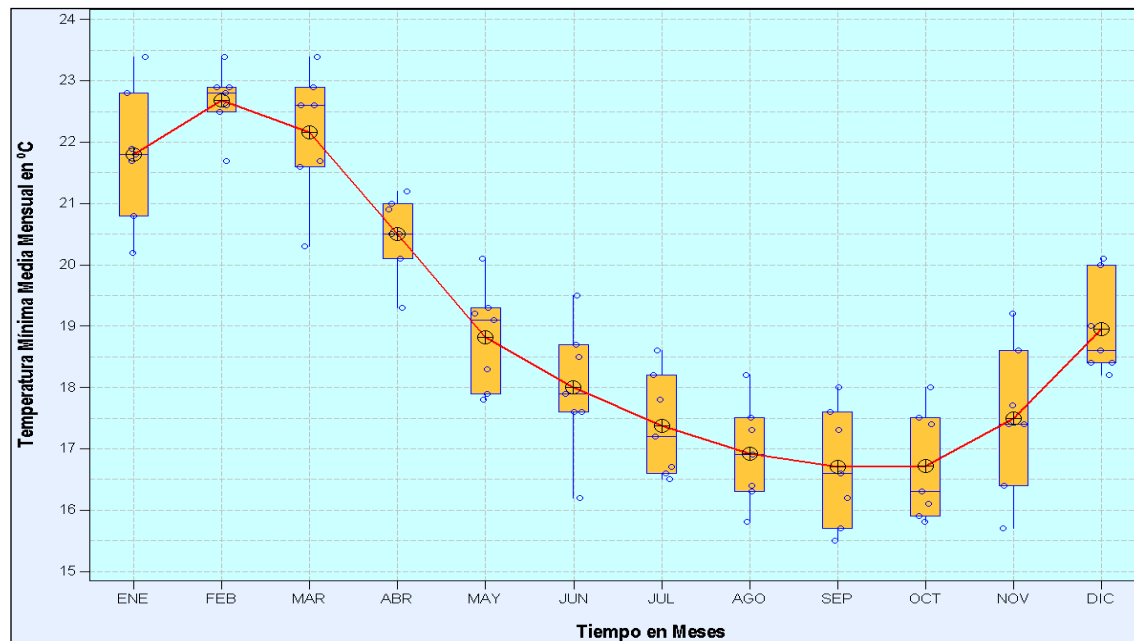
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-20. Variación temporal de temperatura media mensual, estación Bernal



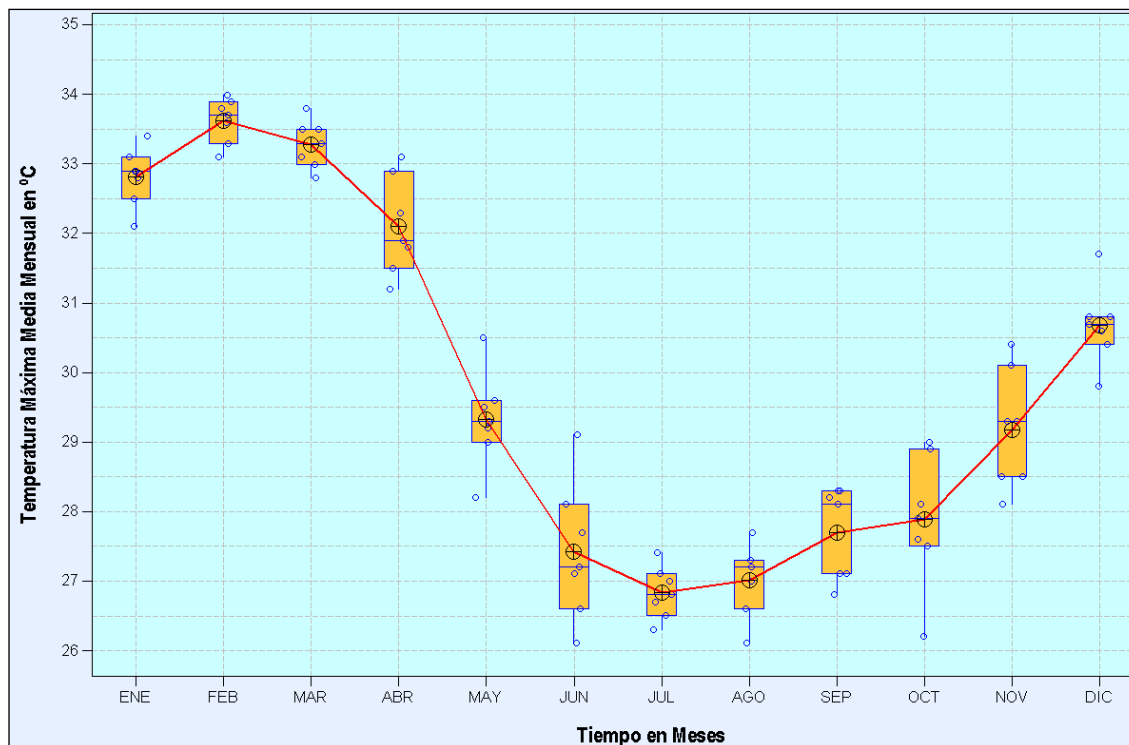
Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-21. Variación temporal de temperatura mínima media mensual, estación Bernal



Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-22. Variación temporal de temperatura máxima media mensual, estación Bernal

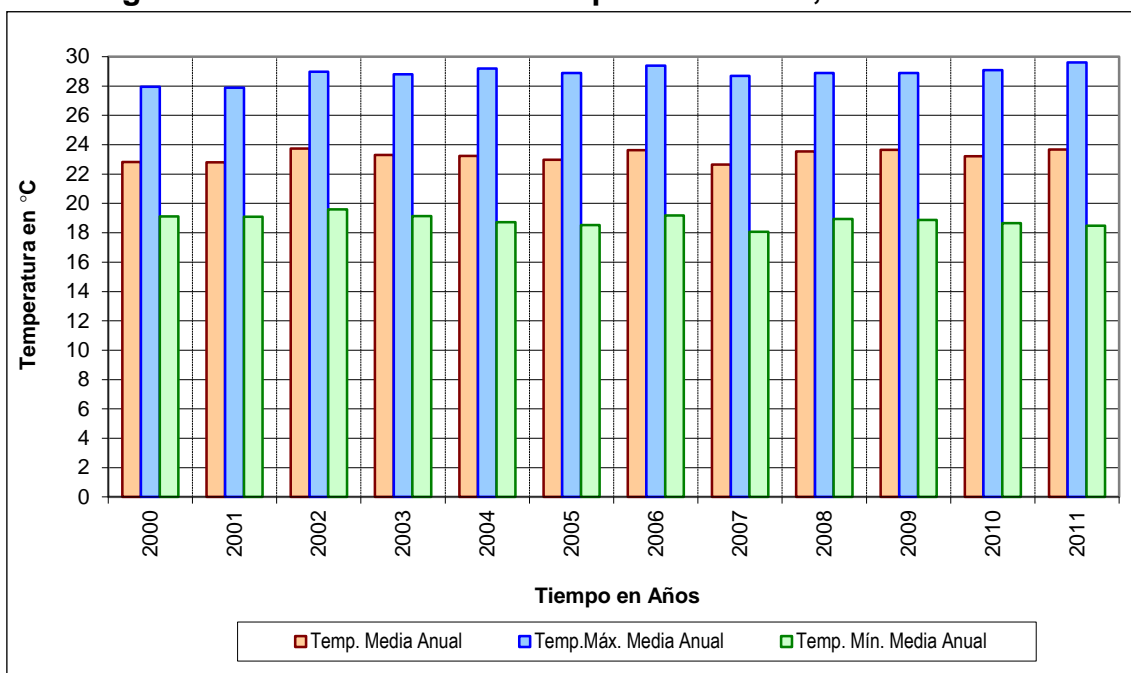


Elaboración: BISA, 2012.

B) Temperatura media anual

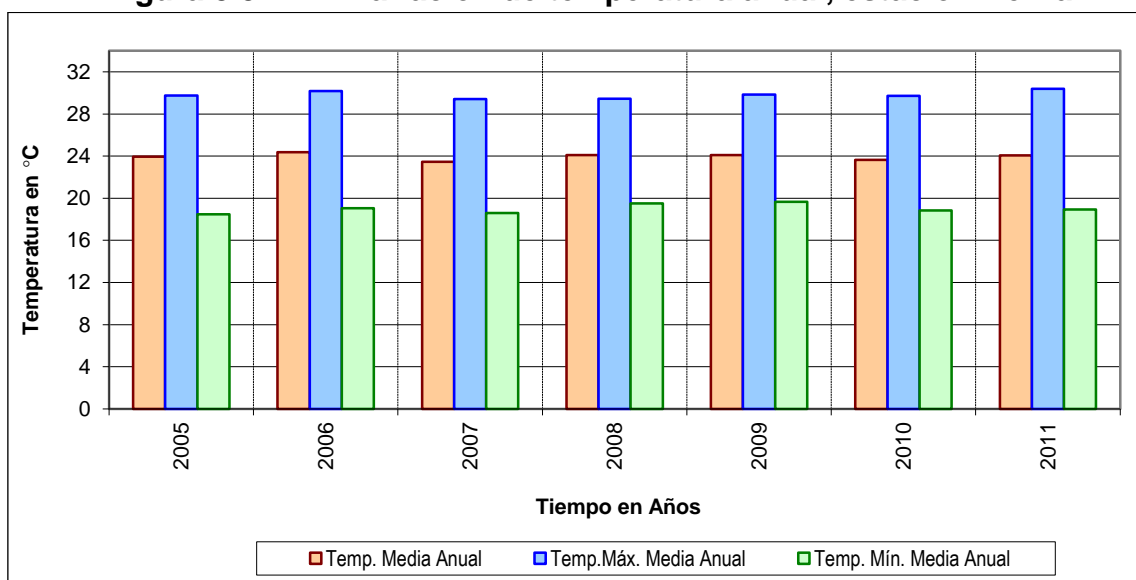
- La temperatura media anual en la estación Chusis, oscila entre 22,6 °C y 23,8 °C, siendo el promedio anual de 23,3 °C, en tanto, la temperatura mínima media anual, varía entre 18,1 °C y 19,6 °C, el promedio es del orden de 18,9 °C y la temperatura máxima media anual fluctúa entre 27,9 °C y 29,6 °C, el promedio es del orden de 28,9 °C.
- La temperatura media anual en el observatorio Bernal, fluctúa entre 23,5 °C y 24,4 °C, siendo el promedio anual de 24,0 °C, en tanto, la temperatura mínima media anual, oscila entre 18,5 °C y 19,7 °C, el promedio es del orden de 19,0 °C y la temperatura máxima media anual fluctúa entre 29,4 °C y 30,4 °C, el promedio es del orden de 29,8 °C, además se aprecia en las figuras 3.3.2-23 y 3.3.2-24.

Figura 3.3.2-23. Variación de temperatura anual, estación Chusis



Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-24. Variación de temperatura anual, estación Bernal



Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.4 Análisis de humedad relativa

A continuación se muestra la variación mensual e interanual de humedad relativa registrada en las estaciones Chusis y Bernal.

a) Humedad relativa mensual

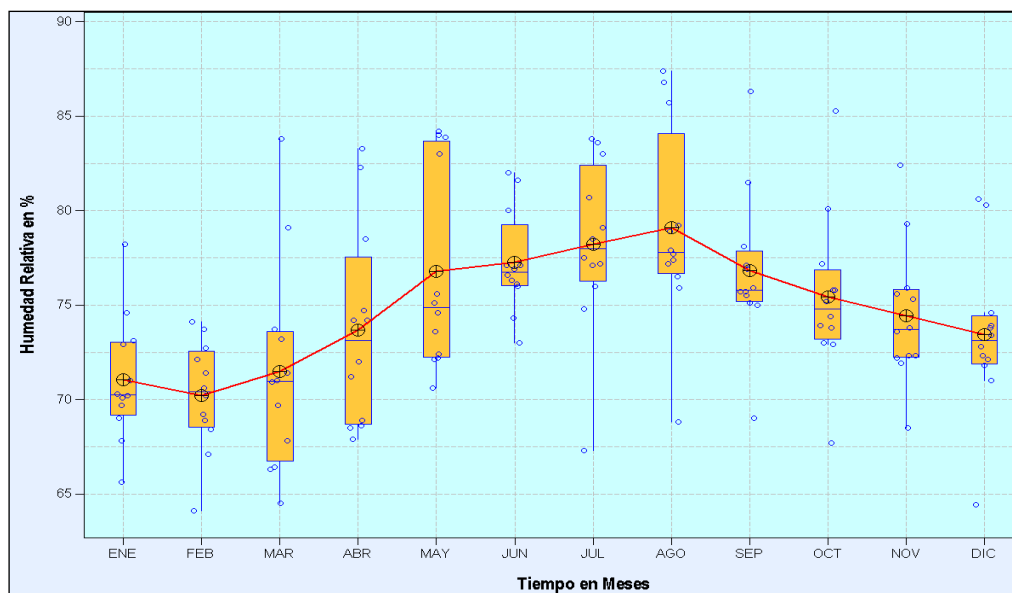
- La humedad relativa media mensual en la estación Chusis, muestra que el valor más bajo se observa en el mes de febrero y el valor pico se presenta en el mes de agosto, mientras en la estación Bernal, el valor mínimo y máximo se presenta en los meses de enero y mayo, respectivamente.
- La humedad relativa media mensual, registrada en la estación Chusis, varía entre 70,2 % y 79,1 %, el promedio es de 74,8 %.
- La humedad relativa media mensual, medida en el observatorio Bernal oscila entre 73,6 % y 79,8 %, el promedio es de 76,2 %.
- Los resultados antes indicados se muestran en el cuadro 3.3.2-14 y figuras 3.3.2-25 y 3.3.2-26.

Cuadro 3.3.2-14. Variación de Humedad Relativa Media Mensual en %

Mes	Estación Chusis	Estación Bernal
ENE	71,0	73,6
FEB	70,2	74,2
MAR	71,5	74,4
ABR	73,7	75,6
MAY	76,8	79,8
JUN	77,3	79,5
JUL	78,2	78,5
AGO	79,1	78,1
SEP	76,8	76,6
OCT	75,4	75,4
NOV	74,4	74,4
DIC	73,4	74,0

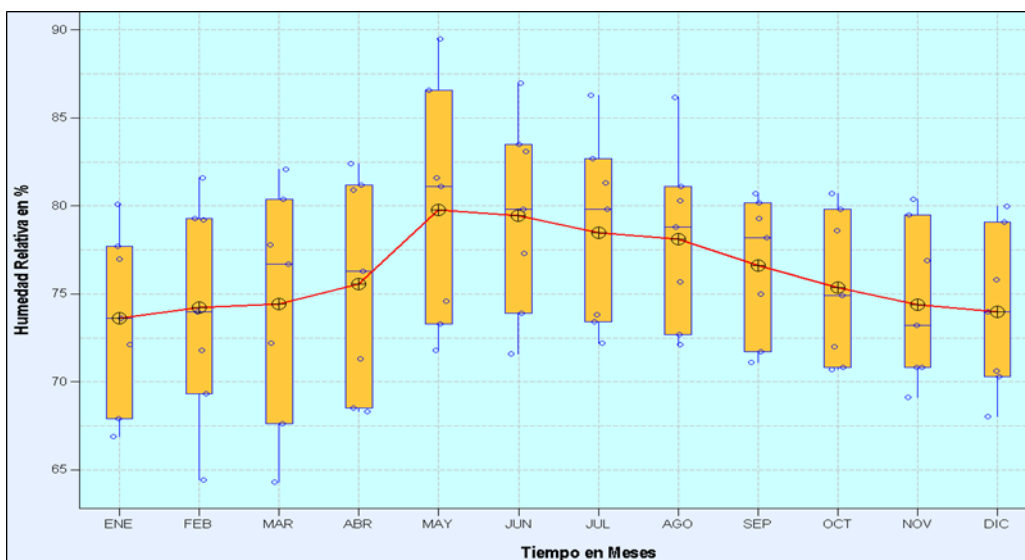
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Figura 3.3.2-25. Variación temporal de humedad relativa mensual, estación Chusis



Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-26. Variación temporal de humedad relativa mensual, estación Bernal

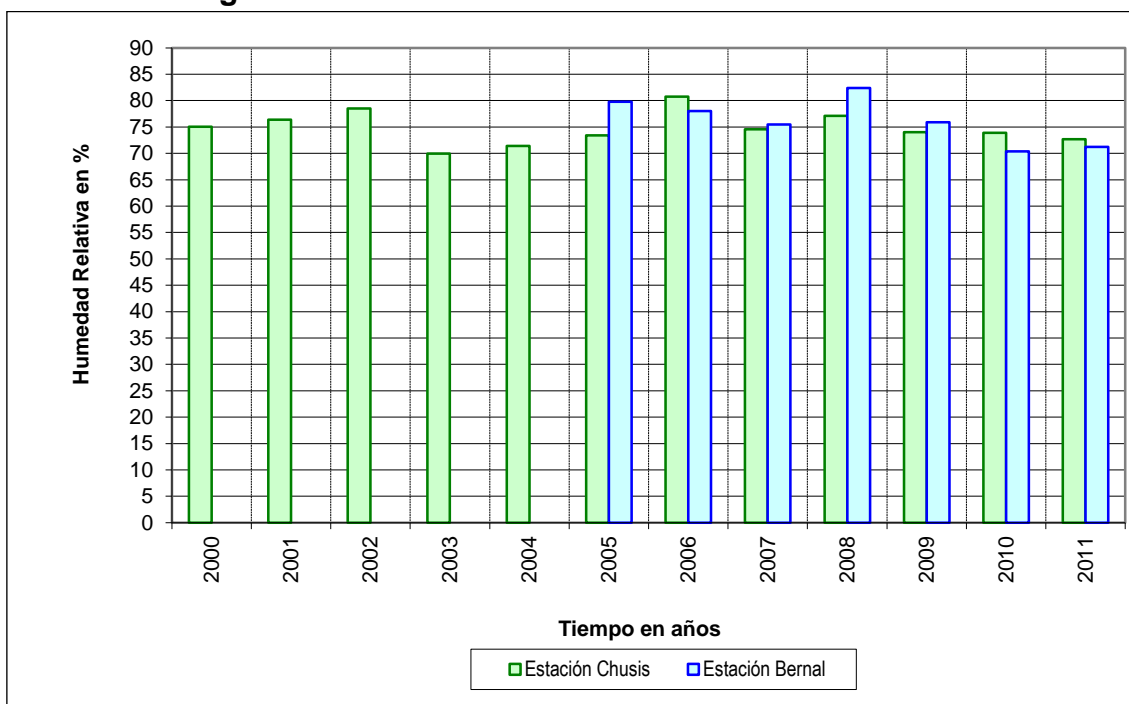


Elaboración: BISA, 2012.

b) Humedad relativa anual

- La humedad relativa media anual en la estación Chusis fluctúa entre 70,0 % hasta 80,8 %, el promedio anual es de 74,8 %.
- La humedad relativa media anual en el observatorio Bernal oscila entre 70,4 % hasta 82,4 %, el promedio anual es de 76,2 %.
- La variación interanual de humedad relativa se aprecia en la figura 3.3.2-27.

Figura 3.3.2-27. Variación de humedad relativa anual



Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.5 Análisis de evaporación

A continuación se muestra la variación mensual e interanual de evaporación monitoreada en la estación Chusis.

a) Evaporación mensual

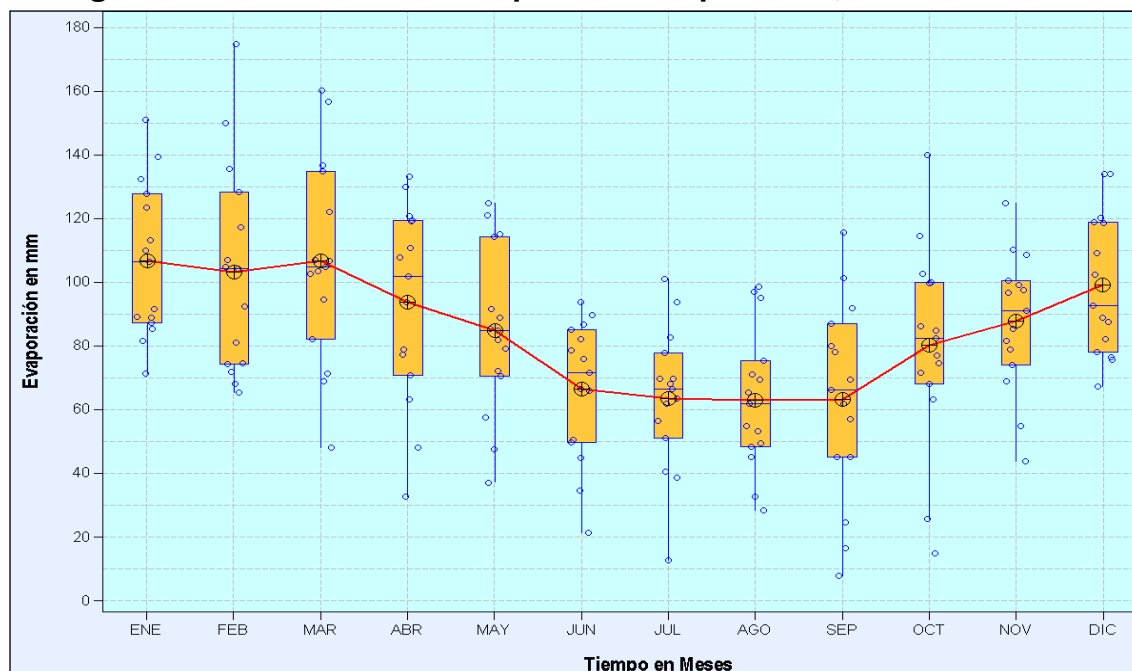
- La evaporación mensual en la estación Chusis muestran que los mayores valores se presentan en los meses de enero y marzo y en menor intensidad en los meses de junio y setiembre.
- En la estación Chusis la evaporación promedio mensual oscila entre 63,0 mm hasta 106,7 mm, siendo el promedio del orden de 84,9 mm.
- Los resultados antes indicados se muestran en el cuadro 3.3.2-15 y figura 3.3.2-28.

Cuadro 3.3.2-15. Variación de evaporación media mensual en mm

Mes	Estación Chusis
ENE	106,6
FEB	103,3
MAR	106,7
ABR	93,8
MAY	84,8
JUN	66,5
JUL	63,6
AGO	63,0
SEP	63,1
OCT	80,4
NOV	87,8
DIC	99,1

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI.

Figura 3.3.2-28. Variación temporal de evaporación, estación Chusis

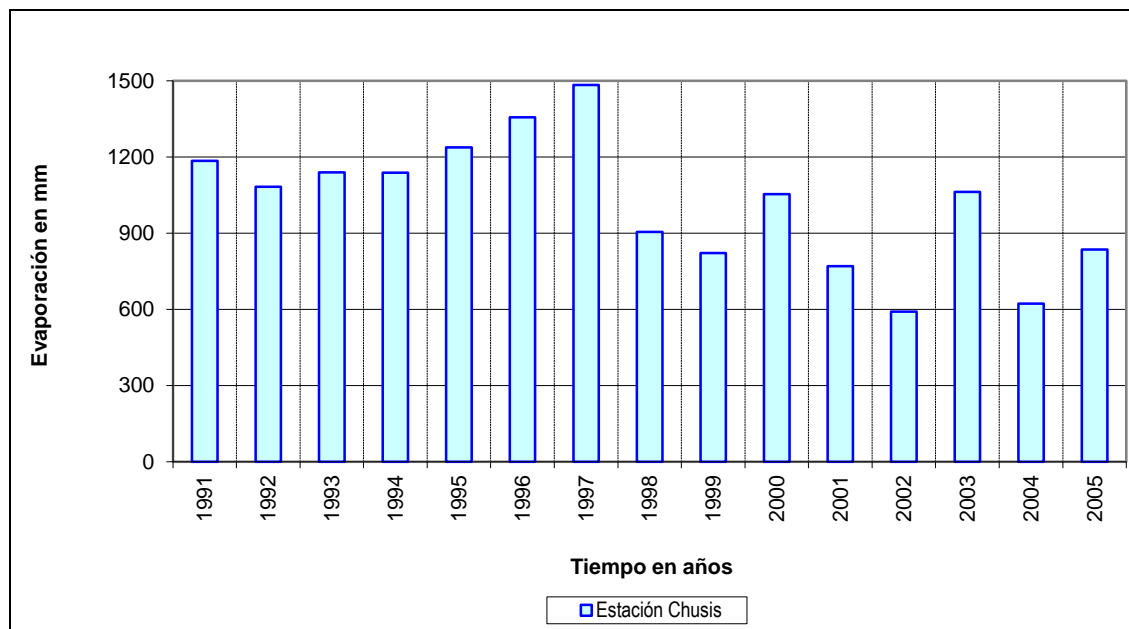


Elaboración: BISA, 2012.

b) Evaporación anual

- La evaporación total anual en la estación Chusis, varía entre 591,4 mm y 1483,1 mm, el promedio es del orden de 1018,8 mm.
- La variación interanual de evaporación se aprecia en la figura 3.3.2-29.

Figura 3.3.2-29. Variación de evaporación total anual



Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.6 Análisis de horas de sol

A continuación se muestra la variación mensual e interanual de horas de sol monitoreada en la estación Chusis.

a) Horas de sol mensual

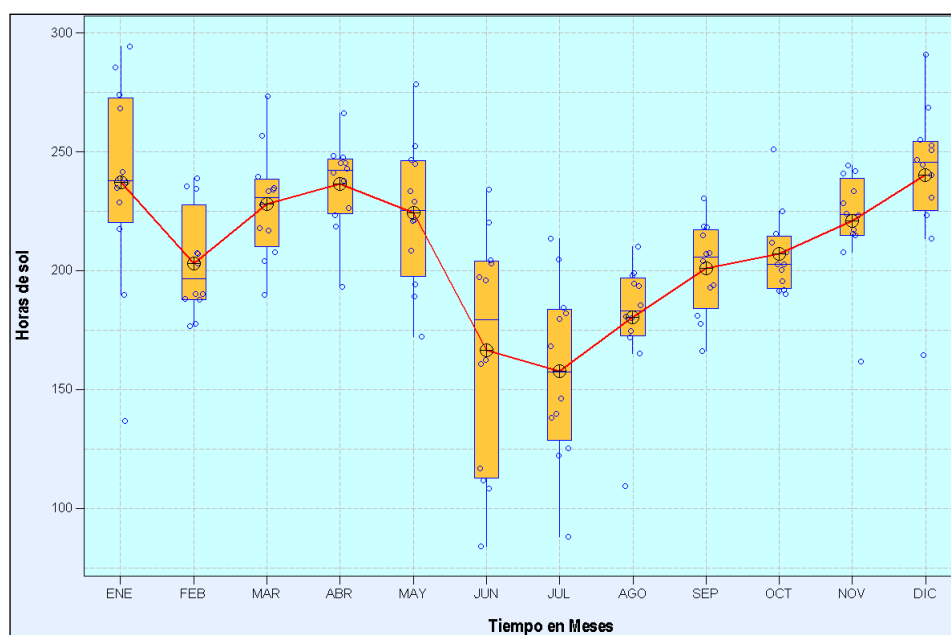
- Los valores máximos de horas de sol se registran durante los meses de enero hasta marzo, mientras los valores más bajos se presentan en los meses de junio y setiembre.
- Las horas de sol media mensual oscila entre 63,0 horas y 106,7 horas, siendo el promedio de 84,9 horas.
- Los resultados antes indicados se aprecian en el cuadro 3.3.2-16 y figura 3.3.2-30.

Cuadro 3.3.2-16. Horas de sol media mensual

Meses	Horas de sol media mensual
ENE	106,6
FEB	103,3
MAR	106,7
ABR	93,8
MAY	84,8
JUN	66,5
JUL	63,6
AGO	63,0
SEP	63,1
OCT	80,4
NOV	87,8
DIC	99,1

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Figura 3.3.2-30. Variación temporal de horas de sol media mensual

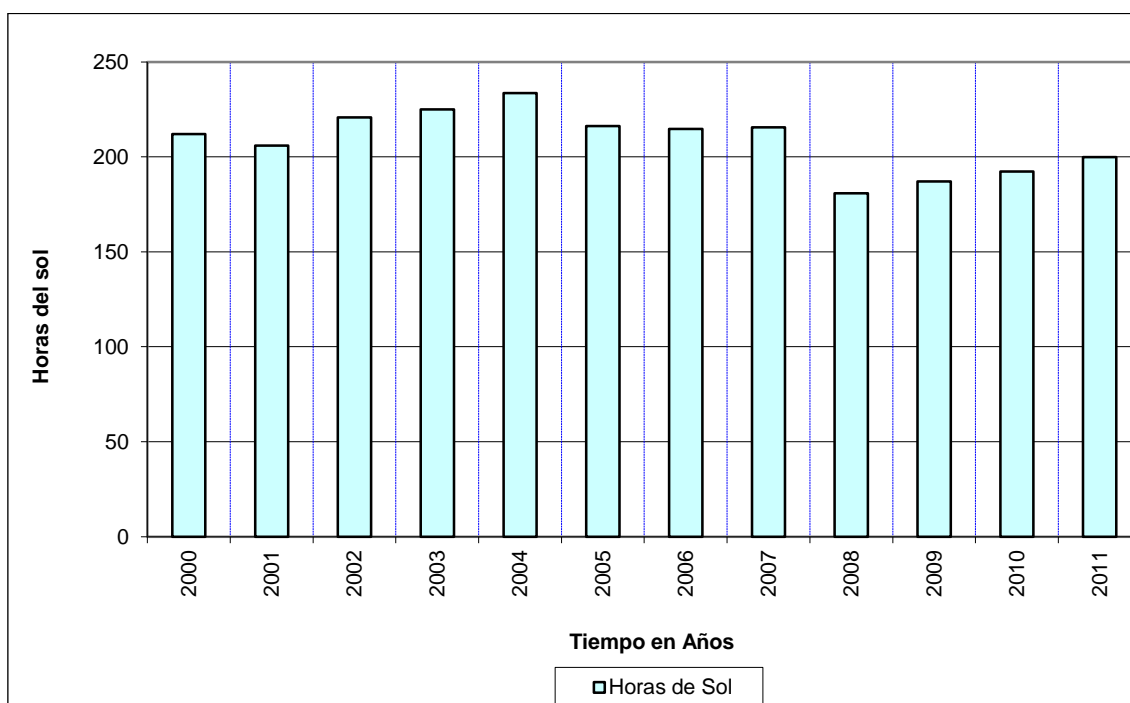


Elaboración: BISA, 2012.

b) Horas de sol anual

- Las horas de sol promedio anual es del orden de 208,7 horas, en tanto, las horas de sol máxima anual es del orden de 233,6 horas y las horas de sol mínima anual es de 180,9 horas
- La variación interanual de horas del sol se aprecia en la figura 3.3.2-31.

Figura 3.3.2-31. Variación de horas de sol media anual



Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.7 Análisis de viento

A continuación se muestra la variación mensual e interanual de velocidad del viento, además del análisis de frecuencia y rosa de vientos en base a la data histórica registrada en las estaciones Chusis y Bernal.

a) Velocidad mensual del viento

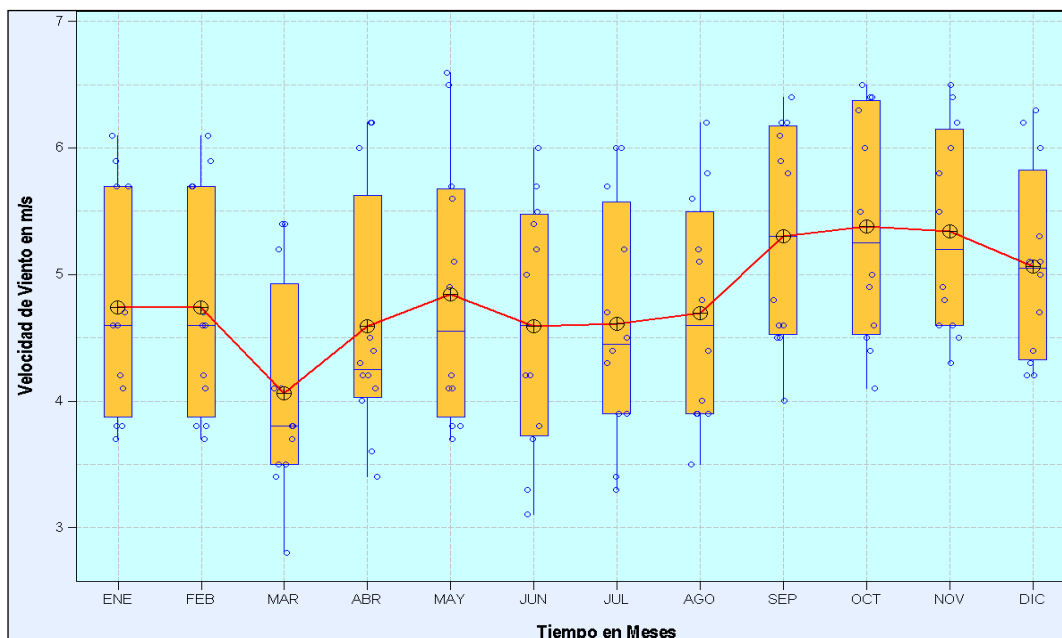
- La velocidad media mensual del viento en la estación Chusis, presenta el valor más bajo en el mes de marzo y los valores más altos en los meses de setiembre y diciembre.
- La velocidad media mensual del viento en el observatorio Bernal, presenta el valor más bajo en el mes de marzo y los valores más altos en los meses de agosto y diciembre.
- La velocidad media mensual en la estación Chusis varía entre 4,1 m/s y 5,4 m/s, siendo el promedio del orden de 4,8 m/s.
- La velocidad media mensual en la estación Bernal oscila entre 4,7 m/s y 7,3 m/s, siendo el promedio del orden de 6,0 m/s.
- Los resultados antes indicados se aprecian en el cuadro 3.3.2-17 y figuras 3.3.2-32 y 3.3.2-33.

Cuadro 3.3.2-17. Velocidad media mensual del viento en m/s

Meses	Estación Chusis	Estación Bernal
ENE	4,7	5,3
FEB	4,7	5,3
MAR	4,1	4,7
ABR	4,6	4,8
MAY	4,8	5,9
JUN	4,6	5,8
JUL	4,6	6,1
AGO	4,7	6,8
SEP	5,3	7,3
OCT	5,4	7,1
NOV	5,3	6,7
DIC	5,1	6,6

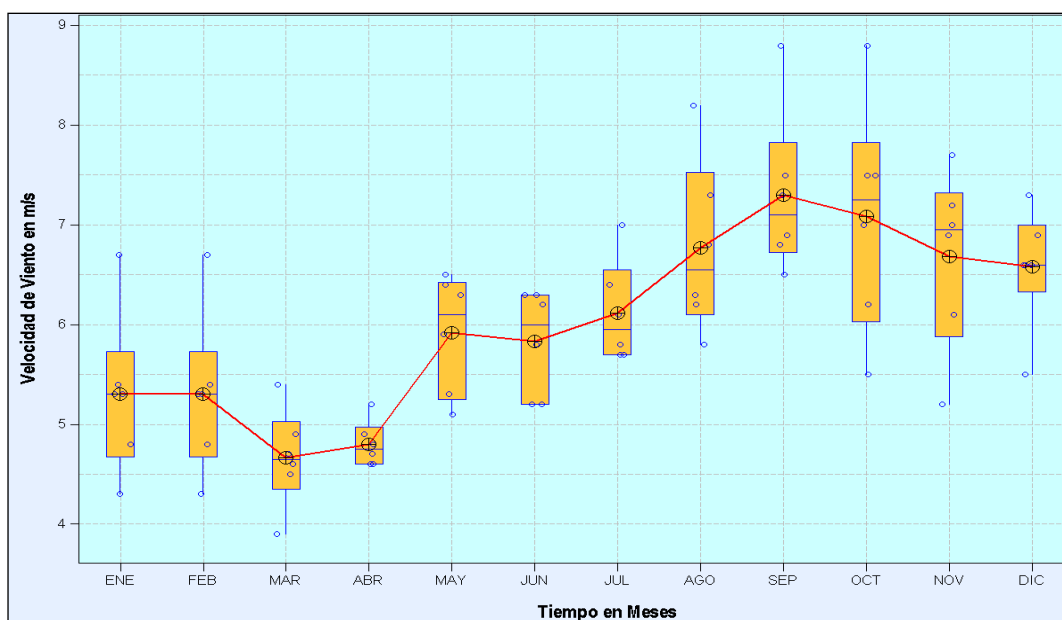
Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

Figura 3.3.2-32. Variación temporal de velocidad del viento, estación Chusis



Elaboración: BISA, 2012.

Figura 3.3.2-33. Variación temporal de velocidad del viento, estación Bernal

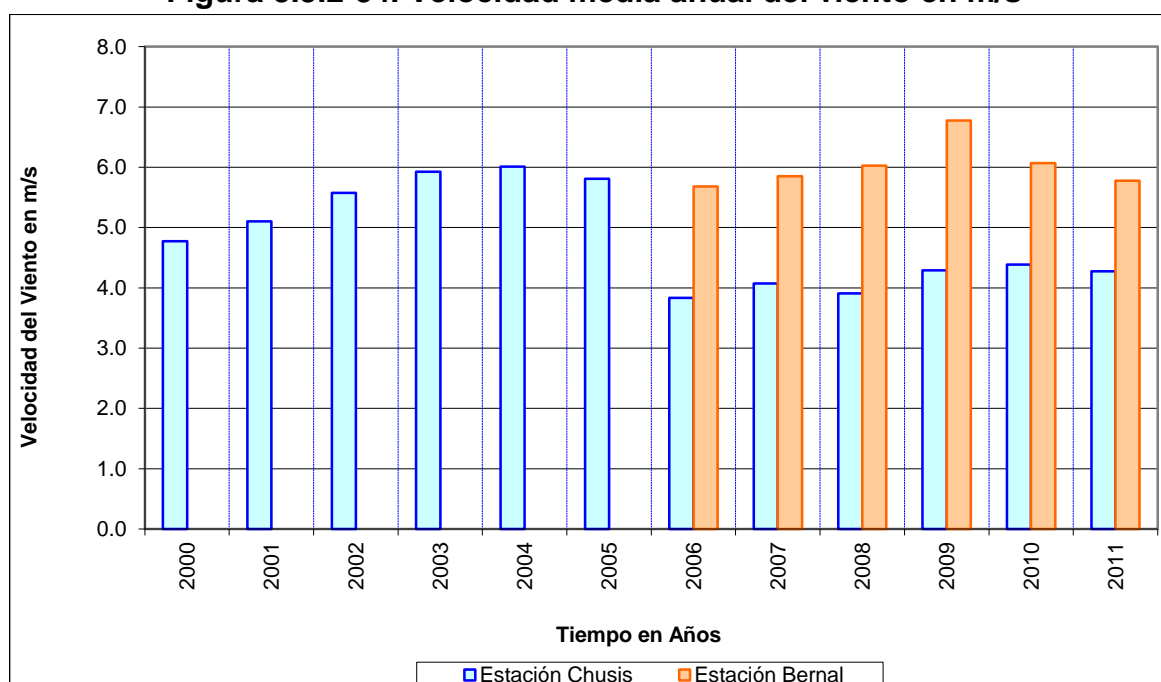


Elaboración: BISA, 2012.

b) Velocidad media anual del viento

- La velocidad media anual registrada en la estación Chusis, oscila entre 3,8 m/s y 6,0 m/s, siendo el promedio de 4,8 m/s, y la velocidad media anual en el observatorio Bernal varía entre 5,7 m/s y 6,8 m/s, el promedio es del orden de 6,0 m/s.
- La variación interanual de velocidad de viento se aprecia en la figura 3.3.2-34.

Figura 3.3.2-34. Velocidad media anual del viento en m/s



Elaboración: BISA, 2012.

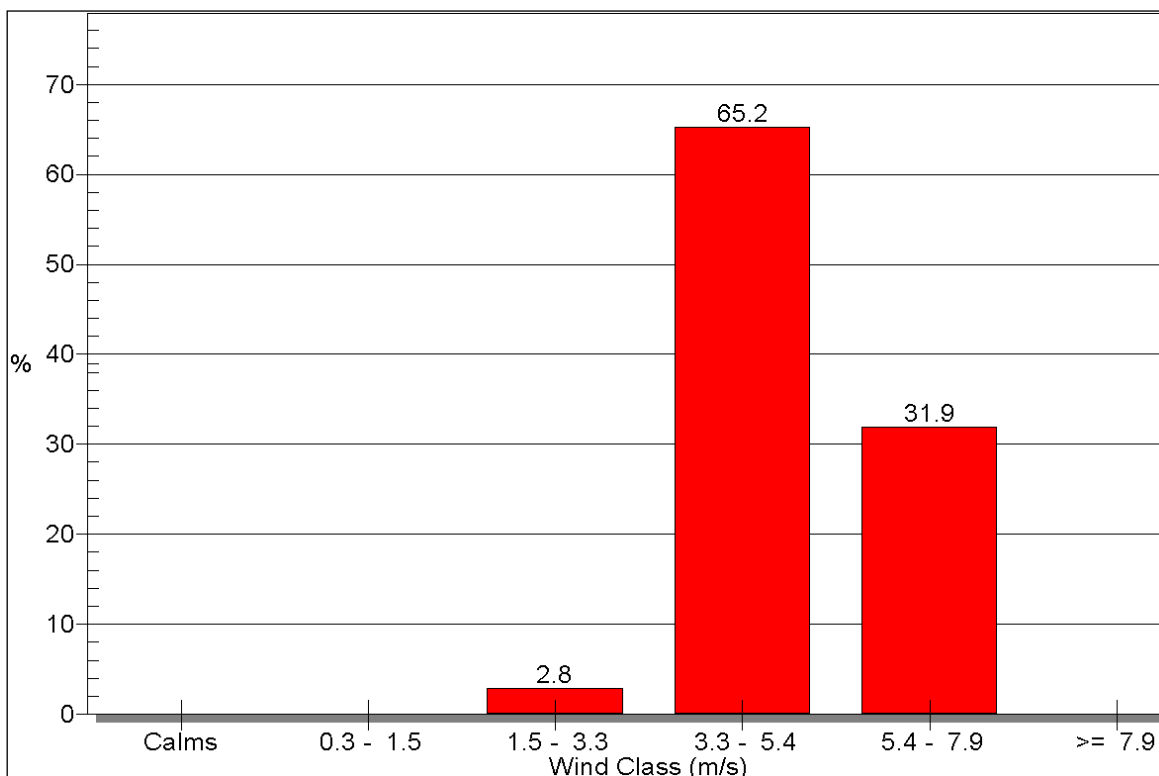
c) Frecuencia de velocidad de viento

c.1) Estación Chusis

La velocidad del viento predominante varía de 3,3 y 5,4 m/s, con una frecuencia del 65,2 %, clasificándose según la escala Beaufort como brisa débil y en menor ocurrencia los vientos presentan la siguiente variación: velocidad de viento que oscila entre 5,4 y 7,9 m/s, con una frecuencia de 31,9 %, se clasifica como brisa moderada y la velocidad de viento que fluctúa entre 1,5 y 3,3 m/s, con una

frecuencia de 2,8 %, se clasifica como brisa ligera, en la figura 3.3.2-35 se aprecia lo antes indicado.

Figura 3.3.2-35. Distribución de frecuencia de velocidad del viento, estación Chusis

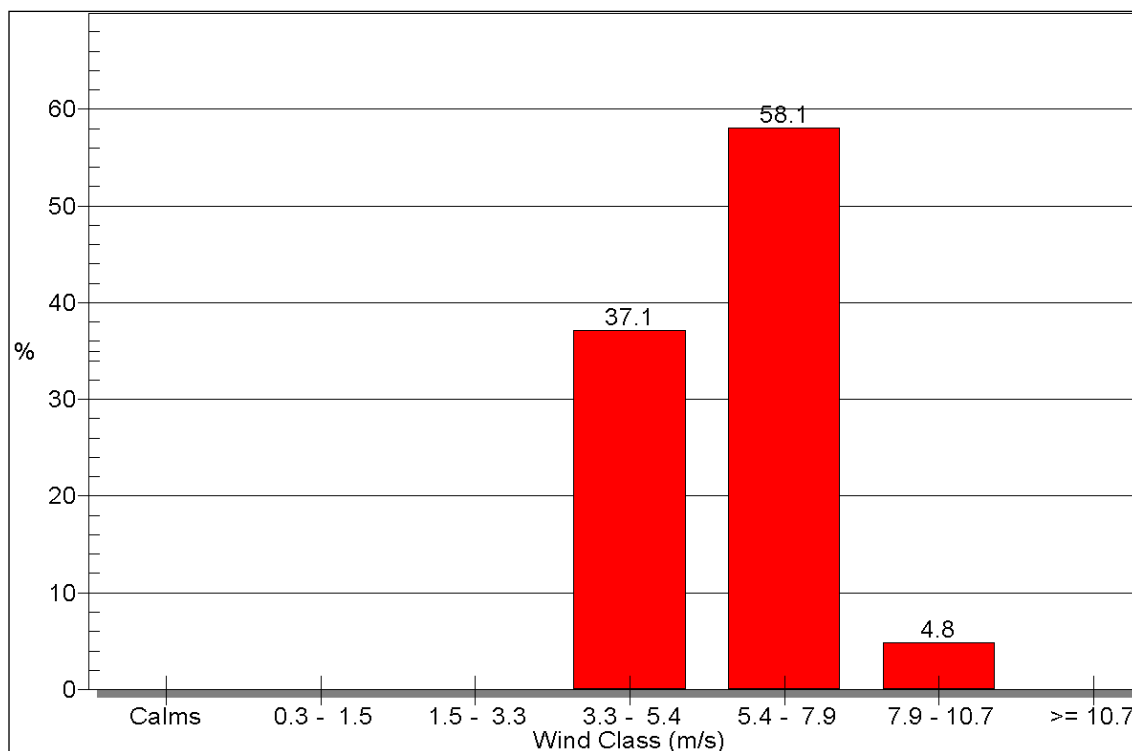


Elaboración: BISA, 2012.

c.2) Frecuencia de velocidad de viento - estación Bernal

La velocidad del viento predominante varía de 5,4 y 7,9 m/s, con una frecuencia del 58,1 %, clasificándose según la escala Beaufort como brisa moderada y en menor ocurrencia los vientos presentan la siguiente variación: velocidad de viento que oscila entre 3,3 y 5,4 m/s, con una frecuencia de 37,1 %, se clasifica como brisa débil y la velocidad de viento que fluctúa entre 7,9 y 10,7 m/s, con una frecuencia de 4,8 %, se clasifica como brisa fresca, en la figura 3.3.2-36 se aprecia lo antes indicado.

Figura 3.3.2-36. Distribución de frecuencia de velocidad del viento, estación Bernal



Elaboración: BISA, 2012.

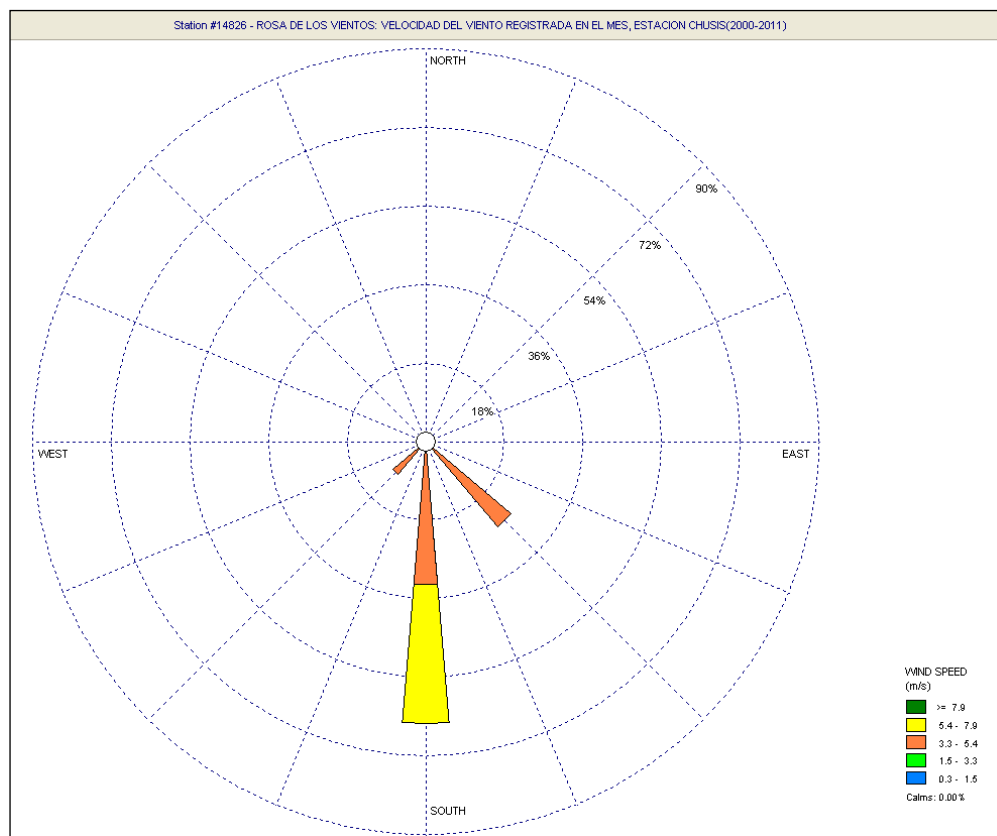
d) Dirección del viento

Para el estudio de la dirección predominante del viento, se analizaron las estaciones Chusis y Bernal y se utilizó la rosa de vientos para clasificar dirección del viento.

d.1) Estación Chusis

La dirección predominante de vientos registrada en la estación Chusis es la dirección Sur (S) con una frecuencia de 64,5 % y en menor ocurrencia se presentan las siguientes direcciones: dirección Sur Este (SE) con una frecuencia de 25,6 % y la dirección Sur Oeste (SW) con una frecuencia de 9,9 %, la distribución de las frecuencias se muestra en la rosa de vientos, con sus respectivas velocidades y se visualiza en la figura 3.3.2-37.

Figura 3.3.2-37. Rosa de los vientos, estación Chusis

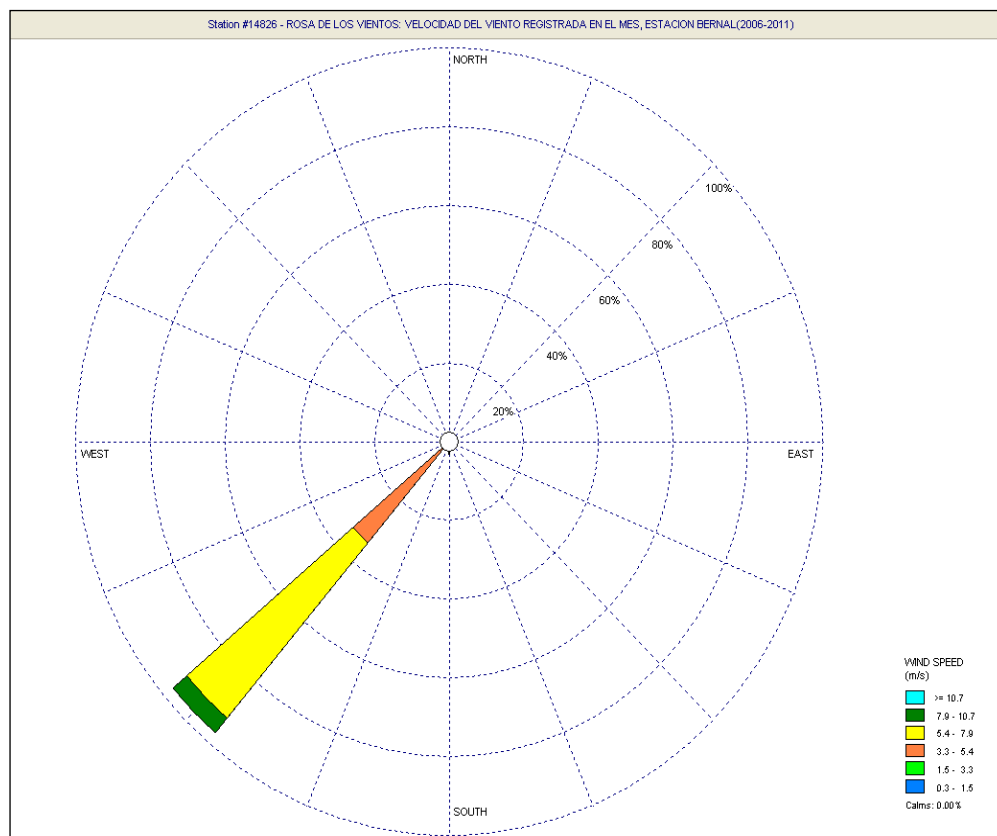


Elaboración: BISA, 2012.

d.2) Estación Bernal

La dirección predominante de vientos registrada en la estación Bernal es la dirección sur oeste (SW) con una frecuencia de 96,8 % y en la dirección sur (S) con una frecuencia de 3,2 %, la distribución de las frecuencias se muestra en la rosa de vientos, con sus respectivas velocidades y se visualiza en la figura 3.3.2-38.

Figura 3.3.2-38. Rosa de los vientos, estación Bernal



Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.8 Evapotranspiración potencial (ETP)

a) Estación Chusis

- La evapotranspiración potencial en la estación Chusis varía entre 3,19mm/día hasta 5,27mm/día, el promedio es de 4,16mm/día, además la evapotranspiración total anual es del orden de 1513,6 mm/año, el cálculo se aprecia en el cuadro 3.3.2-18.

Cuadro 3.3.2-18. Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o), estación Chusis

Mes	Temp. Min. °C	Temp. Max. °C	Humedad Relativa %	Velocidad Viento Km/día	Horas de Sol	Radiación MJ/m ² /día	ET _o mm/día
Enero	21,2	31,5	71	406	3,4	14,8	4,93
Febrero	22,5	32,5	70	406	3,7	15,5	5,27
Marzo	22,2	32,6	72	354	3,4	14,8	4,87
Abril	20,6	31,6	74	397	3,1	13,6	4,57
Mayo	18,6	29,0	77	415	2,7	12,0	3,84
Junio	17,7	26,5	77	397	2,2	10,7	3,35
Julio	17,1	25,7	78	397	2,1	10,8	3,19
Agosto	16,8	25,7	79	406	2,0	11,5	3,23
Setiembre	16,6	26,5	77	458	2,1	12,4	3,70
Octubre	16,9	26,9	75	467	2,6	13,6	4,05
Noviembre	17,3	28,0	74	458	2,9	14,0	4,28
Diciembre	19,1	29,8	73	441	3,2	14,4	4,57
Promedio	18,9	28,9	75	417	2,8	13,2	4,16

Elaboración: BISA, 2012.

b) Estación Bernal

- La evapotranspiración potencial en la estación Bernal fluctúa entre 3.41mm/día y 5.27mm/día, el promedio es de 4.39mm/día, además la evapotranspiración total anual es del orden de 1601.0 mm/año, el cálculo se aprecia en el cuadro 3.3.2-19.

Cuadro 3.3.2-19. Cálculo de la evapotranspiración potencial (ET_o) - estación Bernal

Mes	Temp. Min. °C	Temp. Max. °C	Humedad Relativa %	Velocidad Viento Km/día	Horas de Sol	Radiación MJ/m ² /día	ET _o mm/día
Enero	21,8	32,8	74	458	3,4	14,8	5,02
Febrero	22,7	33,6	74	458	3,7	15,5	5,27
Marzo	22,2	33,3	74	406	3,4	14,8	5,00
Abril	20,5	32,1	76	415	3,1	13,6	4,53
Mayo	18,8	29,3	80	540	2,7	12,0	3,83
Junio	18,0	27,4	80	501	2,2	10,7	3,41
Julio	17,4	26,8	79	527	2,1	10,8	3,48
Agosto	16,9	27,0	78	588	2,0	11,5	3,79
Setiembre	16,7	27,7	77	631	2,1	12,4	4,18
Octubre	16,7	27,9	75	613	2,6	13,6	4,49
Noviembre	17,5	29,2	74	579	2,9	14,0	4,74
Diciembre	19,0	30,7	74	570	3,2	14,4	4,96
Promedio	19,0	29,8	76	521	2,8	13,2	4,39

Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.9 Balance hídrico climático

A continuación se resume resultados de las variables del balance hídrico para el área de estudio:

- La evapotranspiración real total anual para el área de estudio, para un año promedio (sin presencia del fenómeno del niño) es de 23,2 mm/año.
- La evapotranspiración real total anual en el área de estudio con presencia de los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, es del orden de 511,9 mm/año y 603,5 mm/año, respectivamente.
- El déficit total anual en el área de estudio para un año promedio es de 1490,4 mm/año.
- El déficit total anual en el área de estudio con presencia de los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, es de 1001,8 mm/año y 910,2 mm/año, respectivamente.
- El excedente total anual en el área de estudio para un año promedio es del orden de 0,0 mm/año.
- El excedente total anual en el área de estudio con presencia de los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, es de 95,3 mm/año y 423,9 mm/año, respectivamente.

El cuadro 3.3.2-20 presenta el balance hídrico climático para una ocurrencia hidrología de año promedio por mes, determinando el excedente, déficit y las reservas. Asimismo, el cuadro 3.3.2-21 y 3.3.2-22 presenta el balance hídrico climático considerando los fenómenos del niño de los periodos 1982-1983 y 1997-1998.

Cuadro 3.3.2-20. Balance hídrico climático, área de estudio, año promedio

Parámetros	Reserva Máxima en mm												100
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total Anual
Evapotranspiración potencial (ETP) en mm/mes	111,0	125,6	128,4	141,7	152,8	147,6	151,0	137,1	119,0	100,5	98,9	100,1	1513,6
Precipitación total mensual (mm/mes)	0,0	0,2	0,6	1,6	0,7	5,7	6,8	6,9	0,5	0,1	0,1	0,0	23,2
Evapotranspiración real (ETR) en mm/mes	0,0	0,2	0,6	1,6	0,7	5,7	6,8	6,9	0,5	0,1	0,1	0,0	23,2
Déficit en mm/mes	111,0	125,4	127,8	140,1	152,1	141,9	144,2	130,2	118,5	100,4	98,8	100,1	1490,4
Reserva en mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Excedentes en mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Elaboración: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.2-21. Balance hídrico climático, área de estudio, El Niño 1982-1983.

Parámetros	Reserva Máxima en mm												100
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total Anual
Evapotranspiración potencial (ETP) en mm/mes	111,0	125,6	128,4	141,7	152,8	147,6	151,0	137,1	119,0	100,5	98,9	100,1	1513,6
Precipitación total mensual (mm/mes)	0,0	1,2	0,0	0,5	55,9	1,5	294,3	189,1	25,5	39,2	0,0	0,0	607,2
Evapotranspiración real (ETR) en mm/mes	0,0	1,2	0,0	0,5	55,9	1,5	151,0	137,1	119,0	45,7	0,0	0,0	511,9
Déficit en mm/mes	111,0	124,4	128,4	141,2	96,9	146,1	0,0	0,0	0,0	54,8	98,9	100,1	1001,8
Reserva en mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	6,5	0,0	0,0	0,0	-
Excedentes en mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	43,3	52,0	0,0	0,0	0,0	0,0	95,3

Elaboración: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.2-22. Balance hídrico climático, área de estudio, El Niño 1997-1998

Parámetros	Reserva Máxima en mm												100
	SET	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	Total Anual
Evapotranspiración potencial (ETP) en mm/mes	111,0	125,6	128,4	141,7	152,8	147,6	151,0	137,1	119,0	100,5	98,9	100,1	1513,6
Precipitación total mensual (mm/mes)	0,0	0,0	2,1	42,2	500,9	272,3	202,1	7,5	0,3	0,0	0,0	0,0	1027,4
Evapotranspiración real (ETR) en mm/mes	0,0	0,0	2,1	42,2	152,8	147,6	151,0	107,5	0,3	0,0	0,0	0,0	603,5
Déficit en mm/mes	111,0	125,6	126,3	99,5	0,0	0,0	0,0	29,6	118,7	100,5	98,9	100,1	910,2
Reserva en mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	100,0	100,0	100,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-
Excedentes en mm/mes	0,0	0,0	0,0	0,0	248,1	124,7	51,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	423,9

Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.4.10 Clasificación del clima

De acuerdo a la clasificación de Thornthwaite, el tipo climático en el área de estudio corresponde a *EA'da'*, que significa clima árido, megatermal, con ausencia de excedentes, a mayor detalle se aprecia en el cuadro 3.3.2-23 y la metodología en el **Anexo 3-2**.

Cuadro 3.3.2-232. Clasificación de clima, método de Thornthwaite, área de estudio

Parámetros	Índice de eficiencia termal	Índice de eficiencia termal en verano	Precipitación total anual	Excedente anual	Déficit anual	Índice de excedente	Índice de déficit	Índice de humedad	Tipo de clima
	Eo (mm)	Eov (%)	P(mm)	S(mm)	D(mm)	Is (%)	Id (%)	Im (%)	
Área de estudio	1513,6	29,2	23,2	0,0	1490,4	0,0	98,5	-98,5	<i>EA'da'</i>

Elaboración: BISA, 2012.

3.3.2.5 Conclusiones

- La precipitación total anual en la estación Chusis, sin presencia del fenómeno del niño oscila entre 1,2 mm (1989-1990) hasta 92,5 mm (2001-2002), el promedio es del orden de 23,2 mm.
- La precipitación total anual en la estación Chusis, con presencia del fenómeno del niño oscila entre 1,2 mm (1989-1990) hasta 1027,4 mm (1997-1998), el promedio es del orden de 74,4 mm.
- En la estación Chusis, la precipitación total anual en los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, fue de 607,2 mm y 1027,4 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual en la estación Bernal, sin presencia del fenómeno del niño oscila entre 2,3 mm (1981-1982) hasta 119,8 mm (2001-2002), el promedio es del orden de 32,3 mm.
- La precipitación total anual en la estación Bernal, con presencia del fenómeno del niño del periodo 1997-1998 oscila entre 2,3 mm (1981-1982) hasta 938,8 mm (1997-1998), el promedio es del orden de 51,6 mm.

- En la estación Bernal, la precipitación total anual en el fenómeno del niño del año hidrológico 1997-1998, fue de 938,8 mm.
- La precipitación total anual en la estación San Miguel, sin presencia del fenómeno del niño oscila entre 4,5 mm (1989-1990) hasta 225,8 mm (2000-2001), el promedio es del orden de 59,5 mm.
- La precipitación total anual en la estación San Miguel, con presencia del fenómeno del niño oscila entre 4,5 mm (1989-1990) hasta 1764 mm (1982-1983), el promedio es del orden de 154,7 mm.
- En la estación San Miguel, la precipitación total anual en los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, fue de 1764 mm y 1306,4 mm, respectivamente.
- La precipitación total anual en la estación Miraflores, sin presencia del fenómeno del niño oscila entre 6,7 mm (1989-1990) hasta 347,8 mm (1991-1992), el promedio es del orden de 83,9 mm.
- La precipitación total anual en la estación Miraflores, con presencia del fenómeno del niño oscila entre 6,7 mm (1989-1990) hasta 2237,6 mm (1982-1983), el promedio es del orden de 215,9 mm.
- En la estación Miraflores, la precipitación total anual en los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, fue de 2237,6 mm y 2023,2 mm, respectivamente.
- Comparando los valores del Índice Oceánico para El Niño, con las precipitaciones de las estaciones Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores, se demuestra que están influenciado por la presencia del fenómeno El Niño.
- La temperatura media mensual en la estación Chusis, oscila entre 20,5 °C y 27,0 °C, siendo el promedio mensual de 23,3 °C, en tanto, la temperatura mínima media mensual, varía entre 16,6 °C y 22,5 °C, el promedio es del orden de 18,9 °C y la temperatura máxima media mensual fluctúa entre 25,7 °C y 32,6 °C, el promedio es del orden de 28,9 °C.
- La temperatura media mensual en el observatorio Bernal, varía entre 21,3 °C y 27,7 °C, siendo el promedio mensual de 24,0 °C, en tanto, la

- temperatura mínima media mensual, fluctúa entre 16,7 °C y 22,7 °C, el promedio es del orden de 19,0 °C y la temperatura máxima media mensual oscila entre 26,8 °C y 33,6 °C, el promedio es del orden de 29,8 °C.
- La humedad relativa media mensual, registrada en la estación Chusis, varía entre 70,2 % y 79,1 %, el promedio es de 74,8 %.
 - La humedad relativa media mensual, medida en el observatorio Bernal oscila entre 73,6 % y 79,8 %, el promedio es de 76,2 %.
 - La evaporación total anual en la estación Chusis, varía entre 591,4 mm y 1483,1 mm, el promedio es del orden de 1018,8 mm.
 - Las horas de sol media mensual en el observatorio Chusis, oscila entre 63,0 horas y 106,7 horas, siendo el promedio de 84,9 horas.
 - La velocidad media mensual en la estación Chusis varía entre 4,1 m/s y 5,4 m/s, siendo el promedio del orden de 4,8 m/s.
 - La velocidad media mensual en la estación Bernal oscila entre 4,7 m/s y 7,3 m/s, siendo el promedio del orden de 6,0 m/s.
 - La dirección predominante de vientos registrada en la estación Chusis es la dirección Sur (S) con una frecuencia de 64,5 %.
 - La dirección predominante de vientos registrada en la estación Bernal es la dirección Sur Oeste (SW) con una frecuencia de 96,8 %.
 - La evapotranspiración potencial en la estación Chusis varía entre 3,19mm/día hasta 5,27mm/día, el promedio es de 4,16mm/día, además la evapotranspiración total anual es del orden de 1513,6 mm/año.
 - La evapotranspiración potencial en la estación Bernal fluctúa entre 3,41mm/día y 5,27mm/día, el promedio es de 4,39 mm/día, además la evapotranspiración total anual es del orden de 1601,0 mm/año.
 - El déficit total anual en el área de estudio para un año promedio es de 1490,4 mm/año.
 - El déficit total anual en el área de estudio con presencia de los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, es de 1001,8 mm/año y 910,2 mm/año, respectivamente.

- El excedente total anual en el área de estudio para un año promedio es del orden de 0,0 mm/año.
- El excedente total anual en el área de estudio con presencia de los fenómenos del niño de los años hidrológicos 1982-1983 y 1997-1998, es de 95,3 mm/año y 423,9 mm/año, respectivamente.
- El tipo climático en el área de estudio corresponde a *EA'da'*, que significa clima árido, megatermal, con ausencia de excedentes.

Recomendación

- Instalar en el área de estudio una estación meteorológica de preferencia Campbell Scientific resistente la corrosión marina que permita monitorear los parámetros meteorológicos, que incluya la velocidad y dirección del viento y la evaporación y evapotranspiración potencial. Igualmente sería recomendable una segunda estación a ser ubicada en la cercanía del tajo.

3.3.2.6 Bibliografía

- Aparicio Mijares, Francisco Javier (1987). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, México: Editorial Limusa.
- Aliaga Araujo, S. (1985). *Hidrología Estadística*. Lima: U. N. M. S. M.
- Cornell C., Benjamín (1981). *J. Probabilidad y Estadística en Ingeniería Civil*. Bogotá: McGraw Hill.
- Chávez Díaz, Rosendo (1994). *Hidrología para Ingenieros*. Lima: Universidad Católica del Perú.
- Chereque Morán, Wendor (1980). *Hidrología para estudiantes de ingeniería civil*. Lima: CONCYTEC.
- García Villanueva, Jerónimo (1994). *Principios Físicos de Climatología*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina.
- Sneyers, R. (1990). *Statistical Analysis of Series of Observations*. (Nota Técnica N.º 143, OMM-Nº 415). Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.

- Sevruk, B. (1992). *Snow Cover Measurements and Areal Assessment of Precipitation and Soil Moisture* (Informe de hidrología operativa N.º 35, OMM-Nº 749), Ginebra: Organización Meteorológica Mundial.
- Organización Meteorológica Mundial (1994). *Guía de prácticas climatológicas*. (5.ª ed., OMM-Nº 168) Ginebra: Editorial.
- Thornthwaite C.W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical*. 38 (1), 55-94.
- Turc L., (1967). «*Incidence des facteurs macroclimatiques sur les productions végétales*». En: *Fourrages* 31, p. 10-35
- Villón Bejar, Máximo (2002). *Hidrología Estadística*. Cartago: Taller Costa Rica.

3.3.3 Calidad de aire, ruido y radiaciones no ionizantes

Los componentes de Calidad de Aire y Ruido se han evaluado en dos campañas: época húmeda y época seca; considerando las variaciones climatológicas y estacionales que puedan influir en los resultados de las mediciones y en la caracterización de estos componentes en el área de estudio. La época húmeda se desarrolla entre los meses de diciembre hasta abril en que se presenta en la zona un incremento de precipitaciones respecto a la época seca, la cual se considera de mayo hasta noviembre.

Los parámetros evaluados, normas de referencia y metodologías de medición son los mismos para ambas épocas por lo que se describen de manera general. Los resultados y su interpretación se presentan para cada época. Los puntos o estaciones de muestreo de calidad de aire y ruido se observan en el plano **830MA0001A-010-20-011**.

El componente de radiaciones no ionizantes no es afectado por las variaciones climáticas estacionales por lo que se hizo una sola medición para cada estación de muestreo.

3.3.3.1 Objetivos

La evaluación de la calidad del aire, calidad de ruido y radiaciones no ionizantes (rni se ha realizado con la finalidad de establecer las condiciones ambientales de estos componentes en el ámbito de influencia del Proyecto antes de que se inicie su ejecución.

3.3.3.2 Área de estudio

El área de estudio comprende el área de influencia ambiental directa e indirecta del proyecto, habiéndose establecido para aire y ruido 22 estaciones de muestreo distribuidas en el área de influencia de manera que se cubran todas las zonas en donde se tendrán instalados los diversos componentes del proyecto. Dos estaciones de las veintidós se ubicaron dentro de la zona reservada Illescas (ZRI). Los resultados de la evaluación en la ZRI se presentas más adelante en el ítem 3.7 Línea Base Ambiental Zona Reservada Illescas.

Para el caso de radiaciones no ionizantes (RNI) se establecieron 7 estaciones de muestreo en función de la ubicación proyectada de la línea de transmisión y de las subestaciones de transformación. De éstas siete, tres se ubicaron dentro de la zona reservada Illescas.

La campaña para los trabajos de campo en la época seca se realizó entre los meses de mayo a noviembre y la campaña para los trabajos de campo en la época húmeda se realizó entre los meses de diciembre y abril.

3.3.3.3 Calidad de aire

3.3.3.3.1 Metodología

El monitoreo de calidad del aire se desarrolló de acuerdo con el "Protocolo de Monitoreo de la Calidad del Aire del Ministerio de Energía y Minas, Sub sector Minas". Las actividades de muestreo y análisis estuvieron a cargo de Inspectorate Services Perú S.A.C., laboratorio acreditado ante INDECOPI.

a) Selección de parámetros de evaluación

Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Las actividades implicadas como posibles fuentes de contaminación atmosférica por generación de material particulado y emisiones gaseosas en la realización del Proyecto, tales como movimiento de tierras, circulación de vehículos motorizados y maquinaria en la etapa de construcción; procesos de minado; carguío, procesamiento, transporte y embarque de concentrado en la etapa operativa; así como también las emisiones gaseosas de los motores de los vehículos y maquinaria tales como: óxidos de nitrógeno (NO y NO₂), de carbono (CO) y de azufre (SO₂ y SO₃).
- Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire establecidos mediante los Decretos Supremos N° 074-2001-PCM y N° 003-2008-MINAM, en los que se fijan niveles máximos de concentración en el ambiente para los principales contaminantes primarios y secundarios.

Con base en estas características y su posible generación o incremento de concentración en el área del Proyecto por las actividades del mismo, se optó por evaluar los siguientes parámetros:

- Material particulado de diámetro menor a 10 micras (PM₁₀),
- Material particulado de diámetro menor a 2,5 micras (PM_{2,5}),
- Dióxido de nitrógeno (NO₂),
- Sulfuro de hidrógeno (H₂S).
- Dióxido de azufre (SO₂)
- Monóxido de carbono (CO),
- Hidrocarburos totales (HT),
- Ozono (O₃),
- Compuestos orgánicos volátiles (COV's),
- Plomo (Pb) y
- Arsénico (As).

A continuación se describen las características de cada uno de estos parámetros

Material particulado

Más del 80% de las partículas se originan en forma natural como arrastre del polvo por el viento, incendios forestales, difusión de pólen, bacterias, etc. En cuanto al origen antropogénico las fuentes que las originan son las emisiones de los procesos de combustión y las emisiones fugitivas en procesos de actividades industriales como hornos, canteras, minería, molinos de roca, siderúrgicas, u otras como cremaciones agrícolas, etc.

De acuerdo a los estándares se distinguen dos tipos de partículas: las de diámetro menor o igual a 10 micrómetros (PM_{10}) y las con diámetro menor o igual a 2,5 micrómetros ($PM_{2,5}$): Las primeras son originadas por procesos mecánicos y cuando se aspiran, son retenidas en las fosas nasales y la tráquea y permanecen horas en el ambiente después de generados; en tanto que las segundas son originadas por procesos de combustión y condensación de vapores o aglomeración de partículas más finas y pueden penetrar hasta los alveolos pulmonares.

Óxidos de nitrógeno (N_2O , NO y NO_2)

El origen de estos gases es distinto en cada caso; el óxido nitroso (N_2O) proviene en gran medida de fuentes naturales y actividades agrícolas. En tanto el monóxido y dióxido de nitrógeno provienen de procesos de combustión de origen antropogénico siendo el principal generador el parque automotor y cualquier otro proceso que incluya la quema de combustibles a altas temperaturas.

Óxidos de azufre (SO_2 y SO_3)

Son contaminantes que se originan en actividades antropogénicas fundamentalmente por la combustión de carburantes que contienen azufre, siendo el parque automotor la principal fuente de emisión especialmente los vehículos accionados por motor diesel; son también fuentes de emisión los focos de combustión estacionaria, como plantas termoeléctricas de producción de energía,

calderas y hornos de plantas industriales, entre otros. Su mayor concentración se presenta en espacios urbanos.

Monóxido de carbono (CO)

Las emisiones de este contaminante pueden ser de origen natural, provocadas por la reacción de oxidación atmosférica del metano producido en la degradación anaeróbica de la materia orgánica. Las emisiones de origen antropogénico provienen en su mayoría del transporte, de las plantas de combustión, tratamiento, distribución de combustibles fósiles y de las refinerías de petróleo.

Plomo (Pb) y arsénico (As)

Estos parámetros se originan en los procesos de combustión de combustibles con alto contenido de estos metales.

Sulfuro de hidrógeno (H₂S)

Se origina como producto de la combustión de combustibles con alto contenido de azufre. También puede generarse en procesos naturales por la degradación anaerobia de la materia orgánica de pantanos, lodazales, océanos, etc.

Ozono (O₃)

Es un contaminante secundario derivado del comportamiento de los óxidos de nitrógeno y los hidrocarburos en la atmósfera, su importancia recae en su gran poder oxidante que en altas concentraciones puede afectar a la vista y el sistema respiratorio.

b) Métodos de captación y análisis

Partículas en suspensión menores a 2,5 micras, PM_{2,5}

El método utilizado corresponde a lo descrito en el EPA IO 3.1; donde se indica que el aire ambiente es introducido en la unidad de alto volumen PM_{2,5} a un flujo de 40 CFM (1,13 m³/min) a través de una abertura que está debajo de la campana que protege al equipo contra la intemperie. El flujo pasa a una cámara donde la velocidad de flujo de aire es disminuida, a través de una malla diseñada para prevenir la entrada de insectos y desechos suspendidos al sistema de fraccionamiento. De la cámara anterior, el aire pasa a través de 40 tubos de impacto que dirigen el aire hacia una superficie húmeda de colección. Las partículas con diámetro superior a 2,5 micras impactan en un disco poroso sumergido en aceite, mientras que las menores son llevadas de la zona de impacto hacia el filtro de muestreo.

Partículas en suspensión menores a 10 micras, PM₁₀

El método utilizado corresponde a lo descrito en el EPA IO 2.1. Se emplea el muestreador de alto volumen con cabezal fraccionador de partículas de diámetro inferior a 10 micras del tipo impactación selectiva, y control de flujo volumétrico.

El rango de flujo de medición aceptable para esta metodología de medición es de 1,13 m³/min +/- 10%, para un período de medición de 24 horas +/- 1 hora de acuerdo a lo establecido por la USEPA y un mínimo de 18 horas según lo que señala el protocolo.

Elementos metálicos (Pb, As)

Corresponde al mismo método empleado para la determinación de PM₁₀, realizándose el análisis en los filtros correspondientes.

Gases (SO₂, NO₂, CO y H₂S)

Si utilizó el sistema de muestreo dinámico (absorción en solución de captación), compuesto por una solución captadora específica, frasco burbujeador, bomba de succión y manómetro diferencial para determinar el caudal de gases.

Los métodos de análisis empleados se resumen en el siguiente cuadro:

Cuadro 3.3.3-1. Métodos de análisis empleados

Parámetros	Métodos
Material particulado (PM ₁₀)	EPA Compendium Method IO-2.1. Sampling of Ambient Air for Total Suspended Particulate Matter (SPM) and PM 10 Using High Volume (HV) Samplers. June 1999.
Material particulado (PM _{2.5})	Method IO-3.1; Selection, Preparation and Extraction of Filter Material. Compendium of Methods for the Determination of Inorganic Compounds in Ambient Air EPA/625/R-96/010a. Center for Environmental Research Information Office of Research and Development U.S Environmental Protection Agency Cincinnati, OH 45268 June 1999.
Dióxido de azufre (SO ₂)	ASTM D2914-01 Sulfur Dioxide Content of the Atmosphere (West-Gaeke Method). 2001.
Dióxido de nitrógeno (NO ₂)	ASTM D1607-91 (Reapproved 2005). Nitrogen Dioxide Content of the Atmosphere (Griess-Saltzman Reaction). 1991
Monóxido de carbono (CO)	Methods of air sampling and Analysis Intersociety Method N° 43101-02-7IT-1972.
Ozono (O ₃)	Espectrofometría UV, Intersociety Committee, P. Lodge. Air Sampling and Análisis, Método N° 411.
Hidrógeno sulfurado (H ₂ S)	ISP-402 Rev. 01-09 Determinación de Sulfuro de Hidrógeno en Calidad de Aire
Elementos metálicos (Pb y As)	EPA Compendium Method IO-3.2. Determination of Metals in Ambient Particulate Matter Using Atomic Absorption (AA) Spectroscopy. June 1999.

Fuente: Informes de Ensayo N° 117221L/11-MA y 117222L/11-MA, Inspectorate Services Perú S.A.C.

En el **Anexo 3-3** se adjuntan los certificados de calibración de los instrumentos y equipos empleados en el presente monitoreo.

c) Estándares de referencia

Como norma de referencia principal se utilizan los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para aire del Perú, indicados en el Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Aire contenidos en los D.S. N° 074-2001-PCM y D.S. N° 003-2008-MINAM.

Adicionalmente con fines de comparación se utilizaron estándares de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Banco Mundial (BM), la Unión Europea (UE), y de países como USA (NAAQS USEPA) y Canadá (CEQG).

El cuadro siguiente consigna los valores de los estándares nacionales e internacionales de calidad ambiental del aire tomados como referencia de comparación para la caracterización de la calidad del aire.

Cuadro 3.3.3-2. Estándares de calidad ambiental para Aire

Parámetro	Periodo (ECA)	ECA ⁽¹⁾	EPA ⁽²⁾	OMS ⁽³⁾	BM ⁽⁴⁾	UE ⁽⁵⁾	CEQG ⁽⁶⁾
Dióxido de Azufre (SO₂)	24 horas	80 ^(1.1)	--	20	125	125	150*
Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)	24 horas	150 ^(1.1)	--	--	--	--	--
PM - 10	24 horas	150 ^(1.2)	150	50	150	50	25***
PM - 2.5	24 horas	50 ^(1.1)	35	25	75	--	15***
Hidrocarburos Totales (HT)	24 horas	100 ^(1.1)	--	--	--	--	--
VOC's (Benceno)	24 horas	4 ^(1.1)	--	**	--	--	--
Monóxido de Carbono (CO)	8 horas	10 000 ^(1.2)	10 300	10 000*	--	10 000	6 000*
Ozono	8 horas	120 ^(1.2)	150	100	160	--	--
Dióxido de Nitrógeno (NO₂)	1 hora	200 ^(1.2)	190	200	200	200	400**

Parámetro	Periodo (ECA)	ECA ⁽¹⁾	EPA ⁽²⁾	OMS ⁽³⁾	BM ⁽⁴⁾	UE ⁽⁵⁾	CEQG ⁽⁶⁾
Plomo (Pb)	1 mes	1,5 ^(1.2)	0,15	--	--	0,5	--
Arsénico (As)	24 horas	6 ^(1.3)	--	--	--	--	--

"--" No existen lineamientos

(1): Estándar Nacional de Calidad Ambiental del Aire

(1.1): D.S. N° 003-2008-MINAM Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire. (Benceno: valor anual, único COV regulado)

(1.2): D.S. N° 074-2001-PCM Reglamento de calidad ambiental del aire Estándares Nacionales.

(1.3): R.M. N° 315-96-EM/VMM Aprueban niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas. Disposición transitoria, Anexo 3.

(2): National Ambient Air Quality Standards from the Environmental Protection Agency of the United States.

(3): Guía de la Calidad del Aire de la OMS actualización 2005 - Guía de la Calidad del Aire de la Organización Mundial de la Salud Actualizada al 2005. (*: Guideline for Indoor air Quality, **: No existe un nivel de exposición seguro).

(4): Environmental, Health, and Safety Guidelines of the World Bank Group - Banco Mundial.

(5): Unión Europea 1999/30/ CE Valores límite de dióxido de azufre, dióxido de nitrógeno y óxidos de nitrógeno, Partículas y plomo en el aire ambiente.

(6): Canadian Environmental Quality Guidelines from The Canadian Council of Ministers of Environment (*: Deseable, **: Aceptable, ***: Nivel de Referencia).

d) Estaciones de muestreo

La ubicación de las estaciones de muestreo se determinó en gabinete a partir de la localización de los componentes del Proyecto y los poblados ubicados en su área de influencia, para luego proceder a la localización física de los lugares en campo.

Se definieron veinte (20) estaciones de monitoreo de aire, todas ubicadas en el distrito, provincia de Sechura y departamento de Piura. En el cuadro siguiente, se presenta su ubicación y las coordenadas UTM - WGS84.

Cuadro 3.3.3-3. Estaciones de muestreo de calidad de aire

Estación	Coordenadas UTM WGS 84 – 17 Sur		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
	Este (m)	Norte (m)		
CA-01	504 244	9 346 668	84	A 50 metros de carretera a Illescas
CA-02	518 496	9 341 234	60	A 60 m de carretera Vale (Mina Fosfato). Entre área proyectada para minado, relavera y planta concentradora
CA-03	536 079	9 340 778	34	A 100 m de la carretera a Bayóvar. En el alineamiento de la línea eléctrica alimentadora del Proyecto
CA-04	551 757	9 345 162	20	En el área proyectada para ubicación de SE de partida (A 80 metros de Panamericana Norte)
CA-05	496 070	9 356 074	45	Arriba del centro poblado Puerto Rico
CA-06	496 894	9 354 564	48	Costado de la vía a Bayóvar
CA-09	506 827	9 349 898	15	Costado de la vía a Bayóvar
CA-11	515 041	9 348 856	18	Pozas de evaporación
CA-12	515 488	9 342 514	75	Barlovento - planta / mina
CA-13	515 571	9 341 670	72	Sotavento - planta / mina
CA-14	519 000	9 336 800	57	Este del área de minado.
CA-15	520 800	9 342 500	38	Lado este de la poza de lodos residuales
CA-16	522 400	9 337 500	63	A 2 km al este del tramo sur de la carretera VALE
CA-17	527 000	9 341 500	56	A 1 km al sur del km 32,5 de la vía hacia Bayóvar.
CA-18	492 200	9 359 300	26	Sotavento - puerto
CA-19	492 575	9 359 598	83	Barlovento - puerto
CA-20	513 795	9 361 048	--	Cerca del sector más oeste de estuario Virrilá
CA-21	515 934	9 354 304	--	Cerca de puente Virrilá - estuario Virrilá
CA-22	517 800	9 351 000	--	Sector medio de estuario Virrilá
CA -23	518 924	9 345 700	58	Ubicación de botadero de desmonte.

Fuente: Inspectorate Services Perú S.A.C./Buenaventura Ingenieros S.A.

3.3.3.3.2 Resultados

Los reportes de los análisis de laboratorio de material particulado y gases se consignan en los informes de ensayo conjuntamente con sus respectivas memorias de cálculo. Estos, así como, con las fichas SIAM, son presentados en los **Anexo 3-4** y **Anexo 3-7**, respectivamente.

En los siguientes cuadros se consigna el resumen de los resultados obtenidos en las veinte (20) estaciones tanto durante la época húmeda como durante la época Seca, los mismos que se visualizan en relación con los valores de comparación en los gráficos adjuntos. Los informes de ensayo se adjuntan en el **Anexo 3-4**.

Cuadro 3.3.3-4. Resultados del monitoreo de calidad de aire – (época húmeda)

Parámetro	Unid.	Tiempo Promedio	Estaciones de Muestreo																			
			CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	CA-5	CA-6	CA-9	CA-11	CA-12	CA-13	CA-14	CA-15	CA-16	CA-17	CA-18	CA-19	CA-20	CA-21	CA-22	CA-23
Dióxido de Azufre (SO ₂)	(µg/m ³)	24 horas	< 0,13	< 0,47	< 0,14	< 0,14	< 0,75	< 0,14	< 0,17	< 0,48	< 0,49	< 0,18	< 0,17	< 0,14	< 0,47	< 0,18	< 0,48	< 0,18	< 0,48	< 0,17	< 0,13	0,35
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	(µg/m ³)	24 horas	< 0,28	< 0,37	< 0,28	< 0,28	< 0,65	< 0,29	< 1,02	< 0,23	< 0,39	< 1,04	< 1,00	< 0,28	< 0,38	< 0,83	< 0,39	< 1,05	< 0,38	< 1,02	< 0,28	0,69
PM - 10	(µg/m ³)	24 horas	11	32	41	22	35	28	30	32	19	20	57	62	51	25	64	106	37	65	31	34
PM - 2.5	(µg/m ³)	24 horas	13	4	8	12	21	17	13	8	13	8	17	8	21	8	8	29	8	17	8	34
Hidrocarburos Totales (HT)	(mg/m ³)	24 horas	0,3615	0,0573	0,0614	0,0033	0,1803	0,0258	0,0081	0,0142	0,0676	0,0924	0,1318	0,0184	0,0527	0,0107	0,2497	0,0312	<0,0006	<0,0003	0,0005	1,06
VOC's (Benceno)	(µg/m ³)	24 horas	< 0,22	< 0,41	< 0,23	< 0,22	< 0,20	< 0,21	< 0,24	< 0,39	< 0,41	< 0,25	< 0,25	< 0,22	< 0,40	< 0,25	< 0,40	< 0,26	< 0,39	< 0,26	< 0,24	0,28
Monóxido de Carbono (CO)	(µg/m ³)	8 horas	647	5184	1138	769	788	529	584	4800	5749	2339	7359	956	4559	9513	7756	2957	3964	2620	702	6664
Ozono	(µg/m ³)	8 horas	3,84	1,15	1,53	1,69	4,76	7,09	1,11	< 0,40	18,33	31,9	5,44	20,51	2,19	1,54	1,1	1,49	< 0,39	1,72	10,61	21,03
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	(µg/m ³)	1 hora	< 7,56	< 4,79	< 7,79	< 7,94	< 4,38	< 7,70	< 9,33	< 4,83	< 4,87	< 9,66	< 9,75	< 7,81	< 4,83	< 9,58	< 6,75	< 9,83	< 4,78	< 9,72	< 7,64	24,86
Plomo (Pb) (µg/m ³)	(µg/m ³)	24 horas	< 0,014	< 0,013	0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,014	< 0,013	< 0,014	< 0,013	< 0,013	< 0,014	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,013	< 0,01
Arsénico (As)	(µg/m ³)	24 horas	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0003	0,0003	0,0009	0,0003	0,0003	0,0008	0,0007	0,0009	0,0003	0,0003	0,0016	0,0003	0,0009	0,0003	0,0004

Fuente: Informes de Ensayo elaborados por Inspectorate Services Perú S.A.C. / Buenaventura Ingenieros S.A.
 < "valor": Valor calculado con el límite de cuantificación del método de análisis.

Cuadro 3.3.3-5. Resultados del monitoreo de calidad de aire – (época seca)

Parámetro	Unid.	Tiempo Promedio	Estaciones de Muestreo																			
			CA-1	CA-2	CA-3	CA-4	CA-5	CA-6	CA-9	CA-11	CA-12	CA-13	CA-14	CA-15	CA-16	CA-17	CA-18	CA-19	CA-20	CA-21	CA-22	CA-23
Dióxido de Azufre (SO ₂)	(µg/m ³)	24 horas	1,5	< 0,24	< 0,35	2,13	< 0,15	< 0,23	< 0,35	< 0,20	< 0,23	< 0,18	< 0,14	< 0,20	< 0,16	< 0,23	< 0,25	< 0,23	< 0,23	< 0,18	< 0,23	< 0,23
Sulfuro de Hidrógeno (H ₂ S)	(µg/m ³)	24 horas	< 0,48	< 0,47	< 0,49	< 0,49	< 0,36	< 0,49	< 0,30	< 0,46	< 0,51	< 0,33	< 0,69	< 0,44	< 0,46	< 0,33	< 0,36	< 0,75	< 0,31	< 0,35	< 0,33	< 0,32
PM - 10	(µg/m ³)	24 horas	14	39	40	24	43	17	22	24	35	22	34	20	21	15	27	29	22	41	27	26
PM - 2.5	(µg/m ³)	24 horas	9	28	18	14	15	2	10	2	37	4	8	15	7	14	13	43	9	10	10	12
Hidrocarburos Totales (HT)	(mg/m ³)	24 horas	0,03	0,09	0,02	0,01	0,0044	0,0592	0,0038	0,0044	0,0878	0,0016	0,002	0,0007	0,0021	0,0028	0,0039	0,0008	0,0754	0,0022	0,0106	0,0045
VOC's (Benceno)	(µg/m ³)	24 horas	< 0,25	< 0,23	< 0,22	< 0,22	0,23	< 0,12	< 0,28	< 0,15	< 0,12	< 0,18	< 0,27	< 0,23	< 0,27	< 0,28	0,55	< 0,21	< 0,12	< 0,23	< 0,27	< 0,19
Monóxido de Carbono (CO)	(µg/m ³)	8 horas	1620	5342	1122	454	2341	594	1553	495	558	1238	1198	967	1087	840	926	1521	1366	812	1086	1232
Ozono	(µg/m ³)	8 horas	1,99	< 0,71	< 0,64	4,03	< 0,77	< 0,38	4,17	1,24	3,37	7,34	1,52	0,98	< 0,83	< 6,15	7,06	< 0,53	< 2,11	2,52	2,2	2,65
Dióxido de Nitrógeno (NO ₂)	(µg/m ³)	1 hora	< 6,37	< 6,81	< 6,46	< 6,80	< 9,17	< 4,48	< 6,50	< 4,28	< 4,62	< 9,38	< 6,55	< 4,59	< 9,57	< 9,54	< 8,21	< 6,39	< 7,14	< 5,98	< 9,98	< 5,69
Plomo (Pb) (µg/m ³)	(µg/m ³)	24 horas	< 0,010	< 0,010	< 0,010	< 0,010	0,016	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,012	< 0,013	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,012	< 0,013	< 0,013	< 0,012
Arsénico (As)	(µg/m ³)	24 horas	0,0012	0,0008	0,0012	0,001	0,0014	< 0,0003	0,0007	< 0,0003	< 0,0003	0,0011	< 0,0003	< 0,0003	0,0007	< 0,0003	0,0023	0,001	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003

Fuente: Informes de Ensayo elaborados por Inspectorate Services Perú S.A.C. / Buenaventura Ingenieros S.A.
 < "valor": Valor calculado con el límite de cuantificación del método de análisis.

- **Partículas PM₁₀**

Las concentraciones de partículas en suspensión con diámetro menor a 10 micras (PM₁₀) registradas en cada una de las 20 estaciones de monitoreo no superan, tanto durante la época húmeda como en la seca, los Estándares Nacionales establecidos en la R.M. N° 315-96-EM/VMM “Aprueban niveles máximos permisibles de elementos y compuestos presentes en emisiones gaseosas provenientes de las unidades minero-metalúrgicas”, ni los establecidos en el D.S. N° 074-2001-PCM “Reglamento de Estándares Nacionales de Calidad Ambiental del Aire”. Por otro lado, y de igual forma, los lineamientos dados por la *Environmental Protection Agency* (EPA) y el Banco Mundial tampoco son excedidos.

En cuanto a los estándares de la OMS y la UE, tenemos que en los puntos CA-14, CA-15, CA-16, CA-18, CA-19, CA-21 son superados los niveles de concentración durante la época húmeda más no durante la seca; la diferencia estacional es muy marcada. Las mayores concentraciones serían consecuencia del tráfico regular de vehículos en vías sin asfaltar, así como también al permanente levantamiento de partículas de arena por acción del viento. En el caso específico de las estaciones C-18 y C-19, donde se registraron valores altos, se debe al movimiento de vehículos y/o a la dispersión de partículas de instalaciones vecinas a la zona puerto, tomando en consideración el viento predominante del Sur.

Con respecto a los lineamientos canadienses no se presentan problemas en las estaciones CA-1, CA-4, CA-13 y CA-17 pues no son excedidos los niveles en ninguna de las dos épocas. Por el contrario, en los puntos CA-2, CA-3, CA-5, y CA-22 los lineamientos si son excedidos tanto en una como en otra época. Ver figura 3.3.3-1.

- **Partículas PM_{2,5}**

Las concentraciones de partículas en suspensión con diámetro menor a 2,5 micras (PM_{2.5}) registradas en cada una de las veinte (20) estaciones de monitoreo no superan los Estándares Nacionales establecidos en el Decreto Supremo N° 003-2008-MINAM “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire” y mucho menos los lineamientos del Banco Mundial.

Por otro lado, analizando los mayores valores registrados, los cuales tuvieron lugar durante la época seca, se tiene que en las estaciones CA-12 y CA-19 se exceden los lineamientos de la EPA mientras que en la estación CA-2 son superados los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS).

En cuanto a la época húmeda, se tiene que los lineamientos canadienses son excedidos particularmente en las estaciones CA-05, CA-06, CA-14, CA-16, CA-19 y CA-21.

Las mayores concentraciones serían consecuencia del tráfico regular de vehículos en vías sin asfaltar, así como también al permanente levantamiento de partículas de arena por acción del viento. En el caso específico de la estación CA-19, la causa sería el movimiento de vehículos y/o la dispersión de partículas provenientes de instalaciones ubicadas al sur de la zona del puerto de Petroperú donde estuvo ubicada esta estación. Esto se puede apreciar en la figura 3.3.3-2.

Figura 3.3.3-1. Partículas PM10

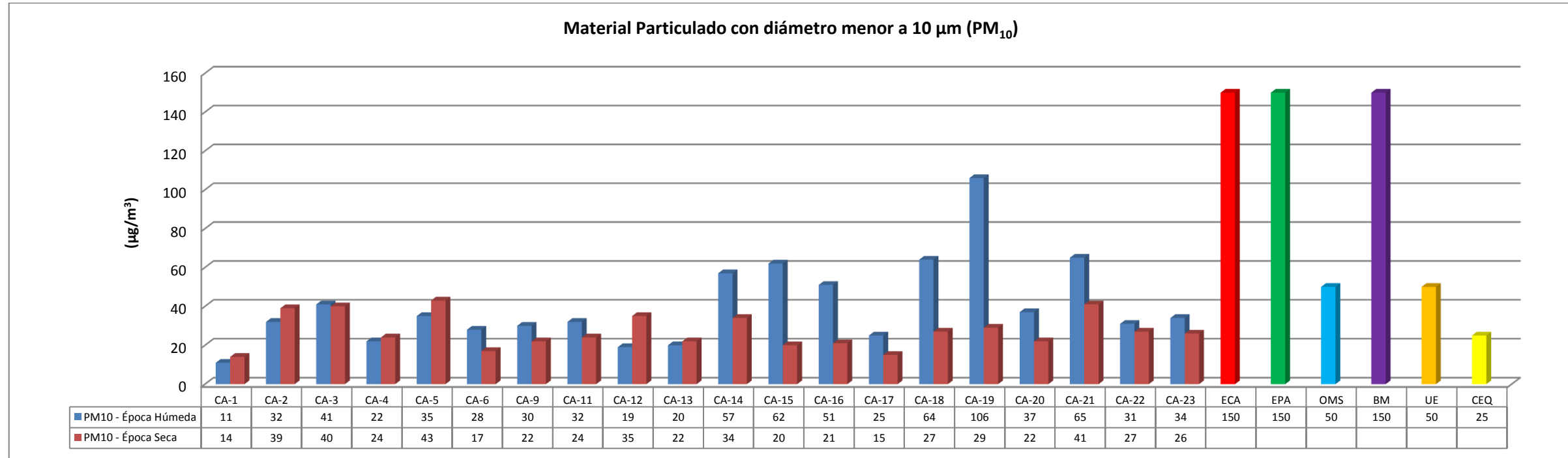
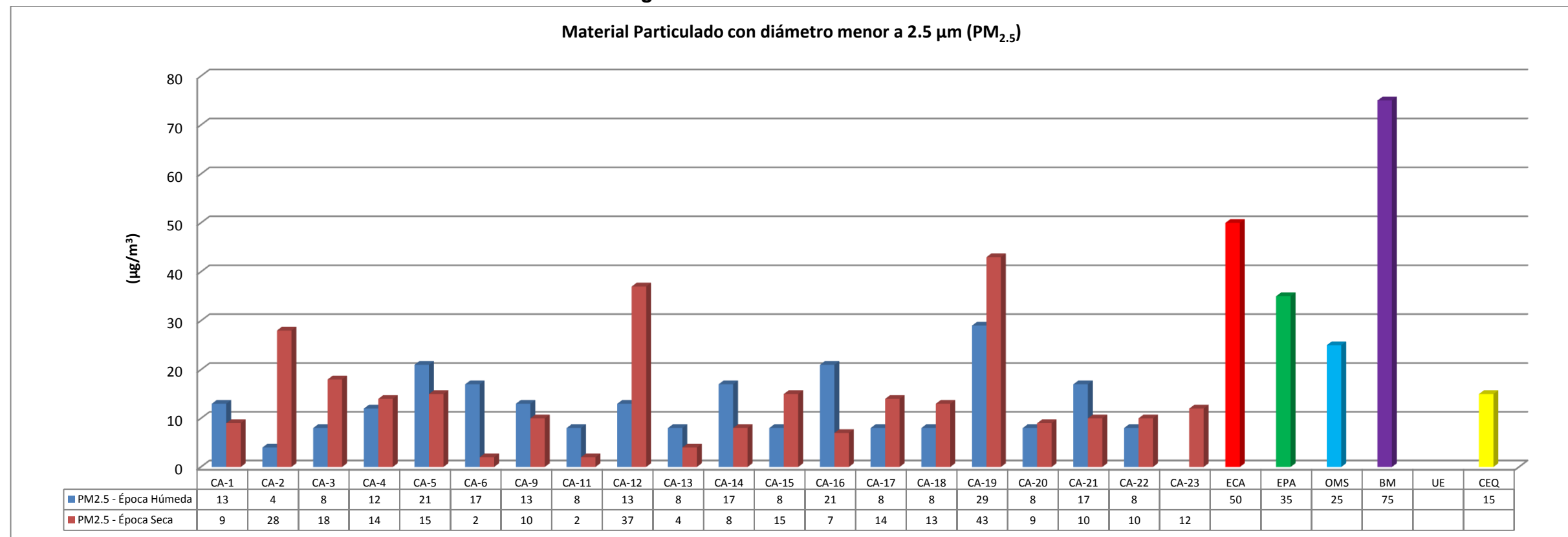


Figura 3.3.3-2. Partículas PM2.5



- **Monóxido de carbono (CO).**

En general las concentraciones de monóxido de carbono registradas, tanto durante la época seca como durante la húmeda en cada una de las veinte estaciones, no superan el estándar nacional de calidad ambiental expuesto por el D.S. N° 074-2001-PCM.

Particularmente, podemos observar que los valores más altos y que además superan la norma canadiense, se registraron durante la época húmeda, en las estaciones CA-14, CA-17 y CA-18. Cabe mencionar que los valores registrados en las estaciones CA-2 y CA-12 se encuentran muy próximos a los valores recomendados por la norma mencionada.

Estos valores mayores serían consecuencia de las emisiones de los motores de combustión interna tanto de vehículos menores como de los camiones que transportan concentrado a través de la cercana carretera industrial desde la mina de la Compañía Minera Miski Mayo a Bayóvar. (Ver figura 3.3.3-3).

- **Dióxido de nitrógeno (NO₂)**

Los valores de dióxido de nitrógeno registrados en las 20 estaciones, tanto durante la época húmeda como durante la época seca, se encontraron por debajo del límite de cuantificación del equipo y método utilizados. Podemos decir que el Estándar Nacional establecido por el D.S. N° 074-2001-PCM y los lineamientos internacionales utilizados de referencia no fueron excedidos.

Los resultados indicarían que no se desarrollan mayores procesos de combustión en la zona evaluada. (Ver figura 3.3.3-4).

- **Ozono (O₃)**

En cuanto al ozono se registraron valores por debajo de los límites y estándares establecidos tanto a nivel nacional como internacional, a excepción de la estación CA-12. (Ver figura 3.3.3-5).

Figura 3.3.3-3: Monóxido de carbono (CO)

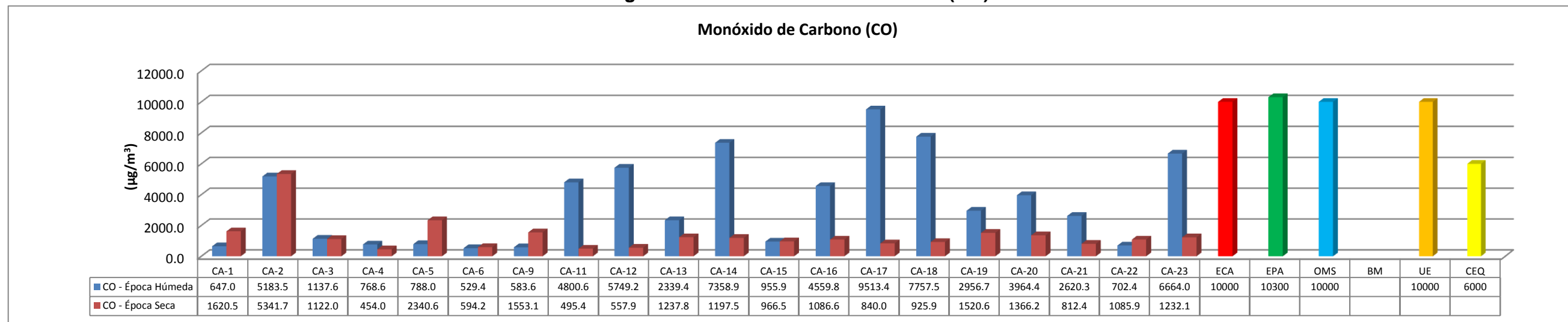


Figura 3.3.3-4: Dióxido de nitrógeno (NO2)

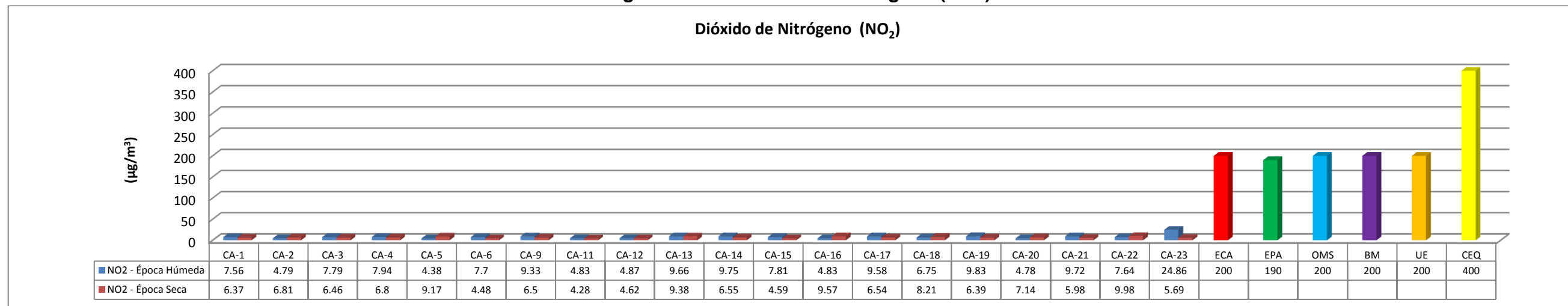
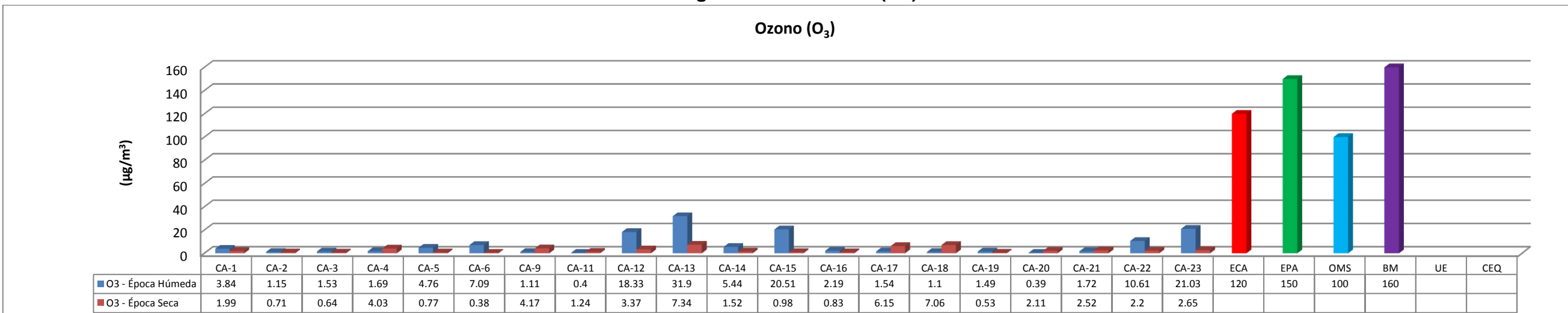


Figura 3.3.3-5: Ozono (O3)



- **Dióxido de azufre (SO₂) y sulfuro de hidrógeno (H₂S)**

No se encontraron valores significativos de dióxido de azufre (SO₂) ni de sulfuro de hidrógeno (H₂S) durante el monitoreo. Exceptuando los puntos CA-1 y CA-4 (época seca), en las veinte estaciones se registraron valores por debajo del límite de detección del equipo y método utilizado, tanto en la época húmeda como en la seca. Los Estándares Nacionales establecido por el D.S. N° 003-2008-MINAM y los lineamientos internacionales de referencia no son excedidos. (Ver figura 3.3.3-6 y figura 3.3.3-7).

- **Hidrocarburos totales (HT)**

Durante la evaluación en ambas épocas no se registraron valores significativos de hidrocarburos totales por lo que la calidad ambiental del aire no se ve degradada respecto a este parámetro. La normativa nacional dada por D.S. N° 003-2008-MINAM “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire” no es superada. (Ver figura 3.3.3-8).

Figura 3.3.3-6: Dióxido de azufre

Dióxido de Azufre (SO₂)

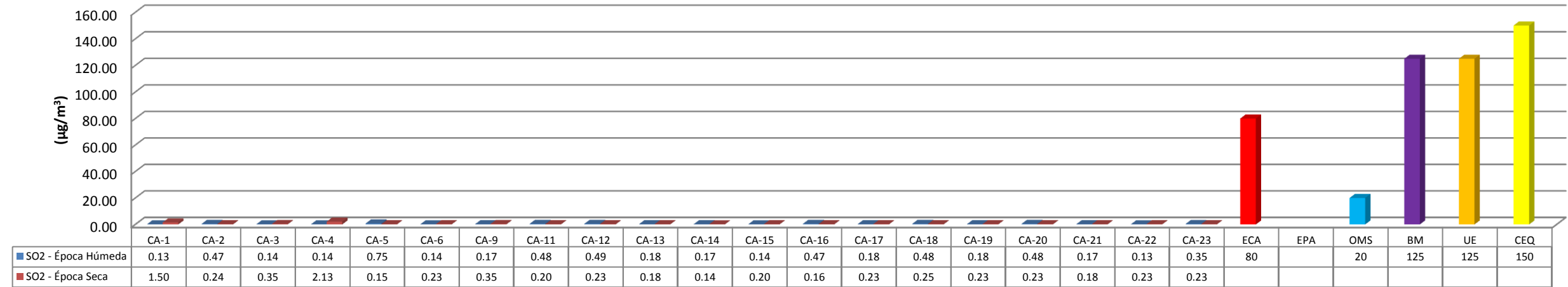


Figura 3.3.3-7: Sulfuro de hidrógeno

Sulfuro de Hidrógeno (H₂S)

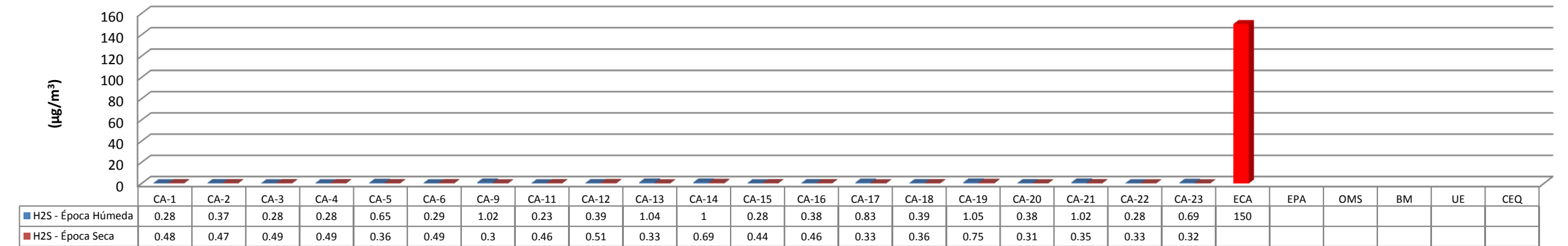
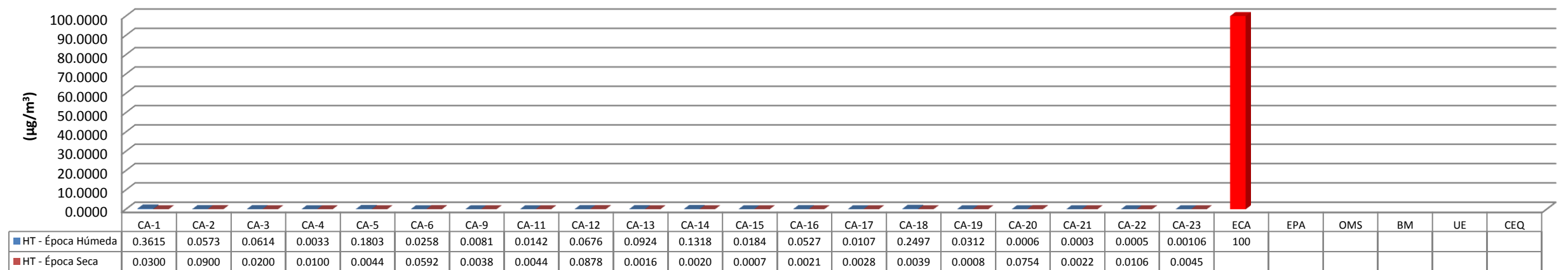


Figura 3.3.3-8: Hidrocarburos totales (HT)

Hidrocarburos Totales como Hexano (HT)



- **Compuestos orgánicos volátiles (VOC's, por sus siglas en inglés)**

Como se menciona en el D.S. N° 003-2008-MINAM “Aprueban Estándares de Calidad Ambiental para Aire”, el benceno es el único compuesto orgánico volátil regulado. Las concentraciones registradas en los veinte (20) puntos establecidos, tanto durante la época húmeda como durante la seca, estuvieron por debajo del límite de cuantificación del equipo y método utilizados, y del mismo modo, por debajo del ECA nacional. (Ver figura 3.3.3-9).

- **Plomo y arsénico**

Las concentraciones de plomo en el aire registradas en cada una de las estaciones de monitoreo no superan los Estándares Nacionales de Calidad para Aire ni los Estándares Internacionales de comparación; encontrándose inclusive por debajo del Límite de cuantificación del método de análisis utilizado (0,010 – 0,019 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). (Ver figura 3.3.3-10).

Los valores de arsénico en el aire, registrados en cada una de las estaciones, no superan los límites establecidos por la R.M. N° 315-96-EM/VMM ni las Normas Internacionales objeto de comparación. (Ver figura 3.9.3-11)

3.3.3.3 Conclusiones

Las concentraciones de los parámetros evaluados no superan en ningún caso los valores de la norma nacional establecida en los Estándares de Calidad Ambiental para Aire.

En algunas estaciones, los valores superan aquellos de las normas más estrictas como son las de la Organización Mundial de la Salud, las del Gobierno Canadiense y las de USEPA.

Las mayores concentraciones obtenidas serían consecuencia del tráfico regular de vehículos en vías sin asfaltar, así como también al permanente levantamiento de partículas de arena por acción del viento.

Figura 3.3.3-9: Compuestos orgánicos volátiles

Compuestos Orgánicos Volátiles - Benceno (COV's)

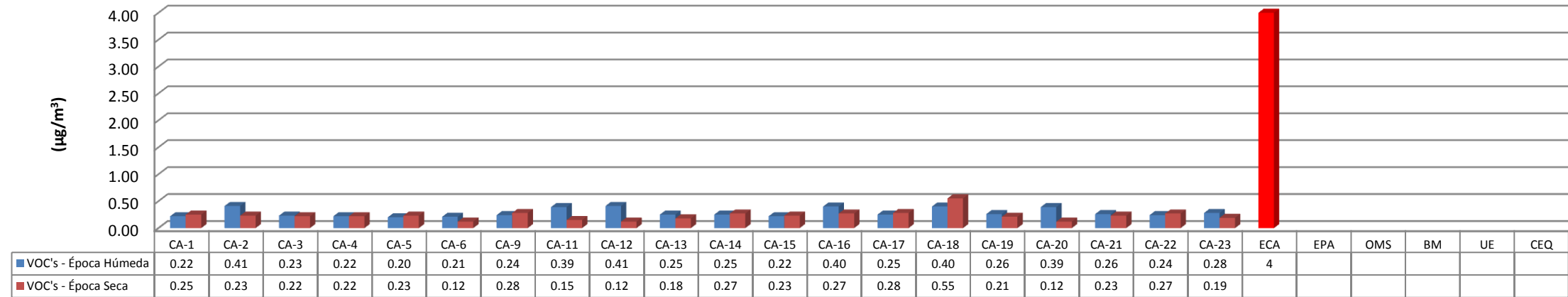


Figura 3.3.3-10: Plomo

Plomo (Pb)

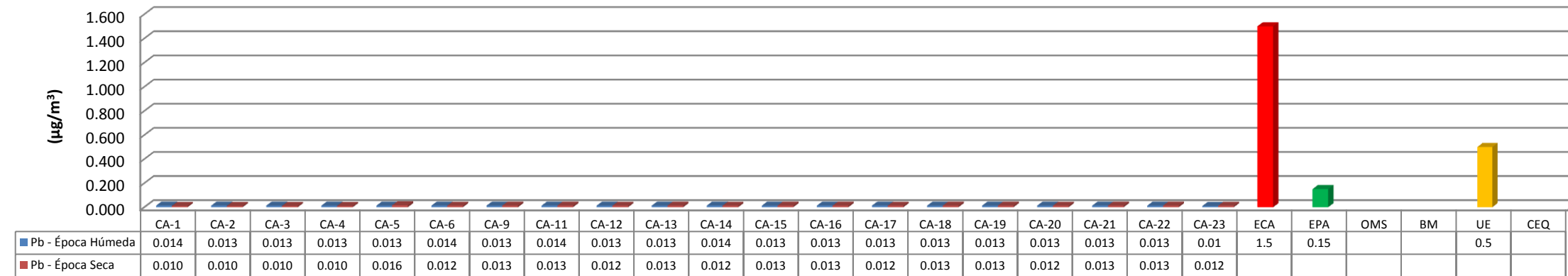
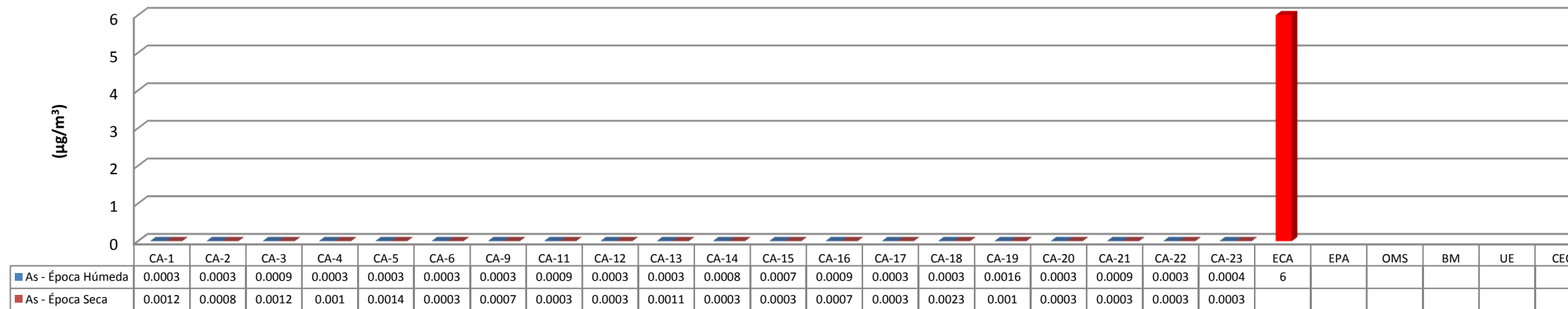


Figura 3.3.3-11: Arsénico

Arsénico (As)



3.3.3.4 Calidad de ruido ambiental

3.3.3.4.1 Metodología

La evaluación de los niveles de ruido se realizó mediante mediciones de nivel de presión sonora continua equivalente con ponderación A (L_{AeqT}) en estaciones de muestreo que se establecieron en puntos distribuidos alrededor o dentro de las áreas donde se ejecutará el Proyecto.

La medición de calidad de ruido ambiental se consideró debido a que las actividades del Proyecto generarán un incremento en la intensidad de las emisiones sonoras.

Los métodos y técnicas empleados están de acuerdo con las disposiciones transitorias del D.S. N° 085-2003-PCM, que señala la aplicación de los criterios descritos en las normas técnicas siguientes:

- NTP ISO 1996-1/1982: Acústica – Descripción y Mediciones de Ruido Ambiental, Parte I: Magnitudes Básicas y Procedimientos.
- NTP ISO 1996-2/1987: Acústica – Descripción y Mediciones de Ruido Ambiental, Parte II: Recolección de datos pertinentes al uso de suelo.

Algunas consideraciones de importancia son las siguientes:

- El equipo debe ser ubicado a una altura del piso de 1,5 metros aproximadamente.
- El micrófono del equipo es orientado a favor de la dirección del viento con una inclinación de 45°.

El tiempo de medición en cada una de las estaciones fue de 10 minutos por punto. Cabe señalar que ni el reglamento ni las normas ISO contemplan

frecuencias de monitoreo estándares. Los certificados de calibración de los sonómetros utilizados se adjuntan en el **Anexo 3-3**.

a) Estándares de referencia

Se utiliza como norma de referencia principal los estándares de calidad ambiental (ECA) para ruido establecidos en el D.S. N° 085-2003-PCM.

En el cuadro siguiente se muestran los valores de los estándares nacionales de calidad ambiental para ruido tomados como referencia para la caracterización de los niveles de ruido en el área de estudio.

Cuadro 3.3.3-12. Estándares nacionales de calidad ambiental para ruido

Zonas de aplicación	Unidad	Valores expresados en L_{AeqT}	
		Horario diurno	Horario nocturno
Zona de protección especial	dB(A)	50	40
Zona residencial	dB(A)	60	50
Zona comercial	dB(A)	70	60
Zona industrial	dB(A)	80	70

Fuente: ECA para ruido D.S. N° 085-2003-PCM.

Adicionalmente se utilizaron como normas de comparación estándares de organismos internacionales como la Organización Mundial de la Salud (OMS), el Banco Mundial (BM) y de USA (NAAQS USEPA).

Cuadro 3.3.3-13. Otras normas de comparación para calidad de ruido

Zonas de aplicación	Valores expresados en L AeqT (*)	
	Horario diurno	Horario nocturno
Banco Mundial		
Residencial; institucional; educacional	55	45
Industrial, comercial	70	70
US-EPA		
Residencial	75	65
Industrial; comercial	80	72
OMS		
Industrial, comercial	70	-

(*): Nivel de presión sonora continuo equivalente con ponderación "A"

Para el análisis y aplicación de la normativa se entenderá, tal y como está definido en el artículo 3° del D.S. 085-2003-PCM, que el horario diurno comprende desde las 07:01 horas hasta las 22:00 horas y que el horario nocturno va desde las 22:01 horas hasta las 07:00 horas del día siguiente.

b) Estaciones de muestreo

La ubicación de las estaciones de muestreo se determinó en gabinete a partir de la localización de los componentes del Proyecto y los poblados ubicados en su área de influencia, para luego proceder a la localización física de los lugares en campo.

Se establecieron veinte (20) estaciones de evaluación para la caracterización base de los niveles de ruido ambiental, definidos en las cercanías o dentro de las áreas involucradas en el Proyecto.

En el cuadro siguiente se presenta la ubicación de las estaciones de evaluación de niveles de ruido por coordenadas UTM en el Sistema Geodésico Mundial 1984 (WGS 84). En el plano **830MA001A-010-20-11** se ubican las estaciones de muestreo de ruido.

Cuadro 3.3.3-14. Estaciones de evaluación de ruido

Estación	Coordenadas UTM WGS 84 – 17 Sur		Altitud (m.s.n.m)	Descripción
	Este (m)	Norte (m)		
RA-01	504 244	9 346 668	89	A 50 metros de carretera a Illescas
RA-02	518 496	9 341 234	58	Aproximadamente a 60 metros de carretera Vale (mina fosfato). Entre área proyectada para minado, relavera y planta concentradora
RA-03	536 079	9 340 778	34	A 100 metros de la carretera a Bayóvar. En el alineamiento de la línea eléctrica alimentadora del Proyecto
RA-04	551 757	9 345 162	16	En el área proyectada para ubicación de SE de partida (A 80 metros de panamericana norte)
RA-05	496 070	9 356 074	45	Arriba del centro poblado Puerto Rico
RA-06	496 894	9 354 564	48	Costado de la vía a Bayóvar
RA-09	506 827	9 349 898	15	Costado de la vía a Bayóvar
RA-11	515 041	9 348 856	18	Pozas de evaporación
RA-12	515 488	9 342 514	75	Barlovento - planta / mina
RA-13	515 571	9 341 670	72	Sotavento - planta / mina
RA-14	519 000	9 336 800	57	Botadero PIT camino a mina Vale
RA-15	520 800	9 342 500	38	Lado este de la poza de lodos residuales
RA-16	522 400	9 337 500	63	A 2 km al este del tramo sur de la carretera VALE
RA-17	527 000	9 341 500	56	A 1 km al sur del km 32,5 de la vía hacia Bayóvar.
RA-18	492 200	9 359 300	26	Sotavento - puerto
RA-19	492 575	9 359 598	93	Barlovento - puerto
RA-20	513 795	9 360 048	7	Cerca de sector más oeste de estuario Virrilá
RA-21	515 934	9 354 304	9	Cerca de puente Virrilá - estuario Virrilá
RA-22	517 800	9 351 000	16	Sector medio de estuario Virrilá
RA-23	518 924	9 345 700	58	Ubicación de botadero de desmonte.

Fuente: Inspectorate Services Perú S.A.C.

3.3.3.4.2 Resultados

Los resultados de las mediciones, tanto en época húmeda como en época seca, comparados con el valor de referencia establecido en los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido (Decreto Supremo N° 085-2003-PCM); así como con otras normas de referencia internacional, para las veintitrés estaciones, se presentan en el cuadro 3.3.3-15. Así mismo, se presentan todos los resultados de forma comparativa en la figura 3.3.3-12.

En las figuras 3.3.3-13, 3.3.3-14, 3.3.3-15 y 3.3.3-16 siguientes se presentan los resultados por cada época y por cada periodo del día por separado, comparándolos con el Estándar Nacional (D.S. N° 085-2003-PCM. Zona Industrial) y con el lineamiento internacional de referencia. Además se incluye de forma adicional el valor máximo registrado en cada punto de monitoreo.

Los resultados de laboratorio correspondientes a ambas épocas son adjuntados en el **Anexo 3-4**.

Cuadro 3.3.3-15. Valores registrados de niveles de ruido

Estación	Periodo	ÉPOCA HÚMEDA			ÉPOCA SECA			ECA ⁽¹⁾	WBG ⁽²⁾	EPA ⁽³⁾	OMS ⁽⁴⁾	Observaciones (Época Húmeda/Época Seca)
		L _{AeqT} (a)	Max(b)	Min(c)	L _{AeqT} (a)	Max(b)	Min(c)					
RA-1	Diurno	49,2	68,7	32,4	46,7	58,8	35,6	80	70	70	70	Ruido Generado por contacto del viento con los arboles / Sonido de aves y viento leve.
	Nocturno	49,9	67,9	33,5	40,2	62,7	32,2	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento y el sonido de los grillos / Sonido de ladrido de perro
RA-2	Diurno	56,7	63,3	49,0	48,6	55,2	44,6	80	70	70	70	Ruido Generado por la actividad de perforación a 80 m aprox. / Sonido de viento leve.
	Nocturno	57,2	64,4	49,8	52,9	65,7	34,9	70	70	--	70	Ruido Generado por camiones y actividad de perforación a 80 m aprox. / Tránsito de camión por la carretera Vale a 60 m. aprox., y de tractor cerca.
RA-3	Diurno	40,4	58,0	28,2	50,6	61,7	37,8	80	70	70	70	Ruido Generado por paso de autos y camiones / Sonido de viento fuerte y tránsito vehicular
	Nocturno	42,4	58,7	29,2	37,2	59,3	32,1	70	70	--	70	Ruido Generado por el paso de autos y camiones / Sonido de viento leve y tránsito vehicular.
RA-4	Diurno	53,2	63,1	45,1	52,5	67,9	37,5	80	70	70	70	Ruido Generado por el paso de autos y camiones /Sonido de viento fuerte y tránsito vehicular.
	Nocturno	54,4	63,6	46,0	54,9	65,3	40,2	70	70	--	70	Ruido Generado por autos y camiones / viento moderado y tránsito de bus interprovincial.
RA-5	Diurno	50,6	63,1	42,9	70,3	73,9	65,4	80	70	70	70	Ruido Generado por el paso de autos y camiones/ tránsito a unos 200 m. de pista
	Nocturno	46,2	54,3	31,4	56,3	72,5	44,9	70	70	--	70	Ruido Generado por vehículos, y por la fuerza del viento / tránsito de vehículos de carga
RA-6	Diurno	44,4	55,1	33,8	62,9	69,3	55,7	80	70	70	70	Ruido Generado por el paso de autos y camiones/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	45,6	56,3	34,2	49,6	69,0	30,0	70	70	--	70	Ruido Generado por el paso de camiones, y por la fuerza del viento/ Por fuerza del viento
RA-9	Diurno	53,0	63,0	45,1	64,0	72,6	58,4	80	70	70	70	Ruido Generado por el paso de autos y camiones/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	54,2	64,2	45,9	45,9	65,2	28,2	70	70	--	70	Ruido Generado por el paso de autos y camiones/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-11	Diurno	43,5	54,1	32,8	55,6	63,2	47,3	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	43,0	53,8	32,2	42,1	60,1	29,0	70	70	--	70	Ruido Generado por el viento y el sonido característico de los grillos / Por la fuerza del viento
RA-12	Diurno	45,1	54,1	33,9	61,3	70,4	57,1	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	46,2	59,3	34,0	58,6	66,4	49,3	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-13	Diurno	45,2	54,4	33,6	60,7	69,2	56,4	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	46,1	59,1	34,1	60,2	67,4	54,0	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-14	Diurno	55,8	62,7	49,0	63,7	78,3	59,4	80	70	70	70	Ruido Generado por el paso de camiones a 100 m/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	42,8	54,9	37,4	46,7	65,5	36,7	70	70	--	70	Ruido Generado por el paso de camiones /Ruido generado por la fuerza del viento
RA-15	Diurno	45,5	54,5	34,1	63,0	73,4	58,1	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	43,4	55,3	36,9	66,4	74,5	60,1	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-16	Diurno	45,2	55,8	30,0	62,3	74,8	56,3	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	39,2	53,8	31,7	60,1	72,3	56,7	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-17	Diurno	46,6	56,4	31,1	66,5	72,3	57,2	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	32,6	56,3	28,7	55,3	68,3	48,5	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-18	Diurno	38,6	65,9	31,0	54,0	62,9	46,5	80	70	70	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	40,9	64,7	30,1	51,8	67,8	44,6	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-19	Diurno	40,2	64,1	29,1	67,7	74,9	55,9	80	70	70	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	39,2	66,1	33,9	52,8	68,1	45,1	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-20	Diurno	50,8	61,2	39,0	51,4	73,6	38,8	80	70	70	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	51,4	61,9	40,1	45,0	56,2	40,7	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-21	Diurno	51,7	58,6	45,0	53,4	71,8	33,0	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	51,6	57,9	45,9	49,7	67,8	39,6	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-22	Diurno	49,1	68,4	31,0	50,3	64,8	40,1	80	70	70	70	Ruido Generado por el viento/Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	54,4	63,6	46,0	44,9	62,5	35,8	70	70	--	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/Ruido generado por la fuerza del viento
RA-23	Diurno	60,8	96,8	43,9	62,8	76,5	59,0	80	70	70	70	Ruido Generado por la fuerza del viento/ Ruido generado por la fuerza del viento
	Nocturno	50,2	64	43,9	51,8	68,9	32,0	70	70	--	70	Ruido Generado por por la fuerza del viento/ Ruido generado por la fuerza del viento

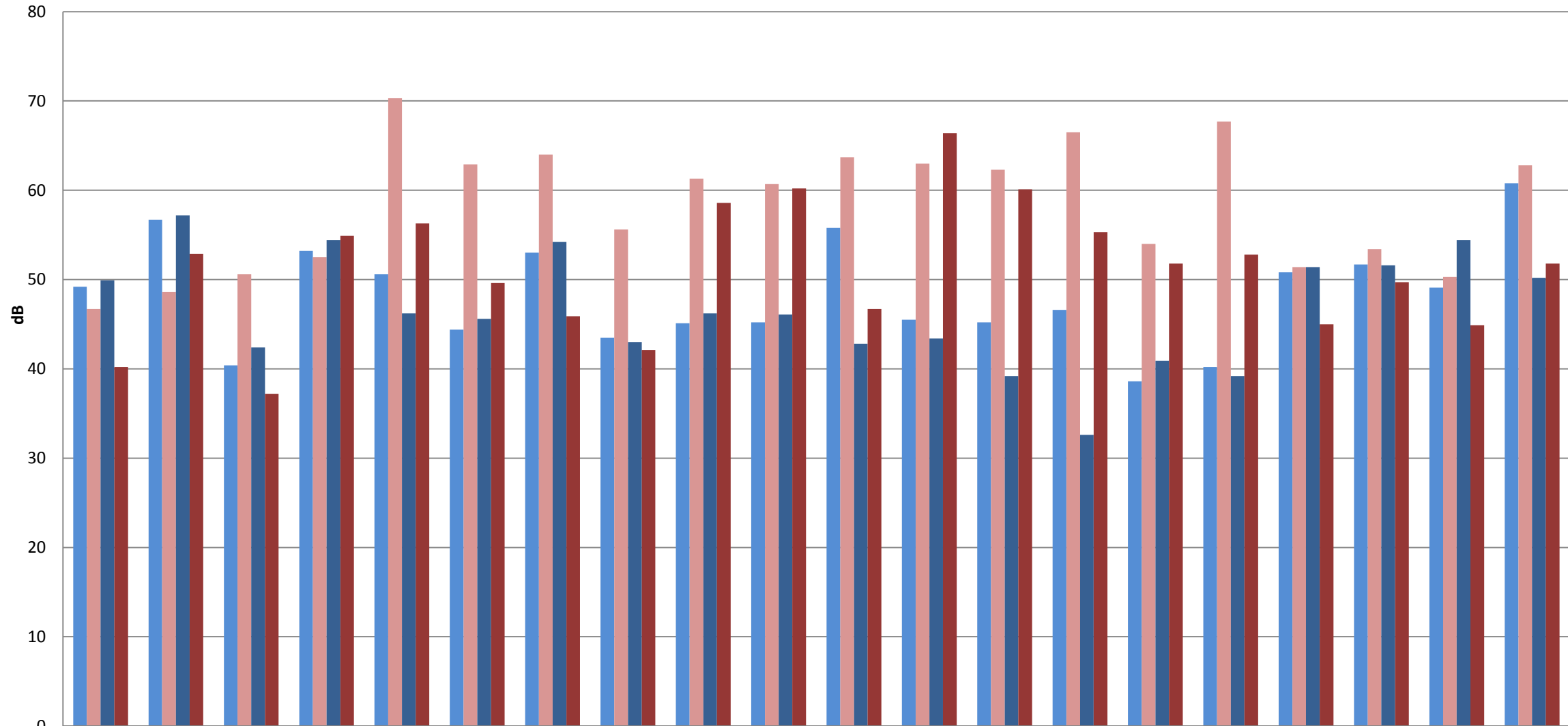
Valores medidos en dB(A): Decibelios (A). (a): L_{AeqT}: Nivel de Presión Sonora Equivalente con Ponderación A. (b): Máx.: Nivel de Presión Sonora Máxima. (c): Min.: Nivel de Presión Sonora Mínima.

(1): Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Ruido D.S. Nº 085-2003-PCM. Zona Industrial. (2): World Bank Group. Pollution Prevention and Abatement Handbook, 1997.

(3): Environmental Protection Agency-USA. Nivel de Ruido para Ambientes Externos. 4): Guideline values for community noise in Industrial, commercial, shopping and traffic areas, indoors and outdoors, from the World Health Organization (OMS).

Figura 3.3.3-12. Comparativo de nivel ruido diurno y nocturno en ambas épocas.

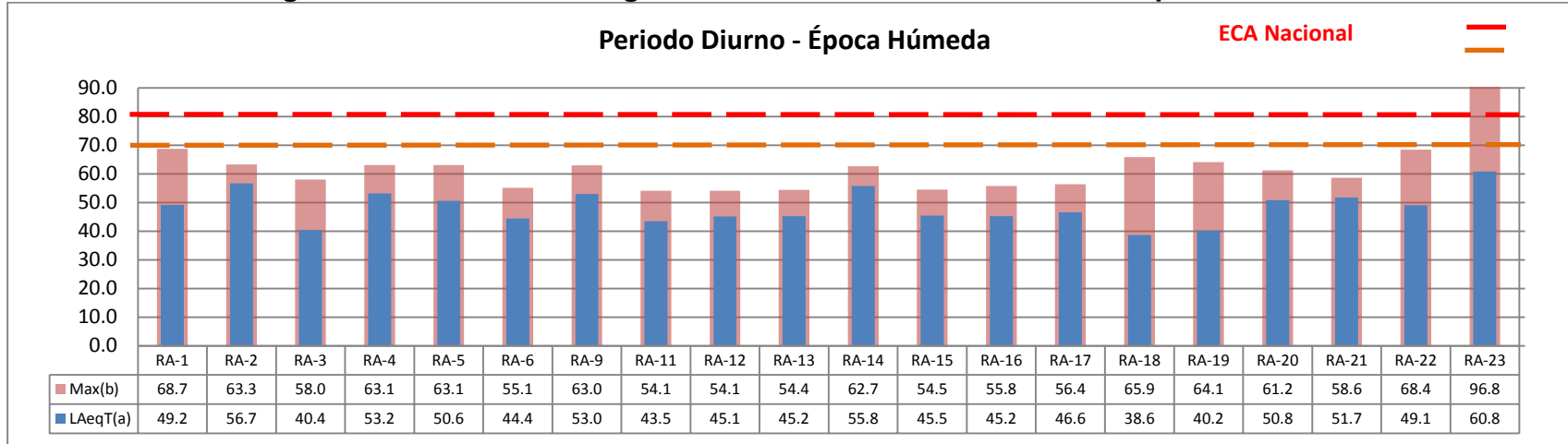
Comparativo de nivel de ruido diurno y nocturno en ambas épocas



	RA-1	RA-2	RA-3	RA-4	RA-5	RA-6	RA-9	RA-11	RA-12	RA-13	RA-14	RA-15	RA-16	RA-17	RA-18	RA-19	RA-20	RA-21	RA-22	RA-23
E. Seca Diurno	49.2	56.7	40.4	53.2	50.6	44.4	53	43.5	45.1	45.2	55.8	45.5	45.2	46.6	38.6	40.2	50.8	51.7	49.1	60.8
E. Húmeda Diurno	46.7	48.6	50.6	52.5	70.3	62.9	64	55.6	61.3	60.7	63.7	63	62.3	66.5	54	67.7	51.4	53.4	50.3	62.8
E. Seca Nocturno	49.9	57.2	42.4	54.4	46.2	45.6	54.2	43	46.2	46.1	42.8	43.4	39.2	32.6	40.9	39.2	51.4	51.6	54.4	50.2
E. Húmeda Nocturno	40.2	52.9	37.2	54.9	56.3	49.6	45.9	42.1	58.6	60.2	46.7	66.4	60.1	55.3	51.8	52.8	45	49.7	44.9	51.8

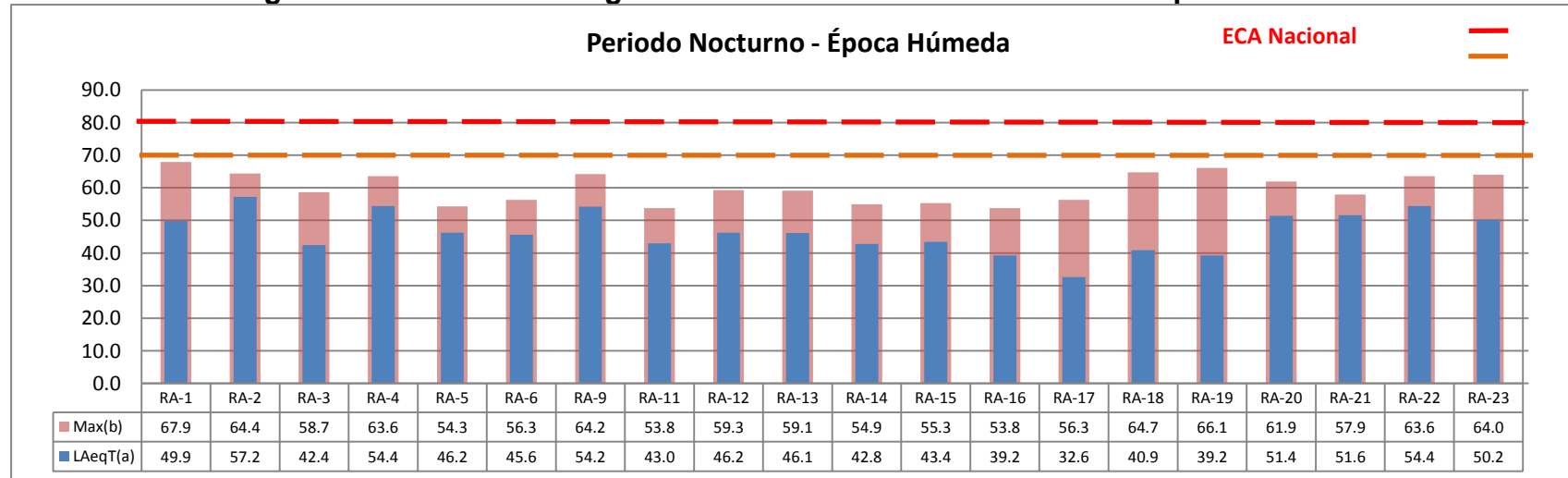
Fuente Buenaventura Ingenieros S.A.

Figura 3.3.3-13. Valores registrados de ruido diurno durante la época húmeda



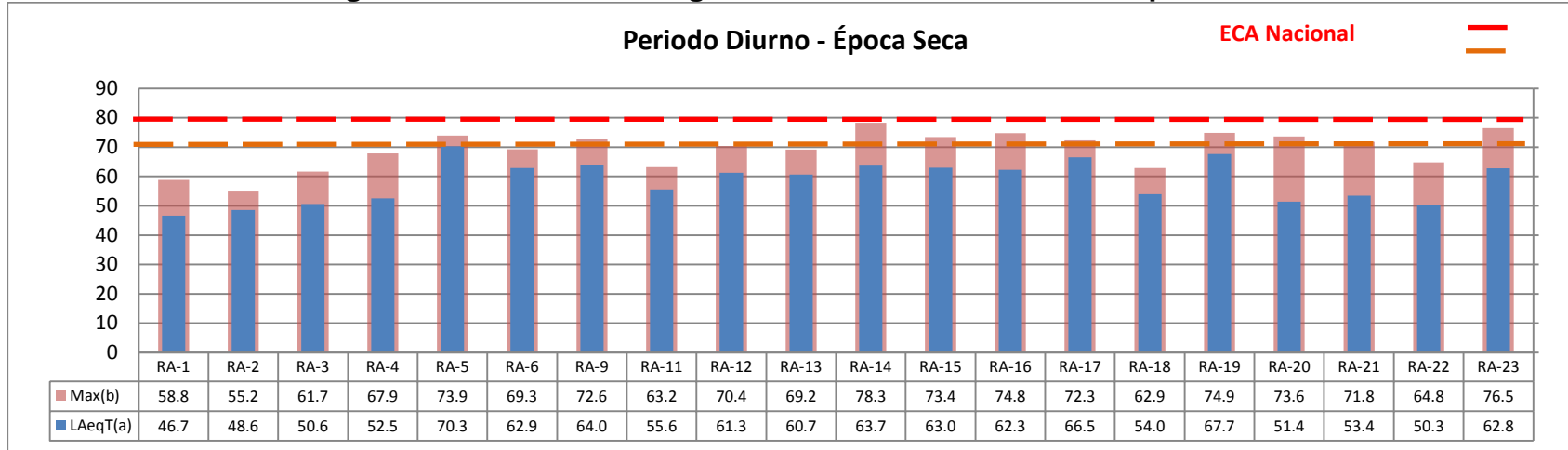
Fuente: Buenaventura Ingenieros S.A.

Figura 3.3.3-14. Valores registrados de ruido nocturno durante la época húmeda



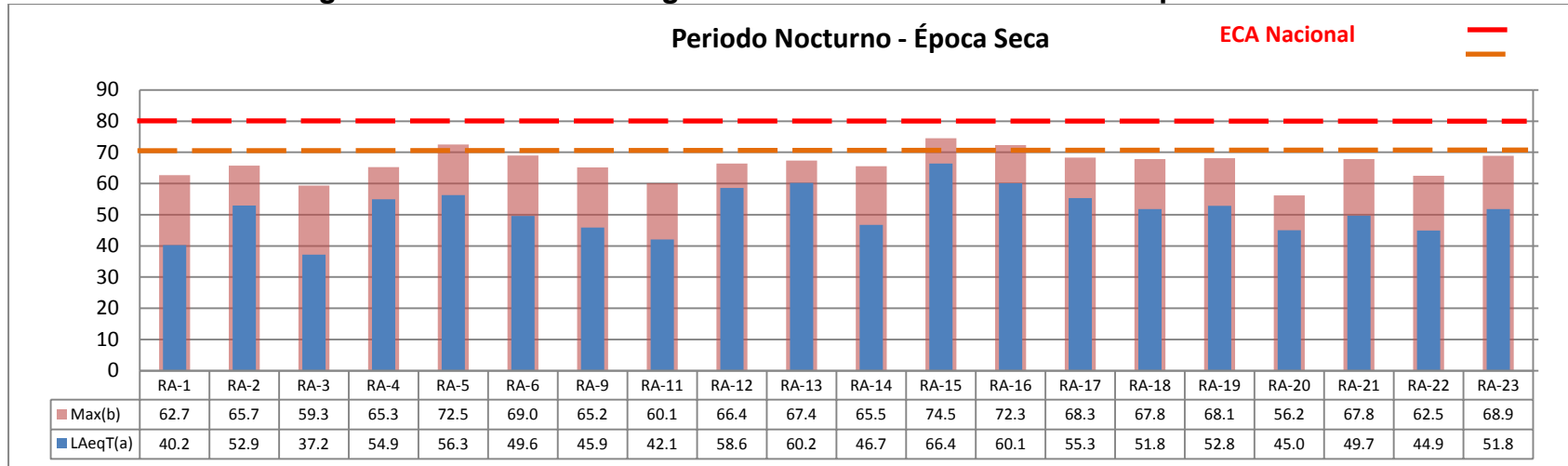
Fuente: Buenaventura Ingenieros S.A.

Figura 3.3.3-15. Valores registrados de ruido diurno en la época seca



Fuente: Buenaventura Ingenieros S.A.

Figura 3.3.3-16. Valores registrados de ruido nocturno en la época seca



Fuente: Buenaventura Ingenieros S.A.

3.3.3.4.3 Conclusiones

- De forma general, a partir de los datos registrados de monitoreo de ruido en cada una de las estaciones, tanto durante la época seca como durante la época húmeda, se concluye que los estándares de calidad ambiental para ruido - categoría zona industrial, establecidos por D.S. N° 085-2003-PCM, no son excedidos en el área de influencia.
- Comparando los resultados por estacionalidad se puede apreciar que los mayores valores de ruido se registran durante la época seca. En la mayoría de los casos se observa un valor más alto durante el horario diurno que durante el nocturno.
- Analizando los resultados la época húmeda y considerando los estándares permitidos para una zona clasificada como residencial (ver cuadro 3.3.3-15), se puede observar que los lineamientos son excedidos en las estaciones RA-2, RA-4, RA-9, RA-20, RA-21 y RA-22 durante el horario nocturno. Los valores inusualmente altos de las estaciones RA-20, RA-21 y RA-22 merecen una mención especial ya que están ubicadas en el estuario Virrilá donde no hay poblaciones ni tráfico intenso pudiendo deberse al ruido propio de la biofauna del estuario (ver figura 3.3.3-12).
- Por otro lado, al analizar los resultados de la época seca y considerando también el área como zona residencial, se observa que los lineamientos son excedidos en las estaciones RA-5, RA-12, RA-13, RA-15, RA-16, RA-17, RA-19 y RA-23 tanto durante el día como la noche.
- Para el caso de RA-5 y RA-6 los altos valores durante el día pueden deberse a las actividades propias del lugar, muelle Villa Petroperú. Con respecto a los puntos RA-9 y RA-23, los cuales se encuentran ubicados cerca de la carretera que conecta la panamericana norte y el puerto, los altos valores registrados durante el día se deberían al tránsito vehicular. Para el caso de los puntos RA-13, RA-15, RA-16. RA-17 no se identifica otra posible causa más que la fuerza del viento. No hay actividades ni vías de transporte en las cercanías. (Ver figura 3.3.3-13).

- De forma particular las estaciones RA-14 y RA-17 que presentan una diferencia más marcada, en el primer caso podría deberse a la reducción de la actividad en las operaciones de la mina de fosfatos de Vale y la vía que conduce a ella por horario nocturno; en el segundo no se ha identificado una causa probable debido a que la zona donde se ubica esta estación, está alejada de poblaciones, caminos y en general de toda actividad.

3.3.3.5 Campos electromagnéticos de radiaciones no ionizantes

La evaluación de campos electromagnéticos, permite conocer la Intensidad de campo eléctrico (ICE), intensidad de campo magnético (ICM) y la densidad de flujo magnético (DFM) que se expresan en voltios o kilovoltios por metro (V/m) o kV/m, amperios por metro (A/m) y en micro teslas (μT) respectivamente, mediante mediciones con equipo sensor que permita registrar los valores de estos parámetros en los lugares donde existan o se pretende construir o implementar instalaciones eléctricas de gran tensión.

Las ondas electromagnéticas de las radiaciones no ionizantes, llamadas así porque no logran producir el proceso de ionización (no generan iones), tiene efectos que derivan de la generación de pequeñas corrientes inducidas dentro del cuerpo, por efecto de la energía eléctrica.

La creciente demanda de electricidad ha generado más fuentes artificiales de campos electromagnéticos, dando lugar a la presencia de radiaciones no ionizantes en el medio ambiente.

La evaluación fue realizada en 2 campañas en estaciones de evaluación ubicadas en las cercanías a las áreas definidas para establecimiento de los componentes del Proyecto: el 05 de noviembre del 2011 y el 27 de Abril del 2012.

3.3.3.5.1 Metodología

El grupo de estudios técnicos ambientales para radiaciones no ionizantes (GESTA-RNI) del INICTEL-Perú presentó el proyecto de reglamento de los estándares de calidad ambiental para radiaciones no ionizantes (ECAs- RNI), en los cuales se acoge las recomendaciones de la comisión internacional para la Protección contra las Radiaciones no Ionizantes “ICNIRP” para el rango de 0 a 300 GHz. Mediante el Decreto Supremo N° 010-2005-PCM, con fecha 03 de febrero del 2005, se aprueban los Estándares de Calidad Ambiental (ECAs) para Radiaciones No Ionizantes en nuestro país.

Los métodos y técnicas usados para este parámetro son los indicados en el Decreto Supremo N° 010-2005-PCM, y las Recomendaciones de la Comisión Internacional para la Protección contra las Radiaciones no Ionizantes “ICNIRP”.

a) Estaciones de muestreo

Para las mediciones se establecieron dos (02) estaciones en la primera campaña y tres (03) estaciones en la segunda campaña, en puntos donde se instalará equipamiento de alta tensión eléctrica para el Proyecto.

En el cuadro 3.3.3-16 se presenta la ubicación política y en coordenadas planas las estaciones de evaluación de campos electromagnéticos:

Cuadro 3.3.3-16. Estaciones de evaluación de campos electromagnéticos

Código	Descripción de ubicación	Ubicación política			Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur		
		Distrito	Provincia	Región	Este m	Norte m	Altitud m.s.n.m.
CM-1	S.E. Nueva	Sechura	Sechura	Piura	518 243	9 341 208	51
CM-2	Frente a la puerta de entrada a la S.E “La Niña”	Sechura	Sechura	Piura	551 757	9 345 162	16
CM-3	Zona de minado	Sechura	Sechura	Piura	515 530	9 342 502	63
CM-4	Zona de minado	Sechura	Sechura	Piura	516 003	9 339 928	59
CM-6	Puerto de embarque	Sechura	Sechura	Piura	493 943	9 359 186	31

Fuente: GREEN ENVIRONMENT E.I.R.L. Trabajo de campo. Noviembre 2011.

En el plano **830MA001A-010-20-011** se muestra la ubicación de las estaciones de evaluación de camor electromagnéticos.

b) Método y equipo utilizados

La medición se realizó:

- Con previo reconocimiento de campo en el que se definió los puntos de medición.
- Reconocimiento de las instalaciones y facilidades de operación.
- Ubicación del punto de medición.
- Ejecución de la medición, utilizando equipos e instrumentos portátiles.
- Recopilación de información técnica complementaria de las instalaciones y del punto de control.

Cuadro 3.3.3-17. Características del equipo empleado

Equipo	Marca	Modelo	Uso
Medidor de campos electromagnéticos	UNITEST	9013	Medición de radiaciones no ionizantes

Los certificados de calibración de los equipos utilizados se adjuntan en el **Anexo 3-3**.

Especificaciones técnicas del UNITEST 9013 Elektrosmogmeter

Display 3½ digit, digital LCD	
Rango de Medición/Resolución	20 µT (0....19,99 µT/ 0,01 µT 200 µT (0....199, 99 µT/ 0, 01 µT) 2 000 µT (0....1 999, 99 µT/ 0, 01 µT)
Precisión (50 Hz)	± (4% rdg. + 3 Digits)
Rate de medición	Approx. 0.4 s
Ancho de banda	30 a 300Hz
Indicación de sobrecarga	1 is displayed
Suministro de energía	9V battery IEC 6LR61
Consumo	CA. 3 mA
Temperatura de operación	0°C....50°C
Humedad	Máx. 90% (0°C.....35°C) Máx. 80% (35°C...50°C)
Peso	195 g
Dimensiones	163x38x25 mm

c) Estándares de calidad ambiental para campos electromagnéticos

Las mediciones de campo electromagnético se han llevado a cabo tomando en cuenta los ECAs y las Recomendaciones ICNIRP, que han sido aceptadas por la Organización Mundial de la Salud y sirven de base para los estándares de Alemania, Australia – Nueva Zelanda, Japón, a la Unión Europea, y otros países. En el cuadro siguiente se presentan los límites máximos permisibles para exposición a los campos electromagnéticos producidos por las líneas eléctricas de 60Hz.

Cuadro 3.3.3-18. Límites máximos permisibles para 60 Hz

Frecuencia "f" (Hz)		E (KV/m)	H (A/m)	B (µT)
Límites ECA	60 Hz	250/f	4/f	5/f
Límites ICNIRP para exposición ocupacional		8,3	336	420
Límites ICNIRP para exposición del público en general (poblacional)		4,2	66,4	83,3

Fuente: D.S. N° 010-2005-PCM, aplica a redes de energía eléctrica, líneas de energía para trenes y monitores de video.

Comisión Internacional para la protección contra Radiaciones no Ionizantes ICNIRP

Donde:

- E: Intensidad del campo eléctrico, medida en kVoltios/metro (kV/m)
- H: Intensidad del campo magnético, medida en Amperios/metro (A/m)
- B: Inducción magnética (µT)

Cálculo para el límite del ECA

5/f	60 hercios = 0,06 kilohercios	Entonces 5/f resulta ser $5/0,06=83,3 \mu\text{T}$
-----	-------------------------------	----------------------------------------------------

3.3.3.5.2 Resultados

Los resultados de las mediciones de campo de radiaciones electromagnéticas, se presentan en el cuadro siguiente los mismos que fueron comparados con cada valor límite establecido en el Estándar Nacional de Radiaciones No Ionizantes (Decreto Supremo N° 010-2005-PCM) y la comparación con el ECA se muestran en las figuras 3.3.3-17, 3.3.3-18 y 3.3.3-19.

Cuadro 3.3.3-18. Valores registrados de campos electromagnéticos

Estación	Intensidad de campo eléctrico E (KV/m)		Intensidad de campo magnético H (A/m)		Densidad de flujo magnético B (μT)	
	Valor registrado	Valor ECA*	Valor registrado	Valor ECA*	Valor registrado	Valor ECA*
CM-1	0,0	4,2	0,0	66,4	0,0	83,3
CM-2	0,011	4,2	0,019	66,4	0,016	83,3
CM-3	0,001	4,2	0	66,4	0	83,3
CM-4	0,001	4,2	0	66,4	0	83,3
CM-6	0,001	4,2	0,01	66,4	0	83,3

Fuente: Green Environment E.I.R.L. Trabajos de campo. Noviembre 2011 y Abril 2012.

* ECA para radiaciones No Ionizantes D.S N° 010-2005-PCM.

Figura 3.3.3-17. Valores registrados de campos electromagnéticos de Intensidad de campo eléctrico E (KV/m)

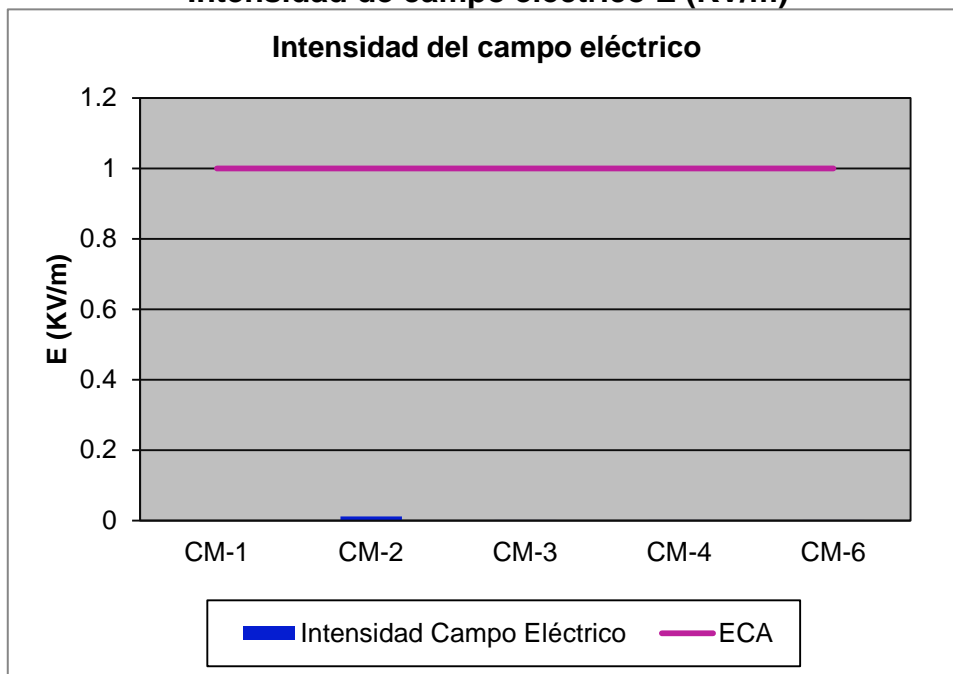


Figura 3.3.3-18. Valores registrados de campos electromagnéticos de Intensidad de campo magnético H (A/m)

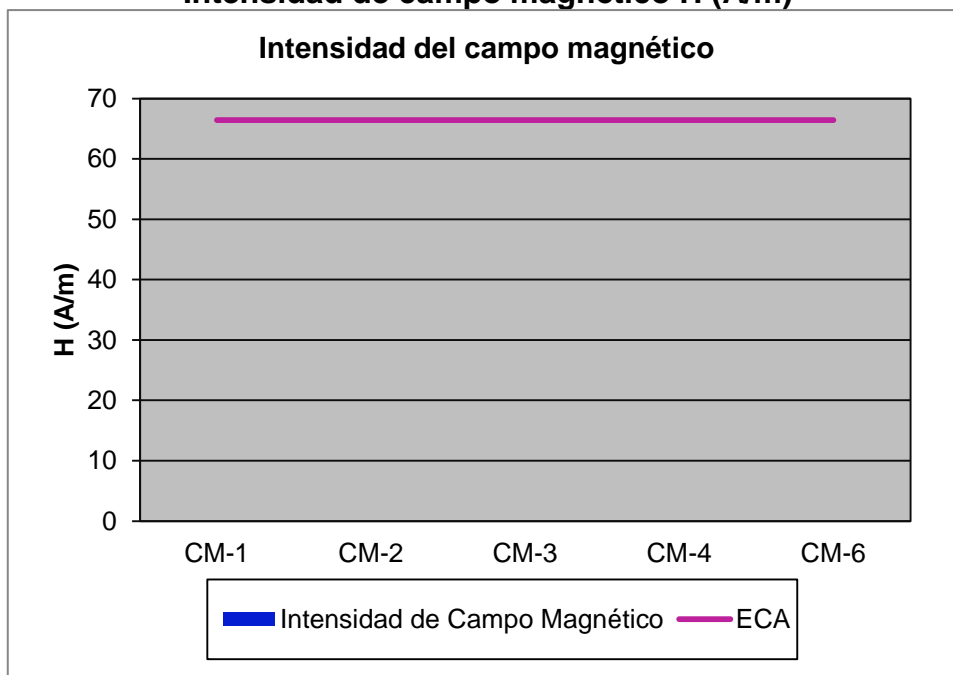
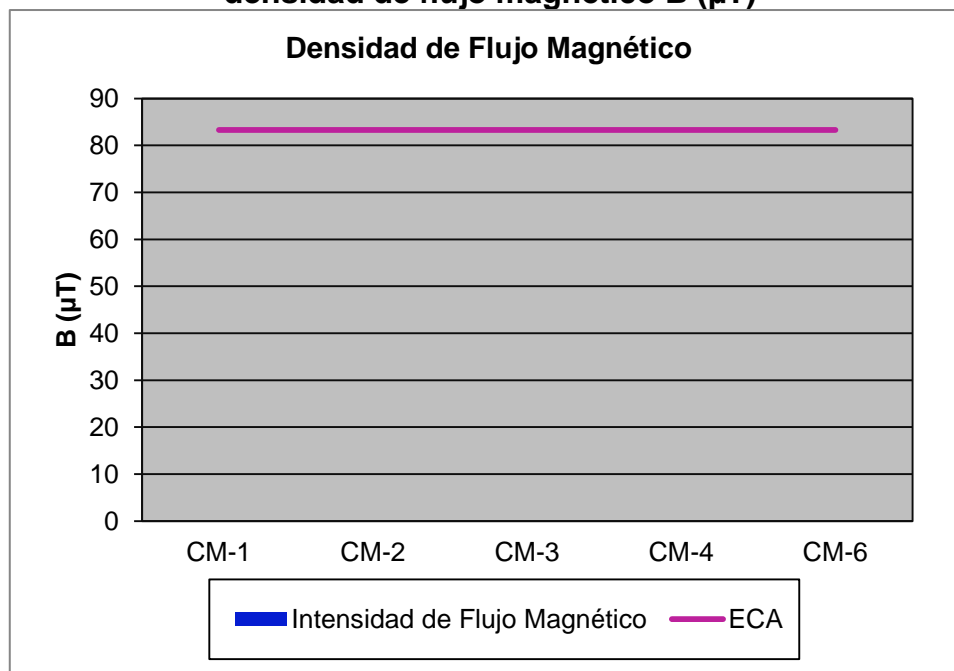


Figura 3.3.3-19. Valores registrados de campos electromagnéticos de densidad de flujo magnético B (μT)



3.3.3.5.3 Conclusiones

Tal como se puede observar en los figuras 3.3.3-17, 3.3.3-18 y 3.3.3-19 los resultados de la intensidad de campo eléctrico, intensidad del campo magnético y la densidad de flujo magnético respectivamente, en las estaciones CM-1 (S.E. Nueva), CM-2 (Frente a la puerta de entrada a la S.E “La Niña”), CM-3 (mina); CM-4 (mina); y CM-6 (puerto de embarque) registran valores por debajo de los límites establecidos en la normatividad vigente.

De acuerdo a las comparaciones para campos electromagnéticos y entre cada estación se tiene que la estación CM-2 reporta un mayor valor para los tres parámetros lo que evidencia el efecto producido por la sub-estación eléctrica existente muy próxima al punto de medición.

3.3.4 Geodinámica y sismicidad

3.3.4.1 Introducción

El territorio peruano se localiza en una de las zonas de más alta actividad sísmica y tectónica del planeta pues, en su borde continental se libera el 14% de la energía sísmica planetaria. Su elevada sismicidad, se explica como resultado de la subducción de la placa de Nazca por debajo de la placa Sudamericana, en el segmento litoral comprendido entre los paralelos 2° y 15° de latitud sur.

La región Piura es considerada zona medianamente sísmica debido a sus características estructurales, confluyen dos placas tectónicas, la placa de Cocos y la placa de Nazca, los cuales junto con la Dorsal de Grijaldo y Sarmiento ejercen un empuje hacia el este, generando una zona de transición en el continente (deflexión de Huancabamba).

La enorme fricción generada por el roce de las dos placas en movimiento genera una constante acumulación de energía, que al liberarse da lugar a violentos movimientos sísmicos en el margen litoral peruano, siendo los más destructivos los superficiales, es decir, aquellos cuyos focos se localizan a menos de 30 km de profundidad; tornando a esta región desde el punto de vista sísmico, como el más activo del retroarco a lo largo del frente occidental andino. La gradiente de subducción de 5° a 10° de la placa de Nazca y su tasa de desplazamiento de 11 cm/año, mantiene la actividad tectónica de la costa peruana donde las fuerzas de compresión son eficazmente transportadas a la corteza.

3.3.4.2 Resultados

3.3.4.2.1 Geodinámica externa

Los fenómenos de geodinámica externa se tornan frecuentes en épocas de fuertes precipitaciones pluviales, donde ocurren principalmente desbordes e inundaciones de áreas depresionadas y cauces secos de quebradas y ríos y en menor importancia movimientos en masa como: erosión de ribera, de ladera (surcos y cárcavas), huaycos, flujos y desprendimientos en el borde de los tablazos, donde la magnitud de los movimientos sísmicos son los que podrían acentuar su intensidad.

a) Inundaciones

Las inundaciones son el resultado de lluvias fuertes o continuas que sobrepasan la capacidad tanto de absorción del suelo cuanto la descarga de los ríos, quebradas y áreas costeras (OEA, 1993). En el Perú constituyen uno de los principales peligros naturales en la costa sobre todo durante el Fenómeno Meteorológico de El Niño, que provoca el aumento de precipitación en la cuenca alta y en la llanura costera.

Los dos últimos fenómenos de El Niño (1982-83 y 1997-98), generaron la inundación de gran parte del área, sobretodo de las áreas planas y depresionadas, como las depresiones de Salinas, Salina La Grande y otras menores (Ver fotografías 3.3.4-1 y 3.3.4-2), y la reaparición de antiguos lechos de quebradas como la de Los Pozos que habían permanecido cubiertos por antiguos depósitos eólicos (El Niño 1982-83) y otras de menor importancia. Como huellas de la ocurrencia de estos acontecimientos se encuentra la vegetación herbácea y arbórea que se ha desarrollado en la zona después de estos últimos niños, las lluvias del año 2002 y del presente año, los que también han logrado fijar los sectores de médanos del área.

Fotografía 3.3.4-1. Vista a la laguna “La Niña” formada por las lluvias del presente año en el sector por donde pasa la línea de trasmisión que va a la mina de Bayóvar



Fotografía 3.3.4-2. Otra vista a la laguna “La Niña”



b) Movimientos en masa

Los fenómenos geodinámicos de movimientos en masa, de ocurrencia común son huaycos, flujos, erosión de ribera, erosión en cárcavas, derrumbes y caídas de rocas. los primeros, circunscritos a las desembocaduras de las quebradas que bajan desde los flancos del macizo de Illescas desembocando sobre los tablazos llegando a afectar a las carreteras y BAPPO – Desvío a Chiclayo y BAPPO - Punta Aguja, la erosión en cárcavas generalmente se localiza en los bordes de los Tablazos Talara y Lobitos donde el suelo carece completamente de protección de cualquier tipo; y los derrumbes y caídas de rocas, corresponden a las laderas superiores de pendientes fuertes, del borde del tablazo Talara, con vista interna hacia la Laguna La Niña, cubiertos por materiales sueltos y arena.

c) El fenómeno meteorológico “El Niño”

Las características oceanográficas y atmosféricas del Fenómeno el Niño ocurrida durante los años 1982- 1983 y 1997- 1998, produjeron modificaciones climáticas, especialmente en la costa de la Región Piura, donde se ubica la mayor parte de la población, infraestructura socio – económica y áreas productivas (agricultura, pesca, industria, etc.).

Fueron varias las características climáticas que se alteraron, sin embargo fue la precipitación pluvial y la consecuente escorrentía de agua por los ríos y quebradas la que afectaron a viviendas y la infraestructura socio económica como consecuencia afectó el desarrollo normal de las actividades productivas de servicio.

Las precipitaciones pluviales durante todo el período lluvioso (diciembre 97 – mayo 98) se concentraron en especial en las ciudades de: Tambogrande (3,953.1mm.), Chulucanas (3,919.4mm.) y en su extensión afectaron a las ciudades de Piura, Sullana, Talara, Paita, Sechura y pueblos menores como los del bajo Piura y área costera de la bahía de Sechura, etc.

Otro parámetro, que nos permite apreciar la magnitud de la alteración climática son las grandes masas de agua que han discurrido por los principales ríos de la Región. El río Piura llegó a registrar el 12 de marzo del año 1998 4,424 m³/seg., lo que se considera su descarga máxima extrema del siglo Veinte, mientras el río Chira llegó el 8 de abril a tener una descarga de 7,301 m³/seg.

Es importante mencionar, que este fenómeno produjo miles de familias damnificadas, miles de hectáreas de cultivo inundadas y miles de hectáreas de tierras de cultivos perdidas, destrucción de miles de viviendas, destrucción de kilómetros de carreteras, puentes y afectación de los servicios vitales como agua y alcantarillado principalmente. Asimismo la pesca se vio afectada por los cambios ecológicos marinos frente a nuestra costa.

3.3.4.2.2 Geodinámica interna

a) Sismicidad

El carácter sísmico de nuestro territorio obliga a tener en cuenta diversas consideraciones para ejecutar alguna actividad productiva, entre las que se tienen: topografía, pendientes, tipo de roca, grado y clase de alteración, etc.; en tal sentido, cabe mencionar que el lugar por donde discurrirá la línea de transmisión se halla en suelos areno-limosos arcillosos cuaternarios, que cubren a los materiales marinos de los tablazos de Talara y Lobitos y la Depresión de Salinas que cuando es inundada por las aguas de precipitación pluvial conjuntamente con el bajo Piura y la Pampa de Ñamuc, forman la laguna La Niña, debajo del cual se hallan los materiales sedimentarios de la Formación Miramar, caracterizados por su falta de litificación y baja competencia.

Debe tenerse en cuenta que el impacto de los sismos puede ser alto en aquellos sectores donde se efectúen remociones de material y acumulaciones poco consolidadas y finalmente, tenerse presente que un evento sísmico podría dar lugar a derrumbes (desprendimientos de material) en los sectores escarpados de

los tablazos de Talara y Lobitos, así como un Tsunami que afecte al litoral de la bahía de Sechura y por consiguiente a las obras de infraestructura y poblaciones que en ella se asienten.

De acuerdo al mapa de zonificación sísmica para el territorio peruano (D. Huaco y J Chávez 1977), el área de estudio se ubica en la región sísmica III cuyas características son:

- Sismo de magnitud 7 (escala de Richter)
- Hipocentros de profundidad intermedia y de intensidad entre VIII y IX.

Según el mapa de intensidad sísmica para el territorio peruano elaborado con información obtenida del centro regional de intensidades sísmicas para América Latina (CERESIS) y tomando en consideración la escala modificada de Mercalli, el área de estudio se encuentra afectada por sismos de grado VIII, cuyas características son:

- Daño leve en estructuras especialmente diseñadas
- Daños considerables en edificios de concreto y sólidos con colapso parcial
- Daños grandes en estructuras de construcción pobre
- Paredes separadas de su estructura
- Caída de chimeneas, rimeros de fábricas, columnas, monumentos y paredes
- Muebles pesados volcados
- Eyección de arena y barro en pequeñas cantidades
- Cambio de nivel en pozos de agua.

Las limitaciones impuestas por la escasez de datos sísmicos en un periodo estadísticamente representativo, restringe el uso del método probabilístico, asimismo la escasez de datos tectónicos restringe el uso del método determinístico, no obstante un cálculo basado en la aplicación de tales métodos,

pero sin perder de vista las limitaciones de tales métodos, aporta criterios suficientes para llegar a una evaluación previa del riesgo sísmico de la Región Grau y del Noroeste peruano en general.

Según el estudio realizado por la Universidad Nacional de Piura (Moreano S, 1994), establece mediante la aplicación del método de los mínimos cuadrados y la Ley de recurrencia.

$$\text{Log } n = 2.08472 - 0.31704 \pm 0.15432 M$$

Una aproximación de la probabilidad de ocurrencia y el periodo medio de retorno para sismos de magnitudes de 7,0 y 7,5 se puede observar en el cuadro 3.3.4-1, lo que nos indica que cada 40,8 años, probablemente se produzca un sismo de $m_b = 7,0$ y cada 73,9 años un sismo de $m_b = 7,5$. El último sismo de $m_b = 7,0$ fue el año 1970.

Cuadro 3.3.4-1. Periodo medio de retorno de sismos

Magnitud Mb	Probabilidad de ocurrencia (años)			Período medio de retorno (años)
	2,0	3,0	4,0	
7,0	38,7	52,1	62,5	40,8
7,5	23,9	33,3	41,8	73,9

Fuente: Universidad Nacional de Piura, Marzo 2001

Elaboración: Equipo Técnico INDECI. Septiembre 2001

a.1) Principales sismos que han afectado el área

Entre los principales sismos que han afectado el área de estudio se encuentran los siguientes:

20 de agosto de 1857

Silgado indica un fuerte sismo en Piura que destruyó muchos edificios. Se abrió la tierra, de la cual emanaron aguas negras. Daños menores en el puerto de Paita. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

24 de julio de 1912

Terremoto en Piura y Huancabamba. En el cauce seco del río Piura se formaron grietas con surgencia de agua, otros daños afectaron el terraplén del ferrocarril. En el puerto de Paita se produjeron agrietamientos del suelo. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM.

12 de diciembre de 1953

Un fuerte y prolongado movimiento sísmico afectó la parte noroeste del Perú y parte del territorio ecuatoriano. Silgado (1957) indicó que se produjeron grietas largas en los terrenos húmedos. Se apreciaron eyecciones de lodo en la quebrada de Bocapán, en los esteros de Puerto Pizarro y en otros lugares. En Bocapán, que había estado seco antes del movimiento, corrió momentáneamente agua a causa de los surtidores. En Puerto Pizarro se originaron chorros de agua de 60 cm. de altura y grietas. La máxima intensidad de este sismo fue de VIII MM y su magnitud fue de $M_s = 7,8$.

9 de diciembre de 1970

Terremoto en el noroeste del Perú. En el área de Querecotillo en terraza fluvial y aluvial se formó un sistema de grietas en echelón, de longitud de 500 m. con aberturas de 0,30 m. y saltos de 0,25 m. Se notó efusión de arena formando sumideros de 0,60-1,00 m. de diámetro. Cerca al caserío La Huaca se agrietó el suelo, brotando arena y lodo. En Tumbes cerca al Puerto Cura, en las terrazas fluviales, se observó efusión de aguas negras acompañadas de arena que salieron a la superficie a través de grietas (Taype, 1971). La máxima intensidad de este sismo fue de IX MM y su magnitud fue de $M_s = 7,1$.

9 de diciembre de 1970.

A las 23:35 horas, terremoto de magnitud 7,2 entre Piura y Tumbes. Epicentro al sur de Tumbes, 48 muertos. En Querecotillo se formaron un sistema de grietas en 500 m. de longitud. Se sintió en Ecuador donde hubo muertes y daños materiales.

10 de julio de 1971.

Temblor de regular intensidad sacudió Suyo en Piura. Cayeron numerosas viviendas.

15 de junio del 2005.

Temblor de grado 5 se produjo en el balneario de Máncora, a las 06:40 horas y tuvo como epicentro a 105 kilómetros al noreste de Máncora con una profundidad de 57 km.

15 de junio 2005.

Temblor de 4,4 grados en la escala de Richter ocurrió en la ciudad costeña de Zorritos a las 09:02 horas locales. Su epicentro fue a 42 kilómetros al oeste de Zorritos, con una profundidad de 35 km.

3.3.4.2.3 Evaluación de riesgo de desastres

El área donde se ubica el Proyecto Fosfatos y sus instalaciones (Bayovar 9) se halla en terrenos que geográficamente se ubican en el desierto de Sechura y geológicamente en el tablazo Talara de edad cuaternaria que cubre a rocas terciarias donde se localizan las zonas mineralizadas de fosfatos, el tablazo se caracteriza por ser plano con pequeñas áreas depresionadas de poca profundidad por acción de la deflexión eólica y la erosión de torrentes ocasionales que bajan por las quebradas que nacen en el macizo de Illescas conduciendo pequeños huaycos y escurren a desembocar a las depresiones de Salinas La Grande y Salinas por los bordes de los tablazos que las limitan.

Al norte del Lote se localiza el estuario de Virrila, al oeste y noroeste el macizo de Illescas, al sur la depresión Salina Grande donde se localiza la mina de fosfatos de Bayóvar, El diámetro aproximado de la depresión es de 16 km y su mínimo nivel se ha identificado en la cota -23 m al este la depresión Salinas que al norte limita con la cuenca baja del río Piura y al sur con las pampas de Ñamuc.

El Puerto de embarque de Fosfatos del Pacífico se ubicará en Punta Aguja ubicada en la zona más meridional de la bahía de Sechura, en una zona conformada por rocas metamórficas del tipo esquistos, en un área donde las laderas del macizo de Illescas descienden directamente al mar.

El área de Punta Aguja de acuerdo a sus características geomorfológicas y geológicas (con rocas de características geomecánicas aceptables), aunado a las oceanográficas tal y como lo menciona en el estudio efectuado por la compañía Misky Mayoc SAC de la oceanografía costera y calidad de sedimentos en la zona marina del área de estudio del Proyecto Fosfatos, estudio efectuado mediante una evaluación de las condiciones de línea base durante el invierno (agosto 2006) y verano (febrero 2007), donde se evaluaron para caracterizar las condiciones oceanográficas en la zona de influencia del proyecto cercana a su futuro Puerto, un total de 36 estaciones oceanográficas que fueron evaluadas en superficie, media agua y fondo. Los parámetros oceanográficos evaluados fueron batimetría, corrientes, temperatura, clorofila-a, salinidad, turbidez, oxígeno disuelto, calidad de sedimentos y nutrientes (nitrato y fósforo total).

Los resultados de la batimetría indicaron que la pendiente de la bahía de Sechura es suave hasta la isobata de 20 m a partir de la cual empieza una caída más pronunciada hasta alcanzar una profundidad máxima de 80 m al noroeste de Punta Aguja.

En el sector sur cerca de Punta Bapo y Punta Aguja (área marina adyacente al Puerto), las isobatas de 15 m hasta 30 m se acercan a la costa. El área restante dentro de la bahía presenta fondos someros (<5 m), mientras que en el área de Nunura las isobatas de 30 m y 40 m se acercan a la costa.

La magnitud de las corrientes evaluadas presentó valores uniformes con un promedio de 10,0 cm/s. La temperatura superficial en el periodo analizado registró un calentamiento progresivo a partir del mes de octubre, llegándose a

registrar 23 °C en promedio en las zonas costeras de la bahía durante el mes de febrero. Mientras tanto, en las estaciones oceanográficas evaluadas se registró una temperatura promedio de 17,8 °C y 19,7 °C durante el invierno y verano respectivamente. Los valores de clorofila-a fluctuaron entre 1,0 mg/m³ y 20 mg/m³, alcanzando los valores más elevados en diciembre 2006 y febrero 2007. La salinidad durante ambas evaluaciones presentó valores uniformes con un valor promedio de 34,73 UPS (unidad práctica de salinidad).

El análisis de riesgo es un estimado de las probabilidades de pérdidas esperadas para un determinado evento natural, para el análisis del riesgo de desastres se han desarrollado diversas metodologías. Una metodología parte de un modelo conceptual que se tenga sobre el tema a tratar. La metodología que se formula para esta área es la siguiente:

$$\text{RIESGO (P)} = \text{Vulnerabilidad (P)} * \text{Amenaza (P)}^3$$

Los principales peligros que afectan al área están circunscritos a la presencia del fenómeno de El Niño, el que se presenta de forma recurrente, sin un período definido y con magnitud variada, según su duración e intensidad y a los peligros de origen sísmico.

Se distinguen fenómenos de origen geológico (fenómenos de geodinámica externa, intensidades sísmicas, tsunamis, inundación por tsunamis, erosión y depositación eólica), de origen geológico-climático y de origen climático (inundaciones por acción de la precipitación pluvial, erosión de laderas). Entre los principales peligros geológicos que afectan al desierto de Sechura con efectos en la zona de estudio tenemos:

Fenómenos de remoción de masas que se activan durante la época de lluvias extraordinarias y el fenómeno de El Niño, así por las quebradas que descienden del macizo de Illescas bajan torrentes cargados de huaycos que afectan a la

carretera Bapo - Muelle de Petroperú y podría afectar a la caleta de Puerto Rico, donde no existe un ordenamiento territorial ni preparación de sus pobladores ante la ocurrencia de un peligro geológico, que afecte su poblado, igualmente puede afectar otras obras de infraestructura que se ubican en el área de influencia de la desembocadura de las quebradas. Ver fotografía 3.3.4-3.

Por otro lado, en las pampas de San Antonio y los Hornillos los torrentes que bajan cargados de agua, con lodos tienden a erosionar sus márgenes y los bordes de las vías que atraviesan, entre ellos la carretera desvió Chiclayo –Bapo – Sechura (Ver fotografía 3.3.4-4).

Fotografía 3.3.4-3. Muelle de Petroperú entre Punta Lagunas y Punta Aguja



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-4. Vista a carretera Bapo – Desvió Chiclayo, erosionada por torrente que discurrió por lecho de quebrada en el Niño del 1997-98.



Fuente: BISA, 2012.

En los bordes de los tablazos que limitan a las depresiones se observan algunas áreas afectadas por pequeños derrumbes que se accionan durante la época del fenómeno de El Niño y tras un sismo.

La actividad sísmica, también constituye un peligro para la seguridad física de las ciudades litorales de la región Piura, sobre todo en las provincias de Paita y Sechura.

Existe como antecedente registros de sismos de intensidad mayor a 7 grados que han afectado durante el siglo XX a la región Piura con efecto en el desierto de Sechura, por lo que va a ser necesario desarrollar estudios de riesgo sísmico para la ubicación de nuevas ciudades, campamentos, edificaciones y obras de infraestructura para la minería, petróleo y pesquería que se localicen en el desierto de Sechura, que complementen el estudio de mitigación que se han realizado en la región.

Los Tsunamis, constituyen también otro peligro geológico para las ciudades y balnearios localizados en la zona litoral de la región Piura. Estos pueden producirse como consecuencia de la ocurrencia de sismos que puedan generar el desplazamiento de olas gigantes que podrían impactar la costa norte de nuestro país, provocando daños a las obras de infraestructura portuaria, pesquera y urbana, sobretodo en el área litoral ubicada en la bahía de Sechura entre Parachique y Punta Aguja, considerando la altura máxima que alcanzaría la ola y su efecto en el litoral sobre todo entre la caleta de Puerto Rico y Punta Aguja donde los promontorios rocosos terminan directamente en contacto con el mar. y las obras de infraestructura existente se hallan a media ladera.

La acción eólica de los vientos que afectan el área también son peligros a tener en cuenta considerando los grandes volúmenes de arena que se acumulan como cordones de dunas barjanes de dirección N-S y SO-NE (Ver fotografías 3.3.4-5 y 3.3.4-6), que dificultan el transito este –oeste en la región, sobretodo en épocas

en que la velocidad e intensidad del viento se intensifica, además de estos cordones se han formado las extraordinarias dunas gigantes del tipo Pur Pur, denominadas: Tres Marías en la pampa de Minchales, Los Perritos en la zona de Bayóvar, Salinas en la depresión de Salinas La Grande, Julián Grande y Julián Chico en el área de la laguna Ramón, que siguen una dirección aproximada S-N y depresiones de magnitud variada por el fenómeno de deflexión eólica a lo que ha coadyuvado la precipitación pluvial .

Dentro de los peligros de origen climático destacan las precipitaciones pluviales que afectan a todo el desierto de Sechura en la época de ocurrencia de lluvias extraordinarias y en los fenómenos de “El Niño” de intensidad alta como los de 1925, 1972, 1982-83 y 1997-98, provocando la inundación de las áreas depresionadas como Salinas Grande, y las depresiones que corresponden a la cuenca Baja del río Piura, la depresión Salinas y la Pampa de Ñamuc que se unen como una gran Laguna denominada “La Niña” malogrando a las carreteras de su área de influencia (Ver fotografía 3.3.4-7), afectando el tránsito vehicular de ida y vuelta entre el desvío a Chiclayo - Bayóvar interrumpiéndolo permanentemente durante la temporada de lluvias y un período posterior a ellas.

Fotografía 3.3.4-5. Duna barjana ubicada al este del área donde se ubicara la mina de Fosfatos del Pacífico



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-6. Dunas migratorias en área ubicada al este de las instalaciones de la mina de Fosfatos del Pacífico



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-7. Vista que muestran los efectos de la laguna “La Niña “en la carretera que conduce de desvío a Chiclayo –Bayóvar



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-8. Vista que muestran los efectos de la laguna “La Niña “en la carretera que conduce de desvío a Chiclayo –Bayóvar



Fuente: BISA, 2012.

La vulnerabilidad de cualquier elemento en su conjunto está definida como el grado de pérdida o daño que este puede sufrir debido a la ocurrencia de un peligro de origen natural o antrópico.

Haciendo énfasis en el concepto de vulnerabilidad de una sociedad o en este caso del área donde se asentará el Proyecto Fosfatos, ante desastres entendidos como: "la susceptibilidad que una comunidad (área) sea afectada por algún fenómeno, expresada en su incapacidad para «absorber», mediante el autoajuste, los efectos de un determinado cambio en su medio ambiente, o sea su «inflexibilidad» o incapacidad para adaptarse a un cambio, que para la comunidad constituye, por las razones expuestas, un riesgo. La vulnerabilidad determina la intensidad de los daños que produzca la ocurrencia efectiva de una amenaza o peligro sobre una comunidad (u obra de infraestructura)".

Bajo estos conceptos, en el análisis de vulnerabilidad ante desastres del área de estudio, se buscó integrar la geología, geomorfología y geodinámica externa e interna del área, con las características hidrometeorológicas, asentamientos poblacionales, infraestructura del área, desarrollo agrícola y energético, indicadores sociales, educacionales, económicos susceptibles de ser cuantificados y georeferenciados, que permita caracterizar la "susceptibilidad del área a ser afectada por alguna amenaza".

De acuerdo a lo analizado tanto en trabajos de gabinete como de campo, podemos manifestar que los terrenos que constituyen la planicie costanera (tablazo Talara) donde se implementarán las estructuras del Proyecto Fosfatos del Pacífico, presentan buenas características geológicas, geomorfológicas y geodinámicas, aunque puntualmente va a ser necesario efectuar estudios geotécnicos de detalle, necesarios para la ubicación de la mina y sus instalaciones. También es necesario considerar que contribuye a mejorar su vulnerabilidad el que los terrenos del área disponen de escaso desarrollo agrícola y agropecuario y en él no se localiza ningún asentamiento humano.

La **alta vulnerabilidad** del área estará referida a la ocurrencia de fuertes precipitaciones pluviales que provocan inundaciones en las zonas depresionadas durante la presencia del fenómeno meteorológico de El Niño, o a los daños que podría causar la presencia de un sismo y un tsunami en las obras de infraestructura localizadas en la zona del desierto de Sechura , incluido la concesión Bayovar 9, y las pequeñas poblaciones del litoral”, para mejorar la vulnerabilidad será necesario diseñar obras de protección y drenaje apropiadas, así como darle un mantenimiento adecuado y permanente a los cauces de quebradas y torrenteras.

Específicamente en el caso del área que atravesará la línea de transmisión laguna La Niña – Fosfatos del Pacífico, la vulnerabilidad de ella, se considera alta en el área donde la línea atraviesa la laguna La Niña, donde será necesario proteger las patas de las torres colocándose una cimentación adecuada con sus rellenos de protección que deben ser similares al adoptado para la línea de transmisión de 138 Kv (ver fotografías 3.3.4-9 a 3.3.4-11), que conduce la energía desde la subestación de La Niña hasta la mina de Fosfatos de Bayóvar, igualmente en las zonas de tablazo será necesario proteger y mantener a estas torres en su pase por los cauces de quebradas, pequeñas áreas depresionadas inundables, y las zonas de dunas barjanes con fuerte acción eólica, igualmente se debe adoptar medidas de protección en las otras obras de infraestructura de la línea como son las subestación, oficinas, etc., teniéndose en cuenta que en los años normales la vulnerabilidad es baja sin problemas de envergadura, presentándose los problemas en la ocurrencia de lluvias extraordinarias y en el fenómeno de El Niño.

Fotografía 3.3.4-9. Vista a las torres de la línea de transmisión subestación laguna La Niña – Mina Bayóvar



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-10. Nos muestra el pase de la línea de transmisión de 138 Kv subestación laguna La Niña – mina de Fosfatos Bayóvar



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-11. Vista que muestra el área adyacente a la línea de transmisión subestación La Niña hacia la mina Bayóvar, por donde discurrirá la línea de transmisión a la mina de Fosfatos del Pacífico



Fuente: BISA, 2012.

En cuanto a la vulnerabilidad de las zonas donde se ubicaran la mina, poza de lodos residuales y poza de evaporación (ver fotografías 3.3.4-12 a 3.3.4-16), se puede manifestar que todas ellas con excepción de la poza de lodos residuales, se ubican en zonas depresionadas. Las zonas donde se ubicará la poza evaporación es de **alta vulnerabilidad** en la época de un Niño, por ser inundables por las lluvias extraordinarias que generan, por lo que va a ser necesario, para mejorar su vulnerabilidad, efectuar estudios geotécnicos puntuales en el área de localización de las relaveras que permitan diseñar las obras necesarias a proyectar para mejorar su vulnerabilidad y protección

Fotografía 3.3.4-12. Nos muestra la zona donde se ubicará la mina y sus instalaciones



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-13. Área donde se ubicara la poza de lodos residuales



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-14. Area donde se ubicara poza de lodos residuales



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-15. Depresión donde se ubicará poza de evaporación



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-16. Depresión donde se ubicará poza de evaporación



Fuente: BISA, 2012.

En cuanto a la línea de transporte del mineral de la planta concentradora al puerto en Punta Aguja, inicialmente se proyectó construyendo una carretera por las laderas del macizo de Illescas, pero considerando que las laderas de los cerros están ocupadas por la carretera de PetroPerú a su puerto y la línea de transporte mixta de mineral de la planta concentradora de Bayóvar a su puerto en el área de lagunas (ver fotografías 3.3.4-17 y 3.3.4-18). Se reduce el área para trazar una nueva carretera por las laderas superiores, teniendo en cuenta que se tienen que atravesar quebradas profundas que en época de un Niño transportan huaycos donde se tendrían que construir obras de arte de gran dimensión.

Fotografía 3.3.4-17. Sector donde se ubica la Zona de descarga de los camiones de la Cia. Misky Mayoc que conducen la roca fosfórica a la zona de molienda.



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-18. Zona de molienda de la roca fosfórica para luego con el uso de una faja transportadora sea conducida al Muelle de embarque.



Fuente: BISA, 2012.

Se considera que esto puede ser lo más recomendable teniendo en cuenta la época área disponible en la ladera de los promontorios para el trazo de una nueva vía, la fuerte profundidad de las quebradas desde sus nacientes en el macizo de Illescas hasta su desembocadura en el litoral, luego de un corto recorrido y la actividad dinámica con generación de huaycos por las quebradas en época de lluvias excepcionales que incrementan la vulnerabilidad de las obras de infraestructura que se ubican en el litoral sino se adoptan obras de protección.

Fotografía 3.3.4-19. Paso de la faja transportadora de fosfatos y tubería del oleoducto por quebrada que trae huayco en época de ocurrencia de lluvias extraordinarias y el fenómeno de El Niño.



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.4-20. Vista al cauce de una quebrada ubicada a la altura de la caleta Puerto Rico donde se ha efectuado obra de envergadura para el paso de la faja transportadora de minera Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012.

En cuanto a la vulnerabilidad del puerto de embarque que construirá Fosfatos del Pacífico en Punta Aguja de acuerdo a las características geomorfológicas y geológicas (con rocas de características geomecánicas aceptables), del área, se puede manifestar que la zona es apta para construirlo en cuanto a la dinámica marina en el área y la profundidad de las aguas es materia del estudio oceanográfico, y el de transporte de mineral al puerto que se efectúen.

Los peligros que pueden afectar a una vía que discurra por la ladera norte del macizo de Illescas con dirección al proyectado puerto de Punta Aguja son los huaycos que bajan por las quebradas y los fenómenos de erosión que provoquen las lluvias en las laderas de los promontorios lo que se intensificara con la presencia del fenómeno de El Niño.

En cuanto al puerto que se ubique en Punta Aguja, además de los efectos que genere un fenómeno de El Niño, podría ser afectado por sismo de gran intensidad

o un Tsunami con daños a sus instalaciones, su muelle y la zona de acodamiento de barcos.

En lo referente a la vulnerabilidad del puerto, se puede manifestar que es baja en períodos normales pudiendo llegar a Alto en caso en el diseño del puerto no se adopten medidas ante la ocurrencia de los peligros geológicos, y climáticos que podrían afectar al área de estudio.

El análisis de riesgo del área de estudio, teniendo en cuenta los peligros que afectan a los terrenos donde Fosfatos del Pacífico ubicará su mina e instalaciones y la vulnerabilidad de los terrenos ante la ocurrencia de peligros naturales y antrópicos, se puede manifestar que el riesgo a que está sometido este proyecto está directamente relacionado con la ocurrencia del fenómeno de El Niño y posibles efectos de un peligro sísmico de gran intensidad o un tsunami, así como fenómenos de remoción en masas tipo huaycos o erosión de ladera o un peligro climático como es la inundación de las depresiones existentes en todo el área del proyecto considerándose Bajo en épocas normales y **medio a alto** en épocas de lluvias extraordinarias y el fenómeno de El Niño, remarcándose que si desde el proyecto final de la mina de Fosfatos del Pacífico y sus instalaciones, se plantea la ejecución de obras de protección a las instalaciones que mejoren su vulnerabilidad en época de ocurrencia de un fenómeno climático (El Niño), geológico (sismo de alta intensidad, tsunami o remoción en masa), esta se mantendría **baja**, debiéndose considerar que también un trabajo conjunto con las otras empresas y organismos públicos instaladas en el litoral de la bahía de Sechura para la proyección y ejecución de obras de infraestructura comunes reducirán la vulnerabilidad del área ante la ocurrencia de todo tipo de peligro geológico (sísmico incluido un tsunami, huaycos, erosión de laderas, etc.), o climático(inundaciones con sus efectos secundarios).

En el plano **830MA001A-010-20-009** se detalla la zonificación de riesgos y gedinamica para la zona evaluada.

3.3.4.3 Conclusiones

- La zona donde se ubica el área de estudio está conformado por sedimentos cuaternarios recientes a antiguos que cubren a sedimentos terciarios que afloran en los bordes de tablazos que limitan las depresiones. Las rocas más antiguas conforman el macizo de Illescas que sobresale en la parte Oeste y Noroeste del área de estudio.
- Los principales fenómenos geodinámicos ocurrientes en el área son los desbordes e inundaciones de las áreas depresionadas que predominan en las zonas limitadas por los tablazos los que forman grandes lagunas en época de lluvias extraordinarias como las ocurrientes en la presencia del fenómeno meteorológico de El Niño (laguna La Niña en la depresión Salinas y la Laguna Salina Grande y dos menores) las que permanecen por largo tiempo hasta la evaporación e infiltración de sus aguas. Le siguen los movimientos en masa (flujos hídricos, erosión de riberas, erosión de laderas y desprendimientos de laderas), sobretodo, en bordes de tablazo durante las temporadas de lluvias. La ocurrencia de desprendimientos también puede ser desencadenado por ocurrencia de movimientos sísmicos de regular magnitud.
- En lo que respecta a la implicancia de los terrenos para las obras del proyecto podemos mencionar que La línea de transmisión será afectada por las inundaciones en la depresión Salinas y el tablazo Talara, la ubicación del open pit de la mina, también puede sufrir los efectos de las lluvias torrenciales en época de el fenómeno de El Niño, por lo que va a ser necesario diseñar sistemas de drenaje apropiados para la captación y evacuación de aguas de lluvia cuando se presenten.
- La ocurrencia de fenómenos de movimiento en masa serán más notorios en los bordes de tablazos, en la superficie de estos se presentará la

ocurrencia de fenómenos de erosión de laderas y transporte de agua de escurrimiento por torrentes a través de cauces de quebradas actualmente secas o cubiertas por arenas.

- Las dunas migratorias o barjanas también constituyen un problema por su continua movilización con rumbo sur – norte en las áreas donde discurren como grandes cordones continuamente.
- En la planicie de los tablazos, el problema de conservación de la línea y las obras que comprende el proyecto se circunscribe al tipo de cimentación que se adopte para cada torre sobre todo en las zonas inundables, las obras de protección y a la seguridad de las obras de infraestructura que se realicen, sobre todo durante los períodos de lluvias extraordinarias.
- El riesgo a desastres de la zona estudiada se puede considerar Bajo en épocas normales y se acrecienta a medio o alto ante la ocurrencia de lluvias extraordinarias o un fenómeno meteorológico de El Niño o la ocurrencia de un peligro sísmico incluido un tsunami que afecte a las obras de infraestructura y caletas del litoral de Sechura.

3.3.5 Geología y mineralización

3.3.5.1 Ubicación de los fosfatos de Bayóvar

Están situados en la zona medio occidental del desierto de Sechura, a lo largo de la costa norte del Perú, 1 000 Km. al norte de Lima. El Desierto de Sechura tiene una superficie de alrededor de 22 000 km² y es, en su mayor parte una llanura suavemente inclinada desde los Andes hasta el Océano Pacífico y bruscamente interrumpida en el oeste por la característica topográfica de la península de Illescas.

3.3.5.2 Geología general

Los depósitos de fosfatos de Bayóvar se diferencian de otros grandes yacimientos marinos en el sentido de que estos consisten en intercapas de fosforita y diatomita. Los "pellets" u "oolitos" de fosforita contienen flúor - apatito carbonatado de un tipo no conocido en otros depósitos marinos. El Desierto de Sechura occidental es sustentado en una espesa serie de sedimentos marinos que varían en edad de Eoceno al Plioceno y se depositan en una tendencia entre los Andes y las Montañas Illescas. Son cubiertos por aluviones arrastrados por el viento y la arena eólica de los últimos años. Los depósitos de fosfatos están comprendidos en la parte medio superior del mioceno.

Pocas deformaciones se han producido desde el depósito de éstos fosfatos. El buzamiento de las capas está entre 1° a 2° en dirección Nor-Noreste que aparentan ser horizontales. Algunas pequeñas fallas están presentes en la zona. Dos discordancias, uno en el estrato del Mioceno y uno debajo del Plioceno, afectan a la distribución actual de las zonas de mineral, porque partes de los estratos se habían eliminado antes de la deposición de los estratos más jóvenes. En algunos lugares esta condición facilita la recuperación de fosfato. Todos los estratos son muy competentes, pero lo suficientemente suaves para mantener su

forma. En el plano **830MA0001A-010-20-006** se detalla las formaciones geológicas que se describen líneas abajo.

3.3.5.3 Geología Regional

Geológicamente, se considera como la continuación septentrional de la cordillera de la costa del sur del país, cuyo desarrollo tuvo lugar contemporáneamente con la formación de las cuencas marinas terciarias, como efecto de movimientos tafrogénicos.

3.3.5.3.1 Estratigrafía

En La región estudiada se exponen rocas sedimentarias metamórficas y sedimentarias con un rango de edad que va desde el Precambriano hasta el Reciente,

Las unidades más antiguas de la columna geológica la componen el Zócalo Precambriano y el Zócalo Paleozoico Eoherciniano, que integran un complejo metamórfico desarrollado en varias fases de metamorfismo regional (CALDAS, 1979).

El desarrollo geológico de la zona durante el Terciario se produjo por ingresos progresivos del mar hacia el este, como efecto de subsidencia, producida por movimientos tafrogénicos. En la cuenca Sechura, estos movimientos se iniciaron en el Eoceno superior, cuyo desarrollo se tradujo en la emersión de la cordillera de la costa.

La sedimentación en la cuenca Sechura se interrumpió debido a los diferentes movimientos tectónicos, con cambios en el estilo de acumulación, régimen que continuó hasta el Plioceno.

Durante el Cuaternario la región ha estado sujeta a movimientos eustáticos que dan lugar a la formación de los tablazos; los agentes de geodinámica externa han modelado los rasgos geomorfológicos.

A) Zócalo Precambriano

Con este nombre se describen las rocas expuestas en el Macizo de Illescas que constituyen el basamento de la región. Por otro lado, constituye la prolongación de la cordillera de la costa del sur del Perú (BELLIDO y NARVAEZ, 1960), atestiguando de este modo una unidad geológica en el margen continental del Perú.

Este zócalo está constituido por gneises, anfibolitas y tonalitas, pero en el área del presente estudio sólo afloran los gneises.

- **Gneises**

Constituyen las rocas de mayor desarrollo que se observan dentro del cratón Precambriano.

Son ortogneises tonalíticos de color gris, con bandas leucócratas bien definidas de cuarzo-feldespato y bandas melanócratas de biotita, muscovita y anfíboles (hornablenda). Todos estos gneises se encuentran moteados por el desarrollo de nódulos de granate marrón rodeados por una aureola blanca feldespática, gradan a una roca de aspecto tonalítico con textura que la asemeja a una roca intrusiva, se encuentran atravesados por vetas de pegmatita, compuesta principalmente por cuarzo y muscovita.

- **Filitas y cuarcitas**

En los sectores noroeste y sureste del Macizo de Illescas se expone una serie rocosa afectada principalmente por un intenso metamorfismo dinámico de

unidades sedimentarias consistentes en lutitas y areniscas transformadas filitas y cuarcitas.

Estructuralmente, se encuentran afectadas por plegamientos isoclinales de rumbo N 20° O, cuyos planos axiales buzan hacia el noroeste en el flanco oriental del Macizo de Illescas y en el flanco occidental buzan opuestamente, estructuración que confirma la presencia de un domo metamórfico cuyo núcleo lo componen las unidades más antiguas.

Se ha observado que las lutitas predominaron sobre las areniscas, de tal forma que las filitas tuvieron mayor desarrollo, quedando las cuarcitas confinadas hacia las partes superiores de la secuencia.

Las filitas están constituidas por laminaciones finas Negro-azulinas, mayormente fiaibles y astillosas, con superficies lustrosas, debido al flujo dinámico sufrido durante el metamorfismo regional. Cada superficie de flujo está marcada por finas y microscópicas estriaciones según el movimiento,

Debido a la meteorización las filitas muestran finísimas hojas o "estructuras de papel", sumamente fisibles y frágiles.

Las *cuarcitas* se presentan en bancos gruesos, duros de color gris-claro a oscuro y escasamente bandeados con porfidoblastos de cuarzo cruzados con venillas y vetas de este material; además contienen delgadas alternancias de filitas de grano fino en laminaciones oscuras.

En el flanco noreste de los carros Illescas (entre Punta Aguja y la quebrada Montera) los niveles de cuarcita se encuentran englobados dentro del material pelítico, en forma de núcleos lenticulares o sinclinales como resultado del intenso metamorfismo dinámico.

- **Migmatitas**

Las migmatitas afloran alrededor del granito sintectónico de la quebrada Montera; se han desarrollado por inyección capa por capa del material granítico en los esquistos de alto grado paleozoicos, imponiéndoles un carácter metamórfico más avanzado, de tal forma que está compuesta por alternancia rítmica entre material cuarzo-feldespático y micáceo oscuro. Los contactos con las rocas de caja son graduales, desde la aparición de las primeras vetas de pegmatita (provenientes del stock granítico) que cruzan a los esquistos de alto grado hasta pasar a una roca definitivamente gnéissica cerca del contacto con el Plutón.

- **Rocas Intrusivas**

Tonalitas

Dentro del Zócalo Precambriano se han reconocido stocks de tonalita, en el sector de las quebradas Nac, Nacupio.

Los contactos con las rocas encajonantes son graduales e imprecisos, donde las porciones aparentemente plutónicas exhiben una orientación de sus componentes mineralógicos, especialmente las biotitas que guardan relación de continuidad con la foliación de los gneises-tonalíticos circundantes, es decir la misma foliación afecta a ambos tipos de rocas.

Las tonalitas engloban porciones lenticulares de esquialitos de probable origen sedimentario y de características petrográficas afines a los esquialitos en los gneises y donde la misma esquistosidad afecta a los tres tipos de rocas.

Granitos

En las vertientes occidental y oriental del Macizo Illescas se entran emplazados stocks de granitos más jóvenes que las tonalitas del Zócalo Precambriano. El cuerpo principal de granito se expone entre Punta Shode y la que brada Nac, de donde se prolonga hasta las proximidades de la playa Nac.

El granito es leucócrato, de dos micas y bastante foliada en las zonas marginales es de grano medio a grueso. El carácter foliado se debe al emplazamiento forzado durante el proceso tectónico que dió lugar a los esquistos y cuarcitas.

En las quebradas de Nacupio y Nunura intruye a los esquistos, de alto grado, lo cual sugiere que estos últimos son producto de un metamorfismo plutónico.

B) Zócalo Paleozoico

Se encuentra rodeando al núcleo Precambriano y constituye un anticlinorium en el Macizo de Illescas, consiste de una serie metamórfica más joven, neoformada a partir de una serie sedimentaria pelítico-psamítica (probablemente depositada en el Paleozoico inferior), posteriormente tectonizada y metamorfozada durante la fase Eoherciniana, vinculada también a intrusiones sintectónicas, en este zócalo predominan:

- **Esquistos**

Los esquistos son de bajo grado compuestos por biotita y sericita dispuestas según los planos de foliación y por concentraciones de nódulos cuarzo-feldespatos, rodeados por biotitas.

Estas rocas han sido afectadas principalmente por un metamorfismo dinámico intenso, provienen mayormente de unidades sedimentarias (lutitas y areniscas) que luego fueron transformadas a esquistos de bajo grado, con un predominio de las lutitas sobre las areniscas, de manera que los esquistos y filitas son las rocas más desarrolladas.

C) Depósitos Terciarios

Los depósitos terciarios del margen continental del Perú son acumulaciones clásticas que se depositaron en una cuenca marina de plataforma. Las formaciones que constituyen estas acumulaciones son las siguientes:

- **Formación Verdun**

Aflora en los flancos del Macizo de Illescas, acumulados escalonadamente sobre superficies de abrasión en forma de terrazas.

Las evidencias de campo indican que el Macizo de Illescas se levantó sincrónicamente con una sedimentación de materiales calcáreos de ambientes litorales, dejando en las vertientes de dicho macizo cuatro terrazas de abrasión labradas sobre las unidades del complejo metamórfico, en tanto que la superficie está cubierta por sedimentos eocenos.

Los grosores de la Formación Verdún varían de una terraza a otra, debido en parte a la erosión; proceso que ha jugado un papel mínimo ya que las capas que cubren las terrazas de abrasión labradas sobre el basamento metamórfico, mantienen sus grosores con bastante uniformidad y sólo están disectadas por las quebradas que bajan del macizo.

Litológicamente, las diversas terrazas son bastante similares y en su base se inician con un conglomerado rojizo de tinte púrpura bien cementado proveniente exclusivamente del complejo metamórfico, con clastos redondeados a subangulosos de diferentes dimensiones, en una matriz microbrechosa de igual composición. Hacia arriba, siguen areniscas calcáreas dolomíticas que varían de amarillo a brunáceo en bancos medianos a macizos, compuestas esencialmente de fragmentos bioclásticos recristalizados.

- **Formación Chira**

La Formación Chira aflora en los acantilados comprendidos entre las inmediaciones de Punta Lagunas y Punta Tric-Trac; en Punta Tric Trac está en contacto fallado con la Formación Montera, donde ambas unidades están cubiertas discordantemente por la Formación Miramar o el tablazo Lobitos.

El fallamiento intenso en bloques, la litología monótona de los niveles lutáceos y la discontinuidad de sus afloramientos, dificultan establecer, tanto la secuencia estratigráfica, como su grosor total.

La base consiste de areniscas muy fosilíferas, en capas delgadas blanco-beiges, moderadamente cementadas e intercaladas con areniscas limonitizadas; continúan verticalmente areniscas Tobáceas.

La parte superior está compuesta de areniscas beiges de grano fino, ricas en foraminíferos e intercaladas con pequeñas capas bentoníticas limonitizadas; en ésta parte se presenta un paquete muy característico, consistente en un banco de 1,50 m, de areniscas sacaroideas y calcáreas de color blanco-amarillento.

- **Formación Montera**

La base de esta formación se compone de bancos gruesos de areniscas gris amarillento o gris beige, de grano grueso a medio, de cuarzo o feldespatos, se observan también pequeñas cantidades de minerales máficos, con matriz arenociliosa y abundante fauna. Se encuentran intercalaciones de areniscas poco consolidadas, de grano fino, limonitizadas y horizontes lenticulares de conglomerados.

La parte media está compuesta por intercalaciones de areniscas blanquecinas, friables algo micro-conglomerádicas. También ocurren intercalaciones de conglomerados conchíferos amarillentos, muy fosilífera constituida principalmente por gasterópodos y lamelibranquios.

La secuencia culmina con bancos gruesos de conglomerados rojizos, con fenoclastos de cuarzo, cuarcitas y rocas metamórficas en matriz areno-arcillosa. Son comunes las intercalaciones de areniscas tobáceas poco consolidadas de colores amarillento y blanquecino. La sección culmina con calizas descarbonatadas, amarillo-blanquecinas de grano fino.

La edad de esta formación corresponde al Mioceno inferior basados en sus relaciones estratigráficas.

- **Formación Zapallal**

La Formación Zapallal es la unidad de mayor grosor y extensión regional, se debe a una sedimentación rápida y una transgresión más amplia. En la Formación Zapallal puede diferenciarse dos miembros:

- **Miembro Inferior**

La base del miembro inferior está expuesta en el acantilado de Punta Zorro, en contacto gradacional con la Formación Montera, mientras en el fondo de la Depresión Salina Grande se identifica la parte alta, muy importante por estar vinculada con dos niveles lenticulares de areniscas fosfatadas.

El nivel inferior es el más rico en fosfatos explorado en el desierto de Sechura, con un grosor entre 35 y 43 m, se han determinado 7 capas fosfáticas, separadas por bancos de diatomitas con considerables cantidades de oolitos fosfatados.

El nivel superior está compuesto por paquetes de tobas diatomáceas blandas de tonos grises, dispuestas en forma gradacional sobre la parte superior del nivel inferior, su grosor original no se conoce debido a la gran erosión ocurrida antes de la deposición de la arenisca.

- **Miembro Superior**

Aflora en las escarpas que forma el Tablazo Talara, consiste de diatomitas yesíferas en esta unidad, se han identificado (CALDAS, 1980) cinco unidades litológicas que en orden ascendente son : Areniscas Huecos de Almejas, Zona Mineralizada Cero, Diatomita Inca, Zona Mineralizada, Minerva, Diatomita Quechua y Diatomita Estéril.

Arenisca Huecos de Almejas que consiste de areniscas arcósicas duras de grano fino a medio con moldes de pelecípodos (almejas), gasterópodos y en menor cantidad dientes de peces en oolitos fosfatados.

Zona Mineralizada Cero que yace en contacto gradacional sobre la arenisca "Huecos de Almejas", constituido por capas de fosforita de grano grueso, tiene dos capas, una inferior fosfatada, y otra superior de diatomita fosfática de oolitos. El grosor promedio es de 7 m., con un tenor de 9% de P_2O_5 .

Diatomita Inca conformada por diatomeas puras, salvo escamas de peces, espículas de esponjas y hojas de algas, todas fosfatadas; es de color marrón brillante y de lustre resinoso.

Zona Mineralizada Minerva, consistente en oolitos de fosforita, pobremente clasificados, pareciéndose a la Zona Mineralizada Cero. Contiene abundantes restos óseos, escamas de peces y en algunas capas, grandes huesos de ballena.

Diatomita Quechua, constituido mayormente de diatomeas muy puras con una o más capas de fosforita. Contiene además, abundantes huesos y dientes fosfatados de peces y granos grandes de cuarzo,

Diatomita Estéril, es bien pura, de color blanco, en capas delgadas y muy livianas; está pigmentada con manchas amarillas o anaranjadas, hasta rojizas.

Fotografía 3.3.5.-1. Areniscas de grano grueso con estratificación cruzada, cubierta por el tablazo Talara



Fuente: BISA, 2012.

- **Formación Miramar**

Su nombre deriva de la localidad de Miramar, ubicada a 16 km. al noreste de Sechura, desde donde se extiende por toda el área estudiada. Descansa sobre el miembro superior de la Formación Zapallal, pero en algunos acantilados marinos yace sobre la Formación Montera.

La secuencia empieza con conglomerados aluviales, poco consolidados, en matriz arenosa; intercalados con capas lenticulares de arenisca; hacia arriba siguen capas delgadas de areniscas muy friables, poco cementadas presenta laminación cruzada, continúan capas lenticulares de conglomerados que gradan a areniscas grises de grano fino a medio y parcialmente oxidadas.

- **Formación Hornillos**

Es secuencia clástica competente expuesta en las partes bajas del cerro Los Hornillos (en la vertiente oriental del Macizo de Illescas).

La parte basal de la Formación Hornillos, está formada por conglomerados gruesos y brechas, con 3.5 m. de grosor. Los clastos consisten de rocas metamórficas provenientes del Macizo de Illescas y de formaciones terciarias pre-existentes; la matriz está compuesta de areniscas de grano medio, cementada por soluciones carbonatadas.

La parte media consiste de areniscas arcóscicas sacaroideas blanco grisáceas, de grano medio a grueso y en bancos masivos.

La sección superior está representada por 9.50 m. de intercalaciones de areniscas arcóscicas sacaroideas blanco-grisáceas fuertemente endurecidas por cemento calcáreo y microconglomerados coquiníferos con niveles lenticulares lumaquélidos que contienen ostreas de gran desarrollo; se encuentran incluidos grandes fragmentos angulosos de rocas metamórficas.

D) Depósitos Cuaternarios

- **Depósitos Pleistocénicos**

Dentro de esta categoría se encuentran primero los tablazos, luego, los depósitos aluviales antiguos poco diagenizados.

- **Tablazo Talara**

Es una plataforma en forma de una costra sedimentaria con un grosor promedio 3 m. está ligeramente inclinada al sureste; sus afloramientos se pueden observar en los sectores de las pampas de Yapato y Mínceles.

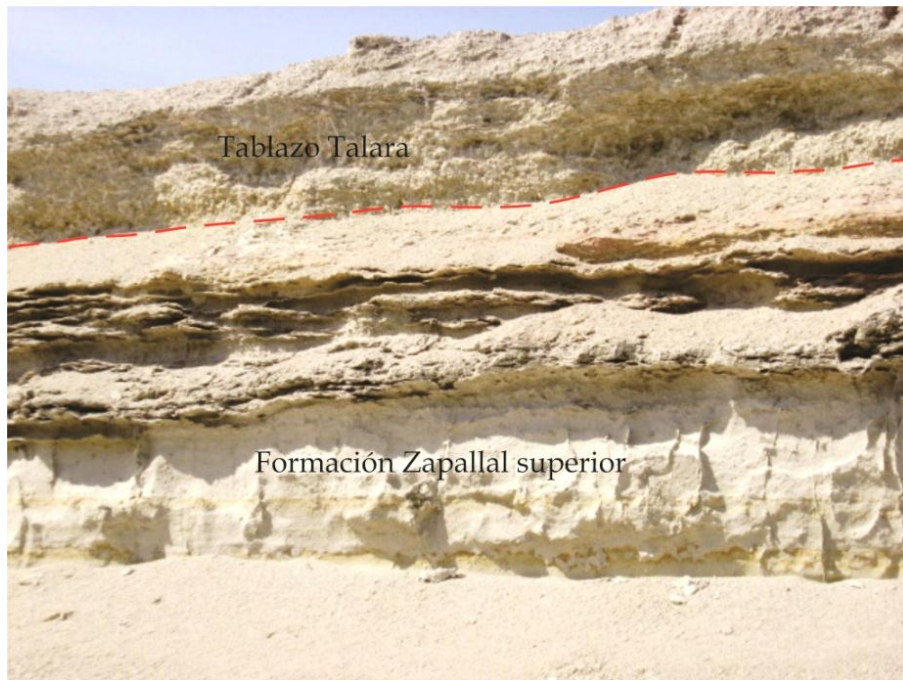
Algunos remanentes del Tablazo Talara se reconocen en los acantilados, del estuario de Virrilá, en discordancia erosional entre la Formación Miramar y el Tablazo Lobitos. La litología del tablazo Talara, está constituido por conglomerados lumáquelicos o lumaquelas poco consolidados en matriz bioclástica o arenisca arcósica, y en algunos sectores por conglomerados coquiníferos o coquinas (ver Fotografía 3.3.5-2).

- **Tablazo Lobitos**

Es la plataforma sedimentaria más baja, cuya escarpa frontal delinea parcialmente la morfología litoral de la bahía de Sechura; al igual que el tablazo de Talara, está levemente inclinada al sur.

Litológicamente, el Tablazo Lobitos consiste de conglomerados poco diagenizados, con rodados sub-angulosos de rocas de naturaleza variada, incluyendo formas faunísticas bien conservadas no fosilizadas, en una matriz bioclástica o areniscosa. En el sector del estuario de Virrilá, en lugar de conglomerados se tienen lumaquelas, en matriz coquinífera o arenisca bioclástica (ver Fotografía 3.3.5-3).

Fotografía 3.3.5-2 .Vista del Tablazo Talara (en la parte superior) en contacto con La Formación Zapallal superior



Fuente: BISA, 2012.

Fotografía 3.3.5-3. Vista al tablazo Lobitos en contacto con los Depósitos Lacustres



Fuente: BISA, 2012.

- **Depósitos Aluviales**

Están constituidas por las llanuras aluviales antiguas o deltas de los cursos fluviales que bajan de la Cordillera Occidental, como efectos de desglaciación pleistocena.

Estos depósitos se exponen en forma discontinua, en parte por encontrarse cubiertos por arena eólica. Constituyen mantos casi continuos, la litología predominante es constituida por un conglomerado inconsolidado, con rodados de cuarcitas, volcánicos y rocas intrusivas, provenientes de la Cordillera Occidental.

- **Depósitos Recientes**

Depósitos Aluviales

Corresponden a las cubiertas más jóvenes, depositadas en los cauces del río Cascajal y quebradas afluentes, así como aquellas acumuladas al pie del Macizo de Illescas.

Estos depósitos forman abanicos, principalmente a lo largo del valle de Cascajal, están constituidos por conglomerados inconsolidados en una matriz arena limosa o arcillas lenticulares.

Depósitos lacustres

Son las antiguas marismas o llanuras inundables, actualmente en proceso de colmatación con arenas eólicas. Las partes más profundas están conformadas por lodos o arcillas bituminosas gris negras, mientras que superficialmente son arenas salobres húmedas o costras de arena con caliche (ver fotografía 3.3.5-4).

En muchos lugares, estos depósitos constituyen yacimientos de materiales evaporíticos de valor económico.

Fotografía 3.3.5-4. Vista a los depósitos lacustres a orillas del Estuario Virrilá



Fuente: BISA, 2012.

Depósitos de Playa

Son fajas angostas de arena de playas recientes comprendiendo las zonas de alta marea o limitados por los cordones litorales cuando estos están presentes.

Las playas recientes son permanentes fuentes de aporte para los barcanes en movimiento.

Depósitos eólicos

Los depósitos eólicos recientes están constituidos de arenas cuya actividad se desarrolla en la forma de barcanes en movimiento, dunas gigantes o mantos delgados de arena (ver fotografía 3.3.5-5).

Sobre las llanuras de inundación, la migración de los barjanes es retardada por la humedad del terreno, ya que una parte de las arenas se fusionan y se colmatan

sobre un terreno húmedo y salobre; las arenas que logran pasar estos obstáculos son detenidas por la vegetación del valle de Piura, y en algunos casos constituyen barjanes o cerros de arena fósiles.

Fotografía 3.3.5-5. Vista a los depósitos eólicos, con presencia de dunas estabilizadas



Fuente: BISA, 2012.

3.3.5.3.2 Tectónica

El marco tectónico de la zona estudiada es el resultado de la superposición de la tectónica de basamento compuesta por una deformación polifásica precambriana, superpuesta por otra herciniana y por Tectónica Andina.

A) Tectónica de Basamento

El Macizo de Illescas, está constituido por un complejo metamorfo-ígneo con rocas precambrianas que consisten en gneises anfibolitas y tonalitas,

superpuestas por una serie paleozoica que incluye cuarcitas, filitas, microesquistos, migmatitas y granitos sintectónicos.

B) Deformación Precambriana

El núcleo del Macizo de Illescas está intensamente deformado, por efectos de una tectónica polifásica dando lugar a un metamorfismo profundo catazonal de facies de granulita. El material pre cambriano está superpuesto por la deformación herciniana, que ha originado una esquistosidad de dirección 15-20 NO.

Probablemente estas deformaciones corresponden a uno de los ciclos orogénicos del Proterozoico, donde las rocas involucradas tienen una edad Rb/Sr de $1,811 \pm 39$ M.A. (COBBING, et. al. 1977).

C) Deformación Herciniana

El zócalo paleozoico, aflora en la parte de la zona de estudio y está constituido por micaesquistos, filitas y cuarcitas, desarrolladas durante la Tectónica Herciniana.

Las deformaciones hercinianas han afectado considerablemente al conjunto de las rocas paleozoicas y precambrianas, que han resultado en estructuras complejas, productos de por lo menos 2 fases tectónicas superpuestas.

D) Tectónica Andina

El material andino del área de estudio está conformado por una secuencia sedimentaria clástica, depositada en la cuenca terciaria de Sechura; que ha sido afectada por diferentes episodios de deformación que han desarrollado estructuras tanto en compresión como de distensión, siendo esta última el fenómeno más importante.

La Cuenca Sechura se caracteriza en primer lugar por un plegamiento progresivo y de tendencia andina controlada por accidentes del zócalo, que delineó la evolución estructural de dicha cuenca; los pliegues son de tipo flexural (isópacos), siendo los más antiguos más cerrados que los más jóvenes.

3.3.5.3.3 Geología económica regional

La llanura baja del desierto de Sechura ha sido objeto de una intensa actividad en la búsqueda de minerales, obteniendo éxito en el hallazgo de yacimientos no metálicos de apreciable valor, tales como:

A) Fosfatos

El mineral fosfatado se presenta en capas estratificadas ricas en P_2O_5 , consistentes principalmente en oolitos o bajo la forma de restos orgánicos fosfatados (algas, escamas, huesos de peces, dientes de tiburón, etc.), en una matriz arcillo - diatomácea. Dichas capas se encuentran inter-estratificadas con horizontes de diatomita con contenidos menores de P_2O_5 .

B) Salmueras

En el área se tienen ubicados importantes yacimientos de salmueras, principalmente en forma de cloruros, bromuros y sulfatos de sodio, potasio, magnesio y calcio, las áreas más favorables son Ramón, Zapallal y Namuc.

El reservorio de salmueras es una cuenca alargada en la dirección norte - sur (80 km. de largo y 20 km. de ancho) y de poca profundidad (como máximo 15 m).

La cuenca de Ramón cubre aproximadamente 160 km^2 de superficie pero el reservorio mismo tiene entre 30 y 50 km^2 , donde las salmueras profundizan hasta unos 8 m.

C) Aguas subterráneas

En 1963, la Compañía Minera Bayóvar realizó una evaluación sobre los recursos hídricos, con la finalidad de poner en explotación los yacimientos de fosfatos concluyendo que las áreas más favorables eran Ramón y la parte oriental baja del Macizo de Illescas.

A través de registros geofísicos y perforaciones en estos sectores, se determinó que, en el sector occidental del desierto de Sechura, las siguientes unidades lito-estratigráficas eran significativas desde el punto de vista de potenciales acuíferos:

- i. Las capas permeables de los abanicos aluviales en el flanco oriental del Macizo de Illescas.
- ii. Las Arenisca Clambore de la Formación Zapallal en el área de Ramón.
- iii. Un nivel intermedio de areniscas de la formación Montero, en el sector oriental del Macizo de Illescas.

D) Otros depósitos

Entre éstos se encuentran los depósitos de sal común, yeso, diatomita, azufre, calcáreos, materiales de construcción, arcillas, entre otros.

Sal Común: En ciertos sectores de las llanuras inundables se presentan cubiertas por mantos de halita de origen evaporítico y uno de los más importantes es el que se encuentra en el área de Cañacmac, situado a 70 km. al sur de Bayóvar, El yacimiento cubre depresiones con cotas que llegan hasta -5 m.s.n.m.; la sal se presenta en mantos lenticulares superficiales de 30 a 40 cm, de grosor.

Yeso: El más importante depósito de la región, es el que se encuentra cubriendo extensas planicies de Mórrope. Se presenta en capas de yeso fibroso, con 50 a

60 cm. de grosor hacia el centro, adelgazándose lateralmente hasta 15 ó 10 cm., lo que indica el resultado de la híper-saturación de un lago evaporítico.

Azufre: En el área de Reventazón fue explotado por la compañía Francesa Azufrera de Sechura hacia 60 años atrás.

Se presentaba en mantos estratiformes dentro de la formación Miramar, pero en la actualidad sólo quedan vestigios que rellenan las porosidades de las areniscas de dicha unidad.

Calcáreos: Los únicos depósitos calcáreos de la región son las porciones coquiníferas de los tablazos, principalmente el Tablazo Lobitos, los que sufren variaciones laterales en grosores y composición de restos orgánicos. Las áreas que ofrecen mejores perspectivas se encuentran en los sectores de la Bocana de Virrilá y Parachique. El aprovechamiento estaría dirigido a la producción de cemento, fabricar ladrillos o para afirmar carreteras.

Diatomita: Los niveles diatomáceos Quechua, Estéril e Inca de la Formación Zapallal son los más enriquecidos.

Materiales de construcción: Los depósitos de gravas y arenas de mayor volumen están compuestos por abanicos aluviales emplazados al pie del Macizo de Illescas (desembocadura de las quebradas Hornillos, Montera, Lancha, etc.).

Otros depósitos de importancia: son el conglomerado de la formación Miramar (45 Km. al noreste de Sechura) y el que se encuentra a unos 500 m al NO de Mórrope. Como material de enrocado, se encuentran los diques andesíticos, diabasas y lamprófidos del Macizo de Illescas.

Arcillas y Limos: En el área de Mórrope, se encuentran unas capas lenticulares de arcillas limosas dentro de los depósitos aluviales, las cuales son empleadas

por los pobladores de la zona en la fabricación de utensilios de alfarería e inclusive se ha previsto la construcción de un centro artesanal de interés local.

3.3.5.3.4 Geología histórica regional

Durante el Precambriano se desarrolló un metamorfismo regional, con formación de gneises, anfibolitas y granitoides.

Probablemente en el Paleozoico inferior, la región fue cubierta por una sedimentación marina con materiales pelíticos y arenáceos. Las rocas fueron intensamente comprimidas en el Devoniano superior mediante la Fase Eoherciniana, con formación de pliegues, asociados a una marcada esquistocidad de flujo y emplazamiento plutónico sintectónico.

Una profunda denudación de la cubierta post-devoniana, posiblemente debido a la fase neoherciniana (intrapermiana), a la que se le atribuye el fallamiento en bloques que afecta al complejo metamórfico en el Macizo de Illescas. Las exposiciones mesozoicas al Noreste del área y las rocas pertenecientes a esta edad y ubicadas mediante pozos exploratorios en la Depresión Para-Andina, señala la presencia de mares someros que no llegaron a cubrir al Macizo de Illescas donde rocas paleozoicas son cubiertas directamente por formaciones marinas del Terciario.

En el Eoceno superior, la Cuenca Sechura inició su desarrollo vinculada a fallamientos tafrogénicos, empezando la deposición de la formación Verdún, subsidencia evidenciada por las terrazas de esta edad sobre el Macizo de Illescas. Al acentuarse el hundimiento se depositó la formación Chira, vinculada a un vulcanismo piroclástico en las regiones de tierra firme y a la ausencia de clásticos provenientes del Macizo de Illescas.

A fines del Eoceno, la sedimentación marina fue interrumpida por efectos compresivos y la región estuvo sujeta primero a emersión, y luego a erosión durante el Oligoceno inferior. Posteriormente se acumuló la formación Máncora y luego la formación Heath durante el Oligoceno medio y superior, respectivamente.

A principios del Mioceno se intensificaron los fallamientos gravitacionales en la Depresión Para-Andina y la cuenca Sechura alcanzó su máximo desarrollo. La sedimentación miocena se inició primero con una deposición clástica e influenciada por una actividad piroclástica, depositándose la formación Montera del Mioceno inferior.

En el Mioceno medio, la actividad volcánica en tierras firmes se acentuó y bajo esta influencia se depositó la formación Zapallal en un mar oscilante. Luego de un levantamiento, se establecieron condiciones litorales, principalmente continentales y durante el Mioceno superior hasta principios del Plioceno se depositó la formación Miramar.

A principios del Plioceno la región sufrió un levantamiento y fue objeto de erosión. A continuación se depositó la formación Hornillos con una sedimentación estrechamente vinculada a materiales terrígenos provenientes del Macizo de Illescas.

Probablemente a fines del Plioceno, la pila sedimentaria acumulada fue moderadamente comprimida y empujada contra el Macizo de Illescas, a lo largo de la falla homónima.

En el Pleistoceno, como consecuencia del levantamiento de los Andes, se desarrollaron los tablazos del Noroeste, donde cada una de estas formas representa una considerable y súbita pulsación. Después de estos acontecimientos, la región ya mostraba una fisonomía bastante similar a la actual

y se sucedieron una serie de acontecimientos geodinámicos, tales como la formación de las depresiones, llanuras de inundación y abanicos aluviales.

Finalmente, como consecuencia de una costa en emersión, se desarrollaron las barcanas, dunas y cordones litorales, adquiriendo la región el rasgo morfológico actual.

3.3.6 Suelos

El suelo es un recurso natural que debe ser estudiado por medio de su perfil, constituido por diferentes capas u horizontes. El perfil muestra el grado de evolución del suelo, resultado de la acción conjunta de sus factores de formación (material parental, clima, organismos, relieve y tiempo). El estudio del perfil y de las características ecogeográficas del lugar permite una mejor comprensión del recurso proporcionando información útil dentro del contexto de una evaluación ambiental.

3.3.6.1 Capacidad de uso mayor y uso actual de la tierra

3.3.6.1.1 Objetivos

Por las consideraciones expuestas, los objetivos del estudio fueron:

- Clasificar naturalmente los suelos
- Interpretar las propiedades físico-químicas de los suelos y sus características externas
- Determinar la capacidad de uso mayor de las tierras
- Determinar el uso actual de la tierra

3.3.6.1.2 Área de estudio

El presente capítulo contiene información del componente edáfico en el área de influencia directa del Proyecto. El estudio fue elaborado en base a trabajo de campo, recolección de muestras de suelo y su posterior análisis de laboratorio, complementado con información de fisiografía, geología y clima.

Descripción general de la zona

a. Rasgos fisiográficos desde enfoque edafológico

La fisiografía estudia las formas del relieve terrestre, es decir los paisajes. Analizándola desde un enfoque edafológico (suelo), comprende el estudio, descripción y clasificación de los “cuerpos de suelo”, con sus características externas (geofomas) e internas (perfil del suelo) y la relación que existe entre los factores de formación de suelos.

En la zona de Bayóvar se reconocen dos grandes paisajes: colinoso y planicie. El primero está compuesto por pie de montes de relieves moderadamente inclinados a fuertemente inclinados y colinas altas de relieves moderadamente empinados a empinados; y el gran paisaje planicie, representado por las terrazas marinas, llanura aluvial de pie de monte y superficies eólicas de relieves planos a fuertemente inclinados.

b. Material Parental

Es el material a partir del cual se forma el suelo, encontrándose los siguientes tipos:

- Residual: es el proveniente de la meteorización in situ por cambios físicos y químicos de las rocas originales (sedimentarias y metamórficas), localizándose en las colinas.
- Transportado: es el depositado por diversos agentes de transporte, habiéndose reconocido los siguientes subtipos:
 - Aluvial: formado por el depósito de las aguas de las quebradas que descienden desde las colinas en una gran llanura aluvial de pie de monte.
 - Coluvial: originado por la gravedad, y presente en las partes bajas de las colinas y pie de montes.

- Eólico: son depósitos dejados por acción del viento.
- Marino: resultado de depósitos marinos que por movimientos tectónicos han emergido.

c. Regímenes de temperatura y humedad de los suelos

El régimen de temperatura del suelo se mide a 50 cm de profundidad, asumiéndose que es igual a la temperatura del aire más 1°C (Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, 1993), En la zona evaluada se determinó el régimen isohipertérmico, en el cual la temperatura media anual de los suelos es mayor de 22°C y la diferencia de temperatura entre el verano y el invierno es menor de 6°C.

El régimen de humedad de los suelos se mide en una zona conocida como sección de control, la cual depende de la clase textural. Para los suelos arcillosos esta sección se ubica entre los 10 y 30 cm de profundidad; en los suelos francos, entre los 20 y 60 cm; y en los arenosos, entre los 30 y 90 cm de profundidad. En la zona, el régimen de humedad es el arídico, en el cual la mayor parte de la sección de control, en años normales, está seca por más de la mitad de los días acumulados por año y húmeda en algunas partes o en toda por menos de 90 días consecutivos.

d. Pendiente

Se distinguen dos zonas: la primera, colinosa, con pendientes mayores de 4%; y la segunda, la planicie, con pendientes menores de 15%.

En el siguiente Cuadro se presentan las fases por pendientes que se emplearon para las unidades cartográficas.

Cuadro 3.3.6-1. Grado de inclinación del suelo en fases por pendiente

Término Descriptivo	Rango (%)	Símbolo
Plana a Ligeramente inclinada	0 – 4	A
Moderadamente inclinada	4 – 8	B
Fuertemente inclinada	8 – 15	C
Moderadamente empinada	15 – 25	D
Empinada	25 - 50	E
Muy empinada	50 – 75	F

Fuente: BISA, 2012.

La metodología utilizada para la descripción y caracterización de los suelos está basada en los criterios y normas establecidos en el Manual de Levantamiento de Suelos (Soil Survey Manual, revisión 1993) del departamento de Agricultura de los Estados Unidos. La clasificación taxonómica de los suelos se ha realizado de acuerdo a las definiciones y nomenclaturas establecidas en el Manual de Claves para la Taxonomía de Suelos (Keys of Soil Taxonomy, revisión 2010), en la cual se ha utilizado como unidad de clasificación de suelos al subgrupo y están referidos a un nombre local con fines de facilitar su identificación y ubicación.

Para la clasificación de capacidad de uso mayor se ha empleado el D.S. N° 017-2009-AG del 2 de setiembre del 2009.

3.3.6.1.3 Materiales y métodos

A. Materiales

Materiales de Campo

Tarjetas de descripción de perfiles de suelos

Bolsas de plástico

Cinta métrica

Picota de geólogo

Tabla de colores de Munsell

Instrumento portátil de sistema de posicionamiento global (GPS)

Lampa, pico

Materiales Cartográficos

Plano topográfico local de escala 1:50000

Plano geológico regional de escala 1:75000

Mapa ecológico del Perú, escala 1:1000000

Materiales de Laboratorio

Materiales y equipos necesarios para realizar análisis de caracterización de suelos.

B. Procedimiento

Para la ejecución del trabajo se siguieron cuatro fases: fase pre-campo, fase de campo, fase de laboratorio y fase de gabinete.

Fase de Pre-Campo

Consistió en la recopilación y revisión de estudios de geología y efectuados anteriormente y de la información climatológica, así como de la revisión del mapa topográfico, pudiéndose establecer una configuración preliminar del relieve del terreno antes de ir al campo. Además, se determinaron los probables sitios de muestreo de suelos.

Fase de Campo

Se verificó y corrigió lo determinado en la fase anterior, recorriéndose toda la zona de estudio y seleccionándose los sitios definitivos de apertura de las calicatas.

Se abrieron veintinueve calicatas (de 1 m de ancho por 1,2 m de largo y profundidad variable), en sitios representativos por la forma de tierra y su origen, georreferenciándose con la ayuda del instrumento de GPS, permitiendo su

ubicación en el mapa con sus coordenadas respectivas. En el cuadro 3.3.6-2 se presentan las coordenadas de las calicatas.

En las paredes de cada calicata se evaluó y describió el perfil del suelo por medio de sus capas u horizontes genéticos, los cuales son estratos más o menos paralelos a la superficie del terreno. A cada estrato se le asignó una o dos letras mayúsculas y en casos especiales un subíndice, según las características particulares que mostraba el horizonte así como también números arábigos. Estos últimos se utilizaron como sufijos para subdividir verticalmente las capas. La nomenclatura para nombrar a los estratos es la establecida por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2010).

La división del perfil en capas se efectuó cuando se sentía un cambio en la consistencia del suelo al raspar éste con la picota. Otras propiedades que ayudaron a esta delimitación fueron el color, textura y la presencia de fragmentos muy gruesos.

Las propiedades del perfil que se analizaron en campo fueron, según lo determinado por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1993), textura, profundidad, color, estructura, presencia y cantidad de fragmentos muy gruesos, consistencia, raíces, límite de horizonte o capa, drenaje y permeabilidad. Luego se tomaron setenta y siete muestras de suelos de las capas y horizontes representativos para realizar el análisis de caracterización.

Como características externas del suelo, se evaluaron la pendiente, relieve, erosión, vegetación, altitud y pedregosidad superficial.

Cuadro 3.3.6-2. Ubicación de las calicatas WGS 84

Calicata	Coordenadas	
	Este	Norte
1	516 488	9 340 637
2	520 771	9 342 580
2a	520 172	9 340 620
3	520 518	9 337 531
4	506 842	9 344 728
5	529 295	9 343 138
6	536 901	9 340 875
7	543 849	9 342 596
8	551 545	9 344 454
9	492 346	9 358 402
10	496 684	9 354 983
11	499 347	9 352 304
12	502 853	9 351 065
13	506 802	9 350 339
14	504 148	9 346 801
15	508 219	9 349 316
17	518 643	9 336 368
18	527 329	9 339 961
19	517 266	9 340 002
20	514 535	9 341 082
21	515 717	9 342 024
22	515 602	9 348 701
24	522 984	9 347 926
25	525 005	9 342 997
26	522 243	9 337 748
27	515 920	9 344 042
28	516 020	9 352 255

Fuente: BISA, 2012.

El plano **830MA0001A-010-20-012** muestra la ubicación de las calicatas.

Fase de Laboratorio

Las muestras de suelos antes de ser analizadas fueron secadas al aire, molidas para desterronar los agregados y tamizadas a través de un cernidor de malla de 2 mm. El que pasó por el tamiz es llamado Tierra Fina Seca al Aire (TFSA), y comprende las fracciones minerales (partículas de arena, limo y arcilla) y orgánica. La TFSA de cada horizonte se analizó en el Laboratorio de Análisis de Suelos, Plantas, Aguas y Fertilizantes de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional Agraria La Molina, llevándose a cabo los siguientes análisis con sus respectivos métodos que aparecen en la siguiente Cuadro:

Cuadro 3.3.6-3. Métodos de análisis de suelos

ANÁLISIS	MÉTODO
Textura	Hidrómetro
Conductividad eléctrica	Lectura del extracto de relación -agua 1:1
Reacción o pH	Potenciométrico
Calcáreo total (Carbonatos)	Gasovolumétrico
Materia Orgánica	Walkley y Black
Fósforo disponible	Olsen modificado
Potasio disponible	Extractor Acetato de Amonio 1N pH 7,0
Capacidad de intercambio catiónico	Acetato de Amonio 1N pH 7,0
Bases cambiables (calcio, magnesio, potasio y sodio)	Determinaciones en extracto amónico Espectrofotometría de absorción atómica

Fuente: InspectoratePerú.

Fase de Gabinete

Esta fase constituye la redacción del informe y la elaboración de los mapas, efectuándose la clasificación natural y descripción de los suelos, así como clasificación por capacidad de Uso Mayor de las tierras. Los resultados de los análisis de caracterización de suelos se incluyen en el **Anexo 3-5**.

La clasificación natural de los suelos se realizó siguiendo las pautas establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2010), para lo cual se

utilizó la información de campo, los resultados de los análisis de laboratorio y los datos climatológicos de temperatura y precipitación.

Según esta clasificación, existen seis categorías taxonómicas: orden, suborden, gran grupo, subgrupo, familia y serie, habiéndose llegado en este trabajo hasta la categoría de subgrupo. Sin embargo, para efectos de la confección del mapa de suelos, se utilizaron las unidades cartográficas de consociación y asociación, dado que las unidades taxonómicas no pueden ser representadas en un mapa.

La consociación es una unidad cartográfica que tiene un componente en forma dominante: suelo o área miscelánea, pudiendo tener hasta 15% de inclusiones de otros suelos o áreas misceláneas. La asociación, en cambio, es una unidad que consta de dos o más componentes.

La interpretación de los resultados de campo y de los análisis se efectuó siguiendo las pautas establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (1993) y el National Survey Center (1998), las características ecogeográficas del lugar y la experiencia profesional. Las escalas de interpretación de los parámetros de suelo utilizados en este informe se muestran en el **Anexo 3-5**.

Para realizar la Clasificación por Capacidad de Uso Mayor, se requirió además de la información básica consignada en el párrafo anterior, es decir la naturaleza morfológica, física y química de los suelos identificados, las zonas de vida tanto del área local como regional, para lo cual se recurrió al Mapa Ecológico del Perú (ONERN, 1976). Con ello se determina la máxima vocación de las tierras y las predicciones del comportamiento de las mismas.

Esta clasificación expresa el uso adecuado de las tierras para fines agrícolas, pecuarios, forestales o de protección y se basa en el Reglamento de Clasificación

de Tierras establecido por D.S. N° 017-2009-AG. Este sistema comprende tres categorías de clasificación: grupo, clase y subclase.

3.3.6.1.4 Resultados

A) Clasificación y descripción de los Suelos

Generalidades

Los suelos de la zona de estudio son del tipo mineral. Según la clasificación natural de los Estados Unidos de América del 2010, pertenecen a los órdenes Entisols y Aridisols.

El área evaluada se encuentra comprendida en la región edáfica Aridisólica, que comprende la zona costera cuyo límite por el oeste es el mar y por el este el flanco occidental andino.

Los Entisols son los suelos minerales menos desarrollados, presentan una secuencia de horizontes A-C y solo C, reconociéndose tres subórdenes: Psamments, arenoso con menos de 35% de fragmentos gruesos; Fluvents, formados por depósitos de ríos y quebradas; y Orthents, que muestra evidencia de meteorización y erosión recientes.

Los Aridisols son suelos de zonas áridas que presentan además del epipedón óchrico un horizonte de diagnóstico subsuperficial (endopedón), reconociéndose en el área de estudio los subórdenes Salids, Durids y Calcids. El primero exhibe concentraciones altas de sales, mostrando un endopedón sálico; el Durids presenta un horizonte subsuperficial duro, denominado duripan; y el Calcids muestra el horizonte subsuperficial cálcico.

Respecto a las propiedades físicas, la textura es moderadamente gruesa (franco arenosa) a gruesa (arena franca y arenosa), excepto el suelo Las Tijeras que muestra capas franco limosas; la estructura solo se reconoce en los horizontes A y AC y es del tipo granular, mientras que en las capas C está ausente (grano simple y masivo); la capacidad de retención de agua es baja, la aireación es alta y la consistencia es suave, suelta, ligeramente dura y dura.

De acuerdo con su profundidad efectiva, se clasifican como muy superficiales a moderadamente profundos, limitados por la presencia de alta cantidad de fragmentos gruesos y conchuelas, así como por costras salinas.

En relación a las propiedades químicas, son de reacción neutra a moderadamente básica, no salinos a fuertemente salinos, con contenidos bajos a muy altos de carbonatos, fertilidad química baja, niveles bajos de materia orgánica y nitrógeno mineral, y altos a bajos de fósforo disponible y potasio disponible.

La Capacidad de Intercambio Catiónico efectiva (CIC) que refleja la fertilidad potencial de un suelo exhibe niveles bajos a muy bajos debido a los escasos contenidos de los coloides arcilla y humus. Como consecuencia de los valores altos de pH, el complejo arcillo – húmico está saturado solo por cationes básicos, influyendo directamente en el Porcentaje de Saturación de Bases (PSB) el cual es 100% al no existir acidez cambiante.

El origen marino de algunos suelos del área (Chocol y Zorros) se reconoce por la existencia en el perfil de fósiles de organismos marinos invertebrados, causando que estos suelos sean calcáreos, así como por las altas concentraciones de sales en todo el perfil (suelos Huaquillas y Marea). Por otro lado, en la zona oeste del área evaluada existen depósitos aluviales compuestos por suelos gravosos y arenosos finos, así como en ciertas zonas limosas, resultado del arrastre de sedimentos desde las colinas ubicadas al sur (suelos Las Tijeras, Chivateros y Cascajal). Finalmente, dado los fuertes vientos de la zona, se aprecian

principalmente sobre las terrazas marinas depósitos de significativo espesor de arenas transportadas por el viento los cuales incluso llegan a cubrir al material marino (suelo Médano).

El grado de desarrollo de los suelos es bajo a muy bajo debido a diversos factores: la aridez de la zona (precipitaciones bajas y estacionales, y en ciertos años casi nulas), la vegetación que es espinosa y con limitado grado de cobertura, y en el caso de los suelos transportados, por provenir de depósitos recientes (Cuaternario) existiendo por tanto poco tiempo para que ocurran los procesos pedogenéticos. Asimismo, la existencia de fósiles ricos en carbonato de calcio, compuesto de baja solubilidad puesto que para ser disuelto el agua debe contener anhídrido carbónico y como las lluvias son escasas y sin contenidos altos de CO₂ es difícil de disolver. Todo ello se aprecia en la morfología del perfil, el cual no exhibe horizonte B, exhibiendo capas C en mayor proporción y horizontes A en formación.

La acción de los organismos y la materia orgánica como factor de formación de suelos en la zona es baja. Las razones son los contenidos bajos de materia orgánica debido a la vegetación dispersa que no aporta residuos orgánicos en cantidades importantes, así como a las temperaturas que la descomponen con relativa rapidez; por otro lado, la poca actividad de la fauna no favorece en un mayor aporte de materia orgánica.

Clasificación de los suelos según su origen

De acuerdo con su origen, los suelos se pueden clasificar en:

a.1) Suelos derivados de materiales aluviales

Incluye a los suelos que se encuentran en la llanura aluvial de pie de monte. Presentan escaso desarrollo y muestran textura gruesa y moderadamente gruesa.

Los suelos son muy superficiales a moderadamente profundos y el drenaje es bueno a excesivo.

a.2) Suelos derivados de materiales eólicos

Se encuentran en las planicies eólicas y dunas. Son de escaso desarrollo genético. Los suelos son moderadamente profundos, de textura gruesa, y con drenaje excesivo.

a.3) Suelos derivados de materiales coluviales

Se encuentran en las partes bajas de las colinas y pie de montes. Su grado de desarrollo también es escaso. Son muy superficiales a superficiales, con niveles altos de gravosidad y pedregosidad superficial, textura moderadamente gruesa y drenaje bueno.

a.4) Suelos derivados de materiales marinos

Se encuentran en cordones litorales y terrazas marinas. Son de escaso desarrollo genético. Los suelos son muy superficiales a moderadamente profundos, de textura gruesa, y con drenaje moderado.

a.5) Suelos derivados de materiales residuales

Se presentan en las colinas del cerro Illescas. Son de muy superficiales a superficiales, con niveles altos de gravosidad y pedregosidad superficial, textura moderadamente gruesa y drenaje bueno. A pesar de tratarse de materiales de mayor edad (Precámbrico), son considerados también suelos de escaso desarrollo debido a las condiciones climáticas.

Se han identificado siete (07) unidades taxonómicas al nivel de subgrupo y once tipos de suelos. Para su denominación se ha recurrido a un nombre local que facilita su identificación haciéndolo más accesible.

En el cuadro 3.3.6-4 se presentan las unidades taxonómicas determinadas; en el cuadro 3.3.6-5 (ver plano **830MA0001A-010-20-013**), las unidades cartográficas; en la cuadro 3.3.6-6, las características generales de los suelos y en la cuadro 3.3.6-7, sus características físico-químicas. Finalmente, en el **Anexo 3-5** se describen los perfiles modales.

Cuadro 3.3.6-4: Unidades taxonómicas del área de estudio

Soil Taxonomy (2010)				Nombre común de los suelos
Orden	Sub orden	Gran grupo	Sub grupo	
Entisols	Psamments	Torripsamments	Typic Torripsamments	Médano
	Fluvents	Torrifluvents	Typic Torrifluvents	Las Tijeras Chivateros
	Orthents	Torriorthents	Lithic Torriorthents	Cascajal Puerto Petro
Aridisols	Salids	Haplosalids	Calcic Haplosalids	Huaquillas
			Typic Haplosalids	Marea
	Durids	Haplodurids	Typic Haplodurids	Cemento
	Calcids	Haplocacids	Typic Haplocacids	Chocol Zorros

Fuente: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.6-5: Superficie de las unidades cartográficas

Unidades Cartográficas				Superficie	
Nombre	Símbolo	Proporción	Fase por pendiente	Ha	%
Consociaciones					
Médano	Me	100	A	663,26	2,08
Las Tijeras	LT	100	A	99,54	0,31
			B	63,40	0,20
Chivateros	Cv	100	A	2146,56	6,59
Cascajal	Cs	100	A	145,32	0,46
			B	191,87	0,60

Unidades Cartográficas				Superficie	
Nombre	Símbolo	Proporción	Fase por pendiente	Ha	%
Consociaciones					
Puerto	Pt	100	B	549,47	1,72
			C	799,53	2,46
			D	74,66	0,23
Petro	Pe	100	B	134,04	0,41
			C	104,54	0,33
Huaquillas	Hq	100	A	735,03	2,26
Marea	Ma	100	A	485,02	1,49
Cemento	Cm	100	A	1288,08	3,96
			B	190,47	0,60
Chocol	Ch	100	A	12512,50	38,43
			B	1288,71	3,96
Zorros	Zo	100	A	4661,53	14,32
			B	509,01	1,56
Misceláneo Cauce	MC	100	A	31,13	0,10
			B	9,79	0,03
Instalaciones PetroPerú	O1	100	-	7,04	0,02
Zona de descarga	O2	100	-	15,22	0,05
Poblado de Parachique	O3	100	-	77,90	0,24
Pozas de crianza	O4	100	-	24,52	0,08
Asociaciones					
Cascajal – Chivateros	Cs – Cv	60 - 40	A	49,70	0,15
Médano – Chocol	Me – Ch	50 – 50	A	297,51	0,91
Médano - Zorros	Me - Zo	50 - 50	A	62,53	0,19
			B	467,49	1,44
			C	244,20	0,75
Cemento – Chocol	Cm – Ch	50 – 50	A	70,54	0,22
Chocol - Zorros	Ch – Zo	50 - 50	A	337,34	1,04
Puerto – Misceláneo Roca	Pt – MR	60 – 40	D	510,75	1,57
			E	343,22	1,05

Fuente: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.6-6: Características generales de los suelos

Nombre del Suelo	Material Parental	Paisaje	Pendiente (%)	Pedregosidad Superficial (%)	Profundidad Efectiva (cm)	Drenaje	Fertilidad Química
Médano	Eólico	Planicies eólicas y dunas	Menor de 15	Menor de 20	60 a 90	Excesivo	Baja
Las Tijeras	Aluvial	Llanura aluvial de pie de monte	Menor de 4	Menor de 20	80 a 100	Bueno	Baja
Chivateros	Aluvial	Llanura aluvial de pie de monte	Menor de 4	De 30 a 60	25 a 50	Algo excesivo	Baja
Cascajal	Aluvial	Llanura aluvial de pie de monte	Menor de 8	De 15 a 25	15 a 25	Excesivo	Baja
Puerto	Residual y coluvial	Pie de montes y colinas	De 4 a 50	Mayor de 60	20 a 30	Bueno	Baja
Petro	Residual y coluvial	Pie de montes y colinas	De 4 a 15	De 50 a 80	15 a 25	Bueno	Baja
Huaquillas	Marino	Terrazas marinas	Menor de 8	0	40 a 50	Moderado	Baja
Marea	Marino	Cordón litoral	Menor de 4	0	80 a 100	Moderado	Baja
Cemento	Marino	Terrazas marinas	Menor de 8	Menor de 50	20 a 50	Moderado	Baja
Chocol	Marino	Terrazas marinas	Menor de 8	0	10 a 30	Moderado	Baja
Zorros	Marino	Terrazas marinas	Menor de 15	Menor de 40	15 a 40	Moderado	Baja

Fuente: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.6-7: Características físico - químicas de los suelos

Nombre del suelo	Textura	Salinidad	Calcáreo	pH	Materia Orgánica	Nitrógeno	Fósforo	Potasio	CIC
Médano	Arenosa a arena franca	No salino a fuertemente salino	Bajo a medio	Neutro a moderadamente básico	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo a medio	Muy baja
Las Tijeras	Franco limosa a arenosa	No salino	Bajo a medio	Neutro a moderadamente básico	Bajo	Bajo	Alto a bajo	Alto a medio	Muy baja a baja
Chivateros	Arenosa a arena franca	No salino	Bajo	Neutro a moderadamente básico	Bajo	Bajo	Medio a bajo	Medio a bajo	Muy baja
Cascajal	Arenosa	No salino	Bajo	Ligeramente básico	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Muy baja
Puerto	Franco arenosa	No salino	Bajo	Ligeramente básico a neutro	Bajo	Bajo	Bajo	Medio	Muy baja
Petro	Franco arenosa	No salino	Muy alto	Moderadamente básico	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Muy baja
Huaquillas	Arenosa	Fuertemente salino	Alto a muy alto	Ligeramente básico a moderadamente básico	Bajo	Bajo	Bajo	Alto a medio	Muy baja
Marea	Arenosa	Fuertemente salino	Bajo	Moderadamente básico a neutro	Bajo	Bajo	Bajo	Alto	Muy baja
Cemento	Arenosa a franco arenosa	No salino a ligeramente salino	Bajo a medio	Moderadamente básico	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo a alto	Muy baja a baja
Chocol	Arenosa a arena franca	No salino a moderadamente salino	Medio a muy alto	Ligeramente básico a fuertemente básico	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo a medio	Muy baja a baja
Zorros	Arenosa a franco arenosa	No salino a ligeramente salino	Bajo a muy alto	Ligeramente básico a moderadamente básico	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo a alto	Muy baja a baja

Fuente: BISA,2012

Tipos de suelos

a) Consociaciones

a.1) Consociación Médano

Pertenece al subgrupo Typic Torripsamments, presenta una secuencia de horizontes AC-C y solo C, y epipedón óchrico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen eólico que se encuentra sobre planicies eólicas planas y onduladas con relieves planos a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A.

Suelo Médano

Es un suelo moderadamente profundo (60 a 90 cm) limitado por la existencia de conchuelas en capas internas. Presenta textura arenosa a arena franca, estructura granular solo en el horizonte AC y grano simple (sin estructura) en las capas C y colores grises, pardos y amarillos. La aireación es alta, la retención de agua baja y la consistencia es suave a suelta. La pedregosidad superficial es menor de 20% del tamaño de gravillas y dentro del perfil se aprecian gravillas y gravas también en proporciones menores de 20%. La permeabilidad es rápida a moderadamente rápida y el drenaje es excesivo.

Es de reacción neutra a moderadamente básica (pH: 7,06 a 8,21), no salino a fuertemente salino (CE: 0,29 a 8,86 dS/m) y contenidos bajos a medios de carbonatos (menores de 1,30%), observándose capas con valores de 22,40% en áreas cercanas a depósitos calcáreos. Los niveles de materia orgánica (0,18 a 0,02%), nitrógeno mineral (que se deduce de las condiciones edafoclimáticas), fósforo disponible (5,9 a 1,8 ppm) son bajos, y los de potasio disponible son bajos a medios (47 a 215 ppm). La CIC efectiva es muy baja (2,08 a 4,38 me me/100 g) debido a la escasa presencia de los coloides arcilla y humus. Solo se reconocen

cationes básicos en el complejo arcillo – húmico, siendo el calcio el que muestra las mayores concentraciones con contenidos muy bajos (1,19 a 3,24 me/100 g). Por consiguiente, el PSB representa el 100% de la CIC efectiva y la acidez cambiante es 0%. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.2) Consociación Las Tijeras

Pertenece al subgrupo Typic Torrifuvents, presenta una secuencia de horizontes A-C y AC-C y epipedón óchrico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen aluvial que se encuentra sobre una llanura aluvial de pie de monte con relieves planos a moderadamente inclinados y pendientes menores de 8%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A y B.

Suelo Las Tijeras

Es un suelo moderadamente profundo (80 a 100 cm). Presenta textura franco limosa a arenosa, estructura granular en el horizonte AC, y sin estructura (masiva y grano simple) en las capas C; el color es pardo y gris, la aireación es alta a moderada, la capacidad de retención de agua es baja a media y la consistencia es suelta a dura. La pedregosidad superficial está constituida únicamente por gravillas en proporciones menores de 20%, y dentro del perfil está ausente. La permeabilidad es moderada a rápida y el drenaje es bueno.

Es de reacción neutra a moderadamente básica (pH: 7,37 a 8,20), no salino (CE, menor de 2 dS/m) y contenidos bajos a medios de carbonatos (0,50 a 3,50%). Los niveles de materia orgánica (1,79 a 0,02%) y nitrógeno mineral son bajos, de fósforo disponible son altos a bajos (14,6 a 4,0 ppm) y de potasio disponible son altos a medios (312 a 181 ppm). La CIC efectiva es muy baja a baja (14,08 a 3,68 me/100 g), explicado por los escasos porcentajes de arcilla y humus. Todas las cargas negativas del complejo arcillo – húmico están saturadas por cationes

básicos, mostrando el calcio las mayores concentraciones con niveles medios a muy bajos (11,36 a 2,30 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.3) Consociación Chivateros

Pertenece al subgrupo Typic Torrifuvents, presenta una secuencia de horizontes A-C y AC-C, y epipedón óchrico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen aluvial que se encuentra sobre una llanura aluvial de pie de monte con relieves planos a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fase por pendiente A.

Suelo Chivateros

Es un suelo superficial a moderadamente profundo (25 a 50 cm). Presenta textura arenosa a arena franca, estructura granular en el horizonte A, y sin estructura (grano simple) en las capas C; el color es pardo y gris, la aireación es alta, la capacidad de retención de agua es baja y la consistencia es suave a suelta. La pedregosidad superficial está constituida por gravillas y gravas en proporciones entre 30 y 60%, y dentro del perfil varía entre 20 y 80%, representado por los mismos tamaños de partículas de la superficie. La permeabilidad es rápida y el drenaje es algo excesivo.

Es de reacción neutra a moderadamente básica (pH: 7,12 a 8,29), no salino (CE, menor de 2 dS/m) y contenido bajo de carbonatos (menor de 1%). Los niveles de materia orgánica (0,25 a 0,02%) y nitrógeno mineral son bajos, mientras que los de fósforo disponible (9,3 a 1,5 ppm) y potasio disponible (152 a 50 ppm) son medios a bajos. La CIC efectiva es muy baja (1,37 a 3,79 me/100 g), explicado por los pobres porcentajes de arcilla y humus. Todas las cargas negativas del complejo arcillo – húmico están saturadas por cationes básicos, mostrando el

calcio las mayores concentraciones con niveles muy bajos (0,93 a 2,61 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.4) Consociación Cascajal

Pertenece al subgrupo Lithic Torriorthents, presenta una secuencia de capas Cr y epipedón óchrico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen aluvial que se encuentra sobre llanura aluvial de piedemonte con relieves planos a moderadamente inclinados y pendientes menores de 8%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A y B.

Suelo Cascajal

Es un suelo muy superficial (15 a 25 cm) limitado por la alta cantidad de gravas (mayor de 70%) dentro del perfil. Presenta textura arenosa, sin estructura (grano simple), color gris, alta aireación, capacidad de retención de agua baja y consistencia suelta. La pedregosidad superficial está constituida por gravas en proporciones entre 60 y 90%. La permeabilidad es rápida y el drenaje es excesivo.

Es de reacción ligeramente básica (pH: 7,54), no salino (CE, menor de 2 dS/m) y sin carbonatos (0%). Los niveles de materia orgánica (0,09%), nitrógeno mineral, fósforo disponible (3,7 ppm) y potasio disponible (40 ppm) son bajos. La CIC efectiva es muy baja (1,57 me/100 g), debido a los escasos contenidos de arcilla y humus. En el complejo arcillo – húmico solo se hallan retenidos cationes básicos, mostrando el calcio las mayores concentraciones con niveles muy bajos (1,27 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.5) Consociación Puerto

Pertenece al subgrupo Lithic Torriorthents, presenta una secuencia de capas C-Cr y solo Cr, mostrando epipedón óchrico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen residual y coluvial que se encuentra sobre pie de montes y colinas con relieves moderadamente inclinados a moderadamente empinados y pendientes entre 4 y 25%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente B, C y D.

Suelo Puerto

Es un suelo muy superficial a superficial (20 a 30 cm) restringido por la alta cantidad de gravas dentro del perfil. Presenta textura franco arenosa, sin estructura (grano simple), colores amarillos, alta aireación, capacidad de retención de agua baja y consistencia suelta. La pedregosidad superficial está constituida por gravas y guijarros en proporciones mayores del 60% y la gravosidad al interior del perfil varía entre 20 y 80%. La permeabilidad es moderadamente rápida y el drenaje es bueno.

Es de reacción ligeramente básica a neutra (pH: 7,78 a 7,3), disminuyendo con la profundidad, no salino (CE, menor de 2 dS/m) y sin carbonatos. Los niveles de materia orgánica (0,07 a 0,05%), nitrógeno mineral y fósforo disponible (5,3 a 5,6 ppm) son bajos y de potasio disponible son medios (180 a 125 ppm). La CIC efectiva es muy baja (3,12 a 4,39 me/100 g), debido a los escasos contenidos de arcilla y humus. Los cationes retenidos en el complejo arcillo – húmico son solo básicos, siendo el calcio el que exhibe las mayores concentraciones con niveles muy bajos (1,99 a 3,13 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.6) Consociación Petro

Pertenece al subgrupo Lithic Torriorthents, presenta una secuencia de capas C-Cr y Cr y epipedón óchrico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen residual y coluvial que se encuentra sobre pie de montes y colinas con relieves moderadamente inclinados a fuertemente inclinados y pendientes entre 4 y 15%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente B y C.

Suelo Petro

Es un suelo muy superficial (15 a 25 cm) explicado por la presencia significativa de fragmentos gruesos dentro del perfil. Presenta textura franco arenosa, sin estructura (grano simple), color amarillo, alta aireación, capacidad de retención de agua baja y consistencia suelta. La pedregosidad superficial está compuesta por gravillas y gravas en proporciones entre 50 y 80%, y la gravosidad al interior del perfil fluctúa entre 60 y 80%. La permeabilidad es moderadamente rápida y el drenaje es bueno.

Es de reacción moderadamente básica (pH: 8,24), disminuyendo con la profundidad, no salino (CE, menor de 2 dS/m) y contenidos muy altos de carbonatos (21,40%). Los niveles de materia orgánica (0,09%), nitrógeno mineral y fósforo disponible (3,4 ppm) son bajos y de potasio disponible son altos (262 ppm). La CIC efectiva es muy baja (4,80 me/100 g), debido a los escasos contenidos de arcilla y humus. Solo se encuentran cationes básicos adsorbidos en el complejo arcillo – húmico, mostrando el calcio las mayores concentraciones con niveles muy bajos (3,17 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.7) Consociación Huaquillas

Pertenece al subgrupo Calcic Haplosalids, presenta una secuencia de capas Az-Ckz y Cz-Ckz, y como horizontes de diagnóstico el epipedón óchrico y los subsuperficiales sálico y cálcico. El régimen de humedad es árido y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen marino que se encuentra sobre terrazas marinas con relieves planos a moderadamente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fase por pendiente A.

Suelo Huaquillas

Es un suelo superficial (40 a 50 cm) limitado por la presencia de costras salinas. Presenta textura arenosa, estructura de tipo granular en el horizonte A y grano simple (sin estructura) en las capas C; los colores son pardos y grises, con moteaduras de tonalidades pardo fuerte, la aireación es alta a moderada, la capacidad retentiva de agua baja y la consistencia es suave, suelta y ligeramente dura. La pedregosidad superficial y la gravosidad dentro del perfil están ausentes. La permeabilidad es rápida a moderadamente rápida y el drenaje es moderado.

Es de reacción ligeramente básica a moderadamente básica (pH: 7,51 a 8,09), fuertemente salino (CE: 36,50 a 10,52 dS/m) y contenidos altos a muy altos de carbonatos (5,40 a 40,10%). Los niveles de materia orgánica (0,09 a 0,07%), nitrógeno mineral y fósforo disponible (1,9 a 1,1 ppm) son bajos y de potasio disponible son altos a medios (383 a 182 ppm). La CIC efectiva es muy baja (2,24 a 2,56 me/100 g), explicado por los pobres porcentajes de arcilla y humus. Solo se encuentran retenidos cationes en el complejo arcillo – húmico, exhibiendo el calcio las mayores concentraciones con niveles muy bajos (0,43 a 1,03 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.8) Consociación Marea

Pertenece al subgrupo Typic Haplosalids, presenta una secuencia de capas Cz, epipedón óchrico y horizonte subsuperficial sálico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen marino que se encuentra sobre un cordón litoral con relieves planos a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fase por pendiente A.

Suelo Marea

Es un suelo moderadamente profundo (80 a 100 cm) limitado por la existencia de una capa algo saturada. Presenta textura arenosa, sin estructura (grano simple) y colores grises a pardos. La aireación es alta, la capacidad de retención de agua baja y la consistencia es suelta a no adhesiva. La pedregosidad superficial y gravosidad están ausentes, observándose costras salinas sobre la superficie. La permeabilidad es rápida a moderadamente rápida y el drenaje es moderado.

Es de reacción moderadamente básica a neutra (pH: 8,07 a 7,03), fuertemente salino (CE: 15,50 a 26,0 dS/m) y sin carbonatos. Los niveles de materia orgánica (0,16 a 0,07%), nitrógeno mineral y fósforo disponible (3,9 a 1,2 ppm) son bajos y de potasio disponible son altos (428 a 864 ppm). La CIC efectiva es muy baja (1,42 a 2,13 me/100 g), debido a los pobres contenidos de los coloides arcilla y humus. En el complejo arcillo – húmico solo se hallan retenidos cationes básicos, mostrando el calcio las mayores concentraciones con niveles bajos (0,68 a 1,61 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.9) Consociación Cemento

Pertenece al subgrupo Typic Haplodurids, presenta una secuencia de capas AC-C-2Cm y C-2Cm-2Crm, epipedón óchrico y horizonte subsuperficial duripan. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo

de origen marino con cubierta eólica que se encuentra sobre terrazas marinas con relieves planos a moderadamente inclinados y pendientes menores de 8%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A y B.

Suelo Cemento

Es un suelo muy superficial a superficial (20 a 50 cm) limitado por la existencia de capas duras y fragmentos gruesos. Presenta textura arenosa a franco arenosa, estructura granular en el horizonte AC y ausente (masivo y grano simple) en las capas C, mientras que sus colores son pardos y grises. La aireación es alta a moderada, la capacidad de retención de agua es baja y la consistencia es suelta a dura. La pedregosidad superficial está compuesta por gravillas en porcentajes menores de 50%, apreciándose dentro del perfil gravillas y gravas en proporciones entre 10 y 80%. La permeabilidad es rápida a moderada y el drenaje es moderado.

Es de reacción moderadamente básica (pH: 7,98 a 8,48), no salino a ligeramente salino (CE: 0,43 a 2,43 dS/m) y contenidos bajos a medios de carbonatos (0,0 a 1,40%). Los niveles de materia orgánica (0,18 a 0,02%), nitrógeno mineral y fósforo disponible (0,9 a 3,7 ppm) son bajos y de potasio disponible son bajos a altos (111 a 888 ppm). La CIC efectiva es muy baja a baja (2,40 a 10,71 me/100 g), explicado por los contenidos no significativos de arcilla y humus pero es mayor en los estratos inferiores que exhiben contenidos más altos de arcilla. Las cargas negativas del complejo arcillo – húmico están saturadas únicamente por cationes básicos, mostrando el calcio las mayores concentraciones con niveles muy bajos a bajos (1,68 a 4,71 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.10) Consociación Chocol

Pertenece al subgrupo Typic Haplocalcids, presenta una secuencia de capas C-2Ck y AC-Ck, epipedón óchrico y horizonte subsuperficial cálcico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen marino que se encuentra sobre terrazas marinas con relieves planos a moderadamente inclinados y pendientes menores de 8%. En el mapa de suelos se halla en fase por pendiente A y B.

Suelo Chocol

Se le califica como muy superficial a superficial (10 a 30 cm) limitado por la existencia de conchuelas en altas cantidades. Es de textura arenosa a arena franca, apreciándose en la zona de Relavera 2 capas franco arenosas; la estructura es granular en AC y sin estructura (grano simple) en C, y sus colores son pardos, amarillos, blancos y grises. La aireación es alta a moderada, la capacidad de retención de agua baja y la consistencia es suelta a dura. La pedregosidad superficial está ausente y la gravosidad dentro del perfil cuando está presente es muy baja (menor del 10%) pero sí se encuentran conchuelas con mayor frecuencia en los horizontes internos. La permeabilidad es moderadamente rápida a moderada y el drenaje es moderado.

Es de reacción ligeramente básica a fuertemente básica (pH: 7,68 a 8,79), no salino a moderadamente salino (CE: 0,27 a 6,67 dS/m) y contenidos medios a muy altos de carbonatos (3,0 a 52,8%). Los niveles de materia orgánica (0,23 a 0,02%), nitrógeno mineral y fósforo disponible (5,9 a 1,6 ppm) son bajos y de potasio disponible son bajos a medios (52 a 163 ppm). La CIC efectiva es muy baja a baja (2,24 a 5,76 me/100 g), predominando los valores muy bajos debido a los escasos contenidos de los coloides arcilla y humus. En el complejo arcillo - húmico solo se hallan cationes básicos, presentando el calcio las mayores concentraciones con niveles muy bajos a bajos (1,49 a 4,22 me/100 g). Por

consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.11) Consociación Zorros

Pertenece al subgrupo Typic Haplocalcids, presenta una secuencia de capas AC-Ck y AC-C-Crk, y como horizontes de diagnóstico el epipedón óchrico y horizonte subsuperficial cálcico. El régimen de humedad es arídico y el de temperatura isohipertérmico. Es un suelo de origen marino que se encuentra sobre terrazas marinas con relieves planos a moderadamente inclinados y pendientes menores de 8%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A y B.

Suelo Zorros

Es considerado como muy superficial a superficial (15 a 40 cm) limitado por la existencia de capas con concreciones de carbonatos y fragmentos gruesos. Es de textura arenosa a franco arenosa, estructura granular en AC y grano simple y masivo (sin estructura) en Ck, colores pardos, grises, amarillos y blancos. La aireación es alta a moderada, la capacidad de retención de agua baja y la consistencia es suelta a dura. La pedregosidad superficial, cuando está presente, está compuesta por gravillas en porcentajes menores de 40%, mientras que dentro del perfil se reconocen gravillas y gravas alcanzando hasta el 80%. La permeabilidad es moderadamente rápida a moderada y el drenaje es moderado.

Es de reacción ligeramente básica a moderadamente básica (pH: 7,48 a 8,44), no salino a ligeramente salino (CE: 0,34 a 3,70 dS/m) y contenidos bajos a muy altos de carbonatos (0,0 a 41,50%). Los niveles de materia orgánica (0,11 a 0,02%), nitrógeno mineral y fósforo disponible (0,9 a 6,7 ppm) son bajos y de potasio disponible son bajos a altos (57 a 475 ppm). La CIC efectiva es muy baja a baja (2,08 a 7,91 me/100 g), predominando los valores muy bajos, lo cual se explica por los escasos contenidos de arcilla y humus. Todas las cargas negativas del

complejo arcillo – húmico están saturadas por cationes básicos, mostrando el calcio las mayores concentraciones con niveles muy bajos a bajos (1,58 a 5,77 me/100 g). Por consiguiente, el PSB es el 100% de la CIC efectiva. No existe riesgo de sodificación (PSI menor de 15%) y la fertilidad química es baja.

a.12) Misceláneo Cauce

Está constituido por sedimentos aluviales superficiales de naturaleza arenosa que se hallan en los cauces de quebradas. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A y B.

a.13) Otras Áreas

a.13.1) O1: Constituido por tanques de combustible que pertenecen a la empresa PetroPerú y se halla en el sector noroeste del área de estudio.

a.13.2) O2: Se trata de la zona de descarga de camiones de la empresa Vale y es la instalación de transferencia de los concentrados de fosfatos para facilitar el transporte de estos hasta la Planta de Secado.

a.13.3) O3: Corresponde al poblado de Parachique que se halla al norte del área de estudio, cerca del estuario Virrilá.

a.13.4) O4: Representado por las pozas de crianza de crustáceos, localizándose cerca del puente que cruza el estuario Virrilá.

b) Asociaciones

b.1) Asociación Cascajal – Chivateros

Conformada por suelos de las unidades edáficas Cascajal y Chivateros en una proporción de 60 y 40% respectivamente. Es de origen aluvial que se ubica que se encuentra sobre llanura aluvial de pie de monte con relieves planos a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A.

Las características de ambos suelos se describieron líneas arriba.

b.2) Asociación Médano - Chocol

Conformada por suelos de las unidades edáficas Médano y Chocol en una proporción de 50% cada uno. Se ubica sobre terrazas marinas cubiertas con arena eólica con relieves planos a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fase por pendiente A.

Las características de ambos suelos se describieron líneas arriba.

b.3) Asociación Médano – Zorros

Conformada por suelos de las unidades edáficas Médano y Zorros en una proporción de 50% cada uno. Se encuentra sobre terrazas marinas cubiertas con arena eólica con relieves planos a fuertemente inclinados y pendientes menores de 15%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A, B y C.

Las características de ambos suelos se describieron líneas arriba.

b.4) Asociación Cemento - Chocol

Conformada por suelos de las unidades edáficas Cemento y Chocol en una proporción de 50% cada uno. Se ubica sobre terrazas marinas con relieves planos

a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fase por pendiente A.

Las características de ambos suelos se describieron líneas arriba.

b.5) Asociación Chocol – Zorros

Conformada por suelos de las unidades edáficas Chocol y Zorros en una proporción de 50% cada uno. Es de origen marino y se ubica que se encuentra sobre terrazas marinas con relieves planos a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente A.

Las características de ambos suelos se describieron líneas arriba.

b.6) Asociación Puerto – Misceláneo Roca

Conformada por el suelo de las unidades edáfica Puerto y la unidad no edáfica Misceláneo Roca en una proporción de 60 y 40% respectivamente. Se ubica sobre colinas altas en rocas metamórficas con relieves moderadamente empinados a empinados y pendientes entre 15 y 50%. En el mapa de suelos se halla en fases por pendiente D y E.

Las características de Misceláneo Roca se describen a continuación. La unidad Puerto se describió líneas arriba.

b.7) Misceláneo Roca

Es una unidad particularmente no edáfica. Está constituida por afloramientos líticos de naturaleza metamórfica del período Paleozoico y que se encuentran en toda el área colinosa de la península Illescas.

B) Capacidad de uso mayor de tierras

Generalidades

Esta clasificación expresa el uso adecuado de las tierras para fines agrícolas, pecuarios, forestales o de protección. Se basa en D.S. N° 017-2009-AG del 2 de setiembre del 2009.

Este sistema de Capacidad de Uso Mayor comprende tres categorías de clasificación: grupo, clase y subclase (cuadro 3.3.6-8 y plano **830MA0001A-010-20-014**).

Cuadro 3.3.6-8. Esquema de clasificación por capacidad de uso mayor.

GRUPOS DE USO MAYOR	CLASE (Calidad Agrológica)	SUBCLASE (Limitaciones o deficiencias)
Tierras para cultivos en limpio (A)	Alta (A1) Media (A2) Baja (A3)	No hay limitaciones
Tierras para cultivos permanentes (C)	Alta (C1) Media (C2) Baja (C3)	A partir de la clase A2 hasta la clase F3, presentan una o más de las siguientes limitaciones o deficiencias:
Tierras para pastos (P)	Alta (P1) Media (P2) Baja (P3)	Suelos (s) Drenaje (w) Erosión (e) Clima (c) Salinidad (l) Inundación (i)
Tierras para Forestales de Producción (F)	Alta (F1) Media (F2) Baja (F3)	
Tierras de Protección (X)	-----	-----

Fuente: BISA 2012

El grupo es la categoría que representa la más alta abstracción agrupando los suelos de acuerdo a su capacidad máxima de uso. Reúne suelos que presentan características y cualidades similares en cuanto a su aptitud natural para la

producción, ya sea de cultivos en limpio, cultivos permanentes, pastos y producción forestal, constituyendo el resto a fines de protección.

La clase agrupa los suelos en base a su calidad agrológica, la cual es la síntesis que traduce la fertilidad, condiciones físicas, relaciones suelo – agua y las características climáticas dominantes. Representa el resumen de la potencialidad del suelo, existiendo tres clases de calidad agrológica: Alta, Media y Baja. La subclase constituye una categoría establecida en función de los factores limitantes y de los riesgos que restringen el uso del suelo. Se reconocen seis factores limitantes: suelo (s), clima (c), topografía – erosión (e), drenaje (w), sales (l) e inundación (i).

Cuadro 3.3.6-9. Unidades de uso mayor de las tierras identificadas.

Símbolo	Descripción	Suelos incluidos	Proporción	Superficie	
				Ha	%
A3s(r)	Tierras aptas para Cultivos en limpio (A) con riego de calidad agrológica baja con limitación por suelo.	Médano en fase A Las Tijeras en fase A Chivateros en fase A Cemento en fase A	100	4 199,93	12, 9
A3se(r)	Tierras aptas para Cultivos en limpio (A) con riego de calidad agrológica baja con limitaciones por suelo y erosión – pendiente.	Las Tijeras en fase B	100	63,40	0,19
A3s(r) - Xs	Asociación de Tierras aptas para Cultivos en limpio (A) con riego de calidad agrológica baja con limitación por suelo y Tierras de Protección (X) con limitación por suelo.	Médano – Chocol en fase A Médano – Zorros en fase A Cemento – Chocol en fase A	50 -50	430,58	1,32
Xs - A3s(r)	Asociación de Tierras de Protección (X) con limitación por suelo y Tierras aptas para Cultivos en limpio (A) con riego de calidad agrológica baja con limitación por	Cascajal – Chivateros en fase A	60 - 40	49,70	0,16

Símbolo	Descripción	Suelos incluidos	Proporción	Superficie	
	suelo.				
Xs	Tierras de Protección (X) con limitación por suelo.	Cascajal en fases A y B Puerto en fases B, C y D Petro en fases B y C Cemento en fase B Chocol en fases A y B Zorros en fases A y B Chocol – Zorros en fase A Médano – Zorros en fases B y C Misceláneo Cauce en fases A y B	100	22 251,61	68, 34
Xsl	Tierras de Protección (X) con limitaciones por suelo y salinidad.	Huaquillas en fase A Marea en fase A	100	1220,05	3,75
Xs – X	Asociación de Tierras de Protección (X) con limitación por suelo y Tierras de Protección (X) por afloramientos líticos.	Puerto – Misceláneo Roca en fase D	60 – 40	510,75	1,57
Xse – X	Asociación de Tierras de Protección (X) con limitaciones por suelo y erosión – pendiente y Tierras de Protección (X) por afloramientos líticos.	Puerto – Misceláneo Roca en fase E	60 - 40	343,22	1,05
Otras Áreas					
X1	Instalaciones PetroPerú	Otras Áreas: O1	100	7,04	0,02
X2	Zona de descarga	Otras Áreas: O2	100	15,22	0,05
X3	Poblado de Parachique	Otras Áreas: O3	100	77,90	0,24
X4	Pozas de crianza	Otras Áreas: O4	100	24,52	0,08

Fuente: BISA, 2012.

Descripción de los tipos de tierra identificados

Se reconocieron dos grupos de tierras, Tierras aptas para Cultivos en Limpio (A) y Tierras de Protección (X).

b.1) Tierras aptas para cultivos en limpio (A)

Reúne a las tierras que presentan características climáticas, de relieve y edáficas para la producción de cultivos en limpio demandan remociones o araduras periódicas y continuadas del suelo. Estas tierras, debido a sus características ecológicas, también pueden destinarse a otras alternativas de uso, ya sea cultivos permanentes, pastos, producción forestal y protección, en concordancia a las políticas e interés social del Estado, y privado, sin contravenir los principios uso sostenible. Se identificó una clase: tierras aptas para cultivos en limpio de calidad agrológica baja (A3).

Clase A3

Agrupar a tierras de baja calidad, con fuertes limitaciones de orden climático, edáfico o de relieve, que reducen significativamente el cuadro de cultivos y la capacidad productiva. Requieren de prácticas muy intensas y a veces especiales, de manejo y conservación de suelos para evitar su deterioro y mantener una productividad sostenible.

Se identificó solo la subclase: A3s(r). Se precisa que el subíndice (r) hace referencia a la utilización de los cultivos en limpio siempre y cuando se disponga de riego.

Subclase A3s(r)

Se encuentra sobre llanura aluvial de pie de monte y planicies eólicas con relieves planos a ligeramente inclinados y pendientes menores de 4%.

Presenta limitación únicamente por suelo (profundidad efectiva, textura moderadamente gruesa a gruesa y fertilidad baja). Agrupa a las consociaciones Médano, Las Tijeras, Chivateros y Cemento en fase por pendiente A. Asimismo, se halla asociado con Xs en las unidades Médano – Chocol, Médano – Zorros y Cascajal – Chivateros, todos en fase A.

Lineamientos de Uso y de Manejo

La aplicación de fertilizantes químicos de tipo nitrogenado, fosfatado y potásico, microelementos, etc., es necesaria para elevar la fertilidad del suelo. Con el fin de mejorar las propiedades físicas y la actividad microbiana, es recomendable la aplicación de estiércol (materia orgánica). Para evitar problemas de erosión se recomienda realizar el surcado siguiendo las curvas de nivel. Asimismo se deberá implementar una adecuada infraestructura de regadío con el objetivo de asegurar la dotación de agua en momento oportuno. Por otro lado, el riego tecnificado del tipo aspersión se recomienda para esta pendiente para evitar la escorrentía superficial.

Recomendaciones de especies: Las condiciones ecológicas y edáficas permiten la siembra de una gran variedad de cultivos anuales alimenticios o industriales, tales como: algodón, maíz, frijol, Capsicum (ají, pimiento), sandía, camote, yuca, alfalfa, hortalizas, así como frutales como mango, cítricos, etc. y otros de gran valor económico y alimenticio que se consideren más apropiados para la zona.

b.2) Tierras de protección (X)

Son aquellas tierras que debido a sus severas limitaciones no permiten establecer en ellas actividades agrícolas, pecuarias o forestales. Si bien este grupo no presenta clase ni subclase, con fines de explicación a continuación se señalan las razones que determinaron incluir a los mencionados suelos como Tierras de Protección.

Subclase Xs

Presenta limitación únicamente por suelo (profundidad efectiva). Incluye a la consociación Cemento en fase B; a Cascajal, Chocol y Zorros y Misceláneo Cauce en fases A y B; Puerto en fases B, C y D, y Petro en fases B y C. Asimismo, agrupa a la asociación Chocol – Zorros en fase A, y se halla asociado con A3s(r) en las unidades Médano – Chocol, y Médano – Zorros y Cascajal –

Chivateros, todos en fase A, así como con X (Misceláneo Roca) por afloramientos líticos en la unidad Puerto – Misceláneo Roca en fase D.

Subclase Xsl

Presenta limitaciones por suelo y fuerte salinidad. Incluye a las consociaciones Huaquillas y Marea en fase A.

Subclase Xse

Presenta limitaciones por suelo (profundidad efectiva) y erosión – pendiente. Se halla asociado con X por afloramientos líticos en la unidad Puerto – Misceláneo Roca en fase E.

Subclase X

Corresponde a la unidad no edáfica Misceláneo Roca. Se halla asociado con A3s(r) en las unidades Médano – Chocol, Médano – Zorros y Cascajal – Chivateros en fase A, así como Xs en la unidad Puerto – Misceláneo Roca en fase D, y con Xse en la asociación Puerto – Misceláneo Roca en fases D y E.

Unidad X1

Constituido instalaciones de la empresa PetroPerú y que se halla en el sector noroeste del área de estudio.

Unidad X2

Corresponde a la zona de descarga de camiones de la empresa Vale en donde se realiza la transferencia de concentrados de fosfatos para transportarlos vía faja hasta la Planta de Secado.

Unidad X3

Corresponde al poblado de Parachique que se encuentra en una punta en el estuario Virrilá, al norte del área de estudio.

Unidad X4

Representado por las pozas de crianza de crustáceos que se hallan cerca del puente que cruza el estuario Virrilá.

C) Uso actual de la tierra

Generalidades

El Uso actual de la Tierra expresa el uso que se le da a la tierra al momento que ésta es evaluada. Para ello se utiliza la escala propuesta por la Unión Geográfica Internacional (UGI), la cual contiene nueve clases. A continuación, se presenta dicha clasificación.

1. Áreas Urbanas y/o instalaciones gubernamentales y privadas
 - a. Centros poblados
 - b. Instalaciones de gobierno y/o privadas (carreteras, granjas, canales, establos, huacas)
2. Terrenos con hortalizas
3. Terrenos con huertos de frutales y otros cultivos perennes
4. Terrenos con cultivos extensivos (papa, camote, yuca, etc.)
5. Áreas de praderas mejoradas permanentes
6. Áreas de praderas naturales
7. Terrenos con bosques
8. Terrenos pantanosos y/o cenagosos
9. Terrenos sin uso y/o improductivos:
 - a. Tierras en barbecho (preparación o descanso temporal)
 - b. Terrenos agrícolas sin uso (actualmente abandonados)
 - c. Terrenos de litoral, caja de río
 - d. Áreas sin uso no clasificadas.

Clases de uso actual

En la zona de estudio, se reconocieron las clases: 1, Áreas urbanas e instalaciones; 7, Terrenos con bosques; y 9, Terrenos sin uso y/o improductivos, en la cual se incluyen todas aquellas tierras que no pueden ser clasificadas en las primeras ocho clases.

Clase 1: Se reconocieron las siguientes subclases, todas cartografiadas de manera individual.

Instalaciones PetroPerú: Constituido por tanques de combustible que pertenecen a la empresa PetroPerú y se halla en el sector oeste del área de estudio.

Área de descarga: Es la zona en la cual se lleva a cabo la descarga de los concentrados de fosfatos transportados por los camiones de la empresa Vale para transferirlos a una faja que los llevará hasta la Planta de Secado.

Centro poblado: Constituido por el poblado de Parachique que se halla al norte del área de estudio, en la desembocadura de Virrilá.

Pozas de crianza: Son estanques de forma rectangular construidos para la crianza de crustáceos, ubicándose cerca del puente que cruza el estuario Virrilá.

Clase 7: Se reconocieron las siguientes unidades:

Bosques de algarrobo: predomina esta especie, típica del bosque seco. Asimismo, se aprecian en proporciones menores como sapote, acacia, palo verde y arbustos.

Clase 9: Se reconocieron las siguientes unidades:

Campos de dunas: Por ser una zona árida con fuerte influencia eólica, los depósitos de arenas son comunes. Esta unidad corresponde a acumulaciones de arena sin vegetación en forma de dunas menores de 5 metros de altura, formando campos de estas.

Colinas rocosas: corresponde a las áreas rocosas del cerro Illescas y sus pie de montes así como las colinas aisladas de la zona, con afloramientos líticos y alta pedregosidad superficial, distinguiéndose vegetación de roquedal constituida por especies arbustivas y herbáceas en bajo grado de cobertura.

Campos de dunas – Depósitos de arena de relieves planos: compuesta por campos de dunas que se describieron líneas arriba pero de baja altura, y los depósitos de arena que se explican a continuación:

Depósitos de arena de relieves planos: Es el área desértica de relieves planos (sin dunas evidentes) constituida por arena suelta con plantas dispersas halófitas.

Cauces de quebradas: Agrupa a los cauces de las numerosas quebradas anchas que descienden desde el cerro Illescas.

Estuario de Virrilá: corresponde a la desembocadura de un brazo del río Piura en el océano, donde se mezclan el agua dulce con la salada, constituyendo refugio para las aves migratorias.

En el cuadro 3.3.6-10 y en el plano **830MA0001A-010-20-015** se presentan las unidades de mapeo de Uso actual.

Cuadro 3.3.6-10. Superficie de las unidades cartográficas.

Nombre	Símbolo	Ha	%
Instalaciones PetroPerú	IP	7,04	0,02
Área de descarga	AD	15,22	0,05
Centro poblado	CP	77,90	0,24
Pozas de crianza	PC	24,52	0,08
Bosques de algarrobo	Ba	23 467,38	72,07
Campos de dunas	Du	2309,69	7,09
Colinas rocosas	Cr	2516,22	7,73
Campos de dunas - Depósitos de arena de relieves planos	Du -Ar	735,03	2,26
Cauces de quebradas	Cq	40,93	0,13
Estuario de Virrilá	Es	3179,29	9,76

Fuente: Bisa, 2012

3.3.6.1.5 Conclusiones

- Se determinaron siete subgrupos de suelos de acuerdo a la clasificación natural Soil Taxonomy del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2010): Typic Torripsamments (suelo Médano), Typic Torrfluvents (suelos Las Tijeras y Chivateros), Lithic Torriorthents (suelos Cascajal, Puerto y Petro), Calcic Haplosalids (suelo Huaquillas), Typic Haplosalids (suelo Marea), Typic Haplodurids (suelo Cemento) y Typic Haplocalcids (suelos Chocol y Zorros).
- El material parental de los suelos evaluados pertenece a los tipos residual y transportado, este último con los subtipos aluvial, coluvial, eólico y marino.
- En la zona estudiada se reconocen dos grandes paisajes: el primero, colinoso, constituido por colinas y pie de montes; y el segundo, planicie, representado por terrazas marinas, llanura aluvial de pie de monte y superficies eólicas.

- Según la profundidad efectiva, los suelos son muy superficiales a moderadamente profundos.
- La fertilidad química de los suelos es baja, reacción neutra a moderadamente básica, no salinos a fuertemente salinos y con contenidos bajos a muy altos de carbonatos. Los niveles de materia orgánica y nitrógeno mineral son bajos, y los de fósforo disponible y potasio disponible son altos a bajos.
- Los valores de CIC son bajos a muy bajos, debido a los pobres contenidos de arcilla y humus.
- Las clases texturales son moderadamente gruesas a gruesas (franco arenosas, arenosas y arenas francas), la estructura solo está presente en los horizontes A y AC, mientras que en las capas C está ausente; la aireación es alta y la retención de agua es baja.
- De acuerdo a la clasificación por Capacidad de Uso Mayor, las tierras son aptas para Cultivos en limpio (A) y de Protección (X).
- Según el Uso Actual de la Tierras, se reconocieron tres clases: Áreas urbanas e Instalaciones, Terrenos con bosques, y Terrenos sin uso.

3.3.6.2 Geoquímica de suelos

3.3.6.2.1 Metodología

Se realizaron ensayos predictivos con la finalidad de caracterizar el potencial de generación de acidez de los suelos del área de estudio del Proyecto Fosfatos. Para este propósito, en las muestras de suelos obtenidas en las calicatas se realizaron análisis de laboratorio consistentes en ensayos estáticos Acid-Base-Acid (ABA) en el laboratorio Inspectorate Services Perú.

Los ensayos ABA incluyeron procedimientos especializados para definir los principales contenidos de metales con potencial de generación de ácido y de neutralización de las diferentes muestras de suelos. Las pruebas ABA identifican las características globales de las muestras y proporcionan información preliminar sobre: a) si una muestra tiene potencial de generación de ácido y b) los cambios potenciales en la geoquímica, tanto de la muestra como del agua de contacto.

La abundancia de elementos metálicos en fase sólida ha sido determinada por el método de espectrometría de masas con plasma de acoplamiento inductivo (ICP-MS) en muestras digeridas con ácido.

3.3.6.2.2 Resultados – generación de acidez

En el cuadro 3.3.6-11 se presentan los resultados obtenidos:

Cuadro 3.3.6-11. Caracterización geoquímica del suelo

ABA							
Punto de Muestreo	pH en pasta	Azufre			Potencial de Acidez (PA)	Potencial de neutralización (PN)	Potencial neto de neutralización (PNN)
		Total	como SO ₄ ⁼	como S ⁼			
Unidades	Unid. pH	%	%	%	Kg CaCO ₃ /Ton. Muestra	Kg CaCO ₃ /Ton. Muestra	Kg CaCO ₃ /Ton. Muestra
S-1	7,2	0,02	< 0,01	--	--	10,54	-
S-2	7,8	0,07	0,06	0,01	0,31	558,45	558,14
S-3	7,5	0,06	0,05	0,01	0,31	35,95	35,64
S-4	7,8	0,04	0,03	0,01	0,31	52,39	52,07
S-5	8,7	0,01	<0,01	--	--	5,11	--
S-6	7,9	0,01	<0,01	--	--	3,88	--
S-8	8,4	0,02	0,01	0,01	0,31	0,43	0,12
S-10	7,6	1,06	0,51	0,55	17,19	75,01	57,83
S-11	9,2	0,02	0,01	0,01	0,31	21,92	21,61
S-12	8,3	0,09	0,08	0,01	0,31	67,26	66,95
S-13	8,6	0,08	0,07	0,01	0,31	398,22	397,91
S-14	8,6	0,11	0,1	0,01	0,31	288,57	288,26
S-15	8,3	4	3,99	0,01	0,31	176,34	176,02
S-16	8,0	0,33	0,32	0,01	0,31	317,78	317,47
S-17	8,9	0,02	0,01	0,01	0,31	66,25	65,93
S-18	8,9	0,01	<0,01	--	--	-0,68	--
S-19	7,8	0,51	0,5	0,01	0,31	22,70	22,39
S-20	8,5	0,06	0,02	0,04	1,25	365,09	363,84
S-21	8,3	0,03	0,02	0,01	0,31	26,31	26,00
S-22	7,6	0,05	0,05	0	0	31,78	31,78

Fuente: BISA, 2012.

Los resultados de los análisis se adjuntan en el **Anexo 3-4**.

El Potencial de Acidez (PA) o acidez potencial total está representado por el contenido de azufre como sulfuro en la muestra y se puede calcular de la siguiente manera:

$$PA = \% \text{ de Azufre} * 31,25$$

El Potencial de Neutralización (PN) expresa, por otro lado, los minerales potencialmente consumidores de acidez y se determina por titulación de la muestra.

El potencial Neto de Neutralización (PNN) resulta de la diferencia:

$$PNN = PN - PA$$

Criterio de Interpretación

En el cuadro 3.3.6-12 se presenta los criterios utilizados para la predicción de drenaje ácido

Cuadro 3.3.6-12. Criterios de predicción de DAR

<i>Potencial representado de Generación de Ácido</i>	<i>Criterio de Interpretación</i>
<i>Bajo o Nulo</i>	<i>PNN > 20 y PN/PA >3</i>
<i>Potencial Marginal</i>	<i>PNN < 20 y 1 < PN/PA < 3</i>
<i>Alto</i>	<i>PNN < 0 y PN/PA < 1</i>

Resultados

En el cuadro 3.3.6-13 se presenta los resultados de la evaluación geoquímica para la predicción de drenaje ácido

Cuadro 3.3.6-13. Potencial de generación de drenaje ácido de roca

Muestras	Potencial neto de neutralización (PNN)	Relación PN/PA	Pot. de Generación de DAR
S-1	-	--	--
S-2	558,14	1787,05	Bajo o Nulo
S-3	35,64	115,06	Bajo o Nulo
S-4	52,07	167,63	Bajo o Nulo
S-5	--	--	--
S-6	--	--	--
S-8	0,12	1,39	Alto
S-10	57,83	4,36	Bajo o Nulo
S-11	21,61	70,15	Bajo o Nulo
S-12	66,95	215,24	Bajo o Nulo
S-13	397,91	1274,30	Bajo o Nulo
S-14	288,26	923,42	Bajo o Nulo
S-15	176,02	564,27	Bajo o Nulo
S-16	317,47	1016,90	Bajo o Nulo
S-17	65,93	211,98	Bajo o Nulo
S-19	22,39	72,65	Bajo o Nulo
S-20	363,84	292,07	Bajo o Nulo
S-21	26,00	84,19	Bajo o Nulo
S-22	31,78	--	--

Fuente: BISA, 2012.

Igualmente se han realizado pruebas de caracterización de roca fosfórica, lodos residuales y de desmonte. Los análisis mineralógico, las pruebas estáticas, las pruebas cinéticas y de lixiviación se adjuntan en el **Anexo 3-6**.

3.3.6.2.3 Conclusiones

A partir de los resultados obtenidos se puede concluir que las muestras analizadas no son potencialmente generadoras de Drenaje Ácido de Roca (DAR).

3.3.6.3 Calidad de suelos

3.3.6.3.1 Objetivo

El objetivo de la presente sección es establecer las características químicas del suelo en el área de influencia del Proyecto.

3.3.6.3.2 Área de estudio

La evaluación de la calidad del suelo en contenidos de materia orgánica y metales se realizó en los meses de noviembre del 2011 y abril del 2012 mediante un programa que comprendió primero, una revisión en gabinete de los mapas de ubicación de los componentes para determinar los posibles puntos de monitoreo del Proyecto, seguido del trabajo de campo para la excavación de 21 calicatas de las cuales se tomaron muestras que fueron clasificadas y transportadas a laboratorio para su análisis y posterior interpretación de los resultados.

Cabe mencionar que la evaluación de este componente es independiente de la estación o época del año por lo que se hace una sola determinación que es representativa tanto en época húmeda como en época seca.

3.3.6.3.3 Metodología

Elección de parámetros a evaluar

La evaluación tiene como finalidad la caracterización química de los suelos existentes en el área de influencia del Proyecto, determinando presencia de metales como arsénico, cromo, bario, plomo, cobre entre otros; a fin determinar la calidad de los suelos mediante la comparación de las concentraciones de elementos y compuesto presentes, con un valor de referencia.

Métodos de muestreo y análisis

Se siguieron metodologías estandarizadas tanto para la toma de muestras como para los posteriores análisis en laboratorio. Se utilizaron los métodos recomendados por la Agencia de Protección Ambiental de Estados Unidos (USEPA). En el cuadro adjunto se resumen estos.

Cuadro 3.3.6-14. Métodos de análisis utilizados en la evaluación de Calidad de Suelos

Parámetro	Metodología Empleada	Unidad
Materia Orgánica	Referencia: USAID/Lima; Cap E, Pag. 17; Método Volumétrico, Método de Walkey-Black Modificado, 1977; Análisis de suelos, tejidos vegetales, aguas y fertilizantes; Instituto de investigación agraria Manual No 18-93, Diciembre 1993.	%
Metales x ICP	EPA 200.7 Revisión 4.4 (1994) (Espectrometrías de Emisión Atómica con plasma de Inducción Acoplada)	mg/kg

Fuente: Informes de Ensayo N° 117221L/11-MA y 117222L/11-MA elaborados por Inspectorate Services Perú S.A.C.

Estaciones de muestreo

Teniendo en cuenta la ubicación de los diversos componentes definidos para el Proyecto se establecieron veinte (20) estaciones donde se colectaron las muestras. En el cuadro 3.3.6-15 se describe la ubicación y coordenadas de las estaciones:

Cuadro 3.3.6-15. Estaciones de Muestreo para Evaluación de Calidad de Suelos (ver plano 830MA0001A-010-20-12).

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (WGS84)		Altitud (m.s.n.m.)
	Norte	Este	
S-1	9 346 730	504 320	83
S-2	9 341 250	518 479	62
S-3	9 340 778	536 079	63
S-4	9 345 162	551 757	69
S-5	9 356 074	496 070	45

Estación de Monitoreo	Coordenadas UTM (WGS84)		Altitud (m.s.n.m.)
	Norte	Este	
S-6	9 354 564	496 894	43
S-8	9 349 898	506 827	26
S-10	9 348 856	515 041	18
S-11	9 342 514	515 488	75
S-12	9 341 670	515 571	72
S-13	9 336 800	519 000	57
S-14	9 342 500	520 800	38
S-15	9 337 500	522 400	63
S-16	9 341 500	527 000	56
S-17	8 359 300	492 200	26
S-18	9 359 598	492 575	93
S-19	9 361 048	513 795	7
S-20	9 354 304	515 934	9
S-21	9 351 000	517 800	16
S-22	9 345 700	518 924	58

Fuente: BISA, 2012.

Normas de referencia

Al inicio de la evaluación de línea base del Proyecto Fosfatos, en la legislación peruana aún no se había determinado valores límite de calidad de suelos, por lo que se tomó en consideración de manera referencial los estándares de calidad de suelos agrícolas indicados en las guías de la república de Canadá (*Canadian Soil Quality Guidelines for the Protection and Human Health* (CSQG, 2003)); asimismo, se consideran también como normas de comparación la Norma Ecuatoriana para Uso Agrícola y la Guía Ambiental para la Restauración de Suelos en Instalaciones de Refinación y Producción Petrolera del Ministerio de Energía y Minas. Los valores de los parámetros de estas normas se muestran junto con los resultados de la evaluación, en el cuadro 3.3.6-16.

El conocimiento de los niveles de concentración de estos parámetros permitirá conocer en qué estado se encuentra la calidad de suelos antes del inicio de las actividades del Proyecto.

3.3.6.3.4 Resultados

Los resultados del análisis de calidad de suelo están contenidos en los Informes de Ensayo N° 53098L/12-MA elaborados por Inspectorate Services Perú S.A.C, y se resumen en el cuadro 3.2.6-16, donde se comparan con los estándares elegidos como referencia. Los informes de ensayo se adjuntan en el **Anexo 3-4**.

Cuadro 3.3.6-16. Resultados de la evaluación de calidad de suelos

Metales	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-8	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	S-22	Ecu ⁽¹⁾	CEQG ⁽²⁾	VNL ⁽³⁾	VR ⁽³⁾
	Valores en mg/kg																							
Aluminio (Al)	17419,59	-	-	-	16374,73	17290,37	13588,97	25729,52	9022,16	13564,55	13712,00	12191,36	12205,24	14269,95	8745,79	31152,59	7947,17	11886,65	10544,12	10521,40	-	-	-	-
Antimonio (Sb)	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	1,31	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	3,97	1,74	0,47	<0,02	<0,02	<0,02	0,14	--	-	20	20
Arsénico (As)	17,04	8,66	7,98	6,73	23,52	9,22	8,70	5,61	9,81	6,42	10,44	9,04	7,75	8,29	6,94	13,08	5,50	6,79	6,00	6,99	12	12	5	20
Bario (Ba)	89,32	29,04	31,42	26,00	70,73	59,27	56,68	67,27	21,58	23,32	35,53	27,56	39,15	38,19	20,98	55,00	16,17	25,29	23,62	22,32	750	750	200	750
Berilio (Be)	0,67	0,40	0,29	0,21	0,60	0,87	0,65	0,92	0,42	0,41	0,39	0,41	0,31	0,37	0,35	1,22	0,28	0,41	0,37	0,27	--	4	4	4
Bismuto (Bi)	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	4,50	0,05	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	2,98	0,11	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	-	-	-	-
Boro (B)	0,88	6,28	5,31	0,66	<0,12	<0,12	13,41	59,21	20,07	12,78	19,48	18,33	13,30	18,94	4,90	12,51	18,54	12,20	5,79	14,36	-	2	1	2
Cadmio (Cd)	0,46	1,49	2,50	0,24	0,60	0,74	0,63	0,89	1,60	1,02	2,55	2,36	4,44	2,42	0,30	2,42	0,21	1,17	2,40	1,48	2	1.4	0.5	3
Calcio (Ca)	9551,87	23094,23	31877,61	19362,32	5848,59	3646,79	12966,03	37425,95	23654,52	22324,67	67400,71	35439,23	107698,24	35192,30	24814,35	17305,89	11696,12	43536,37	20817,09	25244,93	-	-	-	-
Cerio (Ce)	88,16	96,30	61,84	70,15	84,21	52,72	81,76	80,51	94,91	47,47	41,12	36,50	23,74	35,93	40,26	147,81	24,16	43,73	39,55	56,43	-	-	-	-
Cobalto (Co)	8,30	2,78	2,88	3,04	6,36	7,96	6,18	8,12	3,15	3,27	3,35	3,41	2,70	3,04	2,31	15,50	1,63	2,86	2,72	2,75	40	40	10	40
Cobre (Cu)	17,07	6,36	8,16	5,49	13,76	16,10	12,60	19,70	6,15	7,66	10,76	9,51	11,15	17,89	6,42	31,57	3,71	7,69	7,61	6,39	63	63	30	150
Cromo (Cr)	30,86	25,75	35,43	19,15	23,79	25,34	27,57	46,10	30,97	29,73	43,50	37,72	45,40	35,55	18,06	40,61	15,85	23,73	25,84	26,88	65	64	20	750
Estaño (Sn)	5,56	5,72	4,36	7,73	3,60	5,05	6,17	1,31	2,37	5,00	6,27	1,49	4,70	7,56	4,97	7,40	3,77	4,83	7,19	5,54	5	5	5	5
Estroncio (Sr)	54,80	126,31	140,87	135,06	72,80	29,42	68,54	188,75	114,80	72,68	141,02	122,71	184,35	144,39	140,10	85,04	74,47	112,83	96,17	124,80	-	-	-	-
Fósforo (P)	2252,78	5331,71	6714,69	2449,31	1453,97	1065,32	3472,78	4862,90	6026,91	2434,63	6439,34	6183,62	6573,28	6128,95	2678,41	4014,77	2653,43	4387,44	5817,30	5723,73	-	-	-	-
Hierro (Fe)	29074,54	19835,92	17475,12	22394,22	22438,24	23003,24	19937,27	32502,59	19839,99	16303,02	14479,25	14614,97	11254,49	15502,58	10044,82	43144,38	7281,70	11554,28	12902,31	14248,84	-	-	-	-
Litio (Li)	28,53	8,55	10,84	7,99	17,56	24,21	21,63	29,47	9,34	9,92	11,34	13,55	8,95	10,76	8,63	34,10	7,56	9,22	8,47	10,76	-	-	-	-
Magnesio (Mg)	7616,82	4104,14	6935,69	4000,68	4857,67	5641,28	5177,98	12745,21	4479,58	5094,23	8706,92	7391,95	11910,69	7390,97	2711,66	13321,26	6592,21	3804,25	4167,73	4414,93	-	-	-	-
Manganeso (Mn)	338,69	235,15	207,05	219,94	265,68	366,13	260,85	461,10	228,46	170,64	163,20	184,08	139,09	165,77	131,10	358,63	88,54	153,29	144,98	207,15	-	-	-	-
Mercurio (Hg)	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	<0,01	0,04	0,04	0,07	0,11	<0,01	0,81	0,05	<0,01	0,16	0,06	0,09	0,02	<0,01	0,02	0,31	0,8	6.6	0.1	0.8
Molibdeno (Mo)	0,32	0,68	0,78	0,21	0,18	0,49	0,79	1,02	0,75	0,39	1,01	0,85	1,16	1,38	0,28	0,58	0,39	0,46	0,83	0,98	5	5	2	5
Niquel (Ni)	16,48	3,69	5,64	2,79	11,18	17,36	13,27	16,25	5,96	7,24	10,48	8,54	13,63	10,21	4,86	33,54	3,77	7,18	6,28	5,39	50	50	20	150
Plata (Ag)	0,11	0,06	0,04	<0,02	<0,02	0,14	0,12	0,23	0,09	0,04	0,08	0,07	0,07	0,16	0,19	0,13	0,14	0,07	0,07	0,57	20	20	2	20
Plomo (Pb)	7,82	5,12	6,47	5,54	10,53	9,72	11,20	11,40	5,49	4,91	5,15	5,58	4,59	5,96	5,05	35,00	3,18	4,86	5,46	6,65	100	70	25	375
Potasio (K)	6867,26	1514,46	2717,06	1543,25	4072,40	3929,88	4925,34	7187,61	1248,93	3104,29	3162,09	2902,76	2758,78	3079,77	1573,74	5169,15	1836,66	2999,17	2526,77	2356,92	-	-	-	-
Selenio (Se)	0,18	0,79	0,82	0,80	0,61	0,35	0,93	1,11	0,83	<0,02	0,83	0,75	1,53	1,94	<0,02	0,77	1,18	1,76	<0,02	0,95	-	1	1	2

Metales	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5	S-6	S-8	S-10	S-11	S-12	S-13	S-14	S-15	S-16	S-17	S-18	S-19	S-20	S-21	S-22	Ecu ⁽¹⁾	CEQG ⁽²⁾	VNL ⁽³⁾	VR ⁽³⁾
	Valores en mg/kg																							
Sodio (Na)	480,16	681,81	831,75	431,62	308,89	1144,31	527,80	12071,90	594,77	478,09	1239,29	789,66	853,86	908,14	525,11	592,36	7439,69	560,13	628,35	1513,40	-	-	-	-
Talio (Tl)	0,42	0,14	0,20	0,10	0,29	0,25	0,29	0,39	0,15	0,27	0,29	0,25	0,33	0,34	0,13	0,31	0,10	0,19	0,19	0,17	-	1	0,5	1
Titanio (Ti)	1234,76	963,51	727,75	746,41	763,82	558,90	957,07	1232,77	433,03	865,10	529,53	271,73	544,26	595,93	542,02	382,61	484,72	726,84	433,42	620,09	-	-	-	-
Torio (Th)	13,98	40,82	24,58	17,62	12,81	7,04	13,40	23,09	54,93	16,99	10,85	9,47	6,58	12,36	7,70	18,39	3,19	4,88	7,80	12,22	-	-	-	-
Uranio (U)	2,12	9,17	7,87	3,36	1,66	1,08	3,62	6,25	12,53	4,15	5,25	5,00	4,93	6,36	3,18	3,40	2,36	2,79	4,53	5,64	-	-	-	-
Vanadio (V)	43,55	57,38	43,88	62,48	30,28	25,63	38,86	79,01	64,11	43,02	41,81	36,59	34,38	39,29	24,91	38,41	21,51	30,84	30,35	40,27	130	130	25	200
Wolframio (W)	1,82	0,83	0,68	0,53	<0,50	1,52	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	1,84	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	-	-	-	-
Zinc (Zn)	63,01	31,38	35,51	27,48	68,64	50,16	46,03	63,15	33,07	30,60	34,06	42,43	33,47	41,31	26,69	84,61	22,22	30,90	31,77	44,29	200	200	60	600

<"valor" significa no cuantificable debajo del limite de cuantificación indicado

(1): Norma Ecuatoriana para uso Agrícola

(2): Estándares Internacionales para Calidad de Suelo - Norma Canadiense (Canadian Environment Quality Guidelines, CEQG)

(3): VLN: Valor Natural Limite; VR: Valor de Restauración. Fuente: Guía Ambiental para la Restauración de Suelos en Instalaciones de Refinación y Producción Petrolera -MEM

En general, los resultados obtenidos indican que la mayoría de parámetros evaluados en las 20 estaciones presentan valores por debajo de los estándares ambientales de comparación (ECA Guía CSQG, 2003). Sin embargo algunas estaciones reportaron valores superiores los cuales se analizan en los siguientes párrafos y se explican sus posibles causas.

- **Arsénico (As)**

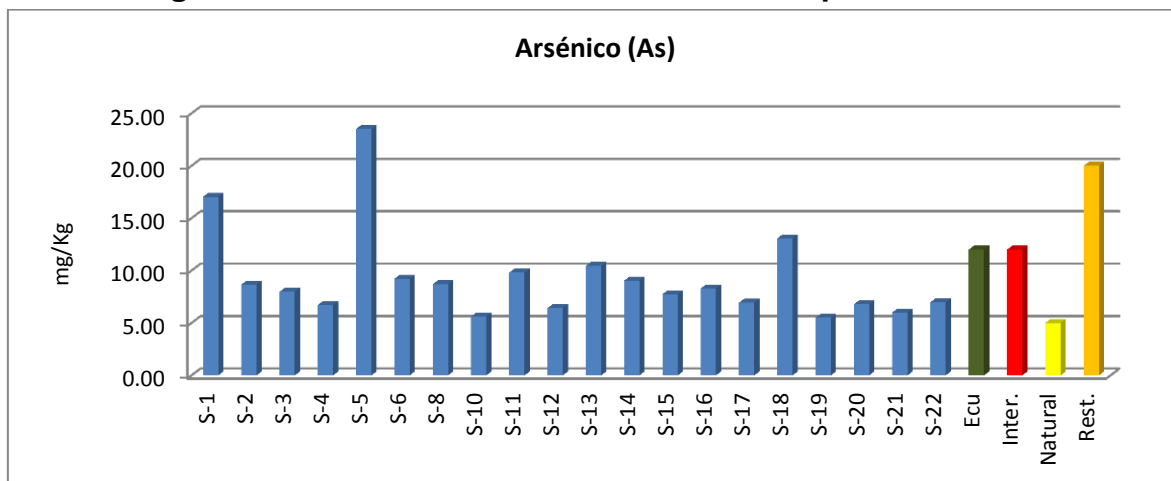
Los valores que superan el estándar internacional de referencia se reportan en las estaciones S-1, S-5 y S-18 (Ver figura 3.3.6-1), siendo el mayor valor el de S-5. Se conoce que la presencia de este elemento obedece a causas naturales (composición de roca madre: sedimentarios o volcánicos) o antrópicas (actividades de extracción y refinación minera, uso de pesticidas por deposición en suelo).

La estación S-1 por ubicarse entre el litoral y la mina de fosfatos de la empresa Misky Mayo podría tener dos orígenes, uno natural por ubicarse esta área sobre depósitos sedimentarios y otro un origen antrópico por estar cerca de actividad minera desde donde en forma de polvo se trasladarían por acción de los vientos desde la mina hasta estas áreas, sin embargo esta afirmación no es concluyente y ameritaría mayores evaluaciones.

Para el caso de S-5 y S-18, podrían tener origen antrópico ya que la primera se ubica cerca de las operaciones del terminal del oleoducto norperuano de Petroperu y la segunda cerca al poblado Puerto Rico donde se ubican actividades de pesca industrial.

Al momento de realizarse el análisis de suelo aún no se contaba en el Perú con los estándares de calidad de suelo. Este, fue aprobado en el 25 marzo 2013, donde se establece un valor límite de 140 mg/kg. Comparados con este valor todos los puntos muestreados están dentro de estándar.

Figura 3.3.6-1. Concentraciones de arsénico por estaciones

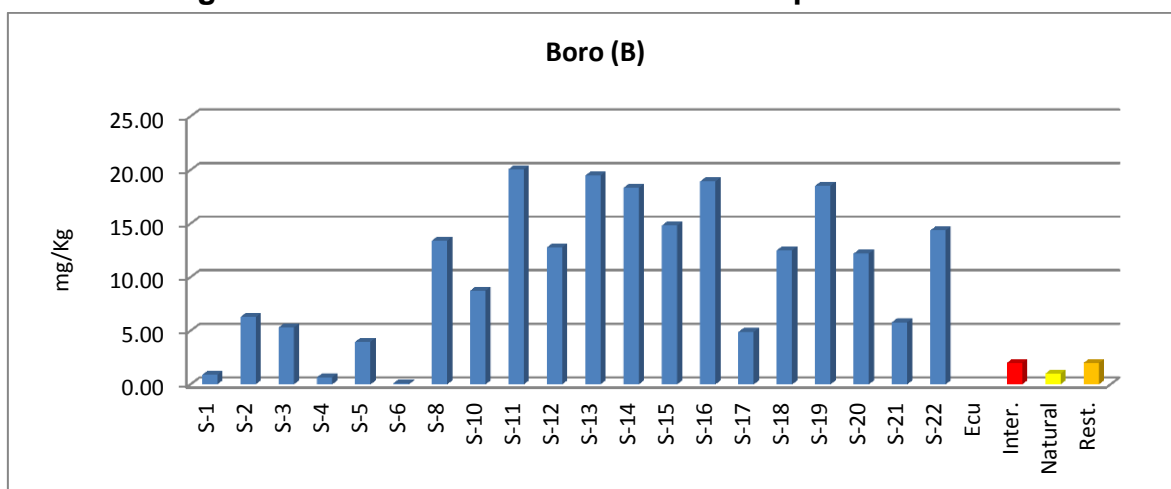


Fuente: BISA, 2012.

- **Boro (B)**

La mayoría de las estaciones reportan valores de boro por encima de los estándares, esto por condiciones naturales de los suelos de la zona. El Boro es un elemento no tóxico para la salud; es considerado un metaloide escaso, de origen volcánico magnático aunque puede estar presente en pequeñas concentraciones en el suelo y en el agua de mar, de allí que su presencia en la zona merece ser investigada con mayor detalle.

Figura 3.3.6-2: Concentraciones de Boro por estaciones



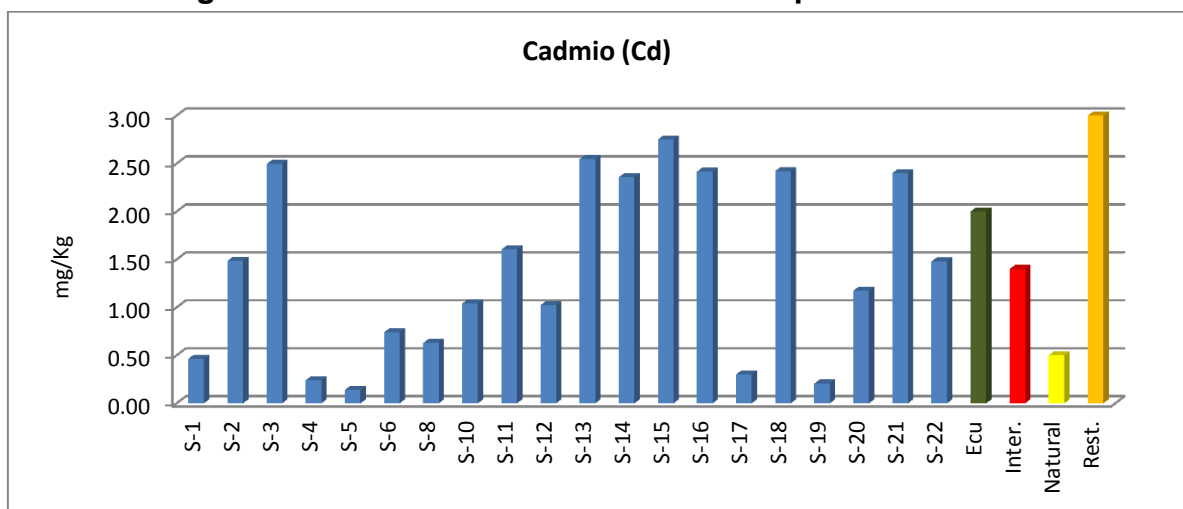
Fuente: BISA, 2012

- **Cadmio (Cd)**

Los valores que superan el estándar de referencia se reportan en las estaciones S-3, S-11, S-13 al S16 y S-18 y S-21 (Ver figura 3.3.6-3), siendo el mayor valor el de S-5. Se conoce que la presencia de cadmio en suelo obedece a orígenes naturales o antrópicos, en el primero están la actividad volcánica (rocas de origen volcánico) y en el segundo actividad industrial minera y de metalurgia, incluso hay estudios que lo relacionan con la producción de fertilizantes entre ellos los de tipo fosfatado.

Las estaciones que reportan los mayores valores y que sobrepasan el estándar de referencia elegido son las que se ubican alrededor de las operación actuales de la mina de fosfatos (S-2, S-3, S-11, S-13 al S16), excepto S-18 y S-21 que se ubican en el puerto de Petroperú en cuya cercanía se realiza el trasvase y embarque de mineral de la Cía. Minera Miski Mayo; y cerca al estuario de Virrilá respectivamente. Las causas de esta presencia podrían ser que los compuestos de Cadmio formen parte del material parental (roca) o que sean efectos de actividad de explotación de fosfatos.

Figura 3.3.6-3: Concentración de cadmio por estaciones



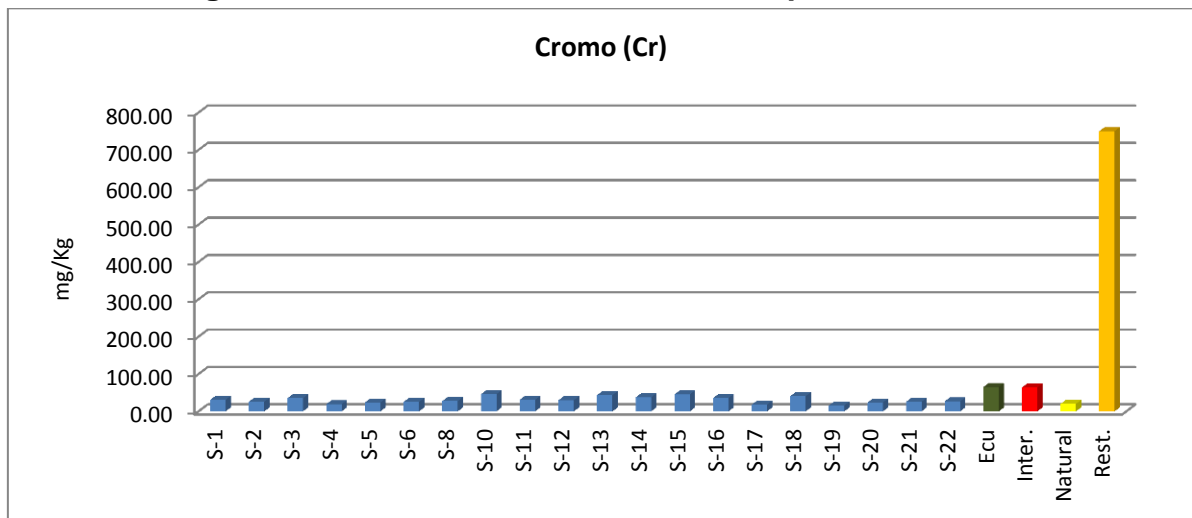
Fuente: BISA, 2012

- **Cromo (Cr) y plomo (Pb)**

Para ambos metales pesados los valores reportados en todas las estaciones no sobrepasan los valores de los estándares de referencia usados para fines de comparación (ver figuras 3.3.6-4 y 3.3.6-5).

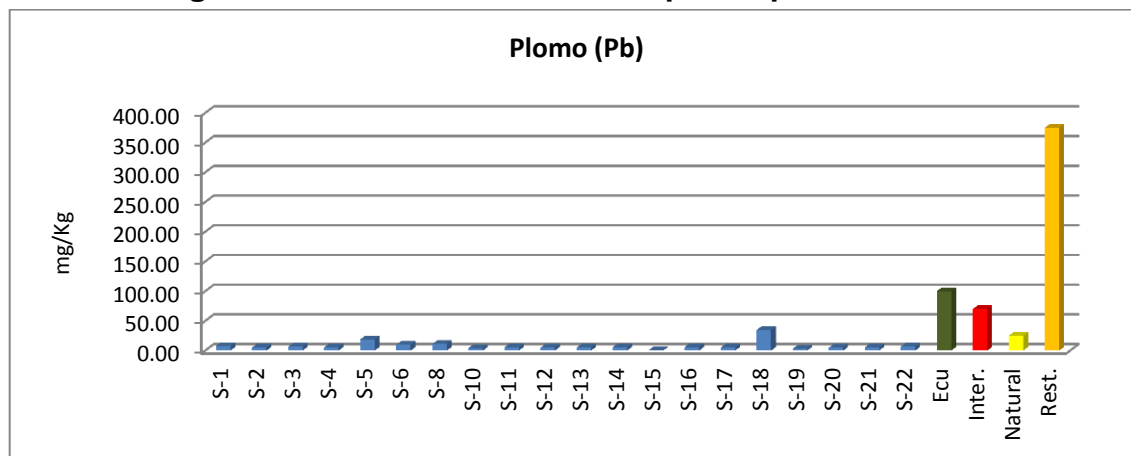
Cabe resaltar que para el caso del Cromo las mayores concentraciones se presentan en las estaciones ubicadas en el área de las futuras operaciones del Proyecto y el área de puerto (S-18). Mientras en el caso de Plomo el mayor valor se registra en la estación S-18 (área de puerto actualmente ocupada por Petroperú) la causa posiblemente sea la actividad industrial en el área (embarque de hidrocarburos).

Figura 3.3.6-4: Concentración de cromo por estaciones



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.6-5: Concentración de plomo por estaciones

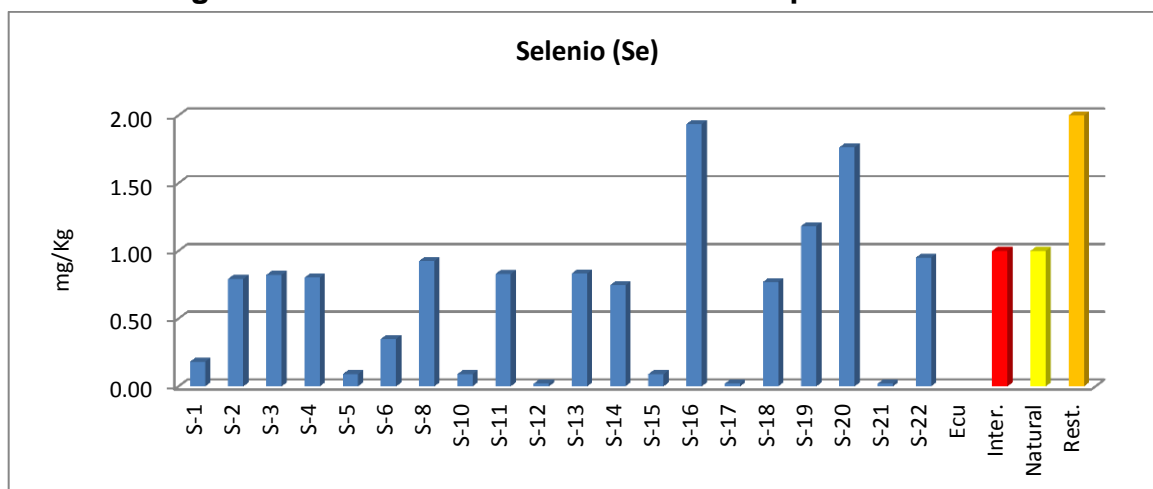


Fuente: BISA, 2012

- **Selenio (Se)**

Si bien la ocurrencia de estos elementos es escasa en la superficie terrestre, en el área evaluada se reportaron valores que sobrepasan los estándares de referencia elegidos. Para el caso de Selenio los valores que superaron el estándar se dieron en S-10, S-15, S-16, S'19 y S20 (ver figura 3.3.6-6), su presencia en estas áreas debe estar ligada a presencia de metales pesados a los cuales normalmente se le encuentra ligado.

Figura 3.3.6-6: Concentración de Selenio por estaciones

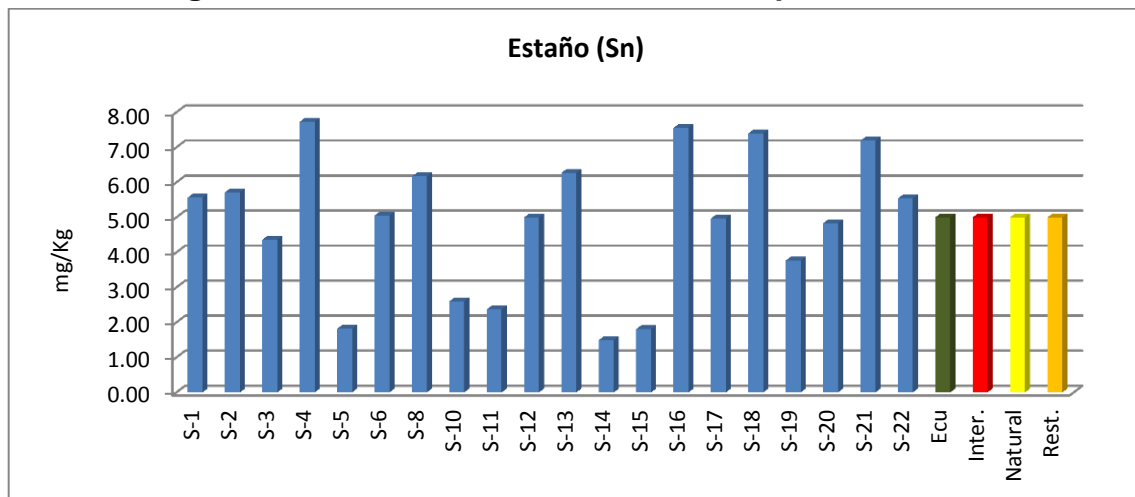


Fuente: BISA, 2012

- **Estaño (Sn)**

Para el caso de Estaño las estaciones donde se reporta valores superiores al estándar de comparación fueron S-1, S-2, S-4, S-8, S-13, S-16, S-18, S-21 y S-22 (Ver figura 3.3.6-7) siendo muy difusa su distribución en el área evaluada, este elemento puede presentarse en forma natural por erosión natural de las rocas, aunque la actividad industrial podría liberarlo en forma de polvos que sedimentan en el suelo. Su presencia en esta zona podría ser de origen natural al no existir en el área evaluada, referencias de actividad industrial que lo podrían producir.

Figura 3.3.6-7: Concentración de estaño por estaciones



Fuente: BISA, 2012.

- **Otros parámetros**

Aunque la norma elegida como referencia no consigna sus valores límite, es conveniente destacar que se encontraron otros metales como Aluminio y nutrientes importantes del suelo como potasio, sodio, calcio, magnesio y fósforo. Asimismo se detectaron elementos radioactivos como uranio, torio y estroncio que, dependiendo de sus formas compuestas e isótopos presentes podrían o no presentar actividad radiactiva; esto último es concordante con las características geológicas del área ya que las formaciones de roca fosfórica suelen presentar formas radiactivas sobre todo de uranio.

3.3.7 Recursos Hídricos Superficiales - Hidrología

3.3.7.1 Objetivos

El objetivo del presente estudio es elaborar la línea base hidrológica del área de estudio del proyecto Fosfatos.

Los objetivos específicos comprenden:

- Análisis de precipitación máxima en 24 horas.
- Determinación de la morfometría de cuencas e intercuencas.
- Análisis de máximas avenidas de las cuencas.
- Balance Hídrico del Estuario Virrilá.

3.3.7.2 Área de estudio

Hidrográficamente el área de estudio, pertenece a la vertiente del Pacífico, regionalmente se localiza en la intercuenca de las cuencas del río Cascajal y Piura.

Considerando la huella del área de estudio en este caso equivale al área de influencia ambiental indirecta del proyecto Fosfatos, se han delimitado 8 cuencas de quebradas secas clasificadas de muy pequeña a pequeña y 8 intercuencas secas clasificadas de muy pequeña hasta intermedia –pequeña.

3.3.7.3 Metodología

3.3.7.3.1 Análisis de precipitación máxima en 24 horas

a) Información disponible

Para el análisis de precipitación máxima en 24 horas, para el área de estudio, se empleó la información registrada en los observatorios Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores. El registro utilizado para el análisis de precipitación máxima diaria se detalla en el cuadro 3.3.7-1.

Cuadro 3.3.7-1. Información disponible de precipitación máxima diaria

Estación	Periodo	Años de Registro	Fuente
Chusis	1981-1984, 1988-1990 y 1995-2011	24	SENAMHI
Bernal	1964-1982 y 1986-2011	45	SENAMHI
San Miguel	1981-1991 y 1994-2011	29	SENAMHI
Miraflores	1981-1992 y 1995-2011	29	SENAMHI

Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del peru - SENAMHI

b) Procesamiento de la información

Las estaciones monitoreados por SENAMHI, proporcionan series de precipitaciones máximas diarias. Precipitaciones diarias son aquellas reportadas a intervalos fijos, cada día.

Las precipitaciones máximas en 24 horas se obtuvieron multiplicando la serie de máximas diarias por 1.13 según recomendación de la Organización Meteorológica Mundial.

El análisis de precipitación máxima en 24 horas se realizó aplicando modelos probabilísticos, para lo cual se utilizó el software Hidrológico Hyfran, el programa fue desarrollado por el Instituto Nacional de Investigación Científica Agua, Tierra y Medioambiente (INRS-ETE) de la Universidad de Québec con el patrocinio de

Hydro-Québec (el principal productor de energía hidroeléctrica del mundo) y del Consejo de investigación en ciencias naturales y ingeniería de Canadá (CRSNG).

HYFRAN ha sido desarrollado por el equipo del Dr. Bobée, que tiene más de 25 años de experiencia en hidrología estadística. El Dr. Bobée y su grupo contribuyen activamente a la investigación en el análisis de frecuencia de los eventos extremos en el marco de las actividades de la Cátedra en Hidrología Estadística.

El programa de cómputo permite analizar la distribución de frecuencias. Los modelos mencionados son aplicables para realizar análisis de eventos extremos, que tiene como utilidad fundamental determinar la mayor variabilidad de los resultados posibles, los parámetros de los modelos se determinó mediante el método de máxima verosimilitud.

Para la bondad de ajuste se empleó la prueba Chi-Cuadrado, su utilidad se basa en el cálculo de frecuencias, tanto de valores observados, como valores esperados, para un número determinado de intervalos. El criterio de decisión se fundamenta en la comparación del valor calculado ó teórico de Chi – Cuadrado con el valor tabular, si el Chi – Cuadrado calculado es menor o igual que el valor tabular, entonces, se acepta la hipótesis que el ajuste es bueno al nivel de significancia seleccionado, caso contrario el ajuste es malo y se rechaza la hipótesis.

3.3.7.3.2 Morfometría de cuencas

Las cuencas e intercuencas evaluadas, se han clasificado en base a la clasificación propuesta por I-Pai Wu y R. Springall G., que se muestra en el cuadro 3.3.7-2.

Cuadro 3.3.7-3. Clasificación de cuencas por su tamaño

Tamaño de la cuenca (km ²)	Descripción
< 25	Muy pequeña
25 - 250	Pequeña
250 - 500	Intermedia - Pequeña
500 - 2500	Intermedia -Grande
2500 - 5000	Grande
> 5000	Muy grande

Fuente: Campos Aranda citado a I-Pai Wu y R. Springall G.

Una vez clasificadas las cuencas e intercuenas secas se determinó los parámetros morfométricos, la que permite evaluar a partir de los diferentes parámetros e índices de forma que estima, el comportamiento de estas ante un evento lluvioso extremo (tormenta).

Los parámetros morfométricos determinados para cada cuenca fueron: área, perímetro, cota máxima, cota mínima, elevación media, longitud, ancho, coeficiente de compacidad, factor de forma, factor de circularidad y razón de elongación, asimismo se determinó la pendiente de la cuenca empleando los métodos de Alvord y Horton, además se han calculado valores de longitud del lado mayor y menor del rectángulo equivalente.

Los parámetros morfométricos determinados para cada intercuenca fueron: área, perímetro, cota máxima, cota mínima, elevación media, longitud, ancho y coeficiente de compacidad.

Finalmente se realizó el diagrama fluvial del área de estudio, es preciso mencionar que la pendiente media de la quebrada seca de las cuencas se determinó empleando el método de Taylor y Schwarz, además se generó su perfil longitudinal.

3.3.7.3.3 Análisis de máximas avenidas

Se realizó el cálculo de máximas avenidas, para determinar el caudal de avenida en la desembocadura de las 8 quebradas secas, para un periodo de retorno de 25, 50, 100 y 200 años, además se determinó los caudales que se presentaron en el fenómeno del niño del periodo 1997-1998. El software utilizado para tal efecto fue el Hydrologic Modeling System (HEC- HMS 3.5), es un programa computacional del Sistema de Modelación Hidrológica, la última versión, publicada en agosto de 2010, por el Cuerpo de Ingenieros de la armada de los Estados Unidos de Norteamérica. Es necesario mencionar que no se determinaron los caudales de avenidas de las intercuencas debido a que no tienen un cauce definido en su desembocadura.

a) Tiempo de Concentración (T_c) y Retardo (T_r)

El tiempo de concentración es el tiempo que tarda en llegar a la sección de salida de una cuenca toda la escorrentía generada después de una tormenta. En este estudio, el tiempo de concentración fue calculado mediante el método de Kirpich, Hathaway, Temez y Bransby Williams.

Método de Kirpich

$$T_c = 0.00325 \frac{L^{0.77}}{S^{0.385}}$$

Donde:

T_c : Tiempo de concentración (hr)

L : Longitud (m)

S : Pendiente de cauce principal (m/m).

Método de Hathaway

$$T_c = 0.606 \frac{(Ln)^{0.467}}{S^{0.234}}$$

Donde:

- T_c : Tiempo de concentración (hr)
- L : Longitud (km)
- n : Coeficiente de rugosidad
- S : Pendiente de cauce principal (m/m)

Método de Temez

$$T_c = 0.3 * \left(\frac{L}{S^{0.25}} \right)^{0.76}$$

Donde:

- T_c : Tiempo de concentración (hr)
- L : Longitud (km)
- S : Pendiente de cauce principal (m/m)

Método de Bransby Williams

$$T_c = \frac{14.695L}{A^{0.1} S^{0.2}}$$

Donde:

- T_c : Tiempo de concentración (minutos)
- L : Longitud (km)
- S : Pendiente de cauce principal (m/m)
- A = Área de la cuenca (km²)

El tiempo de retardo es el tiempo desde el centroide del hietograma de lluvia efectiva al pico del hidrograma resultante. Se determinó mediante la siguiente relación: $T_r = 0.6T_c$.

b) Determinación del número de curva

La pérdida de agua se determinó, mediante el método de Número de Curva, propuesto por el Servicio de Conservación de Suelos (SCS), ahora (NRCS) Servicio de Conservación de Recursos Naturales, el número de curva, se calculó en base condiciones físicas de la cobertura vegetal y características fisiográficas de cada sistema.

$$PerdidaInicial = 0.2 \times \left(\frac{25400}{CN} - 254 \right)$$

Donde:

CN : Es el Número de Curva.

Las características de las condiciones hidrológicas fueron obtenidas para una condición de humedad antecedente II.

c) Modelo meteorológico

El modelo meteorológico consiste en definir la tormenta de diseño que será utilizada en la simulación de la relación precipitación - escorrentía, para ello se utilizó la precipitación máxima en 24 horas determinadas para diferentes periodos de retorno y lo registrado en el fenómeno del niño 1997-1998. Para obtener las respectivas tormentas de diseño, se utilizó lo indicado por el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS), para tormentas de tipo I correspondiente para lluvias convectivas.

3.3.7.3.4 Estuario de Virrilá

El Estuario Virrilá se localiza en el área de influencia ambiental indirecta del proyecto Fosfatos, en el presente reporte se describe el sistema de alimentación, además se realizó el balance hídrico del estuario definiendo sus variables de entrada y salida del sistema, el balance se ha realizado para un año promedio y para condiciones del fenómeno de El Niño 1997-1998.

3.3.7.4 Resultados

3.3.7.4.1 Análisis de precipitación máxima en 24 horas

Las precipitaciones máximas diarias de las estaciones Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores, presentan los siguientes valores históricos:

- El valor más alto de precipitación máxima anual diaria en la estación Chusis fue registrada en el año 1983 en el mes de marzo con 136.2mm y el año 1998 en el mes de enero con 116.3mm.
- El valor más alto de precipitación máxima anual diaria en la estación Bernal fue observada en el año 1998 en el mes de febrero con 123.2mm.
- El valor más alto de precipitación máxima anual diaria en la estación San Miguel fue registrada en el año 1983 en el mes de abril con 95.5mm y el año 1998 en el mes de febrero con 81.9mm.
- El valor más alto de precipitación máxima anual diaria en la estación Miraflores fue observada en el año 1983 en el mes de abril con 151.4mm y el año 1998 en el mes de enero con 173.6mm.

En la serie histórica analizada se presentaron dos fenómenos del niño correspondiente al año hidrológico 1982-1983 y 1997-1998, calificados como niños excepcionales, para el análisis probabilístico se ha considerado solo el mayor valor ocurrido en uno de los eventos para cada estación, dado que si se

considerara ambos eventos los denominados meganiños serían más frecuentes lo que en realidad no sucede.

a) Resultados del análisis probabilístico

La serie histórica de precipitación máxima en 24 horas de la estación Chusis, presenta un mejor ajuste al modelo Valores Extremos Generalizados (GEV), mientras, la data histórica de los observatorios Bernal, San Miguel y Miraflores se ajusta mejor al modelo Log Normal de 3 parámetros, los cálculos se aprecian en el **Anexo 3-2**.

En el cuadro 3.3.7-3, se muestran las precipitaciones máximas en 24 horas, para diferentes intervalos de recurrencia para las estaciones Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores.

La precipitación máxima en 24 horas en los observatorios Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores para un periodo de retorno de 100 años es de 152,7mm, 140,9mm, 228,9mm y 291,1mm, respectivamente.

Cuadro 3.3.7-3. Precipitación máxima en 24 horas para diferentes periodos de retorno

Periodo de retorno en años	Precipitación máxima en 24 horas			
	Estación Chusis	Estación Bernal	Estación San Miguel	Estación Miraflores
3	12,1	12,0	17,0	14,9
5	18,9	20,2	28,5	25,2
10	32,1	35,8	51,8	42,4
20	52,3	57,5	86,1	74,6
25	60,8	66,0	100,0	119,5
50	96,9	98,4	154,5	203,7
100	152,7	140,9	228,9	291,1
200	239,5	195,8	328,8	403,7

Fuente: BISA, 2012.

3.3.7.4.2 Morfometría de cuencas

a) Clasificación de cuencas e intercuencas

De acuerdo a la clasificación propuesta por I-Pai Wu y R. Springall, las cuencas de la quebrada seca SN 1 hasta SN 6, son cuencas muy pequeñas, en tanto las cuencas de la quebrada seca SN 7 y SN 8, son cuencas pequeñas, la clasificación se muestra en el cuadro 3.3.7-4.

Cuadro 3.3.7-4. Clasificación de las cuencas

Cuencas Secas	Superficie (km ²)	Clasificación de la Cuenca
Cuenca quebrada seca SN 1	3,12	Muy Pequeña
Cuenca quebrada seca SN 2	1,68	Muy Pequeña
Cuenca quebrada seca SN 3	1,18	Muy Pequeña
Cuenca quebrada seca SN 4	1,92	Muy Pequeña
Cuenca quebrada seca SN 5	3,27	Muy Pequeña
Cuenca quebrada seca SN 6	24,08	Muy Pequeña
Cuenca quebrada seca SN 7	28,37	Pequeña
Cuenca quebrada seca SN 8	28,2	Pequeña

Fuente: BISA, 2012.

Considerando el mismo criterio para clasificar cuencas, las intercuencas se clasifican de la siguiente forma: La intercuenca seca SN 1 hasta SN 4, se clasifican como muy pequeñas, mientras las intercuencas secas SN 5 y SN 7, como pequeña y las intercuencas secas SN 6 y SN 8 como intermedia – pequeña, la clasificación se muestra en el cuadro 3.3.7-5.

Cuadro 3.3.7-5. Clasificación de Intercuencas

Intercuenca Seca	Superficie (km²)	Clasificación de la Intercuenca
Intercuenca seca SN 1	3,23	Muy Pequeña
Intercuenca seca SN 2	3,59	Muy Pequeña
Intercuenca seca SN 3	0,67	Muy Pequeña
Intercuenca seca SN 4	1,97	Muy Pequeña
Intercuenca seca SN 5	249,04	Pequeña
Intercuenca seca SN 6	308,79	Intermedia - Pequeña
Intercuenca seca SN 7	77,85	Pequeña
Intercuenca seca SN 8	363,52	Intermedia - Pequeña

Fuente: BISA, 2012.

b) Parámetros morfométricos

Morfometría de cuencas secas

De las 8 cuencas secas evaluadas, el menor y mayor área de drenaje es de 1,18 km² (cuenca SN 3) y 28,37 km² (cuenca SN 8), respectivamente, el perímetro de la divisoria de agua varía entre 6,42 km (cuenca SN 3) hasta 34,46 km (cuenca SN 8), la longitud oscila entre 2,39 km (cuenca SN 3) y 11,05 km (cuenca SN 8) y el ancho de las cuencas fluctúa entre 1,05 km (cuenca SN 4) hasta 6,14 km (cuenca SN 8).

El coeficiente de compacidad, de las cuencas SN 5 y SN 6 es de 1.42 y 1.50, respectivamente, clasificándose como “oval redonda a oval oblonga”, la cual significa que tienen moderada tendencia a las crecidas, en cuanto al factor de forma, factor de circularidad y razón de elongación, los valores determinados indican un grado medio a la tendencia de las crecidas.

Las cuencas SN 1 hasta SN 4, SN 7 y SN 8 presentan un coeficiente de compacidad mayor a 1,50, clasificándose como “oval oblonga a rectangular oblonga”, la cual significa que tienen poca tendencia a las crecidas, asimismo

ratifican los valores de factor de forma, factor de circularidad y razón de elongación.

En el cuadro 3.3.7-6, se aprecia los valores de la pendiente de las cuencas y de la longitud del lado mayor y menor del rectángulo equivalente, en el **Anexo 3-2** se muestra el cálculo a detalle y en el plano **830MA0001A-010-20-016** se visualizan las cuencas evaluadas.

Morfometría de Intercuencas Secas

De las 8 intercuencas secas, el menor y mayor área de captación es de 0.67 km² (Intercuenca SN 3) y 363.52 km² (Intercuenca SN 8), respectivamente, el perímetro de la divisoria de agua oscila entre 4.52 km (Intercuenca SN 3) hasta 141.75 km (Intercuenca SN 8), la longitud fluctúa entre 1.63 km (Intercuenca SN 3) y 38.01 km (Intercuenca SN 8) y el ancho de las intercuencas varía entre 0.8 km (Intercuenca SN 3) hasta 30.75 km (Intercuenca SN 5).

El coeficiente de compacidad de las intercuencas SN 2 y SN 4, indica moderada tendencia a las crecidas, mientras, las intercuencas restantes indican que presentan poca tendencia a las crecidas.

En el cuadro 3.3.7-7 se aprecia los valores de morfometría, en el **Anexo 3-2** se muestra el cálculo a detalle y en el plano **830MA0001A-010-20-016** se visualizan las intercuencas evaluadas.

Cuadro 3.3.7-6. Parámetros morfométricos de las cuencas secas

Parámetros Morfométricos	Cuenca SN 1	Cuenca SN 2	Cuenca SN 3	Cuenca SN 4	Cuenca SN 5	Cuenca SN 6	Cuenca SN 7	Cuenca SN 8
Área (km ²)	3,12	1,68	1,18	1,92	3,27	24,08	28,37	28,20
Perímetro(km)	10,95	7,68	6,42	8,35	9,70	24,85	30,26	34,46
Cota Máxima(msnm)	182,0	182,0	172,0	201,0	335,0	453,0	453,0	396,0
Cota Mínima(msnm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	62,0	58,0	56,0
Elevación media(msnm)	126,1	125,04	135,26	145,28	156,1	303,4	287,3	243,93
Longitud de la cuenca (km)	3,57	2,8	2,39	3,29	3,54	8,86	9,59	11,05
Ancho de la cuenca (km)	2,28	1,27	1,27	1,05	1,73	4,83	5,89	6,14
Desnivel Máximo(m)	182	182	172	201	335	391	395	340
Factor de Forma	0,24	0,21	0,21	0,18	0,26	0,31	0,31	0,23
Coeficiente de Compacidad	1,74	1,66	1,65	1,69	1,50	1,42	1,59	1,82
Factor de Circularidad	0,33	0,36	0,360	0,346	0,437	0,490	0,389	0,298
Razón de Elongación	0,56	0,52	0,513	0,475	0,577	0,625	0,627	0,543
Longitud del lado mayor del rectángulo Equivalente (km)	4,83	3,34	2,79	3,65	4,04	10,02	12,94	15,40
Longitud del lado menor del rectángulo Equivalente (km)	0,65	0,50	0,42	0,53	0,81	2,40	2,19	1,83
Pendiente de la cuenca Método Alvord (m/m)	0,1396	0,1029	0,1262	0,1565	0,2025	0,2632	0,1888	0,1513
Pendiente de la cuenca Método Horton (m/m)	0,1520	0,0967	0,1233	0,1494	0,2015	0,2755	0,1866	0,1536

Fuente: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.7-7. Parámetros morfométricos de las Intercuencias Secas

Parámetros Morfométricos	Intercuencia SN 1	Intercuencia SN 2	Intercuencia SN 3	Intercuencia SN 4	Intercuencia SN 5	Intercuencia SN 6	Intercuencia SN 7	Intercuencia SN 8
Área (km ²)	3,23	3,59	0,67	1,97	249,04	308,79	77,85	363,52
Perímetro(km)	9,82	10,16	4,52	6,57	118,89	130,40	71,45	141,75
Cota Máxima(msnm)	182,0	165,0	163,0	176,0	292,0	418,0	92,0	92,0
Cota Mínima(msnm)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Elevación media(msnm)	52,76	63,43	58,66	73,7	39,2	59,81	29,49	13,92
Longitud de la Intercuencia (km)	2,25	1,71	1,63	1,84	1,73	22,44	9,10	38,01
Ancho de la Intercuencia (km)	3,26	3,67	0,80	1,86	30,75	24,43	19,50	16,10
Coefficiente de Compacidad	1,53	1,5	1,55	1,31	2,11	2,08	2,27	2,08

Fuente: BISA, 2012.

c) Diagrama fluvial

A continuación se describe las características morfométricas del cauce principal de cada cuenca seca.

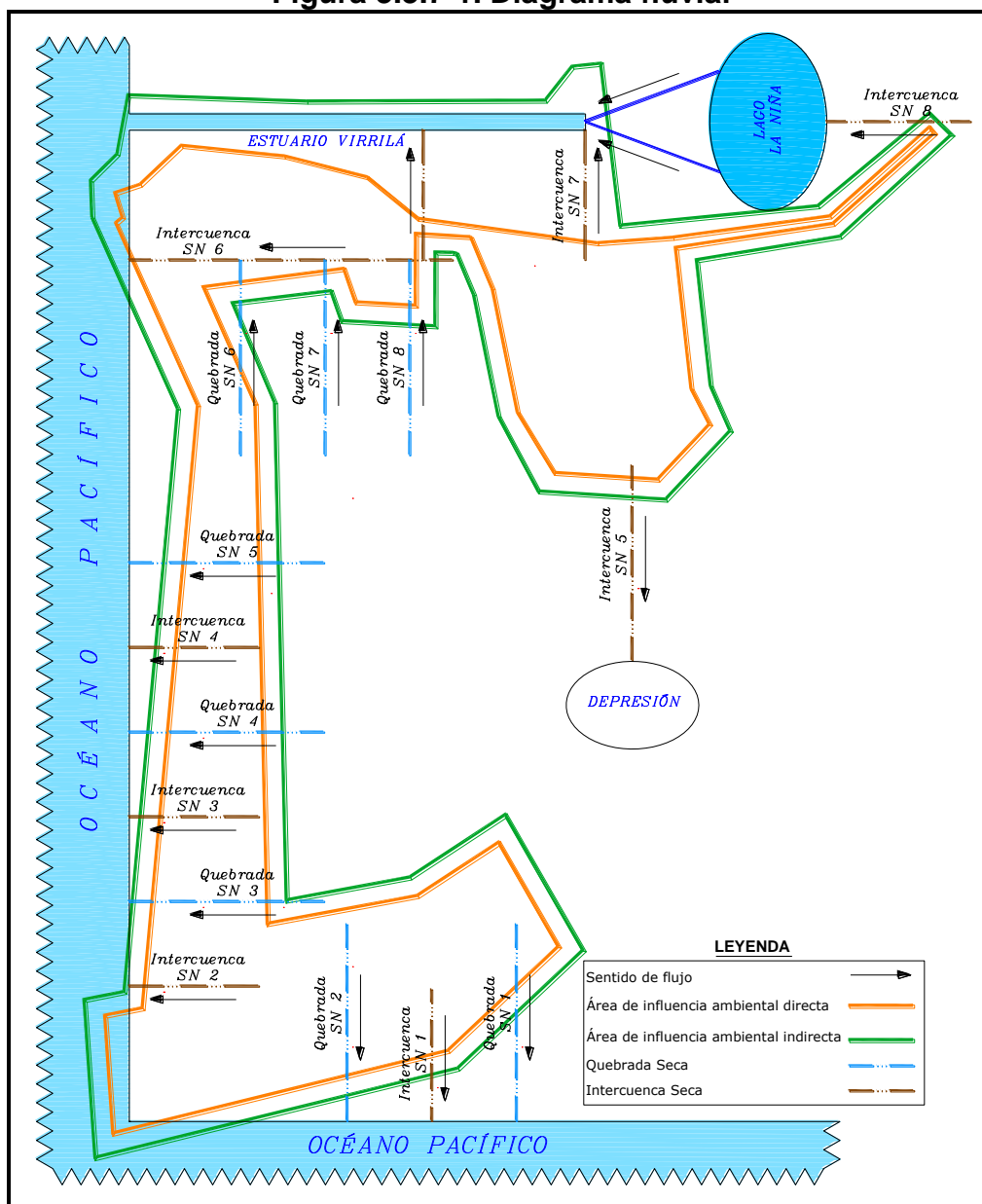
- Las 8 quebradas secas son de régimen efímero, dado que presentan escurrimiento superficial solo ante un evento extraordinario y cuando se presenta el fenómeno de El Niño.
- La longitud del cauce principal de las 8 quebradas secas varía entre 2,0 km (quebrada SN 3) hasta 14,2 km (quebrada SN 8).
- La pendiente media de las quebradas secas oscilan entre 1,8% (quebrada SN 8) hasta 7,0% (quebrada SN 3), fueron determinadas por método Taylor y Schwarz. El perfil longitudinal de cada una de ellas figuran en el **Anexo 3-2**.
- En el cuadro 3.3.7-8, se muestran los valores de los parámetros morfométricos del cauce principal de las quebradas secas.
- En la figura 3.3.7-1, se muestra el diagrama fluvial, donde se visualiza las quebradas, intercuenas, el Estuario Virrilá y el Lago La Niña, además se aprecia las huellas del área de influencia ambiental directa e indirecta del proyecto Fosfatos.

Cuadro 3.3.7-8. Parámetros Morfométricos del cauce de la quebrada seca

Quebrada Seca	Longitud (km)	Cota Máxima (msnm)	Cota Mínima (msnm)	Pendiente (%)
Quebrada Seca SN 1	4,5	160	0	2,48
Quebrada Seca SN 2	2,1	145	0	5,4
Quebrada Seca SN 3	2,0	155	0	7,0
Quebrada Seca SN 4	2,8	157	0	4,4
Quebrada Seca SN 5	3,9	200	0	4,8
Quebrada Seca SN 6	10,4	377	62	2,5
Quebrada Seca SN 7	13,5	385	58	1,9
Quebrada Seca SN 8	14,2	327	56	1,8

Fuente: BISA, 2012.

Figura 3.3.7-1. Diagrama fluvial



Fuente: BISA, 2012.

3.3.7.4.3 Análisis de máximas avenidas

a) Tiempo de concentración y retardo

Los valores de tiempo de concentración y retardo de las 8 cuencas evaluadas se muestran en el cuadro 3.3.7-9.

Cuadro 3.3.7-9. Valores de tiempo de concentración y retardo

Cuenca	Tiempo de Concentración en horas					Tiempo de Retardo en horas
	Método Kirpich	Método Hathaway	Método Temez	Método Bransby Williams	Promedio	
Quebrada SN 1	0,9	2,1	1,9	2,1	1,7	1,0
Quebrada SN 2	0,4	1,2	0,9	0,9	0,8	0,5
Quebrada SN 3	0,3	1,1	0,8	0,8	0,8	0,5
Quebrada SN 4	0,5	1,5	1,2	1,2	1,1	0,7
Quebrada SN 5	0,6	1,7	1,5	1,6	1,3	0,8
Quebrada SN 6	1,7	3,1	3,6	3,9	3,1	1,8
Quebrada SN 7	2,3	3,7	4,6	5,2	4,0	2,4
Quebrada SN 8	2,4	3,9	4,8	5,6	4,2	2,5

Fuente: BISA, 2012.

B) Determinación del número de curva

- La textura del suelo predominante en las cuencas evaluadas es moderadamente fina a gruesa, lo que corresponden al grupo de suelos B.
- Para las cuencas evaluadas se considera un número ponderada de curva igual a 80.

C) Modelo meteorológico

- Empleando el criterio conservador se consideró para el área de estudio los valores más altos de precipitación máxima en 24 horas la cual se obtiene con la estación Miraflores, para periodos de retorno de 25, 50, 100 y 200 años es de 119,5mm, 203,7mm, 291,1mm y 403,7mm, respectivamente.
- La estación Miraflores registró el valor más alto de precipitación máxima diaria en el fenómeno del niño del año hidrológico 1997-1998 que fue de 173,6mm, para convertir a precipitación máxima en 24 horas se multiplica por 1,13 según recomendación de la Organización Meteorológica Mundial, obteniendo el valor de precipitación máxima en 24 horas de 196,2mm.

D) Caudal de avenida

- Los caudales de avenida en la desembocadura de las cuencas SN 1 hasta SN 8, para un periodo de retorno de 100 años es de 33,8 m³/s, 23,3 m³/s, 16,5 m³/s, 23,5 m³/s, 35,2 m³/s, 209,7 m³/s, 215,7 m³/s y 209,1 m³/s respectivamente, la que significa que existe una probabilidad de excedencia de 1%, de que dicho valor puede ser igualado o superado en promedio una vez cada 100 años, además se determinaron caudales de eventos para periodos de retorno de 25, 50 y 200 años, la que se muestran en el cuadro 3.3.7-10.
- Los caudales que se presentaron en el fenómeno del niño del año hidrológico 1997-1998, en la desembocadura de las cuencas SN 1 hasta SN 8, es del orden de 20,2 m³/s, 13,7 m³/s, 9,7 m³/s, 13,8 m³/s, 21,2 m³/s, 125,2 m³/s, 127,4 m³/s y 125,3 m³/s respectivamente, en el **Anexo 3-2**, se aprecian la salida de los resultados del software HEC HMS.

Cuadro 3.3.7-10. Caudal de avenida en las cuencas

Cuenca	Caudal de Avenida en m ³ /s									
	T= 25 años		T= 50 años		T= 100 años		T= 200 años		Fenómeno del Niño 1997-1998	
	m ³ /s	L/s/ha	m ³ /s	L/s/ha	m ³ /s	L/s/ha	m ³ /s	L/s/ha	m ³ /s	L/s/ha
Cuenca SN 1	9,5	30,4	21,2	67,9	33,8	108,3	50,1	160,6	20,2	64,7
Cuenca SN 2	6,2	36,9	14,4	85,7	23,3	138,7	34,7	206,5	13,7	81,5
Cuenca SN 3	4,4	37,3	10,2	86,4	16,5	139,8	24,5	207,6	9,7	82,2
Cuenca SN 4	6,2	32,3	14,5	75,5	23,5	122,4	35,1	182,8	13,8	71,9
Cuenca SN 5	10,1	30,9	22,3	68,2	35,2	107,6	51,9	158,7	21,2	64,8
Cuenca SN 6	59,1	24,5	131,8	54,7	209,7	87,1	310,3	128,9	125,2	52,0
Cuenca SN 7	61,0	21,5	134	47,2	215,7	76,0	321,9	113,5	127,4	44,9
Cuenca SN 8	59,7	21,2	131,8	46,7	209,1	74,1	308,8	109,5	125,3	44,4

Fuente: BISA, 2012.

3.3.7.4.4 Estuario de Virrilá

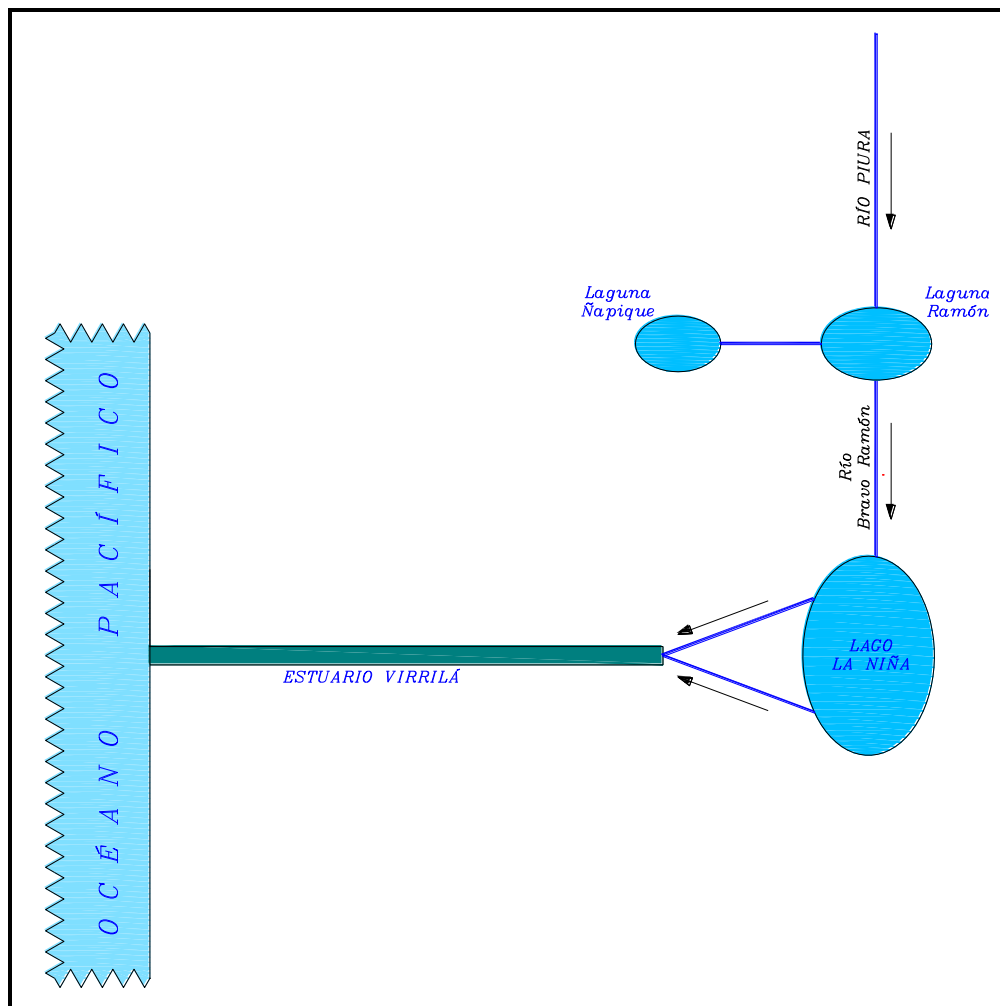
El Estuario Virrilá se localiza en el área de influencia ambiental indirecta del proyecto Fosfatos. Para condición actual tiene un área de 2182 ha y un perímetro de 81,0 km, tiene un largo de 28,4 km y su ancho que varía entre 0,2 km hasta 1,9km.

Se recorrió toda la configuración del Estuario Virrilá en los meses abril y julio de 2012, se observa que existe un desplazamiento variable del espejo de agua que va de 10 m y 200 m.

a) Sistema de Alimentación

- En años en que el río Piura cuenta con un caudal importante, la masa de agua logra ingresar desde las lagunas Ñapique y Ramón, hasta el Lago la Niña. Las Lagunas Ñapique y Ramón tienen un área de 698 ha y 615 ha, respectivamente.
- El Lago La Niña, se formó después del fenómeno del niño del año hidrológico 1997-1998, en el desierto de Sechura, para condición actual se mapeo con imágenes satelitales Landsat, estas imágenes tienen una resolución de 30m, el tamaño aproximado de la escena es de 170 x 183 km. Para condición actual presenta un área máxima de 29 636 Ha y un perímetro de 240 km y presenta un tirante estimado de 3m, el volumen aproximado del Lago La Niña es del orden de 889 MMC.

Figura 3.3.7-2. Sistema de alimentación, estuario Virrilá



Fuente: BISA, 2012.

b) Balance hídrico del estuario Virrilá

Para el balance hídrico del Estuario Virrilá se ha definido las siguientes variables de entrada y salida.

Variables de entrada

- Precipitación directa en el Estuario.
- Escorrentía Superficial y Subterránea (E_s+A), adyacentes del Estuario.
- Aporte del Lago La Niña al Estuario.

Variables de salida

- Evaporación directa en el Estuario.
- Descarga del Estuario al Océano Pacífico.

b.1) Consideraciones

- Se ha realizado el balance para un escenario de año promedio y para el fenómeno del niño ocurrido en el año hidrológico 1997-1998.
- La precipitación y evapotranspiración potencial total mensual considerada para el balance corresponde a la estación Chusis.
- La esorrentía superficial y subterránea (Es+A), adyacentes del Estuario, se determinó en base al Balance Hídrico Climático que figura en el ítem de clima, el parámetro excedentes según Thornthwaite corresponde al escurrimiento superficial más el aporte a las aguas subterráneas.
- Para el aporte de agua del Lago La Niña, al Estuario se ha estimado en base a los caudales del río Piura registrada en la estación Sánchez Cerro, dado que existe un sistema de amortiguamiento en las lagunas Ñapique y Ramón y lago la Niña, asimismo durante el trabajo de campo en el mes de julio se determinó mediante aforo que el caudal de aporte del lago La Niña al Estuario es de 5,0 m³/s que es equivalente a 13,4 MMC. El caudal de ingreso para el mes de julio del río Piura al sistema de amortiguamiento de las lagunas y el lago fue de 29,80 MMC y 102 MMC, para un año medio y en el fenómeno del niño 1997-1998, respectivamente, en base a esta información se ha considerado una proporción de aporte para cada mes del año, dado que no existe información histórica de aporte del lago La Niña al Estuario.

Cuadro 3.3.7-11. Caudal medio mensual del río Piura en MMC - Estación Sánchez Cerro

Periodo	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago
Caudal sin fenómeno del Niño (1953-2004)	8,8	9,4	21,4	21,1	26,1	102,6	281,1	255,7	71,0	41,5	29,8	18,2
Caudal (1997-1998)	0,4	10	21	288	1893	2965	4444	3129	863	276	102	88

Fuente: BISA, 2012.

- Durante el trabajo de campo se ha recorrido el perímetro del estuario, en algunos tramos existen huellas de agua producto del fenómeno del niño 1997-1998, por lo tanto, en base a lo observado se deduce que la relación del volumen de agua acumulado y el volumen de descarga del estuario al Océano Pacífico en el periodo de estiaje y húmeda es de 0.5 y 0.65, respectivamente, dado que no se cuenta con datos de batimetría del estuario Virrilá.

b.2) Resultados

- El volumen estimado del estuario Virrilá para un escenario de año promedio varía en 23 MMC hasta 84,7MMC, siendo el promedio del orden de 40,5 MMC.
- La profundidad estimada del estuario Virrilá para un escenario de año promedio varía en 1,05 m y 3,88 m, el promedio es de 1,85 m.
- El volumen estimado del estuario Virrilá para condiciones del Fenómeno del Niño del año hidrológico 1997-1998 fluctúa en 28,4 MMC hasta 254,1MMC, siendo el promedio del orden de 95,4 MMC.
- La profundidad estimada del estuario Virrilá para condiciones del Fenómeno del Niño del año hidrológico 1997-1998 oscila entre 0,96m y 8,6 m, el promedio es de 3,44 m.

Cuadro 3.3.7-12. Balance hídrico, estuario Virrilá, año promedio

Escenario	Mes	Precipitación mensual	Evaporación mensual	Precipitación directa en el Estuario Virrilá	Evaporación directa en el Estuario Virrilá	Aporte de Agua Por (Es+ A)	Aporte de Agua por (Es+ A)	Aporte del Lago la Niña	Volumen Acumulado del Estuario	Descarga al Océano Pacífico	Volumen Aproximado del Estuario	Profundidad del Estuario
		mm	mm	m³	m³	mm	m³	m³	m³	m³	MMC	m
Año Promedio	SEP	0,0	111,00	0,0	1695624,0	0,0	0,0	3955255,1	45905036,2	22952518,1	23.0	1.05
	OCT	0,2	125,60	4364,5	1918652,0	0,0	0,0	4233133,2	45964250,7	22982125,3	23.0	1.05
	NOV	0,6	128,40	13093,6	1961424,5	0,0	0,0	9633119,0	51330193,1	25665096,5	25.7	1.18
	DIC	1,6	141,70	34916,3	2164593,9	0,0	0,0	9506024,3	94667156,8	56800294,1	37.9	1.74
	ENE	0,7	152,80	15275,9	2334156,3	0,0	0,0	11768744,8	96740674,4	58044404,7	38.7	1.77
	FEB	5,7	147,60	124389,4	2254721,6	0,0	0,0	46183045,6	131343523,4	78806114,0	52.5	2.41
	MAR	6,8	151,00	148394,4	2306659,7	0,0	0,0	126546466,3	211679011,0	127007406,6	84.7	3.88
	ABR	6,9	137,10	150576,6	2094324,8	0,0	0,0	115109613,8	200456675,7	120274005,4	80.2	3.67
	MAY	0,5	119,00	10911,4	1817831,1	0,0	0,0	31949460,2	73787945,4	36893972,7	36.9	1.69
	JUN	0,1	100,50	2182,3	1535227,1	0,0	0,0	18682703,5	60795063,6	30397531,8	30.4	1.39
	JUL	0,1	98,90	2182,3	1510785,7	0,0	0,0	13400000,0	55536801,6	27768400,8	27.8	1.27
	AGO	0,0	100,10	0,0	1529116,8	0,0	0,0	8195216,3	50311504,5	25155752,3	25.2	1.15
		23,2	1513,7	506286,7	23123117,3	0,0	0,0		1118517836,3			

Fuente: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.7-13. Balance Hídrico, Estuario Virrilá, Fenómeno de El Niño 1997/1998

Escenario	Mes	Precipitación mensual	Evaporación mensual	Precipitación directa en el Estuario Virrilá	Evaporación directa en el Estuario Virrilá	Aporte de Agua Por (Es+ A)	Aporte de Agua por (Es+ A)	Aporte del Lago la Niña	Volumen Acumulado del Estuario	Descarga al Océano Pacífico	Volumen Aproximado del Estuario	Profundidad del Estuario
		mm	mm	m³	m³	mm	m³	m³	m³	m³	MMC	m
Niño 1997-1998	SEP	0,0	111,00	0,0	2295609,1	0,0	0,0	52652,3	56846079,6	28423039,8	28,4	0,96
	OCT	0,0	125,60	0,0	2597554,0	0,0	0,0	1316306,5	57807788,8	28903894,4	28,9	0,98
	NOV	2,1	128,40	62043,5	2655461,3	0,0	0,0	2764243,6	59259862,2	29629931,1	29,6	1,00
	DIC	42,2	141,70	1246778,7	2930520,8	0,0	0,0	37949115,9	154443446,6	100388240,3	54,1	1,83
	ENE	500,9	152,80	14798849,2	3160081,7	248,1	97613165,8	249176817,3	476606823,4	309794435,2	166,8	5,65
	FEB	272,3	147,60	8044972,3	3052539,6	124,7	49062320,7	390284872,3	562517698,5	365636504,0	196,9	6,66
	MAR	202,1	151,00	5970947,1	3122855,6	51,1	20104928,5	584927112,0	726058204,9	471937833,2	254,1	8,60
	ABR	7,5	137,10	221583,9	2835387,4	0,0	0,0	411885461,7	527449731,0	342842325,1	184,6	6,25
	MAY	0,3	119,00	8863,4	2461058,4	0,0	0,0	113636738,7	170273580,1	85136790,0	85,1	2,88
	JUN	0,0	100,50	0,0	2078456,9	0,0	0,0	36356385,1	93366964,6	46683482,3	46,7	1,58
	JUL	0,0	98,90	0,0	2045367,0	0,0	0,0	13400000,0	70443669,4	35221834,7	35,2	1,19
	AGO	0,0	100,10	0,0	2070184,4	0,0	0,0	11583497,1	68602349,1	34301174,5	34,3	1,16
		1027,4	1513,7	30354038,0	31305076,0	423,9	166780415,0		3023676198,2			

Fuente: BISA, 2012.

3.3.7.5 Conclusiones

- La precipitación máxima en 24 horas en los observatorios Chusis, Bernal, San Miguel y Miraflores para un periodo de retorno de 100 años es de 152,7 mm, 140,9 mm, 228,9 mm y 291,1 mm, respectivamente.
- Se ha delimitado 8 cuencas de quebradas secas y 8 intercuencas secas, considerando el área de influencia ambiental directa e indirecta del proyecto Fosfatos.
- Las cuencas SN 5 y SN 6, tienen moderada tendencia a las crecidas.
- Las cuencas SN 1 hasta SN 4, SN 7 y SN 8, tienen poca tendencia a las crecidas.
- Las 8 quebradas secas son de régimen efímero, dado que presentan escurrimiento superficial solo ante un evento extraordinario y cuando se presenta el fenómeno del niño.
- Los caudales de avenida en la desembocadura de las cuencas SN 1 hasta SN 8, para un periodo de retorno de 100 años es de 33,8 m³/s, 23,3 m³/s, 16,5 m³/s, 23,5 m³/s, 35,2 m³/s, 209,7 m³/s, 215,7 m³/s y 209,1 m³/s respectivamente, la que significa que existe una probabilidad de excedencia de 1%, de que dicho valor puede ser igualado o superado en promedio una vez cada 100 años.
- Los caudales que se presentaron en el fenómeno del niño del año hidrológico 1997-1998, en la desembocadura de las cuencas SN 1 hasta SN 8, es del orden de 20,2 m³/s, 13,7 m³/s, 9,7 m³/s, 13,8 m³/s, 21,2 m³/s, 125,2 m³/s, 127,4 m³/s y 125,3 m³/s respectivamente.

- El volumen estimado del Estuario Virrilá para un escenario de año promedio varía en 23 MMC hasta 84,7MMC, siendo el promedio del orden de 40,5 MMC.
- El volumen estimado del Estuario Virrilá para condiciones del Fenómeno del Niño del año hidrológico 1997-1998 fluctúa en 28,4 MMC hasta 254,1MMC, siendo el promedio del orden de 95,4 MMC.

3.3.7.6 Bibliografía

- Aparicio Mijares, Francisco Javier (1987). *Fundamentos de Hidrología de Superficie*, México: Editorial Limusa.
- Chow, V. T. (1989). *Handbook of Applied Hidrology*. New York: McGraw Hill.
- Chávez Díaz, Rosendo (1994). *Hidrología para Ingenieros*. Lima: Universidad Católica del Perú.
- Hogan, D. H. (1997). *Computer-Assisted Floodplain Hydrology and Hydraulics*. New York: McGraw Hill.
- *Manual del software Hec Hms 3.5* (Agosto 2010). Lima: <http://www.hec.usace.army.mil>
- Molina, G. (2003). «Hidrología». Lima: Universidad Nacional Agraria la Molina.
- Salas, L.C. y J. D. Delleur (1997). *Applied Modeling of Hydrologic Time Series*. Colorado: Water Resource Publications.
- Salas, J. D. (2000). *Stochastic Analysis, Modeling, and Simulation (SAMS)/version 2000*. (Technical Report N. 8). Colorado: Fort Colliuns.

- Salas, J. D. (1993). *Analysis and Modeling of Hydrologic Time Series, Handbook of Hydrology*. New York: McGraw-Hill.
- Salas, J. D., J. W. Delleur, V. Yevjevich y W. L. Lane (1980). «*Applied Modeling of Hydrologic Time Series*»: Water Resources Publications.
- Salas, J. D., O. G. B. Sveinsson, W. L. Lane y D. K. Frevert (2007). «*Stochastic Analysis, Modeling and Simulation (SAMS) Version 2007*» Colorado State University (Technical Report Number 11).
- Sánchez Tuya, Jaime (2004). *Generación de Series Sintéticas Mediante el Uso de Modelos Markovianos del río Chira*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrícola, Universidad Nacional Agraria la Molina, Lima, Perú.
- Villón Bejar, Máximo (2002). *Hidrología Estadística*. Cartago: Taller Costa Rica.
- Villón Bejar, Máximo (2002). *Hidrología*. Cartago Taller de Publicaciones del Instituto Tecnológico de Costa Rica. Cartago 2002.

3.3.8 Recursos hídricos subterráneos - Hidrogeología

3.3.8.1 Introducción

Las condiciones hidrogeológicas del desierto de Sechura, se vienen estudiando desde 1920, y se ha llegado a obtener cierto conocimiento en cuanto a las características cualitativas y cuantitativas del potencial acuífero de los diferentes estratos que conforman el relleno de la fosa de Sechura (BCOM, 1974).

En este acápite se presenta una síntesis de las principales características hidrogeológicas del ámbito del Proyecto Fosfatos, obtenida a partir de la información existente y de los trabajos de campo y gabinete realizados.

3.3.8.2 Objetivo

Determinar las principales características hidrogeológicas del área donde se desarrollará el Proyecto Fosfatos de la empresa Fosfatos del Pacífico S.A. FOSPAC.

3.3.8.3 Área de Estudio

El área de estudio comprende el área continental de influencia directa e indirecta del Proyecto Fosfatos.

3.3.8.4 Metodología

La evaluación hidrogeológica se ha realizado mediante el análisis de la información existente, que se presenta en la Bibliografía respectiva, y de los siguientes trabajos de campo:

- Reconocimiento general del ámbito de estudio.
- Actualización del inventario de fuentes de agua subterránea.
- Reconocimiento geológico-geomorfológico del área de estudio.
- Prospección geofísica, mediante sondeos eléctricos verticales.
- Monitoreo de la napa freática.

En gabinete, se llevó a cabo el análisis y procesamiento de la información recopilada y levantada directamente en campo; también, se elaboró los mapas respectivos, con lo cual se ha logrado caracterizar el acuífero y el comportamiento de las aguas subterráneas de la zona de interés.

3.3.8.5 Resultados

3.3.8.5.1 Inventario de fuentes de agua subterránea

La evaluación de los recursos hídricos subterráneos se basa en la ejecución de un inventario especializado actualizado, que consiste en reconocer las fuentes de agua subterránea existentes en el área de estudio, obteniéndose los datos de base sobre los factores del flujo del agua subterránea, las características del acuífero y las características técnicas e hidráulicas de las fuentes de agua subterránea existentes.

En las proximidades del área de estudio (zona de Illescas) existen varios pozos, actualmente a cargo de la empresa de Abastecimiento Agua Bayóvar (AAB), perteneciente al Gobierno Regional de Piura. De ellos, en la actualidad sólo operan tres, mediante los que se abastece de agua potable a las empresas Savia, Vale, Graña y Montero, Miski Mayo, y otras del sector minero, petrolero y pesquero, instaladas en la zona. Los pozos en operación son Illescas 1A, 7A y 9A, mientras que los demás están paralizados debido al arenamiento y otros simplemente porque ya han sobrepasado su periodo de vida útil.

Según Minero Perú (1 977), en la zona de Illescas se instalaron un total de 11 pozos de bombeo y 3 piezómetros. El pozo Bayóvar 13, fue el primer pozo perforado en la zona para exploración petrolera en 1926, y fue posteriormente utilizado para extraer agua dulce. Entre 1 963 y 1 968, se perforaron cinco pozos (Illescas 1 a 5), para abastecer de agua a MIDEPSA y posteriormente a Kaiser Aluminum. En 1 971, CIASA perforó el pozo MP-1 (Illescas 2) para suministrar agua a los proyectos del Ministerio de Pesquería. En 1 976, Minero Perú y el Ministerio de Vivienda celebraron un acuerdo para perforar 5 pozos (Illescas 6 a 10). A finales de 1 977, estuvieron disponibles para la producción de agua, los pozos: Bayóvar 13 e Illescas 1, 6A, 7A, 8A y 9A. Por ese entonces, los pozos proporcionaban alrededor de 100 l/s al Complejo de Bayóvar.

Entre 1 981 a 1 988, según Vermar (1 988), la producción anual promedio de agua en el campo de pozos de Illescas variaba entre 22 y 31 l/s.

En 1 988, según Hidrotécnica (1 988), sólo funcionaban los pozos Illescas 6A y 7A, que en conjunto proporcionaban 14,5 l/s. Los pozos Illescas 3, 4, 5, 6 y 9 se encontraban en condición de no utilizables (enterrados). El pozo Illescas 1 se paralizó por problemas de arenamiento. El pozo Illescas 2 (MP-1) sólo funcionó durante la prueba de bombeo; no se usó por presentar agua salada. El pozo Illescas 8 funcionó de 1 977 a 1 979, luego se paralizó por problemas de contaminación y arenamiento.

El pozo Illescas 6A cuenta con más de 25 años de antigüedad, tenía un rendimiento de 48 m³/h (13,3 l/s). El pozo Illescas 1A, perforado en el 2 009, actualmente produce entre 80 a 85 m³/h (22,2 a 23,6 l/s).

En el inventario de fuentes de agua subterránea del Valle Medio y Bajo Piura, realizado por el INRENA, en el 2 004, se reporta la existencia de 8 pozos tubulares profundos del Gobierno Regional de Piura, ubicados en la provincia y

distrito de Sechura, cuya codificación IRHS es 20/08/01-02 (03, 04, 05, 06, 08, 09 y 10). En el inventario realizado en el 2 011 (ANA, 2 011) se reportó el pozo adicional IRHS 20/08/01-13).

Con la actualización del inventario de fuentes de agua subterránea, realizado en la presente evaluación hidrogeológica, se estableció las características generales de los pozos existentes en el sector de Illescas, que se resumen en el cuadro 3.3.8-1. Ver las Fotografías en el Panel Fotográfico.

Al Sur del área de estudio, en la zona de explotación de fosfatos de la compañía minera Miski Mayo S.A.C., se han instalado 10 piezómetros y 2 pozos de bombeo con diámetros de 2 - 4 pulgadas, y de 15 a 85 m de profundidad (Vector, 2007).

También, se ha tomado conocimiento, que al Norte de la zona de estudio, la empresa Americas Potash Perú S. A. (AP) se encuentra evaluando la factibilidad de la explotación de un depósito de salmueras. Para la investigación hidrogeológica de la zona de salmueras, en mayo del 2010, ha realizado 5 perforaciones verticales (AP28, AP100, AP13, AP16 y AP22), de 8 pulgadas de diámetro, con profundidades de 30 a 134 m. En cada perforación se instalaron piezómetros, a excepción de la AP-16, en la que no se encontró agua. Estos pozos se vienen utilizando para el monitoreo de las aguas subterráneas y han sido utilizados para la evaluación de las condiciones hidrodinámicas del acuífero de la zona de los depósitos de salmueras (MWH, 2010).

Cuadro 3.3.8-1. Características técnicas de los pozos inventariados (2012).

Nº IRHS 20/8/1-	Nombre del pozo	Cota Terreno (msnm)	PERFORACION				EQUIPO DE BOMBEO					NIVEL DE AGUA Y CAUDAL				
			Año perf.	Tipo	Prof. (m)	Diám. (m)	MOTOR			BOMBA		PR/S (m)	Fecha	N. Estático		Q (l/s)
							Marca	Tipo	HP	Marca	Tipo			Prof.	Cota	
02	GORE Piura	54.01	1976	T	200.0	0.41	-	-	-	-	-	0.45	7/6/2012	48.68	5.33	-
03	GORE Piura	106.42	1926	T	199.0	0.38	-	-	-	-	-	0.26	7/6/2012	97.27	9.15	-
04	GORE Piura	75.34	1965	T	190.0	0.23	-	-	-	-	-	0.0	7/6/2012	-	-	-
05	GORE Piura	82.79	1976	T	190.0	0.41	Hitachi	E	45	BJ	S	0.6	7/6/2012	77.57	5.22	17
06	GORE Piura	81.55	1976	T	160.0	0.51	-	-	-	-	-	0.0	7/6/2012	75.50	6.05	-
08	GORE Piura	41.80	1971	T	132.0	0.38	-	-	-	-	-	0.15	7/6/2012	37.05	4.75	-
09	GORE Piura	69.40	1977	T	190.0	0.41	-	E		BJ	S	0.4	7/6/2012	62.15	7.25	13
10	GORE Piura	58.14	1977	T	192.0	0.30	-	-	-	-	-	0.66	7/6/2012	53.64	4.50	-
13	GORE Piura	85.00	2009	T	-	-	Fima	E	240	Pluger	S	-	7/6/2012	-	-	23

h/d = horas/día; D = diesel; TV = turbina vertical; D = doméstico; d/s = días/semana; E = eléctrico; T = tubular; R = Riego; m/a = meses/año; CS = centrífuga de succión; TA = tajo abierto; I = industrial.

Nº IRHS 20/8/1-	Nombre actual del pozo	Nombre antiguo del pozo	Coordenadas UTM		Explotacion					
			Norte	Este	Estado pozo	Uso	Regimen			Volumen (m ³ /a)
							h/d	d/s	m/a	
02	Gobierno Regional de Piura	Illescas 6A	9 348 538	503 321	Utilizable	-	-	-	-	-
03	Gobierno Regional de Piura	Bayóvar 1.3	9 344 975	503 970	No utilizable	-	-	-	-	-
04	Gobierno Regional de Piura	Illescas1	9 347 142	504 137	No utilizable	-	-	-	-	-
05	Gobierno Regional de Piura	Illescas 7A	9 346 400	504 072	Utilizable	I	4	7	12	78 840
06	Gobierno Regional de Piura	Illescas 8	9 347 337	503 373	No utilizable	-	-	-	-	-
08	Gobierno Regional de Piura	Illescas 2 (MP-1)	9 349 217	504 743	No utilizable	-	-	-	-	-
09	Gobierno Regional de Piura	Illescas 9A	9 345 662	504 702	Utilizado	I	6	7	12	102492
10	Gobierno Regional de Piura	Illescas 10	9 348 012	503 913	Utilizable	-	-	-	-	-
13	Gobierno Regional de Piura	Illescas 1A	9 347 159	504 083	Utilizado	I	5	7	12	149 140

Fuente: BISA, 2012.

Cuadro 3.3.8-2. Piezómetros instalados por FOSPAC (zona de mina) – 2012.

PIEZOMETRO	COORDENADAS		Cota terreno (msnm)	Profundidad (m)	Diámetro (pulg)	Medición nivel freático			
	ESTE	NORTE				Fecha	PR/S (m)	NF (m)	Cota (msnm)
BH12-HITA- 01	514170	9341282	66,19	100,0	2,0	18/08/2012	0,68	63,89	2,98
BH12-HITA- 02	515261	9339070	62,82	100,0	2,0	18/08/2012	0,71	63,96	-0,43
BH12-HITA- 03	515366	9340064	62,70	100,0	2,0	18/08/2012	0,67	63,26	0,11
BH12-HITA- 04	516566	9339803	58,47	100,0	2,0	18/08/2012	0,78	60,49	-1,24
BH12-HITA- 05	517345	9337867	53,43	100,0	2,0	18/08/2012	0,84	60,37	-6,10
BH12-HITA- 06	519661	9339582	46,45	100,0	2,0	18/08/2012	0,65	51,31	-4,21
BH12-HITA- 07	518143	9338680	50,52	100,0	2,0	18/08/2012	0,76	56,10	-5,58
BH12-HITA- 08	517560	9340654	57,07	100,0	2,0	18/08/2012	0,72	59,10	-1,31
BH12-HITA- 09	518577	9340401	52,23	100,0	2,0	18/08/2012	0,65	55,96	-3,08
BH12-HITA- 10	515154	9340673	64,70	100,0	2,0	18/08/2012	0,75	64,89	0,56
BH12-HITA- 11	517020	9339085	55,84	100,0	2,0	18/08/2012	0,71	59,72	-3,17
BH12-HITA- 12	517941	9339774	55,59	100,0	2,0	18/08/2012	0,74	58,73	-2,40

Fuente: BISA, 2012.

En la zona del Proyecto Fosfatos de la Compañía Fosfatos del Pacífico S. A. (BAYÓVAR 9), se han instalado, recientemente, 12 piezómetros (BH12-HITA – 01 A 12), en los cuales se vienen realizando campañas de medición de los niveles piezométricos (desde agosto, 2 012). En el panel fotográfico se pueden observarse las fotografías de los 12 piezómetros instalados.

La ubicación de los pozos y piezómetros inventariados, en el área de interés, se presenta en el plano **830MA0001A-010-20-017**.

Las características generales de las fuentes de agua subterránea identificadas, en el área de estudio, se describen a continuación:

- Se trata de pozos tubulares profundos (Gobierno Regional de Piura - Agua Bayóvar) y de piezómetros (FOSPAC).
- Entre los pozos tubulares profundos, el más antiguo es el IRHS 20/8/1-03 (pozo Bayóvar 1.3), perforado en 1 926; el más reciente es el IRHS 20/8/1-13 (pozo Illescas 1A), instalado el 2009. Los piezómetros de FOSPAC fueron implementados en el 2012.
- Altitudinalmente, los pozos tubulares se encuentran ubicados entre los 54,01 y 106,42 m.s.n.m., y los piezómetros de FOSPAC, entre 46,45 y 66,19 m.s.n.m.
- La profundidad de los pozos tubulares varía de 132 a 200 m; los 12 piezómetros de FOSPAC, se perforaron hasta los 100,0 m.
- El diámetro de los pozos tubulares varía de 0,23 a 0,41 m; los piezómetros de FOSPAC, son de 2 pulgadas.
- La profundidad de los niveles estáticos de la napa subterránea, se encuentran entre 37,05 y 97,27 m, en los pozos tubulares (julio 2 012), y entre 51,31 a 63,96 m, en los piezómetros (agosto 2 012).
- En la zona de los pozos tubulares, la cota del nivel piezométrico se encuentra entre los 4.50 y 9.15 msnm; en la zona de los piezómetros de FOSPAC, varía de -6,1 a 2,98 msnm.

- Los caudales de explotación de los pozos tubulares utilizados varía de 13 a 23 l/s, con regímenes de explotación de 4-6 horas/día, 7 días/semana y 12 meses/año.
- En lo que se refiere al estado actual de los pozos, sólo 3 están operativos (en funcionamiento), 2 son utilizables y 4 no utilizables.
- El uso del agua subterránea extraída es exclusivamente para fines industriales.
- En los pozos tubulares operativos, la explotación del agua subterránea se efectúa mediante equipos de bombeo sumergibles (electrobombas).
- El volumen estimado de explotación de agua subterránea, a través de los 3 pozos operativos actualmente, es de 330 472 m³/año.

3.3.8.5.2 Evaluación del acuífero

a) Caracterización geológico-geomorfológica

El área de estudio está ubicada en la Cuenca de Sechura, donde regionalmente se presentan rocas metamórficas, ígneas, sedimentarias y materiales de origen sedimentario, cuyas edades varían desde el Precámbrico al Cuaternario Reciente. Estas rocas corresponden al desarrollo de ciclos de sedimentación asociados a procesos de deformación tectónica.

El panorama geomorfológico del área es el resultado de un proceso morfotectónico desarrollado durante el Cenozoico, donde los elementos activos predominantes son un bloque rígido en levantamiento intermitente (Cerro Illescas) y una zona deprimida sujeta a eventos de subsidencia sucesivos (Cuenca de Sechura), articulados a través de la zona de influencia de la Falla Illescas.

Desde el punto de vista geológico, el área se ubica sobre el zócalo Pre Cambriano y el zócalo Paleozoico Eoherciniano, que integran un complejo metamórfico-ígneo desarrollado en varias fases de metamorfismo regional. En la

Cuenca de Sechura, los movimientos tectónicos, que se iniciaron en el Eoceno superior, provocaron la emergencia de la Cordillera de la Costa, actualmente representada en la zona de estudio, por el cerro Illescas, y una amplia zona de hundimientos y de acumulación clástica hacia el Este (Depresión Para - Andina), limitada por el frente occidental de Los Andes. El Cenozoico se caracteriza por la presencia de las más importantes formaciones en el área, tales como la Formación Montera y la Formación Zapallal.

b) Geomorfología

La mayor parte de la cuenca de Sechura está conformada por una serie de terrazas marinas levantadas, conocidas en la región como Tablazos (Tablazo Talara).

Cubriendo gran parte de esta cuenca y con ella a los Tablazos, se encuentran depósitos aluviales, marinos y eólicos recientes, imprimiendo a la zona el típico paisaje desértico. El panorama morfológico de la zona de estudio, es el resultado de intensos procesos erosivos y geodinámicos sobre las zonas del Macizo de Illescas y la cuenca de Sechura.

El resultado de los procesos erosivos y geodinámicos sobre las zonas del Macizo de Illescas y la cuenca Sechura, desarrollaron las siguientes unidades geomorfológicas:

- **Dunas**, son los rasgos más resaltantes del paisaje desértico y cubren en parte a las unidades geomorfológicas anteriormente desarrolladas.
- **Cordón litoral**, son el resultado de la intensa actividad geodinámica que produjo la deriva de las riveras, que bordean el desierto de Sechura.
- **Llanura de inundación**, superficies extensas bajas y planas, ubicadas entre el cordón litoral y los tablazos; comprende a las marismas antiguas y las zonas de inundación fluvial, de relieve casi plano; con cotas por debajo

del nivel del mar, y cubiertas por arenas salitrosas.

- **Depresión**, en el área estudiada, se encuentra una gran depresión salina, en cuyo fondo existen los mayores yacimientos de fosfatos.
- **Estuarios**, en la zona se tiene la presencia del estuario Virrilá.
- **Tablazos**, extensas áreas de la plataforma continental que emergieron, por levantamientos sucesivos del macizo andino durante el Cuaternario. En el área de estudio afloran dos de estas plataformas, que corresponden a los tablazos Lobitos y Talara. El tablazo Lobitos corresponde a la plataforma más baja; en el sector de Bayóvar, se encuentra a una altura promedio de 10 msnm. El tablazo Talara es la plataforma más alta de la llanura baja del desierto de Sechura, de superficie casi plana.
- **Cordillera de la Costa**, es un alineamiento de cerros de cumbres elevadas, representada por el macizo de Illescas, ubicado en el borde continental y que contrasta con la llanura adyacente.

c) Geología

A nivel local, la caracterización de la geología se ha desarrollado en función a la revisión de información existente y mediante el reconocimiento de campo respectivo. Para los aspectos relacionados con la caracterización geológica estructural, se han identificado dos sectores, el sector del Macizo Illescas y el sector de la Cuenca baja de Sechura.

Geológicamente, el área de estudio corresponde a la zona desértica de Sechura, representada por materiales sedimentarios del Cuaternario Reciente, y constituido por depósitos de arenas limosas con intercalaciones de arenas de grano medio a fino y con presencia de horizontes de Coquinas y minerales evaporíticos, destacando costras de yeso en superficie y material calcáreo en profundidad de formación marina. Por debajo de los depósitos recientes se encuentran depósitos eólicos diagenizados, en matriz arenácea con cemento calcáreo, que corresponden a dunas y debajo de éstas existen intercalaciones de

conglomerados conchíferos y coquinas, que corresponden a los depósitos del Tablazo, de Edad Cuaternaria Pleistocénica.

Los depósitos marinos del Cuaternario incluyen los tablazos y tierras marinas a lo largo de la costa; en la zona del proyecto se ubica el Tablazo Talara, del pleistoceno (cuaternario). También, son reconocidos depósitos mixtos (lacustres y aluviales), en los cuales se encuentran yeso y diatomitas.

Los **depósitos terciarios** de la zona de estudio son los siguientes:

- **Formación Montera**, se compone de bancos gruesos de arenisca gris amarillenta o gris beige, de grano grueso a medio, de cuarzo o feldespatos; se observan, también, pequeñas cantidades de minerales máficos, con matriz areno-arcillosa. La edad de esta formación corresponde al Mioceno inferior. Aflora en el flanco oriental del cerro Illescas, cuyas rocas paleozoicas, contienen calizas, areniscas calcáreas, rocosas y brechas en la parte media y lutitas y pizarras finas en la parte superior.
- Constituye el acuífero en la zona de Bayóvar, ya que consiste en una capa inferior de diatomitas con 50 m de espesor, una intermedia de arena, limo y arcilla (160 m de potencia) y una superior de limo, limonita, arcilla y arena de 200 m de espesor.
- **Formación Zapallal**, es la unidad de mayor grosor y extensión regional, se debe a una sedimentación rápida y una transgresión más amplia. Está constituida por conglomerados de lutitas y areniscas en la parte superior. Litológicamente, presenta tres miembros: superior, medio e inferior. El primero está constituido por una secuencia de conglomerados, lutitas y areniscas. El miembro medio está conformado por areniscas cuarzosas interstratificadas con lutitas, arcillas y areniscas calcáreas, mientras que el miembro inferior está conformado por horizontes arcillosos, areniscas calcáreas y areniscas conglomerádicas. El depósito de fosfatos pertenece a la Formación Zapallal Superior y depósitos del Cuaternario. Esta

formación es importante por contener en su parte inferior los yacimientos de fosfatos y en su parte superior, las diatomitas.

Los **depósitos del Cuaternario** se ubican sobre el Mioceno, constituyendo una gran variedad de sedimentos del Pleistoceno y épocas recientes, considerándose como potenciales acuíferos, dada su permeabilidad y poca profundidad. Algunas constituyeron terrazas marinas, algo elevadas e inclinadas y otras como sedimentos fluviales que han sido depositados sobre la gradiente del terreno.

Los depósitos cuaternarios de la zona de estudio son los siguientes:

- **Depósitos Pleistocénicos**, dentro de esta categoría se encuentran:

Tablazo Talara, plataforma en forma de una costra sedimentaria con un grosor promedio de 3 m; constituido por conglomerados lumáquelicos o lumaquelas, poco consolidados en matriz bioclástica o arenisca arcósica, y en algunos sectores por conglomerados coquiníferos o coquinas.

Tablazo Lobitos, plataforma sedimentaria constituida por conglomerados poco diagenizados, con rodados sub-angulosos de rocas de naturaleza variada, incluyendo formas faunísticas bien conservadas no fosilizadas, en una matriz bioclástica o areniscosa.

Depósitos aluviales, constituidos por llanuras aluviales antiguas o deltas de los cursos fluviales que bajan de la Cordillera Occidental; se exponen en forma discontinua, por encontrarse cubiertos por arena eólica. Litológicamente, consiste de un conglomerado no consolidado de rodados de intrusivos, cuarcitas y rocas volcánicas. Los depósitos aluviales recientes consisten de acumulaciones fluviales holocénicas de materiales sueltos o poco consolidados, de naturaleza fina, que han sido transportados cierta distancia hasta su lugar de acumulación, por flujos hídricos torrenciales que suceden durante años muy lluviosos, especialmente durante la ocurrencia del Fenómeno El Niño.

Depósitos lacustres, antiguas marismas o llanuras inundables, actualmente en proceso de colmatación con arenas eólicas; en profundidad están conformados por lodos o arcillas bituminosas gris negras; superficialmente, son arenas salobres húmedas o costras de arena con caliche. En muchos lugares, estos depósitos constituyen yacimientos de materiales evaporíticos de valor económico.

Depósitos de playa, fajas angostas de arenas de playas recientes, que comprenden las zonas de alta marea o limitados por los cordones litorales cuando estos están presentes.

Depósitos marinos, son depósitos que ocupan una extensión muy pequeña y se encuentran localizados en una estrecha franja que corre a lo largo de la línea costera. Está representado por depósitos de arena de grano fino-medio y banco de conchas. Estos depósitos presentan buena permeabilidad, pero no tienen mayor incidencia en la hidrogeología, debido a su carácter marginal y también, por constituir una faja muy angosta.

Depósitos eólicos, constituidos por arenas, cuya actividad se desarrolla en forma de barcanas en movimiento, dunas gigantes o mantos delgados de arena. Carecen de importancia hidrogeológica.

d) Litología

Según el análisis de los perfiles litológicos de la zona, la revisión general de la estructura sedimentaria y del sistema hidráulico subterráneo se tiene:

- **Zona I**, corresponde al límite superior, formado por depósitos eólicos, fragmentos rocosos angulares, compuestos de grava y arena de origen aluvial, en una profundidad hasta de 15 m.
- **Zona II**, corresponde al límite inferior, formado por materiales de areniscas calcáreas de grano fino de la Formación Montera, seguido por material rocoso de origen metamórfico Illescas, que alcanza profundidades hasta de 100-400 m.

e) Prospección geofísica

Con la finalidad de estimar los límites del acuífero, el espesor y naturaleza de las diferentes capas que lo conforman, así como la profundidad a la que se encuentra la napa freática y el basamento rocoso, se realizó el estudio de prospección geofísica, utilizando para ello el método de resistividad geoeléctrica - sondeos eléctricos verticales (SEVs).

Los sondeos eléctricos verticales permiten evaluar, a partir de la superficie del terreno y en dirección perpendicular a ella, la distribución de las diferentes capas geo-eléctricas. En cada SEV se introduce corriente continua al terreno, mediante un par de electrodos de emisión (A, B), colocados en la parte externa, donde en su recorrido radial experimenta una caída de tensión, acorde con los factores condicionantes de humedad, textura del medio, grado de mineralización, temperatura y otros. La caída de tensión se detecta en otro par de electrodos, colocados internamente (M, N), donde las medidas sucesivas parten de un punto cero, en forma ascendente y lineal. Los principios de la prospección geo-eléctrica, son aplicados desde hace mucho tiempo a la hidrogeología, para determinar la geometría del acuífero. El agua contenida en los poros del suelo, es el elemento fundamental de las medidas de la resistividad, donde los diferentes horizontes están diferenciados por el contenido del agua y la mineralización de la misma.

El estudio de prospección geofísica, se realizó en dos fases:

La primera fase consistió en la toma de datos de campo en puntos previamente identificados, donde se efectuaron 32 sondeos eléctricos verticales (SEVs), que alcanzaron una profundidad de 150 m, cuyos datos de localización se presentan en el cuadro 3.3.8-3 y su ubicación en el plano **830MA0001A-010-20-017**. Para la ejecución de los sondeos eléctricos verticales se utilizó un Resistivímetro modelo PSYSCAL JUNIOR de la INSTRUMENTS IRIS digital Francesa y accesorios varios (Ve Fotografías, en el panel Fotográfico).

Cuadro 3.3.8-3. Ubicación de los sondeos (SEV) realizados en el área de estudio

SEV	Coordenadas (WGS84)		SEV	Coordenadas (WGS84)	
	Este	Norte		Este	Norte
SEV-01	505 866	9 346 290	SEV-17	506 690	9 349 890
SEV-02	509 301	9 346 680	SEV-18	508 232	9 352 324
SEV-03	515 003	9 345 022	SEV-19	509 827	9 355 458
SEV-04	514 873	9 340 502	SEV-20	512 518	9 354 984
SEV-05	514 961	9 336 964	SEV-21	515 031	9 354 998
SEV-06	519 995	9 337 002	SEV-22	513 956	9 357 178
SEV-07	520 517	9 340 996	SEV-23	511 764	9 351 456
SEV-08	519 518	9 345 492	SEV-24	510 332	9 348 702
SEV-09	529 019	9 342 858	SEV-25	513 956	9 349 852
SEV-10	537 364	9 340 066	SEV-26	514 976	9 347 276
SEV-11	544 059	9 342 494	SEV-27	517 173	9 350 886
SEV-12	550 207	9 344 156	SEV-28	524 264	9 344 000
SEV-13	497 684	9 353 968	SEV-29	524 172	9 340 980
SEV-14	499 591	9 352 158	SEV-30	524 235	9 338 516
SEV-15	502 020	9 351 382	SEV-31	528 339	9 339 792
SEV-16	504 555	9 350 546	SEV-32	527 991	9 337 116

Fuente: BISA, 2012.

La segunda fase se realizó en gabinete, y consistió en el análisis e interpretación de las mediciones geo-eléctricas realizadas en campo. Las características físicas de las formaciones geológicas se correlacionaron con la información de la carta geológica regional del INGEMMET, y con el reconocimiento geológico de campo del área de estudio.

La información fue procesada mediante un software especializado, con conocimiento de los parámetros geo-resistivos de los grupos, formaciones geológicas y depósitos sedimentarios cuaternarios, amplio sustento teórico, y experiencia para su interpretación, siendo esta etapa la más compleja, para llegar

a resultados óptimos. Como producto final se generó los perfiles geo-eléctricos que representan la geoforma interna o la geometría subterránea del corte geológico del área estudiada.

Los datos de resistividad aparente, obtenidos en los sondeos eléctricos verticales (SEVs), se representan mediante curvas, graficadas en un formato bi-logarítmico; a través de las cuales, y por diversos métodos de interpretación, se determinan los valores de la resistividad verdadera y el espesor para las diferentes capas (figura 3.3.8-1).

Con los resultados obtenidos de la interpretación de los 32 sondeos eléctricos verticales, se han elaborado 15 perfiles geo-eléctricos, que se presentan en el plano **830MA0001A-010-20-018**.

A continuación se presenta la descripción de cada una de las 15 secciones o perfiles geo-eléctricos:

- a) Perfil geo-eléctrico A-A':** Sección con rumbo W-E, conformado por los SEVs 1, 2, 3, 8 y 12, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-4 presenta 5 horizontes:
- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas recientes); con resistividades de 355 a 587 ohm-m; espesor de 0,5 a 8,4 m.
 - **Horizonte H2**, segundo horizonte conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales); con resistividades de 9 a 11 ohm-m; espesor de 12 a 29,5 m.
 - **Horizonte H3**, conformado por material muy resistivo y muy seco (tablazo); con resistividades de 796 a 42 334 ohm-m, y espesor de 39,8 a 77,4 m.
 - **Horizonte H4**, conformado por areniscas con intercalaciones de tobas; con resistividades de 156 a 198 ohm-m, y espesor de 35 a 76,4 m.
 - **Horizonte H5**, capa de material muy permeable, saturado de agua

(acuífero); con resistividades de 4 a 5 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-4. Perfil geo-eléctrico A-A'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV1	HAKH	455	0,9	175	7,5	1508	45,8	4841	21	197	36	9765	---
SEV2	AKQQ	587	1,2	824	13,1	42334	24,4	3838	2,3	185	76,4	5	---
SEV3	AKQQ	355	1,5	796	10,6	23833	24,8	3994	42	198	45	5	---
SEV8	KHKQ	356	0,5	9605	1,6	11	10,4	7831	71,5	167	35	5	---
SEV12	QHKQ	367	2	163	4,3	9	25,2	890	42,3	156	54	5	---

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

b) Perfil geo-eléctrico B-B': Sección con rumbo W-E, elaborada en base a los SEVs 4, 7, 9 y 12, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-5. Presenta 5 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas recientes); con resistividades de 367 a 612 ohm-m; espesor de 1,4 a 2 m.
- **Horizonte H2**, segundo horizonte conformado por material cuaternario reciente, conductivo; con resistividades de 9 a 46 ohm-m; espesor de 2,8 a 29,7 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material muy resistivo y muy seco (tablazo); con resistividades muy altas (890 a 13 462 ohm-m); espesor de 28,9 a 54 m.
- **Horizonte H4**, conformado por material de areniscas con intercalaciones de tobas; con resistividades altas (90 a 433 ohm-m); espesor de 11,2 a 79 m.
- **Horizonte H5**, conformado por material muy permeable, saturado de agua; con resistividad muy baja (4 a 5 ohm-m); espesor indeterminado por

tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-5. Perfil geo-eléctrico B-B'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV4	AKHK	549	1,9	1123	9,9	1544	44,1	154	38	209	34	4	----
SEV7	HKHK	612	1,9	46	2,8	10964	28,9	322	45,4	433	34	5	---
SEV9	QHKH	606	1,7	41	9,3	19	20,4	13462	50,8	90	11,2	8067	---
SEV12	QHKQ	367	2	163	4,3	9	25,2	890	42,3	156	54	5	----

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

c) Perfil geo-eléctrico C-C': Sección con rumbo SW-NE, elaborada en base a los SEVs 5, 6 y 10, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-6. Presenta 6 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas recientes); con resistividades de 455 a 544 ohm-m; espesor de 0 a 2 m.
- **Horizonte H2**, conformado por material cuaternario reciente, con elementos conductivos; con resistividades de 7 a 19 ohm-m; espesor de 0 a 23 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material arenoso, húmedo, superficial y localizado (alrededor del SEV10); con resistividades muy bajas (2,1 a 2,5 ohm-m); espesor de 0 a 4,5 m.
- **Horizonte H4**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; con resistividades altas (161 a 298 ohm-m); espesor de 6 a 55 m.
- **Horizonte H5**, capa de material cremoso, muy húmedo y con mayor contenido de elementos conductivos; con resistividades bajísimas (0,02 a 0,3 ohm-m); espesor de 0 a 52 m.
- **Horizonte H6**, conformado por material muy resistivo, muy seco (tablazo);

se presenta en dos estratos, uno superficial localizado y otro más profundo; con resistividades muy altas (2 685 a 23 223 ohm-m); espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio; aproximadamente a partir de 110 m de profundidad, se encuentra saturado.

Cuadro 3.3.8-6. Perfil geo-eléctrico C-C'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV5	HAKH	544	2	19	8,2	2685	9,3	5041	27,8	298	51	23223	----
SEV6	HKHA	455	2,5	7	2,6	161	6	9	23	239	44	7537	---
SEV10	KQHA	2,1	1,7	2,5	2,8	0,3	42,1	0,02	1,3	0,3	8,7	5441	---

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

d) Perfil geo-eléctrico D-D': Sección con rumbo S-N, elaborada en base a los SEVs 5, 4 y 3, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-7. Presenta 5 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas recientes); con resistividades de 355 a 549 ohm-m; espesor de 0,5 a 2 m.
- **Horizonte H2**, conformado por material reciente; muy localizado (SEV5); con elementos muy conductivos; resistividad de 19 ohm-m y espesor de 0 – 8,2 m.
- **Horizonte H3**, capa de material muy resistivo (tablazo); con resistividades de 796 a 23 833 ohm-m; espesor de 26,6 a 77,4 m.
- **Horizonte H4**, conformado por areniscas, con intercalaciones de tobas; con resistividades de 154 a 298 ohm-m; espesor de 45 a 72 m.
- **Horizonte H5**, capa de material muy permeable, saturado de agua; con resistividades muy bajas (4 a 5 ohm-m); espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-7. Perfil geo-eléctrico D-D'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV5	HAQH	544	2	19	8,2	2685	9,3	5041	27,8	298	51	23223	----
SEV4	AKHK	549	1,9	1123	9,9	1544	44,1	154	38	209	34	4	----
SEV3	AKQQ	355	1,5	796	10,6	23833	24,8	3994	42	198	45	5	---

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

e) **Perfil geo-eléctrico E-E'**: Sección con rumbo S-N, elaborada en base a los SEVs 6, 7 y 8, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-8. Presenta 5 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 356 a 612 ohm-m; espesor de 1.9 a 2.5 m.
- **Horizonte H2**, segundo horizonte, con dos estratos (uno superficial y otro más profundo, muy localizado), conformado por material reciente, con elementos muy conductivos; con resistividades de 7 a 46 ohm-m; espesor de 0 a 23 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material muy resistivo (tablazo); también presenta dos estratos; con resistividades muy altas (7 537 a 10 964 ohm-m); espesor de 0 a 71.5 m.
- **Horizonte H4**, conformado por areniscas, con intercalaciones de tobas; presenta un delgado estrato superficial, muy localizado, y otro más profundo; con resistividades altas (161 a 433 ohm-m); espesor de 0 a 75.4 m.
- **Horizonte H5**, capa de material muy permeable, saturado de agua; con resistividad muy baja (5 ohm-m); espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-8. Perfil geo-eléctrico E-E'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV6	HKHA	455	2,5	7	2,6	161	6	9	23	239	44	7537	---
SEV7	HKHK	612	1,9	46	2,8	10964	28,9	322	45,4	433	34	5	---
SEV8	KHKQ	356	0,5	9605	1,6	11	10,4	7831	71,5	167	35	5	----

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

f) **Perfil geo-eléctrico F-F'**: Sección con rumbo SW-NE, elaborada en base a los SEVs 10, 11 y 12, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-9. Presenta 7 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas recientes), muy localizado; con resistividad de 367 ohm-m; espesor de 0 a 2 m.
- **Horizonte H2**, otra cubierta superficial, compuesta por suelo arenoso, húmedo, muy localizado; con resistividades de 2,1 a 2,5 ohm-m; espesor de 0 a 1,7 m.
- **Horizonte H3**, estrato que subyace a H1 y H2, conformado por material arenoso, muy húmedo, con mayor contenido de elementos conductivos; con resistividades de 0,02 a 3,0 ohm-m; espesor de 0 a 55,9 m.
- **Horizonte H4**, conformado por material reciente, conductivo; con resistividad de 9 ohm-m; espesor de 0 a 29,5 m.
- **Horizonte H5**, conformado por material muy resistivo; con resistividades de 890 a 5 441 ohm-m; espesor de 42,3 m a más.
- **Horizonte H6**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; con resistividades de 156 a 167 ohm-m; espesor de 0 a 54 m.
- **Horizonte H7**, conformado por una capa de material muy permeable saturado de agua; con resistividad de 5 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-9: Perfil geo-eléctrico F-F'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV10	KQHA	2,1	1,7	2,5	2,8	0,3	42,1	0,02	1,3	0,3	8,7	5441	---
SEV11	KQQH	2,5	0,7	3	3,5	1,1	11	0,5	25,6	0,2	35,3	2123	---
SEV12	QHKQ	367	2	163	4,3	9	25,2	890	42,3	156	54	5	----

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

- **Perfil geo-eléctrico G-G'**: Sección con rumbo S-N, elaborada en base a los SEVs 30, 29 y 28, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-10. Presenta 5 horizontes:
- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 378 a 610 ohm-m; espesor de 0,8 a 2,2 m.
- **Horizonte H2**, compuesto por tres estratos; conformado por material reciente, con elementos muy conductivos (sales); con resistividades de 8 a 80 ohm-m; espesor de 0 a 43 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material muy resistivo (tablazo); también presenta dos pequeños estratos, localizados; con resistividades de 1 573 a 1 672 ohm-m; espesor de 0 a 22,7 m.
- **Horizonte H4**, conformado por areniscas, con intercalaciones de tobas; con resistividades de 128 a 320 ohm-m; espesor de 41,3 a 44 m.
- **Horizonte H5**, capa de material muy permeable, saturado de agua; con resistividades de 1 a 1,9 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-10: Perfil geo-eléctrico G-G'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV30	HKQQ	233	2,2	31,7	14,6	1573	6,7	320	41,5	8	43	1	---
SEV29	KHKQ	411	0,8	1576	1,9	23	36,6	128	41,3	43	27,6	1,9	---
SEV28	HKHK	610	1,6	80	12	1672	22,7	9	24,1	234	44	1	---

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

- **Perfil geo-eléctrico H-H'**: Sección con rumbo S-N, elaborada en base a los SEVs 32, 31 y 9, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-11. Presenta 6 horizontes:
- **Horizonte H1**, delgada cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 455 - 611 ohm-m; espesor de 0,9 a 1,7 m.
- **Horizonte H2**, conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales); con resistividades de 19 a 90 ohm-m; espesor de 3,6 a 53,7 m.
- **Horizonte H3**, estrato de material húmedo superficial; muy localizado (SEV32); con resistividad de 2,4 ohm-m; espesor de 0 a 36,4 m.
- **Horizonte H4**, conformado por material muy resistivo y más compacto; se presenta en dos estratos localizados; con resistividades de 802 a 13 462 ohm-m; espesor de 0 a 50,8 m.
- **Horizonte H5**, estrato localizado (SEV32); conformado por areniscas, con intercalación de tobas; con resistividad de 156 ohm-m; espesor de 0 a 28 m.
- **Horizonte H6**, capa de material muy permeable, saturado de agua; con resistividades de 0,2 – 1,0 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-11: Perfil geo-eléctrico H-H'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV32	QHAK	260	0,9	31	3,6	2,4	36,4	34	44,4	156	28	0,2	----
SEV31	QHKQ	611	1,7	53	10,7	24	43	802	21,5	45	32	1	---
SEV9	QHKH	606	1,7	41	9,3	19	20,4	13462	50,8	90	11,2	8067	----

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

g) Perfil geo-eléctrico I-I': Sección con rumbo SW-NE, elaborada en base a los SEVs 5, 6, 30, 31 y 10, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-12.

Presenta 7 horizontes:

- **Horizonte H1**, delgada cubierta superficial (arenas eólicas); muy localizado; con resistividades de 378 - 611 ohm-m; espesor de 0 a 2,2 m.
- **Horizonte H2**, cubierta superficial, localizada (SEV10), compuesto por material arenoso, húmedo; con resistividades de 2,1 – 2,5 ohm-m; espesor de 0 a 4,5 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material cuaternario reciente, con elementos conductivos; con resistividades de 8 - 53 ohm-m; espesor de 0 a 53,7 m.
- **Horizonte H4**, conformado por material muy resistivo – compacto (tablazo); se presenta en cuatro lentes localizados; con resistividades de 1 573 a 23 223 ohm-m; espesor de 0 a 37,1 m.
- **Horizonte H5**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; con resistividades de 298 a 352 ohm-m; espesor de 0 a 51 m.
- **Horizonte H6**, conformado por material arenoso, muy húmedo y/o con mayor contenido de elementos conductivos; con resistividades de 0,02 a 0,3 ohm-m; espesor de 0 a 52,1 m.
- **Horizonte H7**, capa de material muy permeable, saturado de agua (acuífero); con resistividad de 1 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-12: Perfil geo-eléctrico I-I'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV5	HAKH	544	2	19	8,2	2685	9,3	5041	27,8	298	51	23223	----
SEV6	QHA	455	2,5	161	6	9	23	239	44	7537	--	---	---
SEV30	HKQQ	378	2,2	31,7	14,6	1573	6,7	320	41,5	8	43	1	---
SEV31	QHKQ	611	1,7	53	10,7	24	43	352	21,5	45	32	1	--
SEV10	KQHA	2,1	1,7	2,5	2,8	0,3	42,1	0,02	1,3	0,3	8,7	5441	

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

h) Perfil geo-eléctrico J-J': Sección con rumbo NW-SE, elaborada en base a los SEVs 14, 15, 16, 17, 24, 26, 8, 28, 9 y 10, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.2.8-13. Presenta 7 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); muy localizado; con resistividades de 356 - 610 ohm-m; espesor de 0 a 8,1 m.
- **Horizonte H2**, pequeño lente subsuperficial, muy localizado (SEV15), compuesto de material arenoso húmedo y/o con sales; con resistividades de 2,1 – 2,5 ohm-m; espesor de 0 a 4 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales); se presenta en varios estratos o en pequeños lentes; con resistividad de 9 - 83 ohm-m; espesor de 0 a 29,7 m.
- **Horizonte H4**, conformado por material muy resistivo – compacto (tablazo); también se presenta en varios estratos o lentes localizados; con resistividades de 868 – 19 911 ohm-m; espesor de 0 a 71,5 m.
- **Horizonte H5**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; se presenta en dos estratos; con resistividades de 90 a 326 ohm-m; espesor de 0 a 53 m.
- **Horizonte H6**, conformado por material arenoso, muy húmedo y/o con mayor contenido de elementos conductivos; con resistividades de 0,02 a 0,3 ohm-m; espesor de 0 a 56,6 m.

- **Horizonte H7**, capa de material muy permeable, saturado de agua (acuífero); con resistividades de 1 a 5 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-13: Perfil geo-eléctrico J-J'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV14	KHKH	360	0,5	2657	3,3	868	11,6	6211	26	326	34,3	19911	--
SEV15	HKHK	519	2,7	60	4	4736	9,8	28	28	154	39	4	--
SEV16	QHKQ	592	0,9	486	7,7	83	28	2833	15	97	35	4	--
SEV17	QHKQ	611	1,7	553	1,8	186	29,2	10032	12,3	163	43,6	4	---
SEV24	KHKQ	413	1	2797	2,2	171	11,5	2935	30,3	121	53	2	----
SEV26	KHKQ	442	1	2206	1,7	102	21	7458	31	227	20,4	1	--
SEV8	KHKQ	356	0,5	9605	1,6	11	10,4	7831	71,5	167	35	5	--
SEV28	HKHK	610	1,6	80	12	1672	22,7	9	24,1	234	44	1	--
SEV9	QHKH	606	1,7	41	9,3	19	20,4	13462	50,8	90	11,2	8067	--
SEV10	KQHA	2,1	1,7	2,5	2,8	0,3	42,1	0,02	1,3	0,3	8,7	5441	--

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

- i) **Perfil geo-eléctrico K-K'**: Sección con rumbo SW-NE, elaborada en base a los SEVs 16, 18 y 20, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-14. Presenta 6 horizontes:
- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 412 - 592 ohm-m; espesor de 0,5 a 8,6 m.
 - **Horizonte H2**, segundo estrato, conformado por material muy resistivo – compacto (tablazo); se presenta en dos estratos; con resistividades de 1 166 – 9 887 ohm-m; espesor de 0 a 15 m.
 - **Horizonte H3**, conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales); con resistividad de 10,5 - 83

ohm-m; espesor de 6 a 43 m.

- **Horizonte H4**, conformado por material arenoso, húmedo y/o con sales; con resistividad de 3 ohm-m; espesor de 0 a 27 m.
- **Horizonte H5**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; con resistividades de 97 a 154 ohm-m; espesor de 17 a 35 m.
- **Horizonte H6**, capa de material muy permeable, saturado de agua (acuífero); con resistividades de 0,3 – 5,0 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-14: Perfil geo-eléctrico K-K'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV16	QHKQ	592	0,9	496	7,7	83	28	2833	15	97	35	4	----
SEV18	QQHK	412	1,2	1166	8,15	21	6	3	27	154	35	5	---
SEV20	KHAK	532	0,5	9887	2,2	10,5	3,1	11,8	39,9	123	17	0,3	---

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

j) Perfil geo-eléctrico L-L': Sección con rumbo SW-NE, elaborada en base a los SEVs 1, 17, 18 y 19, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-14.

Presenta 7 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 412 - 611 ohm-m; espesor de 0,0 a 3,5 m.
- **Horizonte H2**, conformado por material muy resistivo – compacto (tablazo); se presenta en tres estratos localizados; con resistividades de 1 166 – 10 032 ohm-m; espesor de 0 a 66,8 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales); con resistividad de 19 a 37 ohm-m; espesor de 0 a 7,8 m.
- **Horizonte H4**, conformado por material arenoso, húmedo y/o con sales; con resistividades de 2 - 3 ohm-m; espesor de 0 a 48 m.

- **Horizonte H5**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; se presenta en dos estratos; con resistividades de 154 a 197 ohm-m; espesor de 0 a 43,6 m.
- **Horizonte H6**, conformado por material arenoso, muy húmedo y/o con mayor contenido de sales; muy localizado (SEV19); con resistividad de 0,8 ohm-m; espesor de 0 a 12,2 m.
- **Horizonte H7**, capa de material muy permeable, saturado de agua (acuífero); con resistividades de 1,4 a 5 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-15: Perfil geo-eléctrico L- L'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV1	HAKH	455	0,9	175	7,5	1508	45,8	4841	21	197	36	9765	----
SEV17	QHKQ	611	1,7	553	1,8	186	29,2	10032	12,3	163	43,6	4	---
SEV18	QQHK	412	1,2	166	8,15	21	6	3	27	154	35	5	---
SEV19	KHKH	19	1,4	37	6,4	2	17	3	31	0,8	12,2	1,4	--

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

k) Perfil geo-eléctrico M-M': Sección con rumbo SW-NE, elaborada en base a los SEVs 2, 24, 23, 20 y 22, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-16. Presenta 7 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 385 - 587 ohm-m; espesor de 0,5 a 1,2 m.
- **Horizonte H2**, conformado por material muy resistivo – compacto (tablazo); se presenta en estratos y/o lentes localizados; con resistividades de 824 – 42 334 ohm-m; espesor de 0 a 39,8 m.
- **Horizonte H3**, conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales); con resistividad de 6 a 11,8 ohm-m; espesor de 0 a 43 m.

- **Horizonte H4**, conformado por material arenoso, húmedo y/o con sales; con resistividades de 4 ohm-m; espesor de 0 a 32 m.
- **Horizonte H5**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; se presenta en dos estratos; con resistividades de 185 a 339 ohm-m; espesor de 13,3 a 76,4 m.
- **Horizonte H6**, conformado por material arenoso, muy húmedo y/o con mayor contenido de sales; muy localizado (SEV19); con resistividad de 0,8 ohm-m; espesor de 0 a 12,2 m.
- **Horizonte H7**, capa de material muy permeable, saturado de agua (acuífero); con resistividades de 0,3 a 5,0 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-16: Perfil geo-eléctrico M-M'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV2	AKQQ	587	1.2	824	13.1	42334	24.4	3838	2.3	185	76.4	5	----
SEV24	KHKQ	413	1	2797	2.2	171	11.5	2935	30.3	121	53	2	---
SEV23	KQHK	385	0.8	1210	4.1	339	14.1	4	32	228	24	3	---
SEV20	KHAK	532	0.5	9887	2.2	10.5	3.1	11.8	39.9	123	17	0.3	---
SEV22	KHAK	367	0.6	2904	10.1	85	9.8	301	13.3	6	10	12245	---

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

I) Perfil geo-eléctrico N-N': Sección con rumbo NW-SE, elaborada en base a los SEVs 13, 18, 23 y 27, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-17. Presenta 6 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 367 a 445 ohm-m; espesor de 0,5 a 3,1 m.
- **Horizonte H2**, conformado por material muy resistivo – compacto (tablazo); se presenta en dos estratos y/o lentes localizados; con resistividades de 738 a 12 334 ohm-m; espesor de 0 a 12 m.

- **Horizonte H3**, conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos; con resistividad de 21 a 63 ohm-m; espesor de 0 a 31 m.
- **Horizonte H4**, conformado por material arenoso, húmedo y/o con sales; con resistividades de 2,9 a 4 ohm-m; espesor de 0 a 32 m.
- **Horizonte H5**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; se presenta en dos estratos y/o lentes; con resistividades de 87,2 a 228 ohm-m; espesor de 0 a 35 m.
- **Horizonte H6**, capa de material muy permeable, saturado de agua (acuífero); con resistividades de 1.2 a 5 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-17: Perfil geo-eléctrico N- N'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV13	KHAA	445	0,5	738	9,7	36	31	127	25	3324	12	12334	----
SEV18	KQHK	412	1,2	1166	8,1	21	6	3	27	134	35	5	---
SEV23	KQHK	385	0,8	1210	4,1	339	14,1	4	32	228	24	3	---
SEV27	QHKQ	383	3,1	63	5,6	2,4	10,2	87	18,6	31	19,6	1,2	---

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

m) Perfil geo-eléctrico O-O': Sección con rumbo S-N, elaborada en base a los SEVs 5, 4, 3, 26, 25 y 21, cuyos resultados se muestran en el cuadro 3.3.8-18. Presenta 5 horizontes:

- **Horizonte H1**, cubierta superficial (arenas eólicas); con resistividades de 355 a 549 ohm-m; espesor de 0,5 a 9,4 m.
- **Horizonte H2**, conformado por material muy resistivo – compacto (tablazo); se presenta en un estrato y un pequeño lente localizado; con resistividades de 796 a 23 833 ohm-m; espesor de 0 a 77,4 m.

- **Horizonte H3**, conformado por material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales); se presenta en dos lentes localizados; con resistividades de 16 a 19 ohm-m; espesor de 0 a 17 m.
- **Horizonte H4**, capa de areniscas, con intercalaciones de tobas; se presenta en un estrato y un pequeño lente localizado; con resistividades de 102 a 298 ohm-m; espesor de 0 a 71 m.
- **Horizonte H5**, capa de material muy permeable, saturado de agua (acuífero); con resistividades de 1 a 5 ohm-m; espesor indeterminado por tratarse de la última capa de estudio.

Cuadro 3.3.8-18: Perfil geo-eléctrico O-O'

SEV	Tipo de curva	Resultados											
		1ª Capa		2ª Capa		3ª Capa		4ª Capa		5ª Capa		6ª Capa	
		ρ_1	E1	ρ_2	E2	ρ_3	E3	ρ_4	E4	ρ_5	E5	ρ_6	E6
SEV5	HAKH	544	2	19	8,2	2685	9,3	5041	27,8	298	51	23223	----
SEV4	AKHK	549	1,9	1123	9,9	1544	44,1	154	38	209	34	4	---
SEV3	AKQQ	355	1,5	796	10,6	23833	24,8	3994	42	198	45	5	---
SEV26	KHKQ	442	1	2206	1,7	102	21	7458	31	227	20,4	1	---
SEV25	KHKQ	432	3,4	492	6	18	17	932	25	123	23	1,3	---
SEV21	KHKQ	367	0,5	14957	1,2	16	7,7	2311	23,5	234	45	1	--

ρ = Resistividad geo-eléctrica (Ω -m); E= Espesor de la capa (m)

La interpretación de cada uno de los sondajes eléctricos verticales es la siguiente:

SEV1. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividades de 175 a 455 ohm-m, con espesor de 8,4 m, que corresponden a un material superficial de arenas eólicas muy reciente; subyace una gruesa capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividades de 1 508 a 4 841 ohm-m, con espesor de 56,8 m; subyace otra capa de areniscas con intercalaciones de tobas,

con resistividad de 197 ohm-m y espesor de 36 m; subyace una capa intercalada de tablazo, con resistividad de 9 765 ohm-m, de espesor indeterminado.

SEV2. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 587 ohmio-m, con espesor de 1,2 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyace una gruesa capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividades de 824 a 4 2334 ohm-m, con espesor de 29,8 m; subyaciendo a la anterior se encuentra una capa de areniscas con intercalaciones de tobas, con resistividad de 185 Ohm-m y espesor de 76,4 m; a una profundidad de 117 m, subyace la capa muy permeable saturada, que constituiría el acuífero (capa muy conductiva), con resistividad de 5 ohm-m, de espesor indeterminado.

SEV3. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con 355 ohmio-m, con espesor de 0,5 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material resistivo muy seco y que correspondería al tablazo, con resistividades de 796 a 23 833 ohm-m, con espesor de 77,4 m; luego subyace otra capa de areniscas con intercalaciones de tobas, con resistividad de 198 ohm-m, y espesor de 45 m; a una profundidad de 123 m, subyace una capa muy permeable saturada, que constituiría el acuífero (capa muy conductiva), con resistividad de 5 ohm-m, de espesor indeterminado.

SEV4. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 549 ohmio-m, con espesor de 1,9 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyace una gruesa capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividades de 1 123 a 1 544 ohm-m, y espesor de 54 m; luego subyace una capa de areniscas con intercalaciones de tobas, con resistividades de 154 a 209 ohm-m, con espesor total del estrato de 72 m; subyace luego, a una profundidad de 128 m, una capa muy permeable saturada, que constituiría el acuífero (capa muy

conductiva), con resistividad de 4 ohm-m, y espesor indeterminado.

SEV5. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 544 ohmio-m, y espesor de 2,0 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyace una capa de material reciente, con contenido de elementos conductivos, con resistividad de 19 ohm-m, y espesor de 8,2 m; subyace luego una gruesa capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo que se emplaza en la zona, con resistividades de 2 685 a 5 041 ohm-m, y espesor total del estrato de 37,1 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas con intercalaciones de tobas, con resistividad de 298 ohm-m, y un espesor de 51 m; subyace otra capa intercalada de tablazo, con resistividad de 23 223 ohm-m, de espesor indeterminado.

SEV6. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 455 ohmio-m, y espesor de 2,5 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; luego subyace una capa de material reciente, con contenido de elementos conductivos, con resistividad de 7,0 ohm-m, y espesor de 2,6 m; subyace luego una estructura lenticular, de espesor de 6.0 m y resistividad de 161 ohm-m, que corresponde a un material con granulometría fina y/o con elementos conductivos (sales); se presenta nuevamente una capa de material reciente con contenido de elementos conductivos, con resistividad de 9 ohm-m, y espesor de 23 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas con intercalaciones de tobas con resistividad de 239 ohm-m, y espesor de 44 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material resistivo muy seco y que correspondería al tablazo, con resistividad de 7 537 ohmio-m.

SEV7. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 612 ohmio-m, y espesor de 1,9 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; luego subyace una estructura lenticular de espesor de 2,8 m, y resistividad de 46 ohm-m, que corresponde a un

material muy conductivo; subyace otra capa de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 10 964 ohm-m, y espesor del estrato de 28,9 m; luego subyace una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividades de 322 a 433 ohm-m, y espesor total del estrato de 79,4 m; luego, subyace a una profundidad de 113 m, una capa muy permeable, saturada, que constituye el acuífero (capa muy conductiva), con resistividad de 5 ohm-m, y espesor indeterminado.

SEV8. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 356 ohmio-m, y espesor de 0,5 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; luego subyace una delgada capa de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 9 605 ohmio-m, y espesor de 1,6 m; subyace otra capa de material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales), con resistividad de 11 Ohm-m, y espesor de 10,4 m; subyaciendo se presenta nuevamente una gruesa capa de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 7 831 ohmio-m, y espesor de 71,5 m; subyace una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 167 ohm-m, y espesor de 35 m; subyace, luego, a una profundidad de 119 m, la capa muy permeable saturada, que constituye el acuífero (capa muy conductiva), estrato con resistividad de 5 ohm-m, y espesor indeterminado.

SEV9. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 606 ohmio-m, y espesor de 1,7 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; le subyace una capa de material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales), con resistividades de 19 a 41 ohm-m, y un espesor total de 29,7 m; subyaciendo se presenta una gruesa capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 13 462 ohmio-m, y espesor de 50,8 m; luego, subyace una delgada capa, de forma lenticular, de material reciente con contenido salino, con resistividad de 90 ohm.m, y un espesor de 11,2 m; subyaciendo a

ésta, se presenta nuevamente una capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 8067 ohmio-m, y espesor indeterminado.

SEV10. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividades de 2,1 a 2,5 ohmio-m, y espesor total de 4,5 m, que corresponde a un material arenoso húmedo superficial, muy reciente; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material muy conductivo, que correspondería a material arenoso muy húmedo y/o con elementos muy conductivos, con resistividades de 0,02 a 0,3 ohm-m, y espesor total del estrato de 52.1 m; subyaciendo se encuentra una capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 5 441 ohmio-m.

SEV11. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie y en profundidad se tiene una gruesa capa con resistividades de 0,2 a 3 ohmio-m, y espesor total del estrato húmedo de 76,1 m, que corresponde a un material cuaternario, muy conductivo y/o húmedo; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 2 123 ohmio-m, y espesor indeterminado.

SEV12. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 367 ohmio-m, y espesor de 2 m, que corresponde a un material superficial de arenas eólicas muy reciente; subyaciendo se encuentra una delgada capa de areniscas, con resistividad de 163 ohmio-m, y espesor de 4,3 m; subyace otra capa de material cuaternario reciente, con contenido de elementos conductivos (sales), con resistividad de 9 ohm-m, y un espesor de 25,2 m; subyaciendo se presenta, nuevamente, una gruesa capa de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 890 ohmio-m, y espesor de 42,3 m; luego subyace una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 156 ohm-m, y espesor de 54 m; a una profundidad de 128 m, subyace una capa muy permeable,

saturada, que constituye el acuífero (capa muy conductiva), estrato con resistividad de 5 ohm-m, y espesor indeterminado.

SEV13: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 445 Ohmio-m y espesor de 0,5 m, que corresponden a un material superficial de arenas eólicas muy reciente y subyaciendo se tiene el material resistivo muy seco y que correspondería al Tablazo, con resistividades de 738 ohmio-m y espesor de 9,9 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente con contenidos de elementos conductivos, con resistividades de 36 ohmio-m y espesor de 31 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas con intercalaciones de tobas, con resistividades de 127 ohm-m y un espesor de 25 m; subyaciendo se tiene el material resistivo muy seco y que correspondería al tablazo, con resistividades de 324 a 12 334 ohmio-m y espesor >12 m; subyace una capa muy permeable, saturada, que constituye el acuífero (capa muy conductiva).

SEV14: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 360 ohmio-m, y espesor de 0,5 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se tiene material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividades de 868 a 6211 ohm-m, y espesor de 40.9 m; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 326 ohm-m, y espesor de 39,3 m; subyaciendo se tiene un material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 19 911 ohm-m, y de 43 m de espesor.

SEV15: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 519 ohmio-m, y espesor de 2,7 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material

reciente, con contenidos de elementos conductivos, con resistividad de 60 ohmio-m, y espesor de 4 m; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo que se emplaza en la zona, con resistividad de 4 736 ohmio-m, y espesor de 9,8 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 28 ohmio-m, y espesor de 28 m; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 154 ohm-m, y un espesor de 39 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1 ohmio-m.

SEV16: en esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividades de 486 a 592 ohmio-m, y espesor de de 0,9 a 7,7 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 83 ohmio-m, y espesor de 28 m; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 2 533 ohmio-m y espesor de 15 m; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 97 ohm-m, y espesor de 35 m; subyaciendo se encuentra material saturado, con resistividad de 4 ohmio-m.

SEV17: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie, se tiene una capa con resistividades de 553 a 611 ohmio-m, y espesor de 3,5 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 136 ohm-m, y espesor de 29,2 m; subyaciendo se tiene al material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 10 032 ohm-m, y espesor de 12,3 m; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 163 ohm-m, y un espesor de 43,6 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 4 ohmio-m.

SEV18: en esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie, se tiene una capa con resistividad de 412 ohmio-m, y espesor de 1,2 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se tiene al material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 1 166 ohmio-m, y espesor de 8,15 m; subyaciendo se encuentra una capa de material reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 21 ohmio-m, y espesor de 6 m; subyaciendo se encuentra una capa de material arenoso húmedo y/o con materiales conductivos, con resistividad de 3 ohmio-m, y espesor de 27 m; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 154 ohm-m, y un espesor de 35 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 5 ohmio-m.

SEV19: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 19 a 37 ohmio-m, y espesor de 7,8 m, que corresponde a una gruesa capa de material reciente, con contenidos de elementos conductivos; subyaciendo se tiene al material arenoso húmedo y/o con sales, muy conductivo, con resistividades de 2 a 3 ohmio-m, y espesor de 48 m; subyaciendo se encuentra una capa de material arenoso, muy húmedo y muy conductivo, con mayor contenido de sales, con resistividad de 0,8 ohm-m, espesor de 13,2 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1.4 ohmio-m.

SEV20: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie, se tiene una capa con resistividad de 532 ohmio-m, y espesor de 0,5 m, que corresponde a un material superficial de arenas eólicas, muy recientes; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 9 887 ohmio-m, y espesor de 2,2 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente, con elementos conductivos, con resistividades de 10,5 a 11,8 ohmio-m, y espesor de 42,9 m; luego subyace una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 133 ohm-m, y

un espesor de 17 m; subyaciendo se encuentra el acuífero con resistividad de 0,3 ohmio-m.

SEV21: en esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie, se tiene una capa con resistividad de 367 ohmio-m, y espesor de 0,5 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo muy seco y que correspondería al tablazo, con resistividad de 14 957 ohmio-m, y espesor de 1,2 m; subyace una capa o lente de material cuaternario reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 16 ohmio-m, y espesor de 7,7 m, resistivo y muy seco; subyaciendo se encuentra un grueso lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo; con resistividad de 2 311 ohmio-m, y espesor de 23,5 m; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividades de 234 ohm-m y un espesor de 45 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1 ohmio-m.

SEV22: en esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie, se tiene una capa con resistividad de 367 ohmio-m, y espesor de 0,6 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 2 904 ohmio-m, y espesor de 10,1 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 85 ohmio-m, y espesor de 9,8 m; subyaciendo, se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 301 ohm-m, y un espesor de 13,3 m; subyace una capa intercalada de material con elementos conductivos, con resistividades de 6 ohm-m, y de espesor de 10 m; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 12 245 ohmio-m, y espesor indeterminado, asumiéndose que a mayor profundidad se encuentra el material saturado.

SEV23: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 385 ohmio-m, y espesor de 0,5 m, que corresponde a un material superficial de arenas eólicas muy recientes; subyace una delgada capa o lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 1 210 ohmio-m, y espesor de 4,1 m, subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 339 ohm-m, y un espesor de 4,1 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material arenoso húmedo, con contenido de sales, con resistividad de 4 ohm-m, y espesor de 32 m; subyace una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 228 ohm-m, y un espesor de 24 m; subyaciendo se encuentra el material saturado de agua con resistividad de 3 ohmio-m.

SEV24: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecia resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividades de 413 ohmio-m, espesor de 1 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyace una delgada capa o lente de material resistivo, muy seco y que correspondería al tablazo, con resistividad de 2 797 ohmio-m, y espesor de 2,2 m; subyace una gruesa capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 171 Ohm-m, y espesor de 11.5 m; subyaciendo se encuentra un grueso lente de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividades de 2 935 ohmio-m, y espesor de 30,3 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas con intercalaciones de tobas con resistividad de 121 ohm-m, y espesor de 53 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 2 ohmio-m.

SEV25: en esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividades de 432 a 492 ohmio-m, con espesor de 9,4 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyace una capa o lente de material cuaternario reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 18 ohmio-m, y espesor 17 m, resistivo muy seco; subyaciendo se

presenta un grueso lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo que se emplaza en la zona, con resistividad de 932 ohmio-m, y espesor de 25 m; subyaciendo se encuentra una capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 123 ohm-m, y un espesor de 23 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1,3 ohmio-m.

SEV26: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie, se tiene una capa con resistividad de 442 ohmio-m, y espesor de 1 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyace una delgada capa o lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 2 206 ohmio-m, y espesor de 1,7 m; subyace otra gruesa capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 102 ohm-m, y un espesor de 21 m; subyaciendo se encuentra un grueso lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 7 458 ohmio-m, y espesor de 31 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 227 ohm-m, y un espesor de 20,4 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1 ohmio-m.

SEV27. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividades de 367 ohmio-m y espesor de 3,1 m, que corresponden a arenas eólicas muy recientes con areniscas con intercalaciones de tobas; subyaciendo se encuentra un lente de material cuaternario reciente con contenido de elementos conductivos con resistividad de 63 ohmio-m y espesor de 5,6 m; subyace una gruesa capa de material arenoso húmedo con contenido de sales con resistividades de 2,9 ohm-m y espesor de 10,2 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas con intercalaciones de tobas con resistividades de 87,2 ohm-m y un espesor de 18,6 m; subyace una capa intercalada de material con contenido de elementos conductivos con resistividades de 31,4 ohm-m y espesor de 19,6 m; subyaciendo se encuentra el acuífero material permeable, saturado de agua, con resistividad de 1,0 ohmio-m.

SEV28: en esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 610 ohmio-m, con espesor de 1,6 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 80 ohmio-m, y espesor de 12 m; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 1 672 ohmio-m, y espesor de 22,7 m; subyace una capa intercalada de material con elementos conductivos, con resistividad de 9 ohm-m, y espesor de 24,1 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 234 ohm-m, y espesor de 44 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1 ohmio-m.

SEV29: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 411 ohmio-m, y espesor de 0,8 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra un delgado lente de material resistivo, muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 1 576 ohmio-m, y espesor de 1,8 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente, con elementos conductivos, con resistividad de 23 ohmio-m, y espesor de 36.6 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas, con intercalaciones de tobas, con resistividad de 128 ohm-m, y espesor de 41,5 m; subyace una capa intercalada de material con elementos conductivos, con resistividad de 43 ohm-m, y espesor de 27,6 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1,9 ohmio-m.

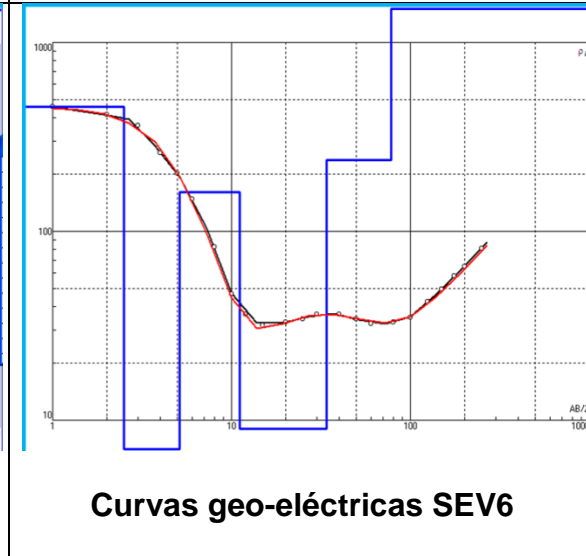
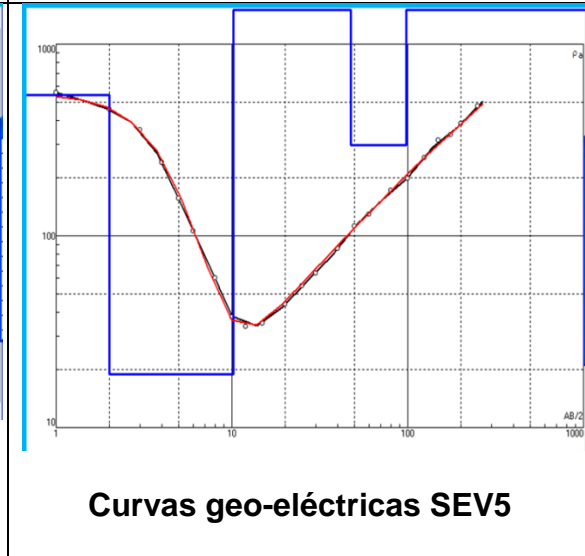
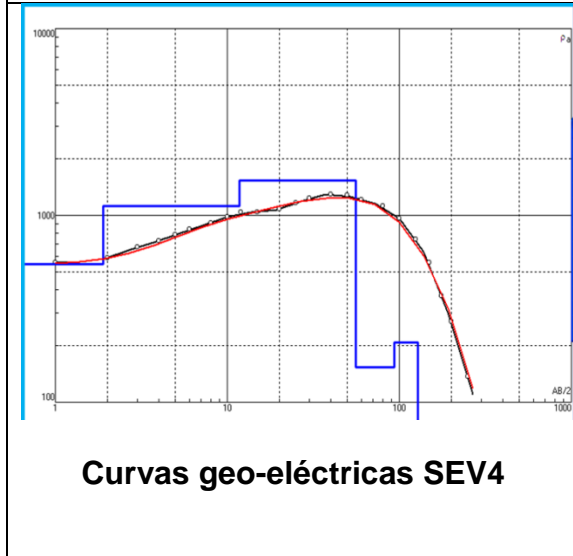
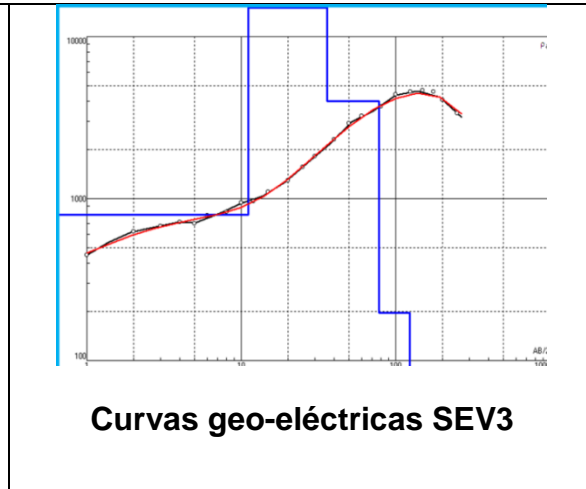
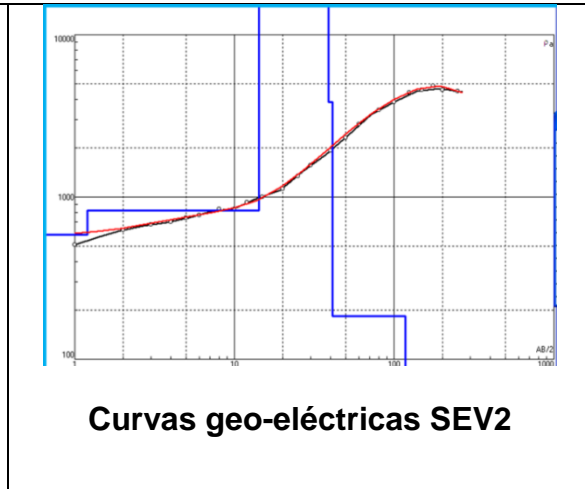
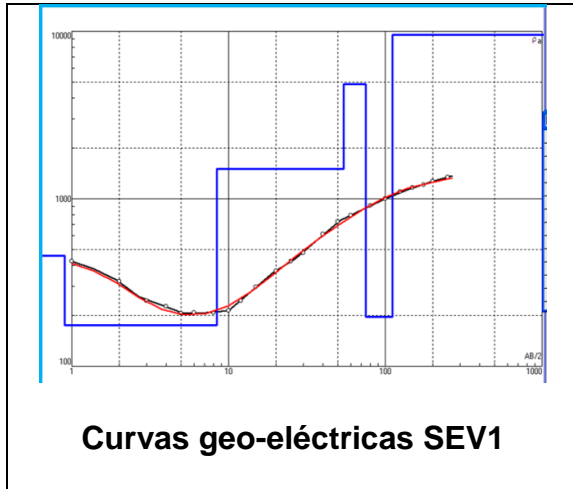
SEV30: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 253 ohmio-m, y espesor de 2,2 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente con elementos conductivos, con resistividad de 1 508 a 4 841 ohm-m, y espesor de 56.8 m; subyace un material resistivo muy seco, que correspondería al

tablazo que se emplaza en la zona, con resistividad 1 573 ohmio-m, y espesor de 6,7 m; subyaciendo se encuentra la capa de areniscas con intercalaciones de tobas, con resistividad de 320 ohm-m, y espesor de 41,5 m; subyace una capa intercalada de material con elementos conductivos, con resistividad de 8 ohm-m, y espesor de 43 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1 ohmio-m.

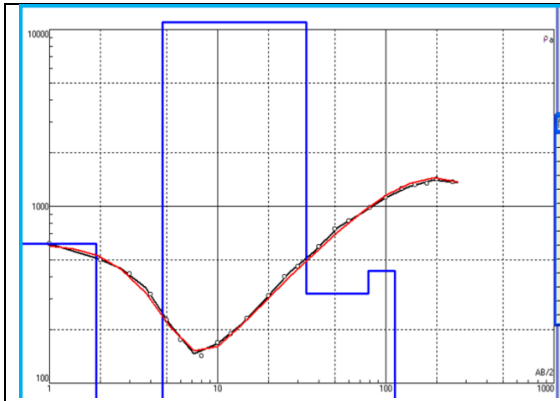
SEV31: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con resistividad de 611 ohmio-m, y espesor de 1,7 m, que corresponde a arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente con elementos conductivos, con resistividad de 24 a 53 ohmio-m, y espesor de 53,7 m; subyaciendo se encuentra un grueso lente de material resistivo muy seco, que correspondería al tablazo, con resistividad de 802 ohmio-m, y espesor de 21,5 m; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente con elementos conductivos, con resistividad de 45 ohmio-m, y espesor de 32 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 1 ohmio-m.

SEV32: se alcanzó a investigar hasta 140 m de profundidad. En esta columna geofísica se aprecian resistividades bajas y altas. En superficie se tiene una capa con 260 ohmio-m, con espesor de 0,9 m, que corresponde a un material de arenas eólicas muy recientes; subyaciendo se encuentra una gruesa capa de material reciente con elementos conductivos, con resistividad de 31 ohmio-m, con espesor de 3,6 m; luego subyace otra capa de material arenoso húmedo superficial, con resistividad de 2,4 ohm-m, y espesor de 36,4 m; subyace luego, otra capa de material reciente con elementos conductivos, con resistividad de 34 ohmio-m, y espesor de 44,4 m; sigue otra capa de areniscas con intercalaciones de tobas, con resistividad de 156 ohm-m y espesor de 28 m; subyaciendo se encuentra el material saturado, con resistividad de 0,2 ohmio-m.

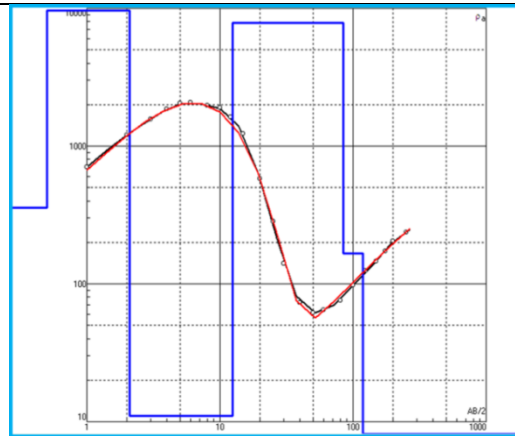
Figuras 3.3.8-1. Curvas geo-eléctricas



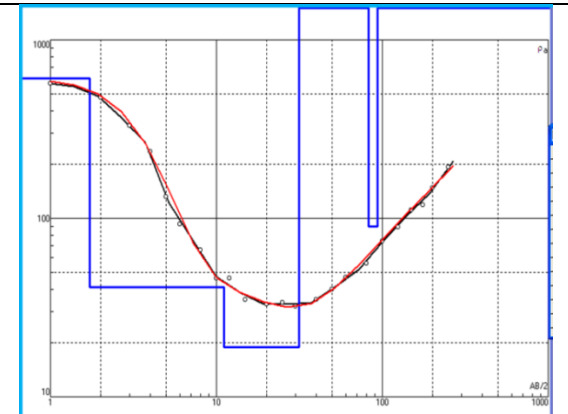
Figuras 3.3.8-1. Curvas geo-eléctricas (cont.)



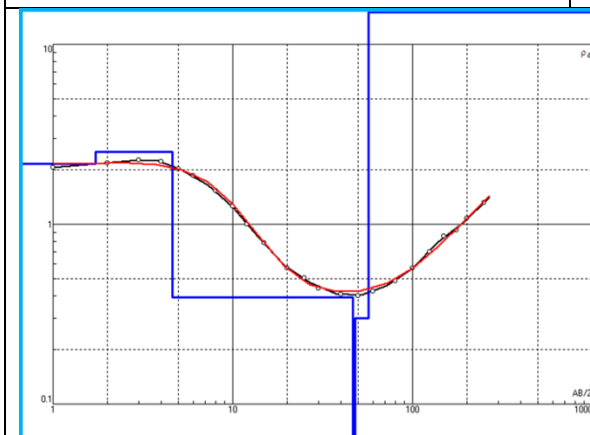
Curvas geo-eléctricas SEV7



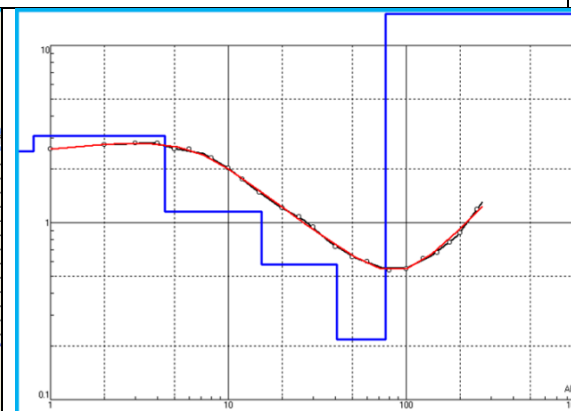
Curvas geo-eléctricas SEV8



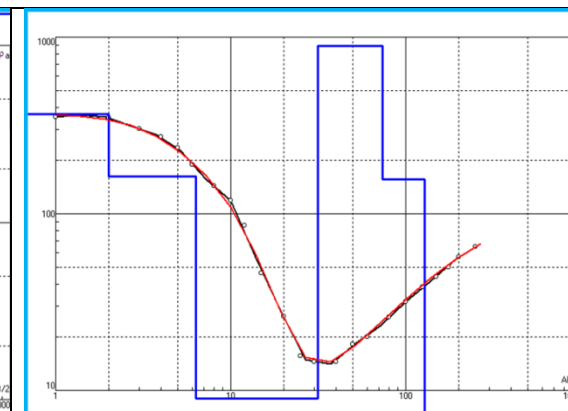
Curvas geo-eléctricas SEV9



Curvas geo-eléctricas SEV10

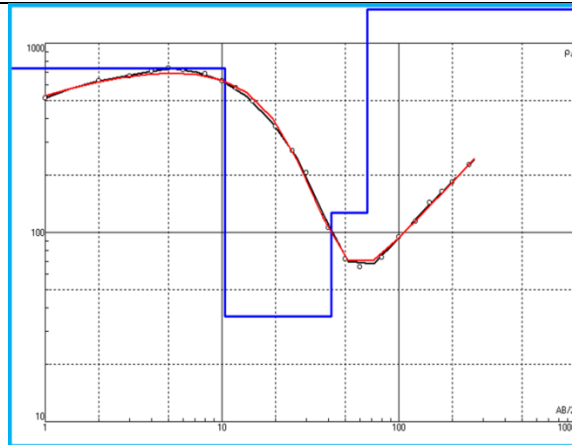


Curvas geo-eléctricas SEV11

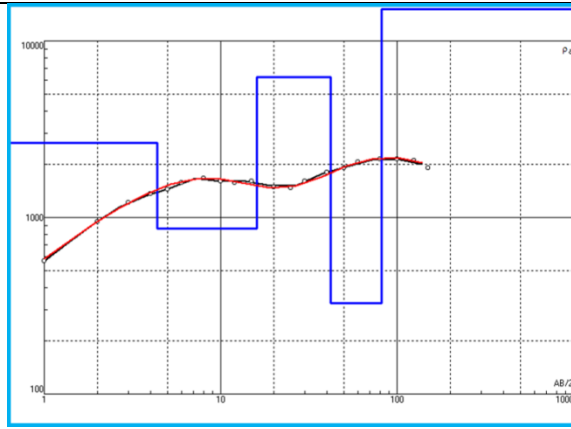


Curvas geo-eléctricas SEV12

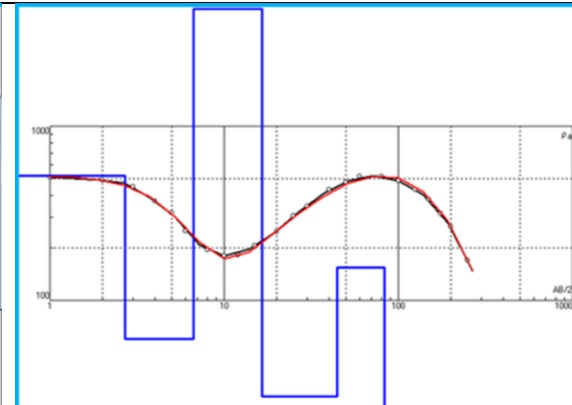
Figuras 3.3.8-1. Curvas geo-eléctricas (cont.)



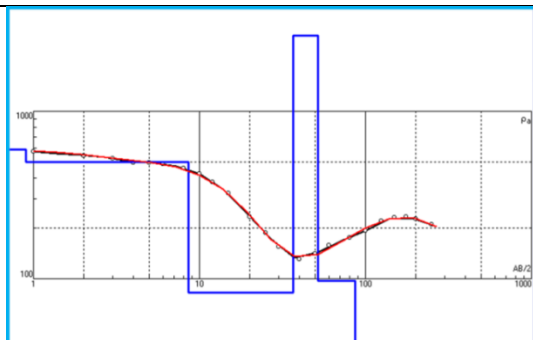
Curvas geo-eléctricas SEV13



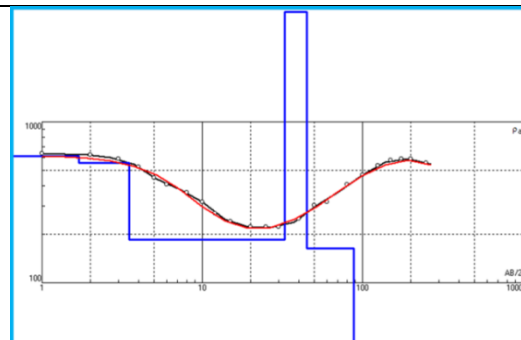
Curvas geo-eléctricas SEV14



Curvas geo-eléctricas SEV15



Curvas geo-eléctricas SEV16

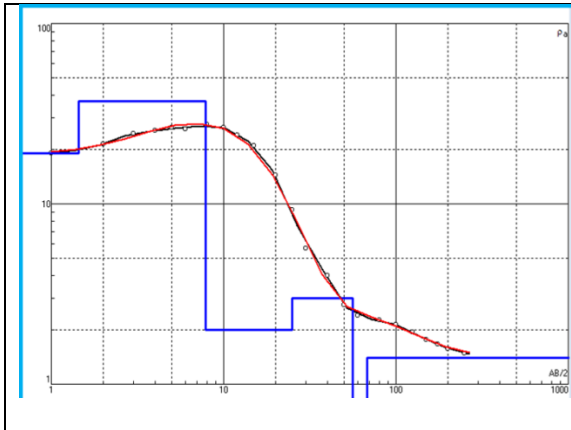


Curvas geo-eléctricas SEV17

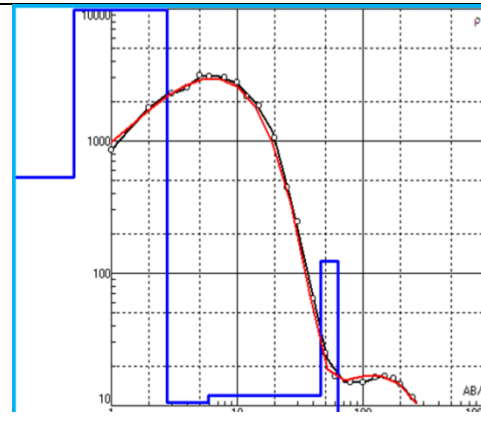


Curvas geo-eléctricas SEV18

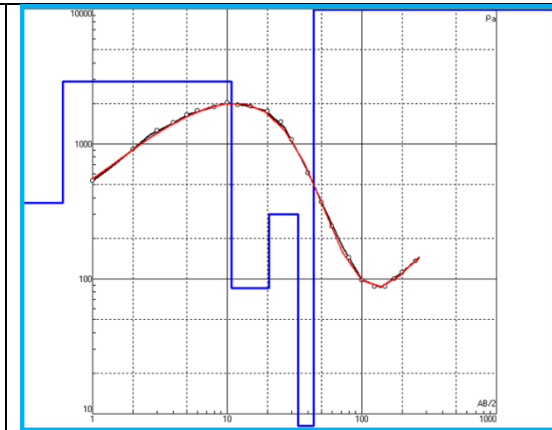
Figuras 3.2.8-1. Curvas geo-eléctricas (cont.)



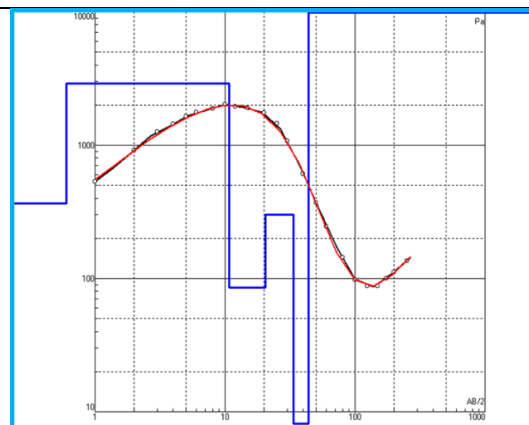
Curvas geo-eléctricas SEV19



Curvas geo-eléctricas SEV20



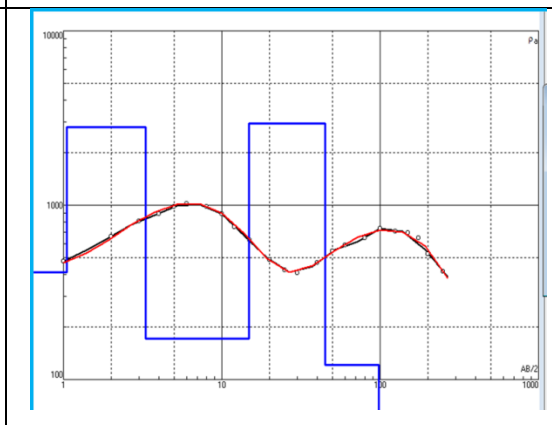
Curvas geo-eléctricas SEV21



Curvas geo-eléctricas SEV22

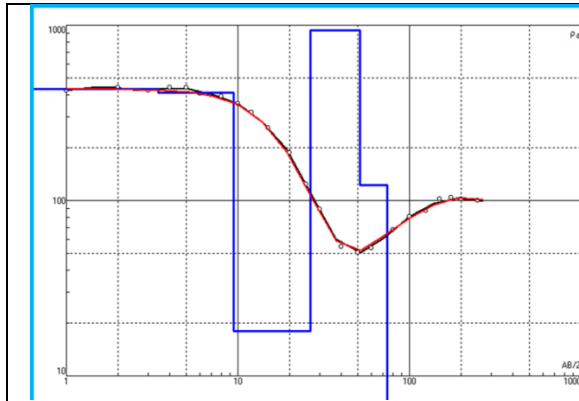


Curvas geo-eléctricas SEV23

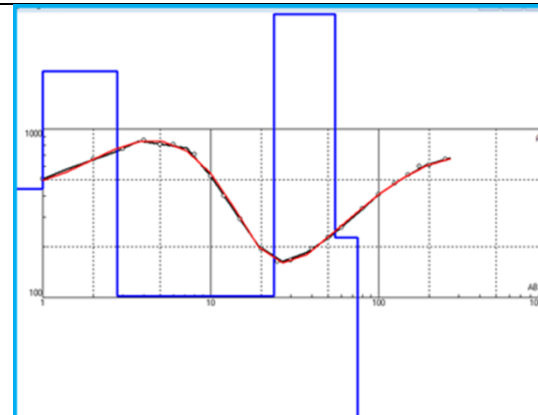


Curvas geo-eléctricas SEV24

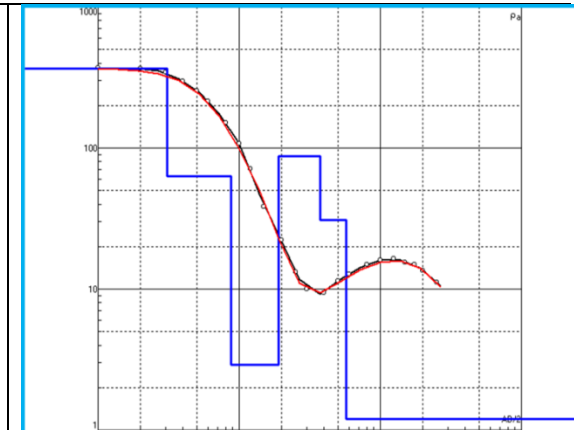
Figuras 3.2.8-1. Curvas geo-eléctricas (cont.)



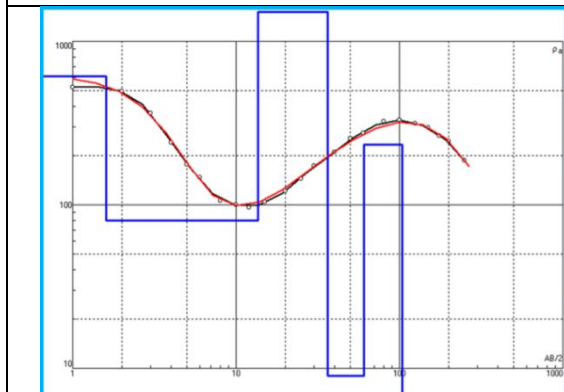
Curvas geo-eléctricas SEV25



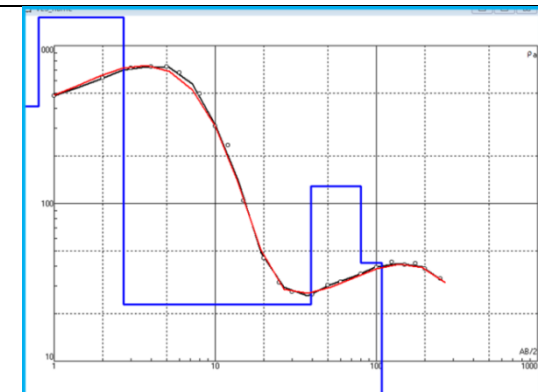
Curvas geo-eléctricas SEV26



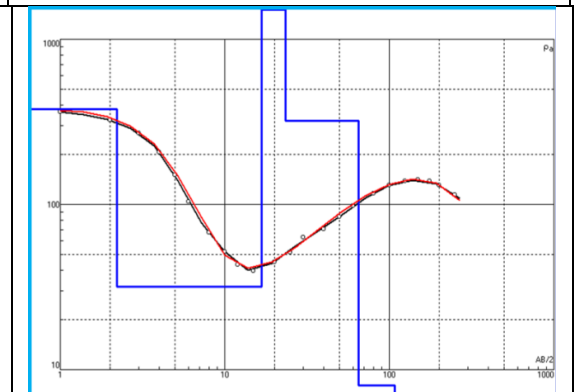
Curvas geo-eléctricas SEV27



Curvas geo-eléctricas SEV28

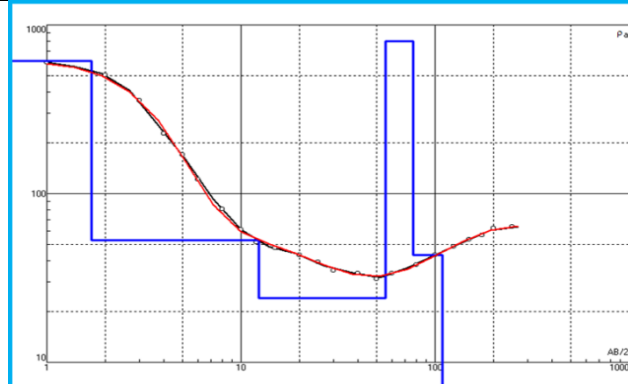


Curvas geo-eléctricas SEV29

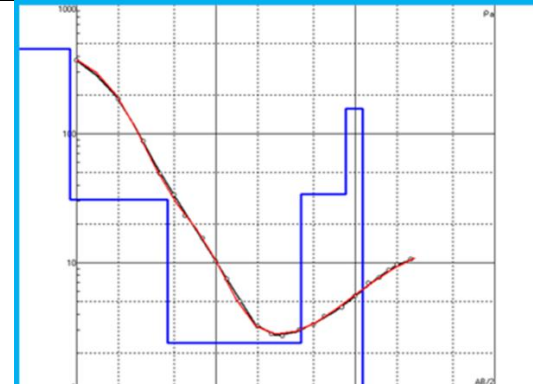


Curvas geo-eléctricas SEV30

Figuras 3.2.8-1. Curvas geo-eléctricas (cont.)



Curvas geo-eléctricas SEV31

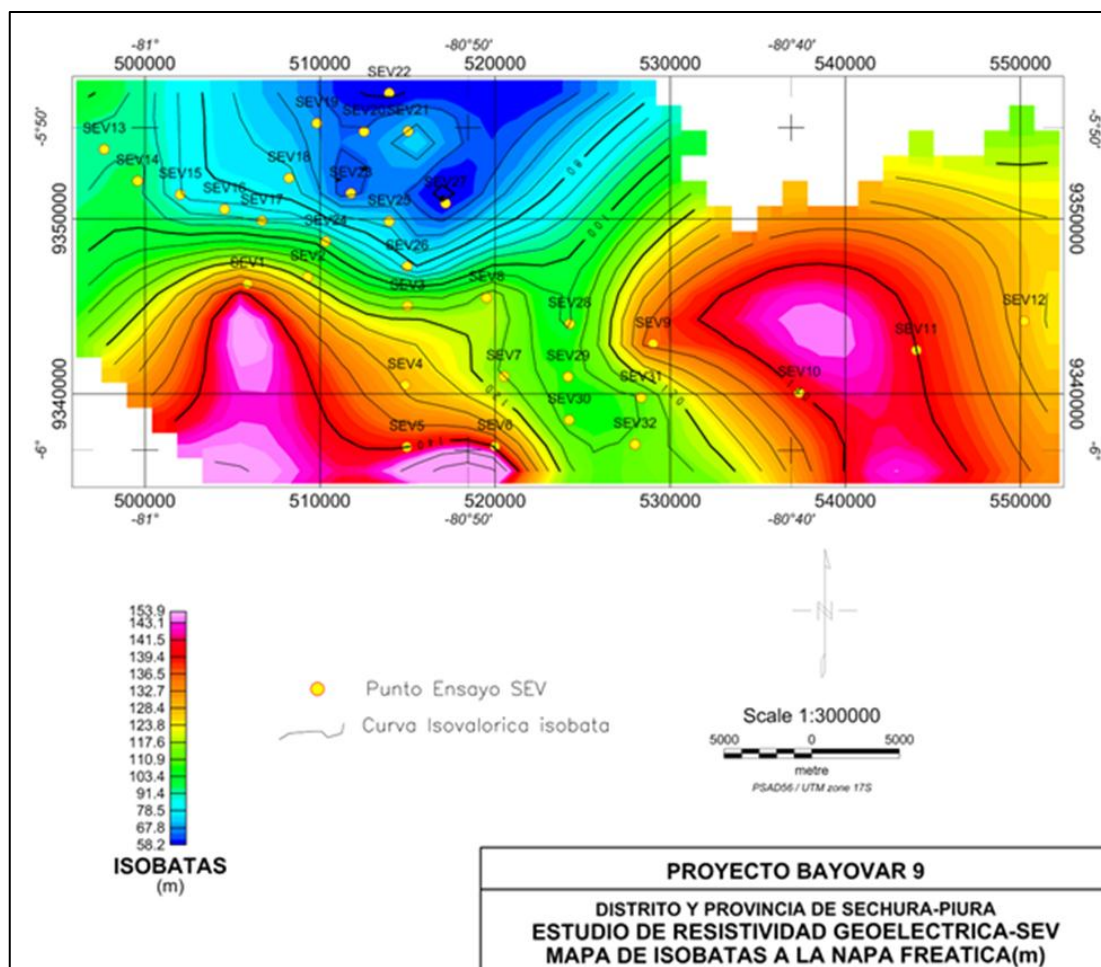


Curvas geo-eléctricas SEV32

Mapa de isobatas a la napa freática.

Este mapa se ha confeccionado con la información del cuadro 3.3.8-19, en el que puede observarse la profundidad a la que se estima el techo de la capa de material más conductiva (material acuífero). En este mapa se observa que las mayores profundidades ($Z > 135$ m), se localizan al suroeste (SEVs 1, 5 y 6) y en el sector sureste (SEVs 9, 10 y 11); los valores intermedios ($100 > Z < 135$ m), se ubican en el sector central (SEVs 2, 3, 13, 14, 8, 28, 7, 30, 32 y 12); los menores valores ($z < 100$ m), se observan en el sector norte (SEVs 15, 16, 17, 19, 20, 21, 18, 23, 27, 25 y 26).

Figura 3.3.8-2. Isóbatas a la napa freática



Conclusiones de la prospección geofísica

1. La prospección geofísica ha permitido configurar una serie de capas de interés hidrogeológico, identificables por su extensión y morfología. Se ha establecido capas elementales que varían en espesor y resistividad, debido a sus diferentes grados de compactación, meteorización, alteración y naturaleza propia.
2. De acuerdo a los perfiles geo-eléctricos, se puede establecer que existe una gran similitud geológica y geomorfológica, en toda la zona de estudio, con algunos cambios específicos en los espesores.
3. Se ha localizado una capa muy conductiva que corresponde al ACUIFERO SATURADO y cuyas profundidades varían de 57,1 a >129 m (cuadro 3.3.8-19).

Cuadro 3.3.8-19: Profundidad a la napa freática, estimada con SEVs

SEV	Profundidad (m)	SEV	Profundidad (m)	SEV	Profundidad (m)
SEV1	>129	SEV12	128,0	SEV23	60,6
SEV2	117,0	SEV13	93,4	SEV24	98,0
SEV3	129,0	SEV14	98,7	SEV25	74,4
SEV4	128,0	SEV15	83,5	SEV26	75,1
SEV5	>128	SEV16	86,6	SEV27	57,1
SEV6	>119	SEV17	88,6	SEV28	103,8
SEV7	113,0	SEV18	77,3	SEV29	108,2
SEV8	120,0	SEV19	68,0	SEV30	108,0
SEV9	>128	SEV20	62,7	SEV31	108,9
SEV10	>128	SEV21	77,9	SEV32	113,3
SEV11	>128	SEV22	58,7		

Fuente: BISA, 2012.

4. Se recomienda caracterizar las capas de la interpretación geofísica con información complementaria y/o directa, ya sea calicatas y/o pozos exploratorios, que permitan efectuar la correlación con los resultados de la

prospección geofísica.

3.3.8.5.3 Caracterización del acuífero

Regionalmente, el valle Bajo Piura se caracteriza por tener 2 formaciones acuíferas, una denominada acuífero libre (superficial), con predominio de estratos arcillosos, arenas de grano fino y excepcionalmente estratos areno gravosos. El otro es un acuífero confinado (acuífero Zapallal), que está asociado con arenas finas; cuyo techo se estima cerca a los 100 m de profundidad; de agua dulce y con una gran extensión geográfica, tal como se puede apreciar en la figura 3.3.8-3.

A nivel local, en la zona del desierto de Sechura, según los estudios realizados anteriormente, se ha establecido la presencia de 3 acuíferos importantes:

- **Acuífero aluvial**

Es un acuífero de tipo libre superficial. Se caracteriza por ser del tipo clástico (fluvial y aluvial), de pocos metros de profundidad y porque en su proximidad al mar se extiende en forma deltaica.

- **Acuífero montera**

Este acuífero se restringe a la franja del lado Este del Macizo de Illescas. Se encuentra delimitado por dos fallas regionales y está conformado precisamente por estratos de areniscas calcáreas de la formación Montera. En este acuífero se ubican los pozos de Illescas. Debido a que algunos de los estratos de areniscas están intercalados con arcillas, este acuífero se caracteriza por ser del tipo confinado hacia profundidad y libre hacia superficie.

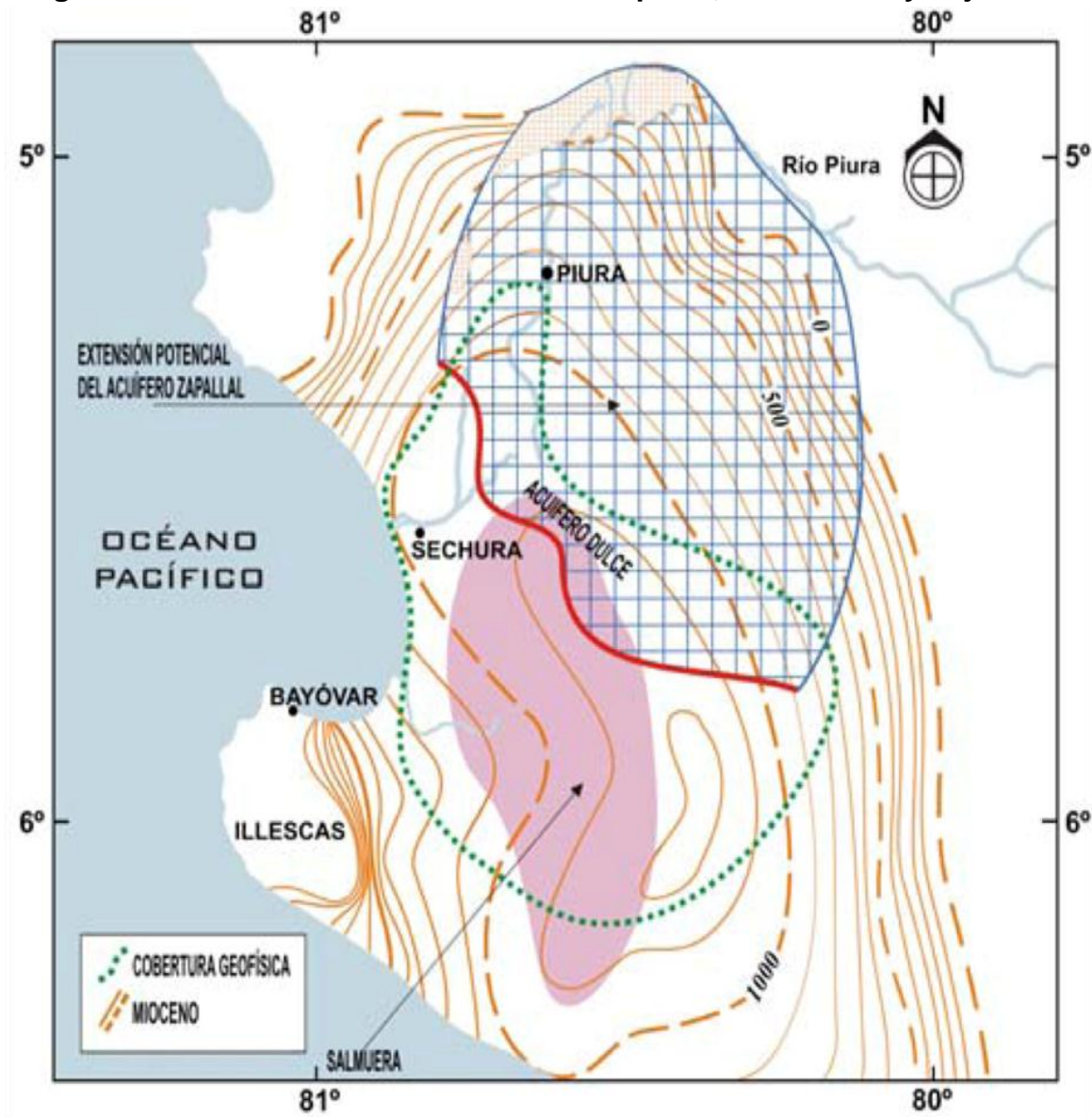
- **Acuífero zapallal**

Está conformado por estratos terciarios de areniscas de la formación Zapallal, la cual sobreyace a la formación Montero y se encuentra cubierto por sedimentos finos de origen eólico y aluvial recientes. Se caracteriza por ser del tipo confinado y por contener aguas salobres, hacia el Oeste. Se extiende desde el Norte del valle de Piura hasta el área de Minchales-Cascajal, por el Sur.

El acuífero del sector de Illescas es una reserva de agua subterránea, con un potencial estimado de 100 MMC/año. Se infiere que el horizonte acuífero subterráneo principal se ubica a más de 60 m de profundidad según los informes de resistividad geo-eléctrica e hidrogeología efectuados a la fecha.

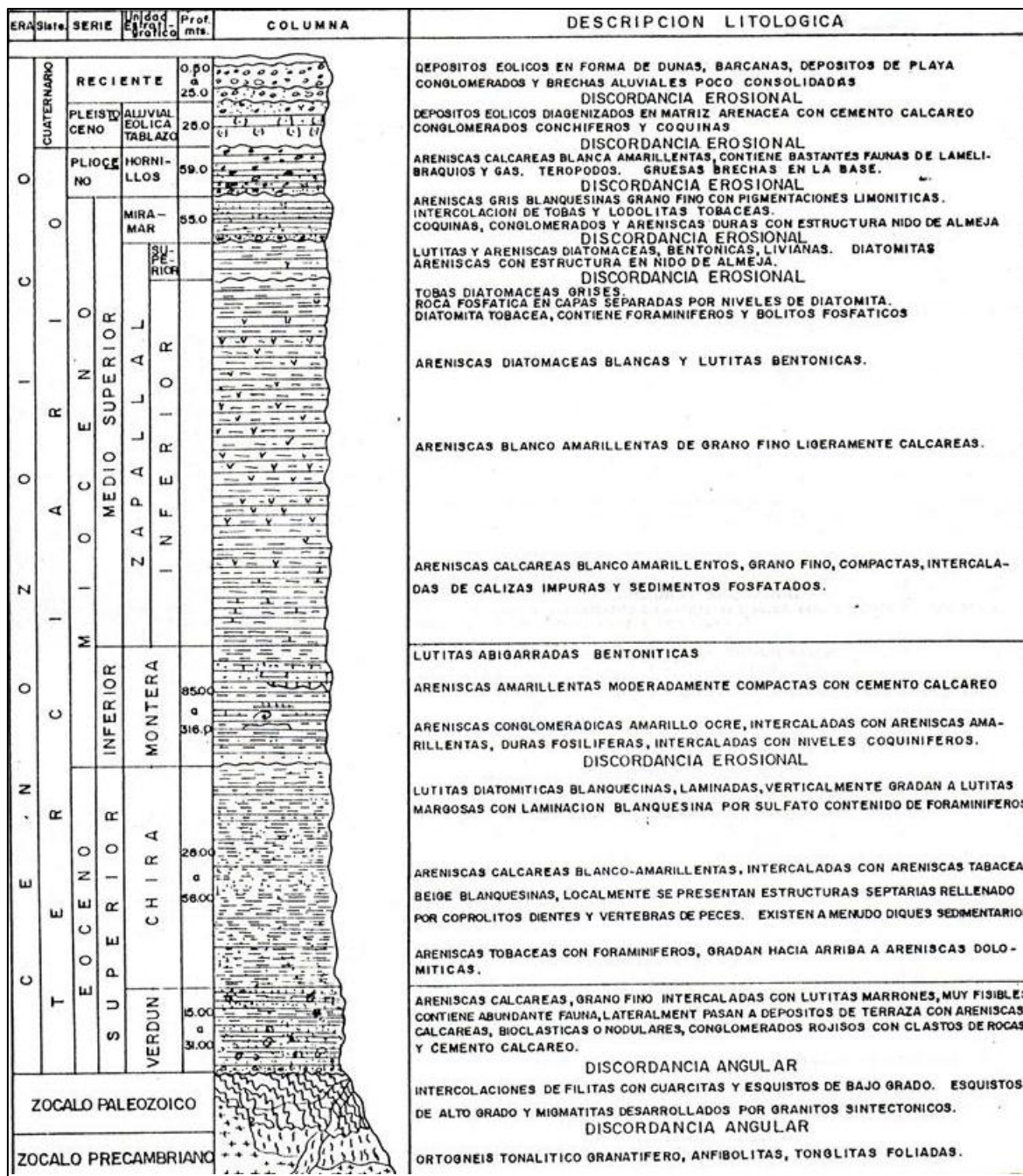
El desierto de Sechura está casi totalmente cubierto por la formación marina Zapallal, del Terciario, con una sobrecarga delgada de arenas. Aunque la litología es mayormente arcillosa, con capas ricas en fosfatos, existe un horizonte de arena limpia que contiene agua dulce recargada en los bordes orientales de la cuenca terciaria. Ver las figuras 3.3.8-3 a 3.3.8-8.

Figura 3.3.8-3. Localización del acuífero zapallal, en el medio y bajo Piura

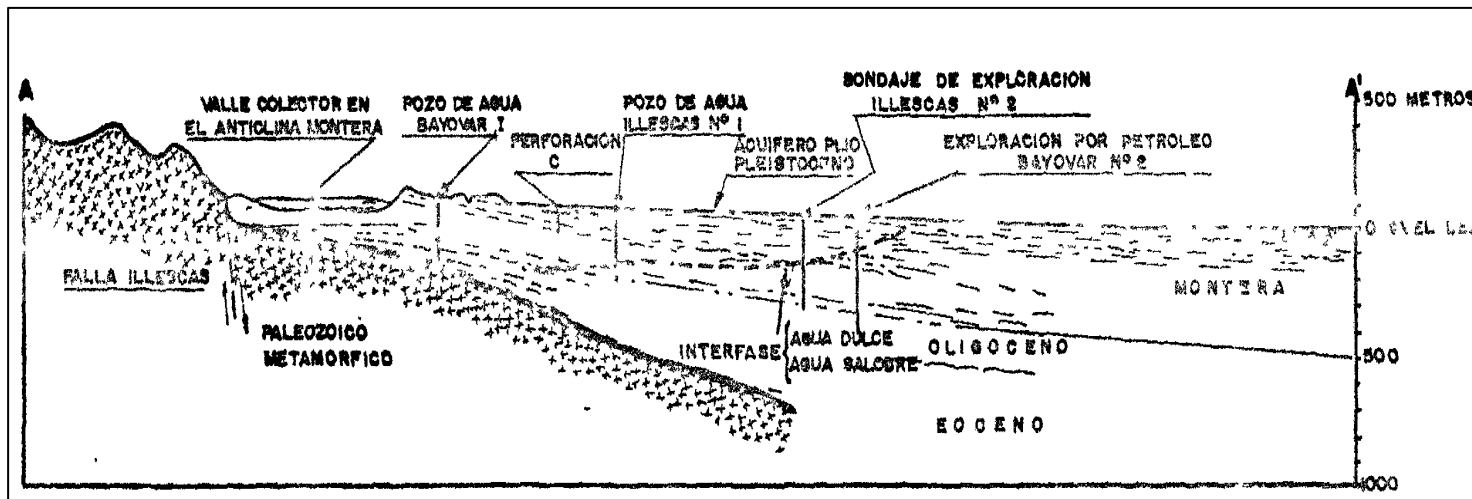


Fuente: Arce, 2 006

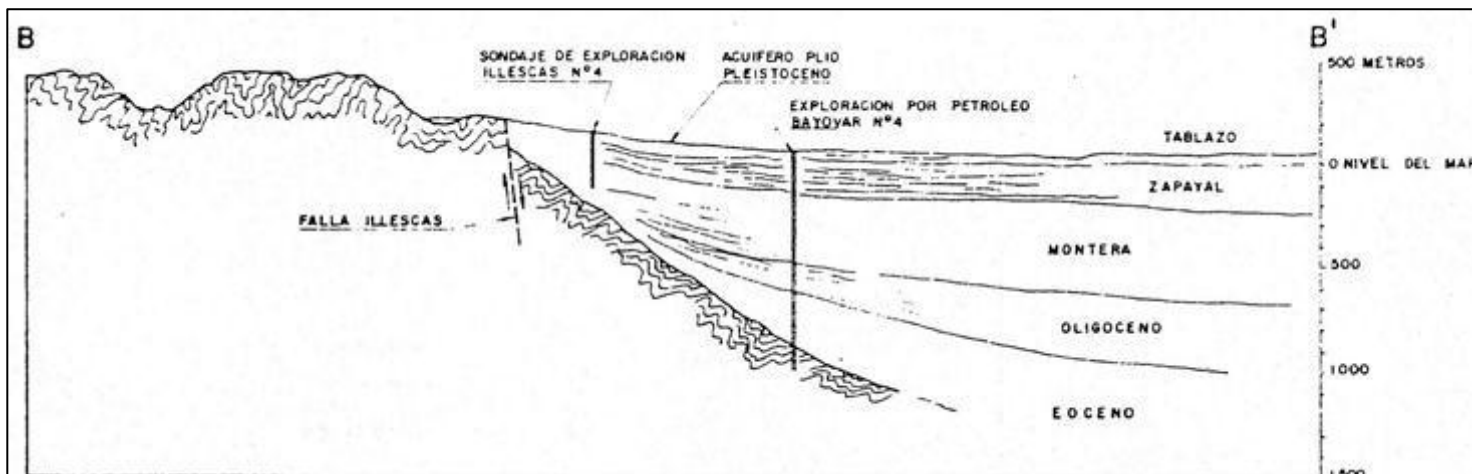
Figura 3.3.8-4. Columna estratigráfica, con descripción litológica



Fuente: Corporación Hidrotécnica, 1 988

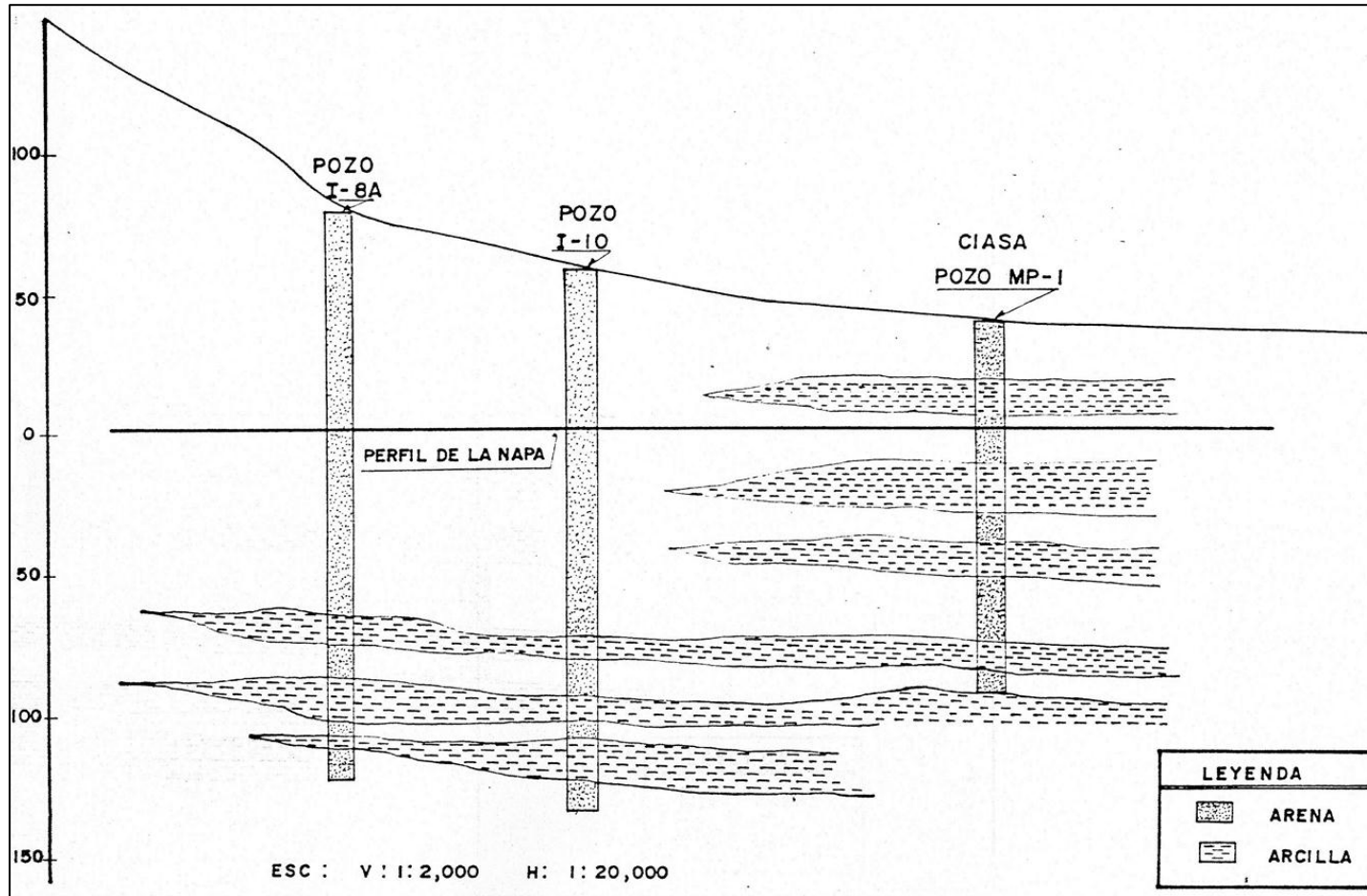


Figuras 3.3.8-5 y 3.3.8-6. Cortes esquemáticos de la estructura geológica de la zona de Illescas



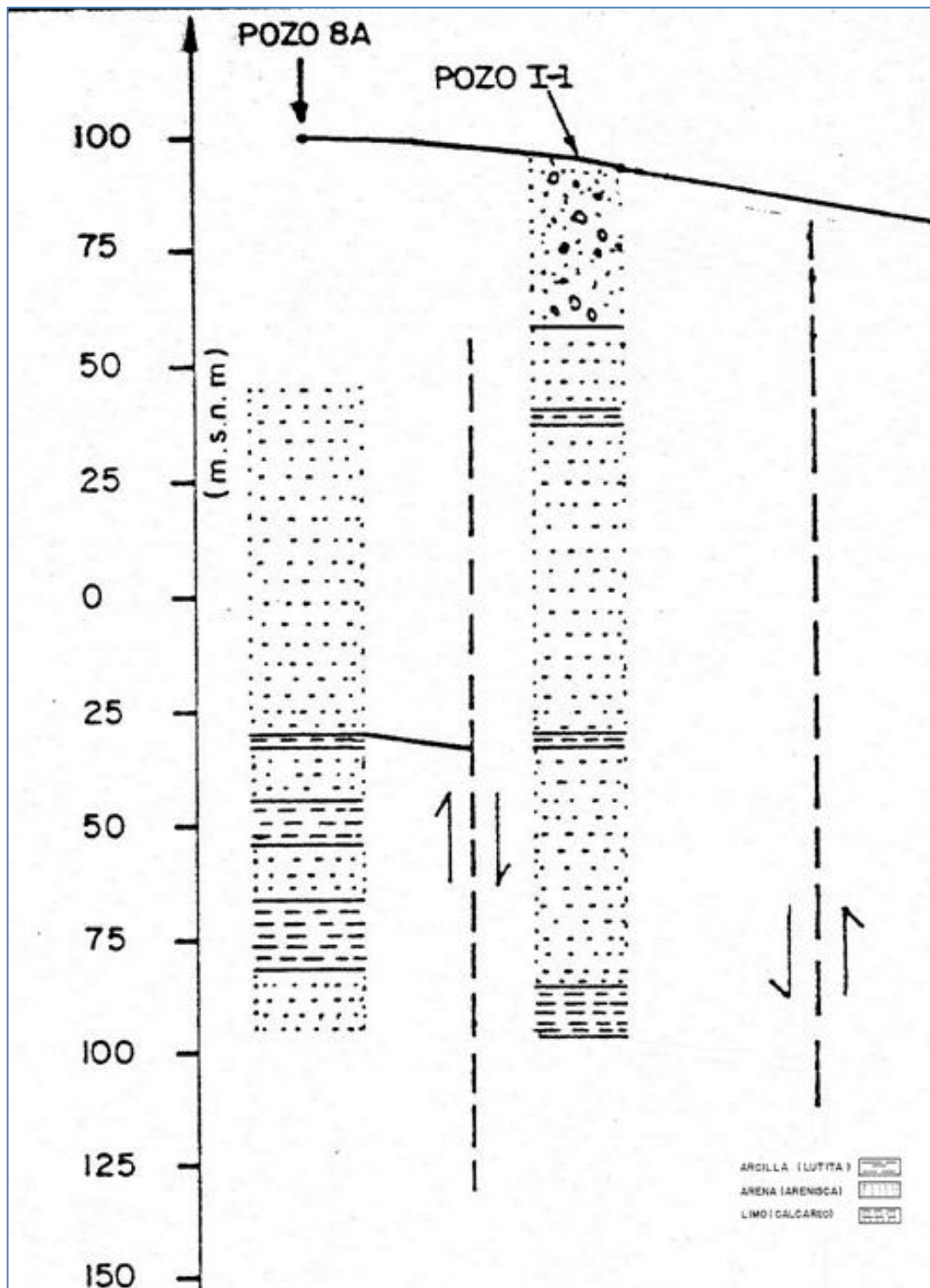
Fuente: EMPRESA NACIONAL ADARO DE INVESTIGACIONES MINERAS S. A., 1 978

Figura 3.3.8-7. Perfil hidrogeológico, zona de localidad Illescas.



Fuente: Corporación Hidrotécnica, 1 988

Figura 3.3.8-8. Perfil hidrogeológico, pozos Illescas 1 y 8A



Fuente: Corporación Hidrotécnica, 1 988

Los sedimentos del Eoceno y Oligoceno, dadas sus características pizarrosas y naturaleza impermeable así como su ubicación profunda no constituyen unidades acuíferas de importancia (BCEOM, 1 974).

Las formaciones del Mioceno, contienen muchas capas de alta permeabilidad, favorable para el almacenamiento de agua. Se ha encontrado agua dulce y salada en esas capas a través de las perforaciones efectuadas para petróleo así como para abastecimiento de agua dulce (BCEOM, 1 974).

Las unidades acuíferas aprovechables para obtener agua dulce en la zona occidental del desierto, están representadas por los depósitos permeables del abanico aluvional cuaternario; y, la formación Monterera, en el flanco Este de Illescas.

Litológicamente, los depósitos cuaternarios están conformados por bloques de cantos, guijarros, gravas, arenas, arcillas y limos entremezclados en diferentes proporciones formando horizontes de espesores variables, los mismos que se presentan en forma alternada en sentido vertical.

Para la zona de la futura explotación de fosfatos de FOSPAC, se viene realizando el Estudio Geotécnico, mediante una serie de perforaciones o taladros de investigación, con cuyos resultados se podrá tener una visión más detallada de la litología del acuífero zonal, en función de los respectivos perfiles litológicos.

3.3.8.5.4 Hidrodinámica del acuífero

La hidrodinámica del acuífero, que permite conocer su capacidad de almacenar y transmitir agua, se determina a través de pruebas de campo (pruebas de bombeo y diferentes pruebas geotécnicas), en pozos de explotación o en piezómetros. Los parámetros hidrodinámicos utilizados para caracterizar a los acuíferos son la conductividad hidráulica o coeficiente de permeabilidad (K), la transmisividad (T) y el coeficiente de almacenamiento (S).

En la presente evaluación hidrogeológica no ha sido posible realizar ninguna prueba de bombeo, por lo que para caracterizar el acuífero de la zona de estudio, y áreas aledañas, se ha recurrido a la información de Estudios realizados con anterioridad.

En el estudio realizado en 1978 por la Empresa Nacional ADARO de Investigaciones Mineras S. A. se reporta que los parámetros hidrodinámicos del acuífero Montero, deducidos de las pruebas de aforo realizados eran: caudal específico (Qe), de 0,6 a 4,4 l/s/m; transmisividad (T), de 58 a 387 m²/d; y, coeficiente de almacenamiento (S), $0,9 \times 10^{-2}$. Por ello se dice que, hidráulicamente, el acuífero es de regular a bueno.

En 1988, la Corporación Hidrotécnica realizó dos pruebas de bombeo a caudal constante en el pozo Illescas 7A, que cuenta con un piezómetro (7B), ubicado a 30,5 m; y, en el pozo Illescas 6A. Los valores de la transmisividad obtenidos variaban de $1,4 \times 10^{-4}$ a $5,6 \times 10^{-3}$ m²/s (12,1 – 483,8 m²/d), que concuerdan con los valores antes obtenidos en los pozos del área de Illescas. Ver el cuadro 3.3.8-20.

Cuadro 3.3.8-20. Parámetros hidrodinámicos del acuífero – sector Illescas

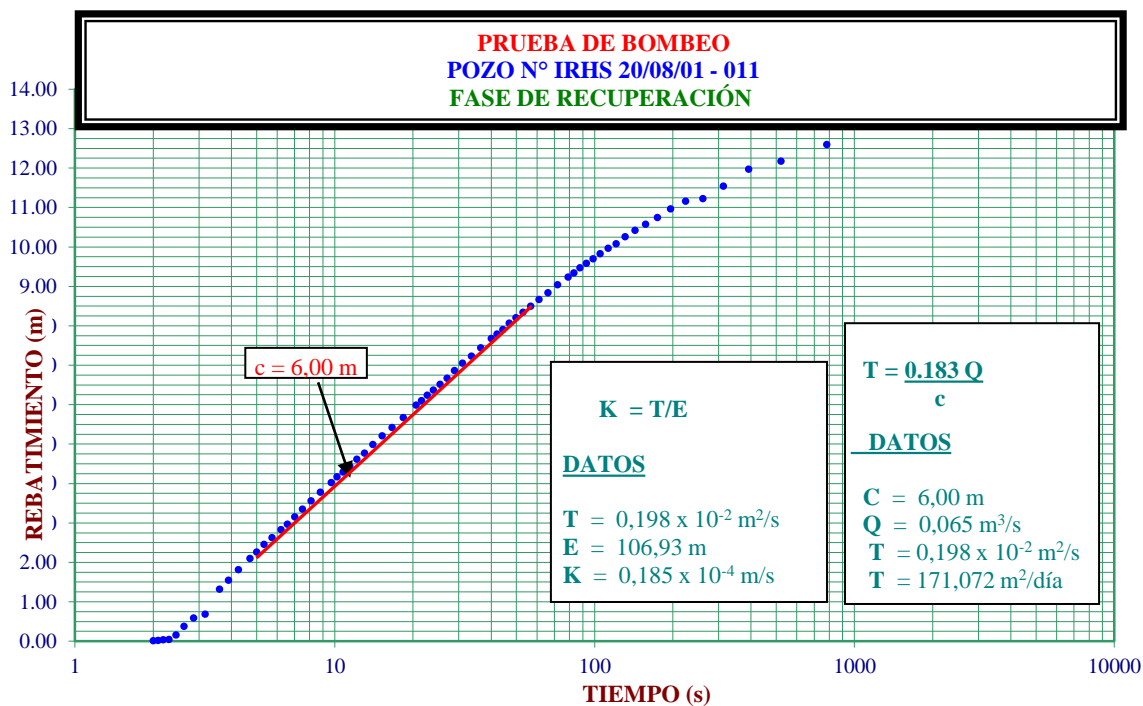
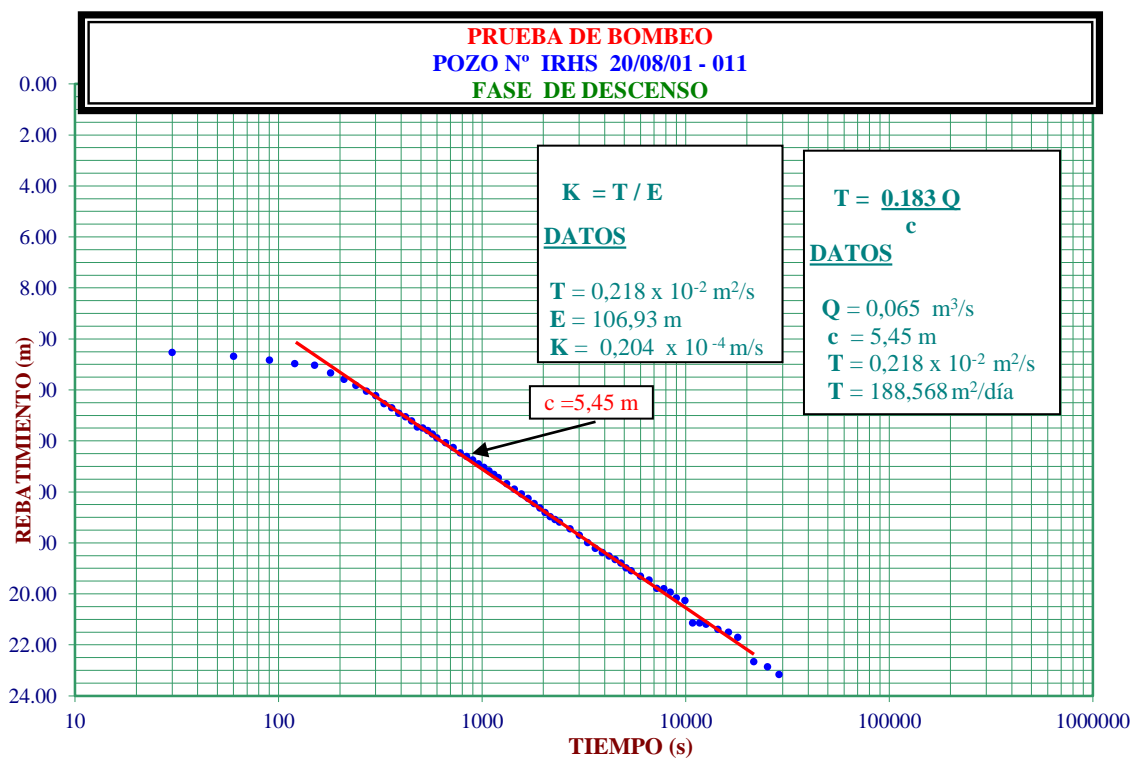
Nº IRHS 20/8/1-	Nombre actual del pozo	Nombre antiguo	T (m ² /d)	K (m/d)	S	Fecha	Fuente
02	Gobierno Regional de Piura	Illescas 6A	460,8	-	-	1 977	M. Pesquería
02	Gobierno Regional de Piura	Illescas 6A	146,9	-	-	1 988	Hidrotécnica
03	Gobierno Regional de Piura	Bayóvar 1.3	222,2	1,1	-	1 978	M. Pesquería
04	Gobierno Regional de Piura	Illescas1	397,0	3,8	-	1 978	M. Pesquería
05	Gobierno Regional de Piura	Illescas 7A	457,9	-	0,014	1 988	Hidrotécnica
06	Gobierno Regional de Piura	Illescas 8	950,4	-	-	1 978	HOB-CISA
08	Gobierno Regional de Piura	Illescas 2	387,0	6,5	0,009	1 971	M. Pesquería
10	Gobierno Regional de Piura	Illescas 10	58,5	-	0,01	1 977	M. Pesquería

Fuente: Elaboración propia, en base a información de estudios anteriores

Según la información recopilada sobre los parámetros hidráulicos del acuífero del sector Illescas, que se presentan en cuadro anteriormente mencionado, se tiene que T varía entre 58,5 a 950,4 m²/d; K, entre 1,1 y 6,5 m/d; y S, de 0,9 a 1,4%.

En el 2 004, el INRENA efectuó una prueba de bombeo (descenso - recuperación) en el pozo 20/08/01-11, ubicado al Norte de la zona de estudio (ciudad de Sechura), determinando que la transmisividad del acuífero (T) variaba entre $2,18 \times 10^{-3}$ m²/s (188,35 m²/d) y $1,98 \times 10^{-3}$ m²/s (171,07 m²/d); igualmente, la conductividad hidráulica (K), variaba entre $2,04 \times 10^{-5}$ m/s (1,76 m/d) y $1,85 \times 10^{-5}$ m/s (1,6 m/d); y, el coeficiente de almacenamiento (S), $1,2 \times 10^{-2}$ (estimado). La interpretación gráfica de esta prueba de bombeo, se presenta en las figuras 3.3.8-9 y 3.3.8-10.

Figuras 3.3.8-9 y 3.3.8-10. Interpretación de prueba de bombeo. pozo IRHS-11



Fuente: ANA, 2 011

En los estudios geotécnicos realizados para el Proyecto de Explotación de Fosfatos de la Compañía Minera Miski Mayo S.R.L. (Vector, 2 007), se estableció que los sedimentos del Terciario y del Cuaternario en la zona minera (VALE) tienen de baja a moderada permeabilidad, cuya media geométrica es 8.6×10^{-7} m/s para los depósitos cuaternarios poco profundos, y disminuye con la edad de los sedimentos a un promedio de 2.5×10^{-8} m/s para el miembro inferior de la formación Zapallal Bajo. Se realizaron pruebas de obturación en perforaciones de investigación geotécnica (Packer Test); pruebas de laboratorio en muestras de las perforaciones de investigación geotécnica; y, pruebas de bombeo en dos pozos y pruebas de adición o extracción de agua (Slug Test) en 10 piezómetros; entre otras. Con dichos resultados, se considera que la permeabilidad horizontal (conductividad hidráulica) presenta los siguientes valores medios:

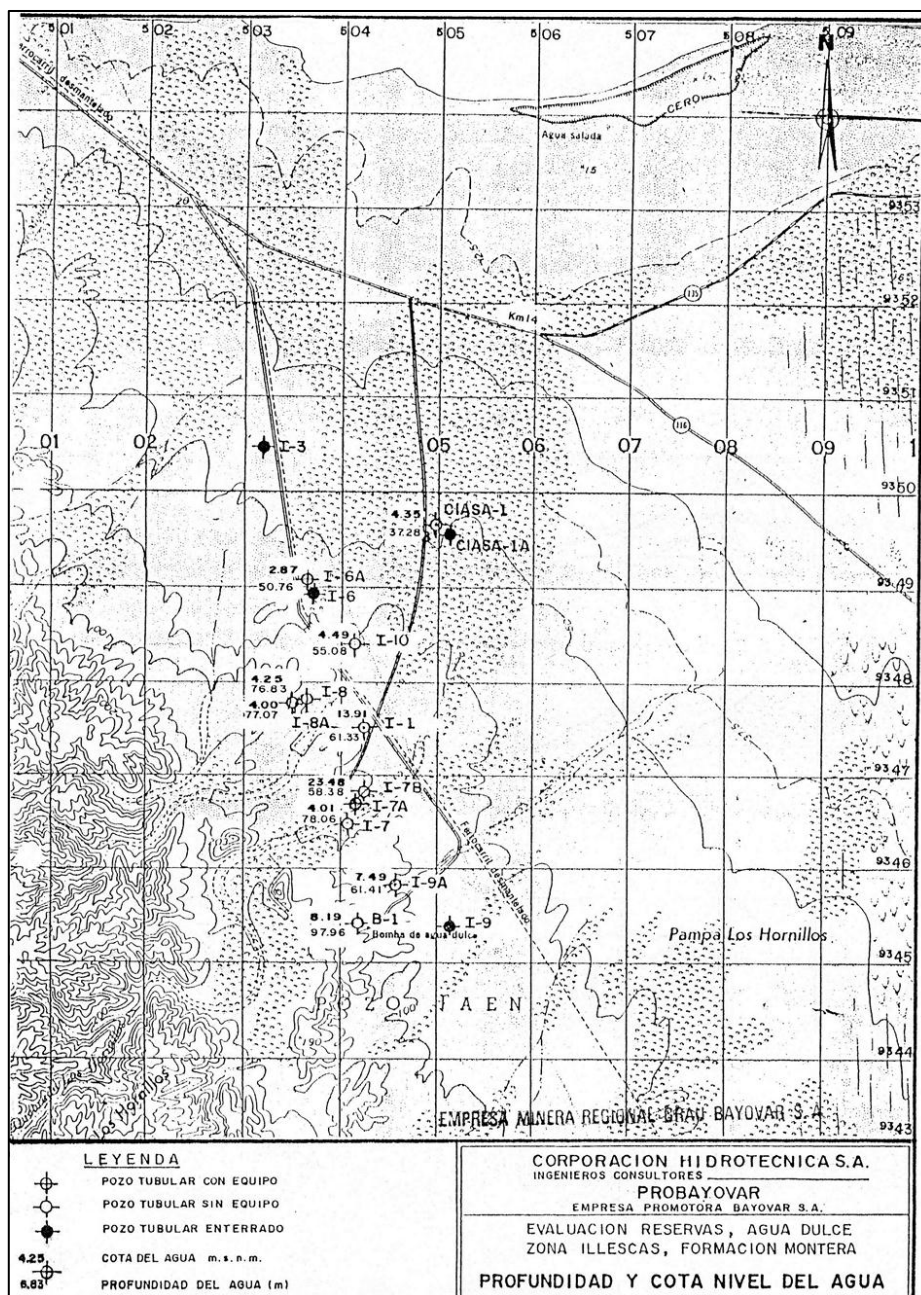
- Formación Zapallal Alto (ZPS): 0,04 m/día ($4,6 \times 10^{-7}$ m/s);
- Formación Zapallal Bajo (ZIT): 0,005 m/día ($5,8 \times 10^{-8}$ m/s);
- Formación Zapallal Bajo (ZIM): 0,005 m/día ($5,8 \times 10^{-8}$ m/s);
- Formación Zapallal Bajo (ZIB): 0,005 m/día ($5,8 \times 10^{-8}$ m/s);
- Formación Montera: 72 m/día ($8,3 \times 10^{-4}$ m/s).

3.3.8.5.5 Evaluación de la napa subterránea

Según los estudios realizados con anterioridad, la morfología de la napa, en la zona de Illescas, es relativamente uniforme.

En 1 988, la profundidad de la napa freática, en el sector de Illescas, fluctuaba entre 37,28 m (pozo Illescas-2 o CIASA-1) y 97,96 m (Pozo Bayóvar-1), tal como puede apreciarse en la figura 3.2.8-11. La posición de la napa freática, fluctuaba entre 3.87 y 8.19 msnm (Hidrotécnica, 1 988).

Figura 3.3.8-11. Evaluación de la napa freática - acuífero de Illescas



Fuente: Corporación Hidrotécnica, 1 988

En el 2004, la profundidad de la napa freática, fluctuaba entre 52,84 y 96,6 m y en el 2011, entre 48,55 y 97,2 m (ANA, 2 011). Actualmente (2012), varía de 37,05 a 97,27 m.

Según ANA (2011), en el distrito de Sechura (cerca al litoral), el sentido del flujo subterráneo es de NO – SE; con gradiente hidráulica promedio de 0,16%; y, con niveles freáticos que fluctúan entre 5,3 y 9,82 m.s.n.m., en el 2004 (cuadro 3.3.8-21) y entre 4 y 9 m.s.n.m., en el 2 011. De las mediciones efectuadas en el presente estudio (2012), los niveles de la napa en la zona de campo de pozos de Illescas varían entre 4,75 y 9,15 msnm

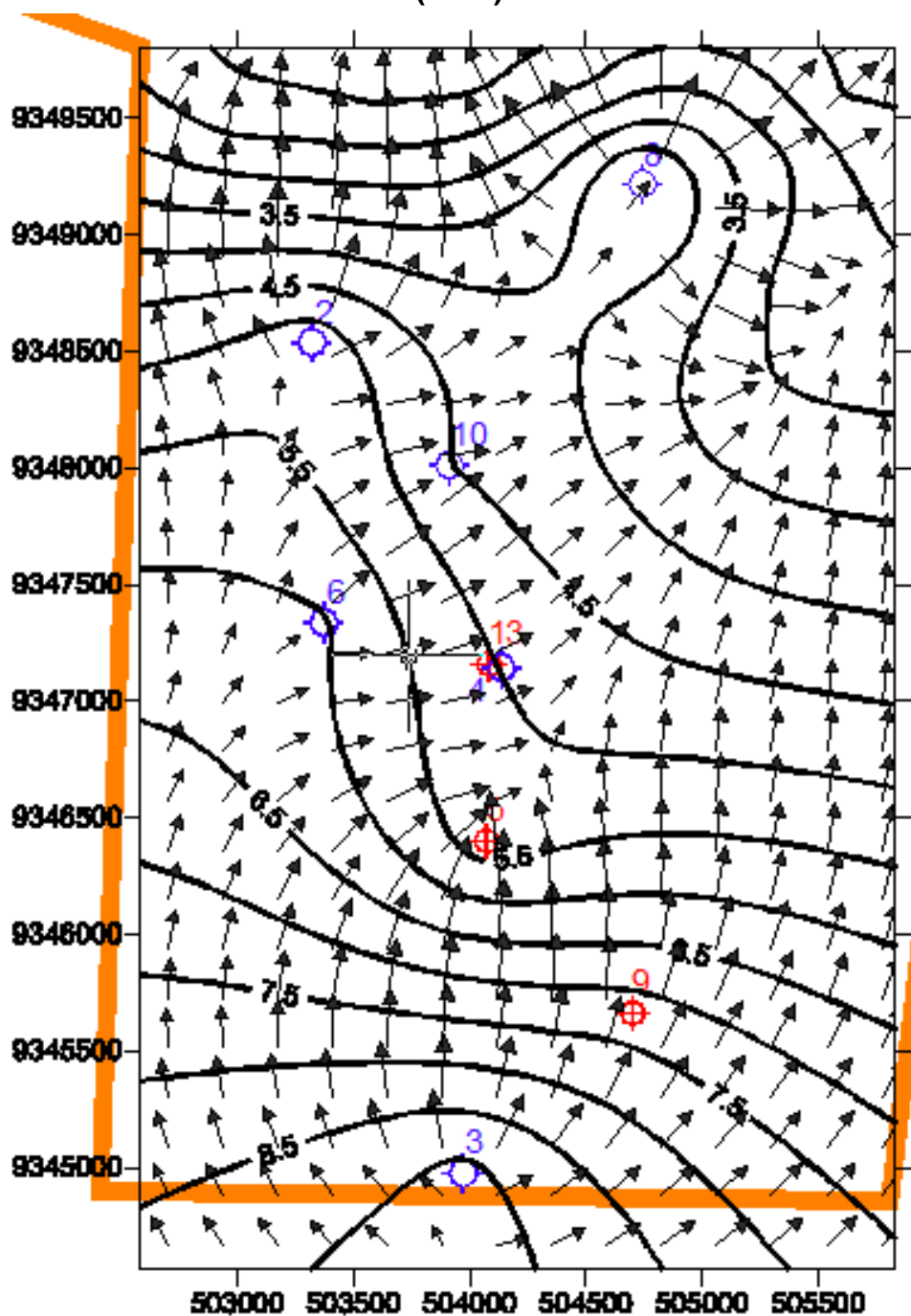
Cuadro 3.3.8-21: Evaluación de la napa freática (2 004)

Nº IRHS 20/8/1-	Nombre del pozo	Nombre antiguo del pozo	Cota terreno (msnm)	Nivel estático (m)	Cota nivel estático (msnm)
02	Gobierno Regional de Piura	Illescas 6A	54,01	48,61	5,40
03	Gobierno Regional de Piura	Bayóvar 1.3	106,42	96,60	9,82
05	Gobierno Regional de Piura	Illescas 7A	82,79	76,80	5,99
06	Gobierno Regional de Piura	Illescas 8	81,55	75,50	6,05
09	Gobierno Regional de Piura	Illescas 9A	69,4	61,50	7,90
10	Gobierno Regional de Piura	Illescas 10	58,14	52,84	5,30

Fuente: ANA, 2 011

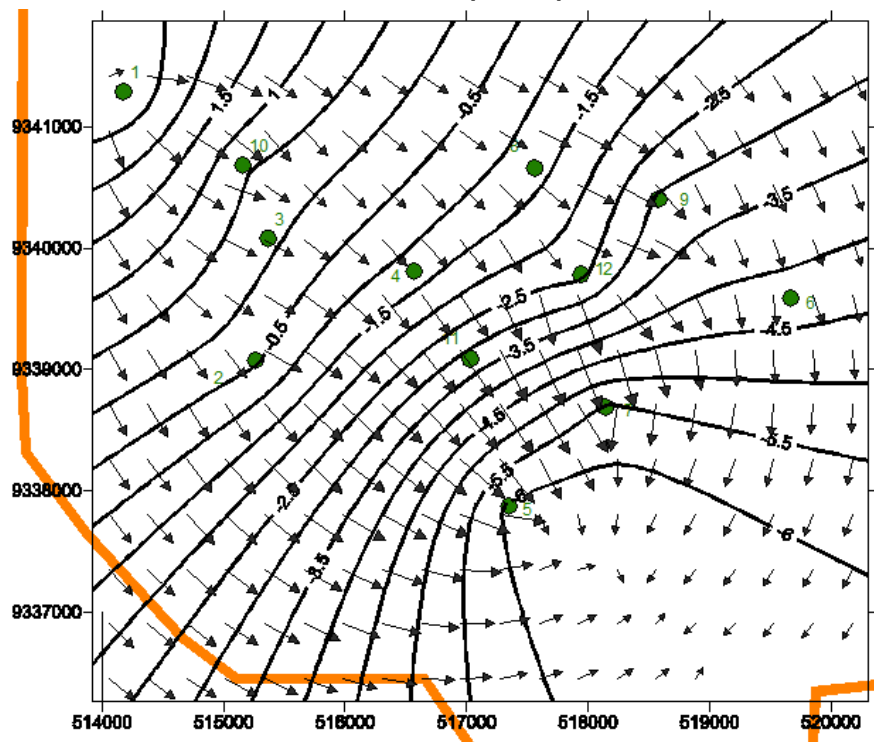
En la figura 3.3.8-12 se muestra la superficie freática en el área del campo de pozos de Illescas (mapa de curvas hidrohisohipsas). Esta figura indica que la dirección del flujo subterráneo, es en sentido sur-suroeste a norte-noreste, lo cual indica que la corriente de aguas subterráneas se dirige hacia el océano.

Figura 3.3.8-12. Superficie freática – zona de campo de pozos de Illescas (2012)



Fuente: Gobierno Regional de Piura

Figura 3.3.8-13. Superficie freática – zona yacimiento de fosfatos de FOSPAC (2 012)



Gobierno Regional de Piura

En la figura 3.3.8-13 se muestra la superficie freática en el área de mina del Proyecto Fosfatos. Esta figura indica que las aguas subterráneas fluyen en sentido noreste-sureste, observándose que el flujo subterráneo se deriva principalmente de la recarga a lo largo de los flancos del Macizo de Illescas al oeste y descarga en la zona del yacimiento de fosfatos al este, desde donde, de alguna manera, es consumida por la evaporación superficial.

En cuanto a la fluctuación de la napa freática, de acuerdo con la información recopilada de los archivos de la Autoridad Nacional del Agua, en el sector Illescas, los niveles freáticos aumentaron de 0,26 a 0,56 m, de setiembre del 2 004 a octubre del 2006; y descendieron, en promedio 0,91 m, para el periodo octubre del 2006 a octubre del 2 011.

3.3.8.5.6 Hidrogeoquímica

Según la información de análisis químicos de agua subterránea existente (compilada en el cuadro 3.3.8-22, en el sector Illescas, el pH varía entre 6.8 y 7.8 (media de 7.0, tratándose de aguas ligeramente ácidas a ligeramente alcalinas); la conductividad eléctrica fluctúa entre 1,41 y 3,65 dS/m (media de 2,36 dS/m, valores que representan aguas de baja a ligeramente alta mineralización, de permisible a dudosa calidad). En la zona predomina la familia hidrogeoquímica clorurada sódica (con gran predominio de los cloruros sobre los demás aniones y del sodio, sobre los demás cationes). En cuanto al ion boro, sólo existe valores menores a 1 ppm.

En la figura 3.3.8-14, referencialmente se presenta el diagrama de análisis de agua (tipo Schoeller) de los análisis tomados a los pozos Illescas 8A, 9A y 10; CIASA-1 y Bayóvar-1 (Corporación Hidrotécnica, 1988).

En setiembre del 2004, el INRENA, realizó el monitoreo hidrogeoquímico en 5 pozos del sector Illescas (IRHS 20/08/01-02, 03, 05, 09 y 10); cuyos resultados del análisis químico se presentan en el cuadro 3.2.8-23. La temperatura del agua subterránea varía de 24,3 a 24,4°C; la conductividad eléctrica, de 1,79 a 2,4 dS/m; el pH, de 8,4 a 8,97; y, las sales totales disueltas, de 890 a 1200 ppm.

En la presente investigación hidrogeológica se tomaron muestras de agua en los pozos IRHS 20/08/01-9 (Illescas 9A) e IRHS 20/08/01-13 (Illescas 1A), en noviembre del 2011 y en abril del 2012), cuyos resultados del análisis químico se presentan en el cuadro 3.3.8-24. La temperatura del agua subterránea varía de 24,3 a 30,2°C; la conductividad eléctrica, de 2,05 a 2,4 dS/m; el pH, de 7,1 a 7,47; los cloruros, de 10,26 a 12,68 me/l; y, los sulfatos de 3,61 a 4,49 me/l.

Cuadro 3.3.8-22. Análisis químicos de agua subterránea - estudios anteriores

Pozo	Ejecutado	pH	CE (dS/m)	Ca ⁺⁺	Mg ⁺⁺	K ⁺	Na ⁺	SO ₄ ⁼	Cl ⁻	HCO ₃ ⁻	B (ppm)
				(me/l)				(me/l)			
Illescas 1	Minero Perú, 1 977	7,8	2,81	1,9	1,48	0,21	13,04	3,81	12,06	4,51	
Illescas 1	Vermar S.A., 1 988	6,9	3,26	9,05	1,56	0,51	13,0	3,4	30,51	2,0	
Illescas 1	Hidrotécnica, 1 988	6,9	3,49	18,1	3,1	0,5	13,0	3,4	30,5	2,0	0,7
Illescas 2	Vermar S.A., 1 988	7,3	2,71	0,5	0,53	0,82	24,3	2,29	21,3	4,0	
Illescas 2	Hidrotécnica, 1 988	7,3	2,74	1,0	1,1	0,81	24,3	2,3	21,3	4,0	0,7
Illescas 6A	Minero Perú, 1 977	7,0	1,71	1,4	0,91	0,41	11,43	2,9	10,08	3,9	
Illescas 6A	Hidrotécnica, 1 988	7,0	1,71	2,8	1,8	0,4	11,45	2,9	10,1	3,9	0,3
Illescas 6A	Golder, 2 006	7,8	2,03	1,18	0,62	0,14	12,3	5,54	11,24	2,56	
Illescas 7A	Hidrotécnica, 1 988	7,0	1,83	2,9	1,7	0,35	13,0	3,7	11,6	3,2	0,4
Illescas 7B	Hidrotécnica, 1 988	7,0	1,54	2,8	1,4	0,5	9,75	1,4	9,5	4,1	0,6
Illescas 8A	Vermar S.A., 1 988	6,8	1,83	1,4	1,11	0,36	14,22	3,9	14,39	0,8	
Illescas 8A	Hidrotécnica, 1 988	6,8	1,76	2,8	2,2	0,36	14,2	3,9	14,4	0,8	0,2
Illescas 9A	Vermar S.A., 1 988	6,8	3,56	5,7	3,17	0,49	19,52	5,0	27,69	4,61	
Illescas 9A	Golder, 2 006	7,4	1,84	1,6	0,62	0,12	10,17	4,88	11,86	2,03	
Illescas 9A	Hidrotécnica, 1 988	6,8	3,65	11,4	6,3	0,48	19,5	5,0	27,7	4,6	0,8
Illescas 10	Hidrotécnica, 1 988	6,9	1,41	0,8	0,6	0,6	10,0	1,2	9,8	2,2	0,1
Bayóvar 1.3	Hidrotécnica, 1 988	7,0	2,62	3,5	3,1	0,45	18,0	2,9	19,2	3,2	1,0
PROMEDIO		7,09	2,38	4,05	1,84	0,44	14,78	3,44	17,25	3,08	0,53

Fuente: Elaboración propia en base a la información de estudios existentes

Cuadro 3.3.8-23. Hidrogeoquímica – acuífero de Illescas

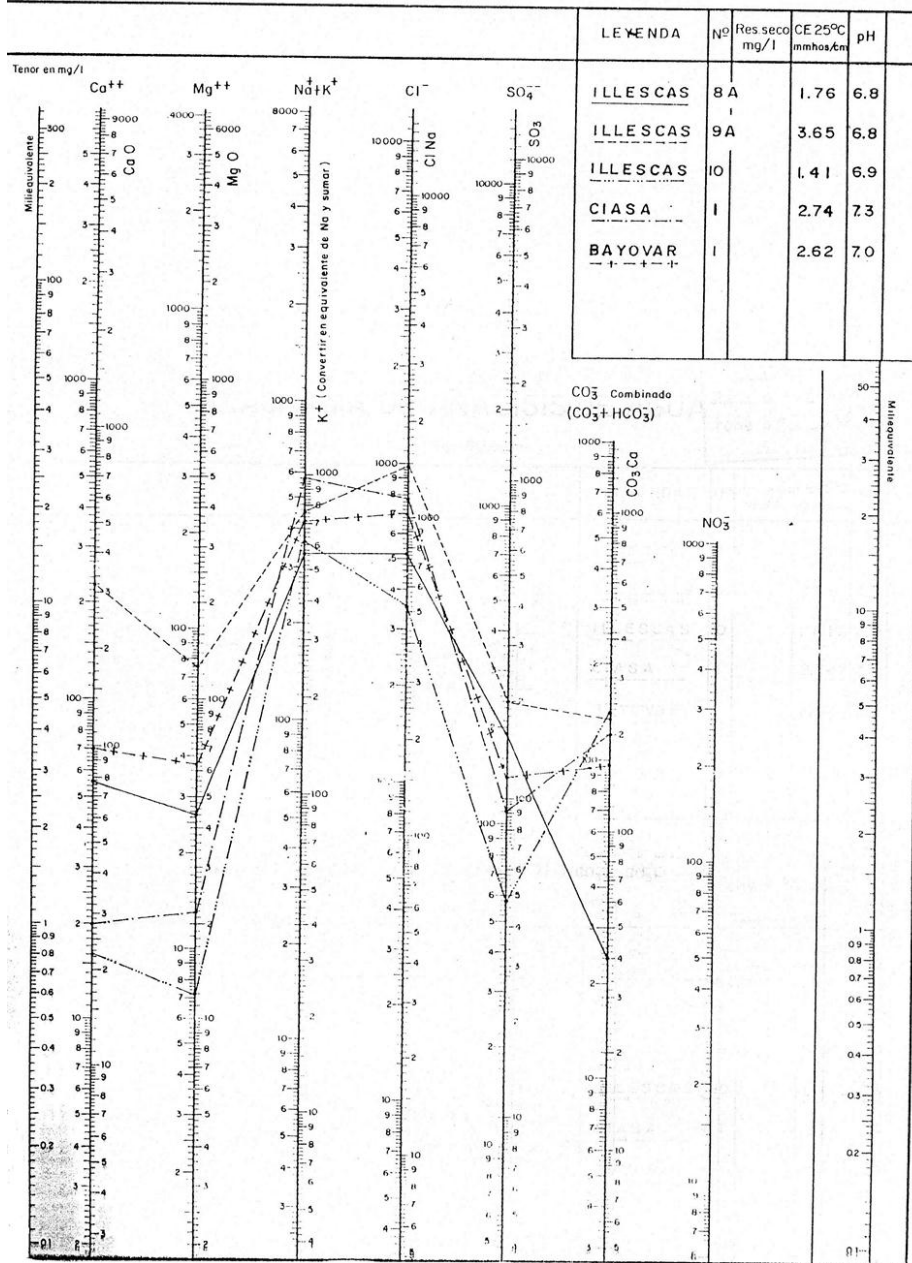
IRHS 20/8/1-	Nombre del pozo	Nombre antiguo	Fecha	T (°C)	CE (dS/m)	pH	STD (ppm)
02	Gobierno Regional de Piura	Illescas 6A	09/2004	24,4	1,82	8,97	910
03	Gobierno Regional de Piura	Bayóvar 1.3	09/2004	24,3	2,4	8,59	1200
05	Gobierno Regional de Piura	Illescas 7A	09/2004	24,3	1,79	8,46	900
09	Gobierno Regional de Piura	Illescas 9A	09/2004	24,3	1,79	8,4	890
10	Gobierno Regional de Piura	Illescas 10	09/2004	24,3	1,79	8,4	890

Fuente: ANA, 2 011

Figura 3.3.8-14. Diagrama de Schoeller. Pozos del acuífero de Illescas

DIAGRAMA DE ANALISIS DE AGUA

Tipo Schoeller



Fuente: Corporación Hidrotécnica, 1 988

Cuadro 3.3.8-24. Evaluación de calidad de agua subterránea (2011 – 2012)

IRHS 20/8/1-	Nombre del pozo	Nombre antiguo del pozo	Fecha	T (°C)	CE (dS/m)	pH	Cloruros (me/l)	Sulfatos (me/l)
009	Gobierno Regional de Piura	Illescas 9A	11/2011	24,3	2,09	7,18	10,52	3,61
009	Gobierno Regional de Piura	Illescas 9A	04/2012	30,2	2,4	7,1	12,68	4,49
013	Gobierno Regional de Piura	Illescas 1A	11/2011	24,3	2,05	7,47	12,64	4,05
013	Gobierno Regional de Piura	Illescas 1A	04/2012	30,1	2,09	7,1	10,26	3,95

Fuente: elaboración propia, en base a resultados de Inspectorate Services Perú S.A.C.

3.3.8.5.7 Recarga y descarga del acuífero

La fuente principal de recarga de los acuíferos del valle Bajo Piura, Montera y Zapallal, son las lluvias. Las lluvias de régimen anual descargan principalmente en las estribaciones andinas y se encargan de recargar al río Piura y al acuífero aluvial, el cual a su vez, recarga al acuífero Zapallal, en sus cabeceras.

Las lluvias que ocurren en los años húmedos, asociados al Fenómeno El Niño, en todo el tablazo, recargan regionalmente a los acuíferos del desierto de Sechura, incluyendo a las áreas de Ramón, Bayóvar e Illescas. La recarga del acuífero del sector Illescas proviene de las lluvias estacionales que descargan directamente sobre el Macizo de Illescas, las cuales se intensifican durante los eventos del Fenómeno de El Niño.

Regionalmente, el agua ingresa al Terciario en los bordes orientales y occidentales, donde los estratos permeables se acercan a la superficie; la recarga de los depósitos terciarios proviene de los ríos Piura, Chira, Cascajal y Olmos; también pueden producirse recargas importantes a lo largo de la margen oriental de la fosa, durante épocas de grandes lluvias, particularmente en el área de Loma Grande y en la margen occidental, a lo largo de las montañas de Illescas (BCEOM, 1974).

Golder y Vector (2 011) desarrollaron el balance hidrológico para dos escenarios: periodos de lluvias “normal” (TR = 2 años) y de “Fenómeno El Niño” (Cuadro 3.3.8-25, asumiendo un rango de recarga subterránea de 5% a 10% de la precipitación total anual.

Cuadro 3.3.8-25. Balance hidrológico anual – Acuífero de Illescas

Componente	Periodo normal		Fenómeno “El Niño”	
	5%	10%	5%	10%
Lluvia anual (mm)	20	20	1 000	1 000
Recarga del acuífero (mm)	1	2	50	100
Recarga del acuífero (l/s/km ²)	0,03	0,06	1,58	3,17

Fuente: Golder, 2011

Estos valores de recarga, para un área de 173,4 km² se estiman en 5,2 a 10,4 l/s para los años “normales” y, para los años de ocurrencia de el “Fenómeno El Niño” la recarga aumenta hasta valores que podrían variar desde 274 a 548 l/s.

Se asumió el valor de recarga inicial en 1×10^{-4} m/día y el valor de evapotranspiración en 5×10^{-3} m/día con una profundidad evaporativa de 1 m.

La descarga del agua subterránea del área de estudio, procedente de todo el sistema acuífero ocurre a través de los pozos de extracción de Illescas y la evaporación de las zonas depresionadas. Los excedentes salen al Océano Pacífico, en función al flujo subterráneo.

La explotación de las aguas subterráneas en el distrito de Sechura, a través de los pozos tubulares (ANA, 2 011), alcanza los 2 320 688 m³/año (1 892 160, para uso doméstico y 428 528, para uso industrial).

Actualmente, se ha estimado una descarga de agua subterránea, a través de los 3 pozos operativos, de 330 472 m³/año.

3.3.8.5.8 Modelo conceptual del acuífero

Un modelo hidrogeológico conceptual constituye una primera aproximación en el entendimiento de las características y la dinámica del flujo subterráneo.

En base a la información obtenida en la presente evaluación hidrogeológica, se desarrollará un modelo conceptual del acuífero del área del Proyecto, que permitirá definir el entorno hidrogeológico y el balance hídrico, formando las bases para la modelación numérica y evaluaciones de caudal seguro a realizar en la siguiente etapa del Estudio.

El modelo hidrogeológico conceptual es una representación idealizada y simplificada del sistema real, describiendo en forma concisa y coherente los elementos hidrogeológicos del medio bajo estudio y la forma de interactuar entre ellos. El modelo se desarrollará en base al conocimiento detallado de las condiciones geológicas e hidrogeológicas de la zona de interés, al entendimiento de la forma en la cual interactúan los elementos hidrogeológicos así como de los procesos que influyen en el acuífero, y a una serie de hipótesis producidas utilizando datos regionales y locales.

El modelo conceptual permitirá su utilización para el desarrollo de hipótesis sobre los procesos hidrogeológicos que ocurren en el área; el uso de esta información para administrar los recursos de agua subterránea; entender el comportamiento de un sistema de flujo (cómo el agua ingresa, sale o se queda en el área de estudio); identificar y describir aspectos importantes del sistema hidrogeológico; sintetizar la información regional y local previamente colectada en un formato útil para evaluación; contar con una herramienta importante para la toma de decisiones; Identificar parámetros críticos que necesiten de más datos; y, tener la posibilidad de realizar un modelo matemático.

El balance hídrico establece que la diferencia entre las entradas y las salidas de agua en la zona del Proyecto, es igual a la variación de almacenamiento, es decir, debe existir un equilibrio entre las entradas, las salidas y las variaciones del sistema. Un balance siempre responde a una ecuación del tipo:

$$\text{Entradas} - \text{Salidas} = \text{Variación del almacenamiento} + \text{error}$$

3.3.8.6 Conclusiones

- Los sedimentos (tanto del terciario como del cuaternario) de la zona de estudio presentan una permeabilidad de baja a moderada.
- El agua subterránea en la zona de estudio, hidrogeoquímicamente es de tipo clorurada sódica. En zona de Illescas las aguas subterráneas tienen un contenido de sólidos disueltos de 900 a 1 200 mg/l.
- En la zona de estudio, la recarga superficial al acuífero es mínima o nula. Sin embargo, durante las épocas de ocurrencia del fenómeno de El Niño, se presentan fuertes precipitaciones que generan flujo superficial e inundación de las zonas más bajas, lo que trae como consecuencia una recarga importante.

3.3.8.7 Bibliografía

- AUTORIDAD NACIONAL DEL AGUA. 2 011. “Estudio de caracterización hidrogeológica del acuífero del valle Medio y Bajo Piura”. MINAG-ANA. Dirección de Conservación y Planeamiento de Recursos Hídricos. Autoridad Local de Agua Medio y Bajo Piura. Documento de Trabajo.
- Arce Geofísicos. 2006. Perfiles. SU BOLETÍN GEOFÍSICO. Lima-Perú.

- Arce J. 1971. Estudio Geofísico del Acuífero Zapallal, Zona Ramón-Virrilá, Desierto de Sechura.
- Asesores y Consultores Mineros S.A. – ACOMISA. 2009. Estudio de Impacto Ambiental. Proyecto Minero de Explotación de Mineral No Metálico. Concesión Minera No Metálica “Bayóvar N° 12”. JUAN PAULO QUAY S.A.C.
- ATA (Asesores Técnicos Asociados S.A.). 2002. “Plan de Gestión de la oferta de agua en las cuencas del ámbito del Proyecto Chira-Piura”. Volumen II. Tomo 2.3. “Aspectos hidrogeológicos”. Instituto Nacional de Desarrollo. Proyecto Especial Chira-Piura.
- BCEOM – Bustamante, Williams y Asoc. – EIC y Asoc. – SANIDRO - Vera y Moreno S.A. 1 974. Estudios para el acondicionamiento del territorio de la zona de Bayóvar. Informe de la Primera Fase-Setiembre/Noviembre de 1 974.
- Caldas, J, Palacios, O., Pecho, V. y Vela, C. 1 980. Geología de los cuadrángulos de: Bayóvar, Sechura, La Redonda, Punta La Negra, Lobos de Tierra, Las Salinas y Morrope. Instituto Geológico Minero y Metalúrgico. Bol32.
- Corporación Hidrotécnica S.A. Ingenieros Consultores. 1 988. Evaluación de las reservas de agua dulce de los acuíferos de la zona de Illescas, formación Montera. Empresa Promotora Bayóvar S. A. PROBAYÓVAR.
- EMPRESA NACIONAL ADARO DE INVESTIGACIONES MINERAS S. A. (España). 1 978. “Hidrogeología del Acuífero Illescas”. Proyecto integral de explotación minera y fabricación de ácido sulfúrico, ácido fosfórico y fertilizante en Bayóvar. Tomo VII. Infraestructura. Estudio de Factibilidad.
- Fosfatos del Pacífico S.A. 2010. Declaración de Impacto Ambiental del Proyecto Bayóvar 9.

- GEA-DES INGENIEROS S.A.C. Declaración de Impacto Ambiental (DIA). Proyecto de Exploración Minera “Bayóvar N° 7”. Categoría I. Resumen Ejecutivo. AMERICAS POTASH PERÚ S. A.
- GEMA (SERVICIOS GEOGRAFICOS Y MEDIO AMBIENTE S.A.C.). 2010. EIA del Proyecto de Perforación de diez (10) pozos exploratorios - Lote XXVII Cap. 3.0 - Línea base física. Faulkner Exploration Inc. S.A., Sucursal del Perú.
- Golder Associates Peru S.A. 2 011. Modificación del EIA del Proyecto de Fosfatos Bayóvar. Resumen Ejecutivo. Compañía Minera Miski Mayo S.R.L.
- Golder Associates Perú S.A. y Vector Perú S.A.C. 2 011. Modificación del EIA del Proyecto de Fosfatos Bayóvar. Capítulo 5. Resumen de Línea Base y condiciones actuales de componentes físicos. 5.7 Hidrogeología. Compañía Minera Miski Mayo S.R.L.
- Guevara, José; Orlieb, Luc y Machare, José. 1 991. Evolución geológica de la Depresión Salina Grande, Desierto de Sechura; Estudio Preliminar. VII Congreso Peruano de Geología.
- IMARPE. 2 007. Estudio de Línea Base del Ámbito Marino de la Bahía de Sechura.
- INADE. PROYECTO ESPECIAL CHIRA-PIURA. 2001. Diagnóstico de la gestión de la oferta del agua en las cuencas del Proyecto Chira-Piura.
- INDECI, Dirección Nacional de Proyectos Especiales. 2 001. Plan de usos del suelo y propuestas de medidas de mitigación de los efectos producidos por los fenómenos naturales – Ciudad de Sechura.
- INRENA. 2 004. Inventario de fuentes de agua subterránea en el Valle Medio y Bajo Piura.

- Minero Perú, 1977. Aspectos geológicos del acuífero Illescas y características de los pozos productivos del área.
- MWH Perú S.A. (MWH). 2010. “Parámetros hidrogeológicos en el Proyecto Sechura Bryne. Informe Final”. Americas Potash Perú S.A.
- ONERN. 1977. Inventario y evaluación de los recursos naturales de la zona del Complejo Bayóvar.
- Vector Perú S.A.C. 2007. Proyecto Bayóvar. Estudios geotécnicos, hidrológicos e hidrogeológicos. Volumen 9. Informe Hidrogeológico. Informe Final. Compañía Minera Miski Mayo S.R.L.
- Vermar S.A. 1988. Estudios complementarios de geología, geofísica y control piezométrico de la zona de Illescas.

3.3.9 Calidad de agua continental y sedimentos

En el área de influencia del proyecto se detectaron dos fuentes de agua continental: un cuerpo de agua superficial constituido por el Estuario de Virrila; y dos pozos de agua subterránea que son explotadas por SEDAPIURA.

La evaluación del agua superficial y agua subterránea se hizo en dos campañas correspondientes a Temporada Húmeda y Temporada Seca; considerando las variaciones climatológicas y estacionales que puedan influir en los resultados de las mediciones y en la caracterización de estos componentes en el área de estudio.

Los parámetros evaluados, normas de referencia y metodologías de medición son los mismos para ambas épocas por lo que se describen de manera general. Los resultados, interpretación y conclusiones se presentan para cada temporada.

En el ítem 3.3.8 Hidrogeología se presenta una evaluación del agua subterránea como acuífero.

3.3.9.1 Calidad de agua y sedimentos del estuario de Virrila

3.3.9.1.1 Objetivos

Determinar la calidad del agua y de los sedimentos en el estuario de Virrilá a fin de determinar sus características en condiciones sin proyecto.

3.3.9.1.2 Área de estudio

El área de estudio fue el estuario de Virrilá. El estuario de Virrilá está ubicado en el distrito y provincia de Sechura región Piura. En la desembocadura del estuario se encuentra la caleta pesquera de Parachique. Además existe un puente que

cruza el estuario en dirección a Bayóvar. El estuario durante la evaluación se encontró unido a la laguna de La Niña.

El estuario se formó en la antigua desembocadura del río Piura, que permitió la entrada del agua de mar y que recibe aportes ocasionales de agua dulce de un ramal del río Piura y de aguas subterráneas adquiriendo un carácter salobre. Su gradiente horizontal de salinidad y sus aguas poco profundas con sustrato fangoso favorecen el desarrollo de una diversidad de especies que se han adaptado a las características de este tipo de ambiente y permiten a su vez la presencia de otros grupos superiores como las aves acuáticas, tanto residentes como migratorias del hemisferio norte, las cuales tienen a Virrilá como un importante lugar de alimentación y de reposo. En Virrilá se han llegado a reportar más de 30 000 individuos entre especies residentes y migratorias, siendo por ello declarada por BirdLife International como un Área de Importancia para la conservación de Aves (IBA).

Durante los años en que se presentan los Eventos El Niño se forma en la depresión de Bayóvar, la laguna de La Niña. Esta laguna se forma por el desborde de las aguas de ríos como Motupe, La Leche, Piura, entre otros. Durante la evaluación la laguna de La Niña se encontraba unida al estuario.

3.3.9.1.3 Metodología

a. Estándares de referencia

Como norma de referencia principal se utiliza el Estándar Nacional de Calidad Ambiental (ECA) para Agua Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático- Ecosistemas Marino Costeros – Estuario establecido en el D.S. N° 002-2008-MINAM.

El uso de esta categoría se justifica porque está referida a cuerpos de agua superficiales cuyas características requieren ser conservadas por formar parte de ecosistemas frágiles o áreas naturales protegidas y/o sus zonas de amortiguamiento. Dentro de esta categoría se incluyen los Ecosistemas Marino Costeros que a su vez incluye a los Estuarios entendiéndose como estos a aquellas zonas donde el agua de mar ingresa al continente por cauces de ríos, hasta el límite superior del nivel de mareas; e incluye a marismas y manglares.

b. Parámetros de evaluación para calidad de agua

Se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Las actividades implicadas como posibles fuentes de contaminación del agua y los sedimentos por las actividades del Proyecto.
- Las características del Estuario de Virrilá.
- Los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua que establecen niveles de concentración de parámetros que no representan riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

En base a estos aspectos, se optó por evaluar todos los parámetros establecidos en el ECA para Agua, Categoría 4: Conservación del Ambiente Acuático- Ecosistemas Marino Costeros – Estuario.

c. Métodos de muestreo y análisis

Los parámetros para calidad de aguas son de dos tipos: los de medición *in situ* y los de medición en laboratorio.

Los parámetros medidos *in situ* fueron: temperatura, pH, conductividad eléctrica, oxígeno disuelto. Los métodos de análisis químicos empleados para el análisis *In Situ* se muestran en el cuadro 3.3.9-1. Para la medición de estos

parámetros se utilizó un equipo multiparámetro, el cual fue calibrado antes de iniciar el trabajo de campo y verificado antes de cada medición.

Para los análisis en laboratorio las muestras fueron tomadas con una botella Niskin. Los envases de las muestras recolectadas fueron rotulados y colocados en contenedores refrigerados para mantener la cadena de frío hasta su llegada al laboratorio de Inspectorate Services Perú SAC, el mismo que cuenta con acreditación de INDECOPI. Los métodos de análisis químicos empleados para el análisis en laboratorio se muestran en el Cuadro 3.3.9-2.

Cuadro 3.3.9-1. Métodos de análisis in situ

Parámetro evaluado	Método de Análisis
PH	EPA 150.1: pH Electrometric; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Temperatura	EPA 170.1: Temperature, Thermometric; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Oxígeno	EPA 360.1 Oxygen Dissolved, (Membrane electrode). "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1 Conductance, Specific Conductance; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"

Fuente: Inspectorate Services Perú SAC, 2012

Fuente: BISA, 2012

Cuadro 3.3.9-2. Métodos de análisis en laboratorio.

Parámetro evaluado	Método de Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EPA 405.1 Biochemical Oxygen Demand, 5 Days, 20oC; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B. 21st Ed. 2005. Approved by SM Committee 2006. Standard Total Coliform Fermentation Technique (Except item 1. Samples).

Parámetro evaluado	Método de Análisis
Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E, 21st Ed. 2005. Approved by SM Committee 2006. Fecal Coliform Procedure. 1. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).
Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 21st Ed. 2005. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Sólidos Totales Disueltos	EPA 160.1 :Residue, filterable, Gravimetric, Dried at 180°C; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Hidrocarburos totales de Petróleo	Method 8015D: Determinacion de Organicos Halogenados usando CG/FID
Nitrógeno Nitrato	EPA 352.1 Nitrate, Colorimetric, Brucine; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Nitrógeno Amónico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3-F, 21st Ed. 2005. Nitrogen (Ammonia). Phenate Method
Cromo Hexavalente	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500 Cr-B, 21st Ed. 2005. Approved by SM Committee 2009. Chromium; Colorimetric Method
Fosfatos	EPA 365.3 :Phosphorus, All Forms, Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP	EPA 200.8, Revision 5.4 1999 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry ICP MS
Cianuro Libre	D 7237-06 Standard Test Method for Aquatic Free Cyanide with Flow Injection Analysis (FIA) Utilizing Gas Diffusion Separation and Amperometric Detection1
Nitrógeno Total	EPA 351.3 Nitrogen, Kjeldahl, Total (Colorimetric; Titrimetric; Potentiometric); "Methods for Chemical Analysis of
Amónico	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH3-F, 21st Ed. 2005. Nitrogen (Ammonia). Phenate Method
Fenoles	EPA 420.1 Phenolics, Total recoverable, Spectrophotometric, Manual 4-AAP with distillation; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Sulfuro	EPA 376.2 Sulfide, Colorimetric, Methylene Blue; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"

Parámetro evaluado	Método de Análisis
Aceites y Grasas	D 7066-04 Standard Test Method for dimet/trimer of chlorotrifluoroethylene (S-316) Recoverable Oil and Grease and Nonpolar Material by Infrared Determination; ASTM 2004.
Clorofila	SM 10200-H "Chlorophyll". Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. APHA,AWWA,WEF 21 st Ed 2005.
PAHs	METHOD EPA 8270D :Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision 4, February 2006
Silicatos	Determination of Reactive Silicate; Standard Chemical Methods for Marine Enviromental Monitoring; Methods For Marine Pollution Studies No 50 UNEP 1988

Fuente: Inspectorate Services Perú SAC, 2012

Fuente: BISA, 2012

d. Estaciones de muestreo

Se establecieron tres estaciones de muestreo tomando en cuenta la extensión y características del cuerpo de agua. En el Cuadro siguiente se muestra sus coordenadas de ubicación. En el plano **830MA0001A-010-20-020**, Plano Estaciones de Monitoreo de Calidad de Agua y Sedimentos, se muestra su ubicación en el terreno.

Cuadro 3.3.9-3. Ubicación de las estaciones de muestreo en el estuario de Virrilá

Estación	Datum WGS 84 17M		Altitud (m.s.n.m.)	Descripción
	UTM Este	UTM Norte		
VI-01	9 361 537	514 775	0	Desembocadura del estuario de Virrilá, en Parachique
VI-02	9 354 500	516 582	1	Ubicada cerca al puente Virrilá, en la parte media del estuario.
VI-03	9 351 088	529 045	1	Ubicada en la unión del estuario con la Laguna La Niña

Fuente: BISA, 2012

e. Calidad de sedimentos

En los sedimentos se depositan sustancias que son producidas por procesos naturales y por otras que tienen origen antropogénico como son los metales pesados. La fijación de los metales u otras sustancias en los sedimentos va depender del tamaño de las partículas del que están formados los suelos, así a menor tamaño de las partículas se tiene una mayor capacidad de absorción. La fijación de los metales también depende de su afinidad a ciertas sustancias como óxidos o materia orgánica. Los metales que tienen una fuerte afinidad por los sedimentos más finos son depositados en ambientes hidrodinámicamente más estables y se acumulan en ellos.

El análisis de sedimentos consiste en el estudio de granulometría, materia orgánica y metales pesados.

Cuadro 3.3.9-4. Escala granulométrica de Udden-Wentworth (1922).

mm	phi	Elemento		Sedimento		Roca sedimentaria	
256	-8	Bloque		Grava	gruesa	Rudita: Conglomerado Brecha	
128	-7	Canto			media		
64	-6	Guijarro			media		
322	-5	Guijarro		Gravilla	media	Arenisca	
16	-4	Guijarro			media		
8	-3	Guijarro		Gravilla	media	Arenisca	
4	-2	Guijarro			media		
2	-1	Gránulo		Gravilla	media	Arenisca	
1	0	Gránulo			media		
0.5	1	Arena	muy gruesa	Arena	muy gruesa	Arenisca	
0.25	2		gruesa		gruesa		
0.125	3		media		media		
0.062	4		media		media		
0.031	5		media		media		
0.016	6	Limo	grueso	Limo	grueso	Lutita	Limonita
0.008	7		medio		medio		
0.004	8		fino		fino		
0.002	9		muy fino		muy fino		
0.001	10	Arcilla		Arcilla		Arcillita	

Fuente: BISA, 2012

El estudio granulométrico consiste en el análisis de la textura de los suelos, es decir el tamaño de las partículas. Las partículas de más gruesa a más finas son: arena, limo y arcilla. La proporción de este tipo de partículas determina el tipo de suelo.

De acuerdo a la escala granulométrica el tamaño de los granos (partículas) en sedimentos y rocas sedimentarias varía desde micras hasta metros, y la escala natural capaz de contemplar con el mismo detalle tamaños grandes y pequeños es de tipo geométrica o logarítmica. La escala más utilizada en geología es la de Udden-Wentworth (1922) que se muestra en el cuadro 3.3.9-4.

El Perú carece de una normativa de calidad de sedimentos acuáticos, siendo necesaria la utilización de estándares internacionales como los de Canadian Environmental Quality Guidelines (EQGs), 2002. La Guía de Calidad Ambiental Canadiense considera dos conceptos:

- ISQG (Interim Sediment Quality guidelines) es el valor debajo del cual no se esperan efectos biológicos adversos.
- PEL (Probable Effect Level), se refiere a los niveles de efectos probables, que corresponden a las concentraciones sobre las cuales los bioensayos muestran efectos biológicos adversos.

Cuadro 3.3.9-5. Estándares considerados para la comparación de sedimentos

Parámetro	ISQG	PEL
	mg*kg-1	mg*kg-1
Arsénico	7,24	41,6
Cadmio	0,7	4,2
Cromo	52,3	60
Cobre	18,7	108
Plomo	30,2	112

Parámetro	ISQG	PEL
	mg*kg-1	mg*kg-1
Mercurio	0,13	0,7
Zinc	124	271

Fuente: Canadian Sediment Quality Guidelines for the Protection of Aquatic Life

Las muestras de sedimentos fueron tomadas con una draga Van Veen, depositadas en recipientes adecuados, rotulados y mantenidas en cadena de frío hasta su análisis en el laboratorio de Inspectorate Services SAC.

Para graficar la clase textural se usó el Diagrama de Shepard que es un diagrama ternario. El diagrama consiste en un triángulo equilátero donde cada lado corresponde a un tipo de partícula (arena, limo y arcilla). Cada uno de los lados se encuentra graduado de 0 a 100 y sobre la retícula se transporta la cantidad de elemento que representa. El triángulo está dividido en casillas y cada uno representa una clase textural caracterizado por las proporciones de los elementos dominantes.

3.3.9.1.4 Resultados

Los reportes de los análisis de laboratorio de agua y sedimentos se consignan en los informes de ensayo, los cuales, así como las fichas SIAM son presentados en el **Anexo 3-4** y **Anexo 3-7** respectivamente.

a) Resultados de monitoreo de agua en Virrilá

En los siguientes cuadros se consigna el resumen de los resultados obtenidos en las tres (3) estaciones de muestreo tanto durante la temporada húmeda (Abril) como durante la temporada seca (Julio). Los parámetros relevantes se visualizan en relación con los valores de comparación en los gráficos subsecuentes.

**Cuadro 3.3.9-6. Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua
Temporada húmeda (Abril)**

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	Categoría 4 Estuarios	VI-01	VI-02	VI-03
Fecha	(dd/mm/aa)			30/04/2012	30/04/2012	30/04/2012
hora	(24h)			17:00	09:00	14:10
Temp	(°C)		**	27,7	24,2	26,4
pH	(unidad)		6,8 - 8,5	7,4	7,2	7,1
Conductividad Especifica	(µs/cm)		**	7647	1786	2916
Oxígeno Disuelto	(mg/L)	2,0	≥ 4	6,1	5,4	8,7
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2	15	2,7	2,5	4,3
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	5	≤25-100	452,000	<5,0	91,5
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	10,000	500	2362,000	916,000	1562,000
Fosfato	mg/L PO ₄ ⁻³	0,008	0,5	0,950	0,252	1,288
Silicatos	mg/L Na ₂ SiF ₆	0,0188	0,14-0,17	53,9282	56,9894	57,8459
Nitrógeno-Total	mg/L	0,1		4	2,48	0,76
Nitrogeno Nitrato	mg/L N-NO ₃	0,06	10	<0,06	<0,06	<0,06
Amoniaco	mg/L NH ₃ ⁻	0,01	**	0,85	0,31	0,26
Nitrogeno Amoniacal	mg/L NH ₃ ⁺	0,01	0,05	0,7	0,25	0,21
Sulfuro	mg/L	0,002	0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fenoles	mg/L	0,001	0,001	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Cianuro Libre	mg/L	0,002	0,022	<0,002	<0,002	<0,002
Cromo Hexavalente	mg/L Cr ^{VI}	0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02
Aceites y Grasas	mg/L	0,2	1	0,58	0,75	<0,20
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L C ₆ -C ₂₈	0,2	**	<0,20	<0,20	<0,20
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	µg/L	0,5	**	<0,50	<0,50	<0,50
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,8	2000	17x10 ⁻³	23	23
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,8	1000	17x10 ⁻³	7,8	13
Ag(tot)	mg/L	0,0002	**	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Al(tot)	mg/L	0,0019	**	15,3948	3,7637	2,9901
As(tot)	mg/L	0,0004	0,05	0,0369	0,0263	0,0318
B(tot)	mg/L	0,0012	**	0,2783	0,1156	0,1980
Ba(tot)	mg/L	0,0004	1	0,0887	0,0609	0,0730
Be(tot)	mg/L	0,0006	**	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Bi(tot)	mg/L	0,0003	**	<0,0003	<0,0003	<0,0003

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	Categoría 4 Estuarios	VI-01	VI-02	VI-03
Ca(tot)	mg/L	0,0303	**	111,9964	84,9515	145,6717
Cd(tot)	mg/L	0,0002	0,005	0,0008	0,0003	0,0002
Ce(tot)	mg/L	0,0003	**	0,0136	0,0029	0,0021
Co(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0065	0,0016	0,0015
Cr(tot)	mg/L	0,0005	**	0,0274	0,0070	0,0058
Cu(tot)	mg/L	0,0001	0,05	0,0347	0,0115	0,0083
Fe(tot)	mg/L	0,0031	**	21,3452	3,9818	3,2361
Hg(tot)	mg/L	0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
K(tot)	mg/L	0,0237	**	28,7858	8,8458	13,5826
Li(tot)	mg/L	0,0012	**	0,0195	0,0054	0,0057
Mg(tot)	mg/L	0,0356	**	94,0260	35,0441	50,1214
Mn(tot)	mg/L	0,0003	**	0,2634	0,0728	0,0610
Mo(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0062	0,0063	0,0076
Na(tot)	mg/L	0,0100	**	585,2554	157,3624	295,1681
Ni(tot)	mg/L	0,0004	0,002	0,0170	0,0063	0,0075
P(tot)	mg/L	0,0033	**	0,9557	0,2976	0,3470
Pb(tot)	mg/L	0,0002	0,0081	0,0094	0,0065	0,0017
Sb(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0008	0,0008	0,0006
Se(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0107	0,0041	0,0058
Si(tot)	mg/L	0,1000	**	15,6238	16,3227	37,9002
Sn(tot)	mg/L	0,0004	**	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Sr(tot)	mg/L	0,0020	**	1,0954	0,8049	1,4849
Th(tot)	mg/L	0,0010	**	0,0014	<0,0010	<0,0010
Ti(tot)	mg/L	0,0004	**	0,3750	0,0816	0,0685
Tl(tot)	mg/L	0,0003	**	<0,0003	<0,0003	<0,0003
U(tot)	mg/L	0,0003	**	0,0026	0,0017	0,0025
V(tot)	mg/L	0,0003	**	0,0983	0,0563	0,0583
Zn(tot)	mg/L	0,0002	0,03	0,0865	0,0313	0,0228

Fuente: Inspectorate services SAC

Elaboración: BISA 2012

Estándares de Calidad Ambiental para Agua (D.S. 002-2008-MINAM).

**Cuadro 3.3.9-7. Resultados del Monitoreo de Calidad de Agua
Temporada Seca (Julio)**

Descripción de Muestra	Unidad	Límite de Cuantificación	Categoría 4 Estuarios	VI-01	VI-02	VI-03
Fecha	(dd/mm/aa)			07/07/2012	07/07/2012	07/07/2012
hora	(24h)			15:50	14:15	11:50
Temp	(°C)	0,1	**	25,4	23	24,8
pH	(unidad)	0,1	6,8 - 8,5	7,2	8,9	8,7
Conductividad Especifica	($\mu\text{s}/\text{cm}$)	1	**	35405	3472	3995
Oxígeno Disuelto	(mg/L)	0,1	≥ 4	6,0	8,4	6,3
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2	15	2,8	<2,0	<2,0
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	5	$\leq 25-100$	114,000	90,000	170
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	10,000	500	17700,000	1774,000	2196,000
Fosfato	mg/L PO ₄ ⁻³	0,008	0,5	0,806	0,262	0,343
Silicatos	mg/L Na ₂ SiF ₆	0,0188	**	16,3261	27,1402	32,6986
Nitrógeno-Total	mg/L	0,10		0,78	1,64	0,53
Nitrogeno Nitrateo	mg/L N-NO ₃	0,06	10	<0,06	<0,06	<0,06
Amoniaco	mg/L NH ₃ ⁻	0,01	**	0,36	0,3	0,38
Nitrogeno Amoniacal	mg/L NH ₃ ⁺	0,01	0,05	0,29	0,25	0,31
Sulfuro	mg/L	0.002	0.002	<0,002	<0,002	<0,002
Fenoles	mg/L	0.001	0.001	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Cianuro Libre	mg/L	0,002	0,022	0,003	<0,002	<0,002
Cromo Hexavalente	mg/L Cr ^{VI}	0,02	0,05	<0,02	<0,02	<0,02
Aceites y Grasas	mg/L	0,2	1	<0,20	<0,20	<0,20
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L C ₆ -C ₂₈	0,2	**	<0,20	<0,20	<0,20
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	$\mu\text{g}/\text{L}$	5	**	<5,0	<5,0	<5,0
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,8	2000	17 x 10	17 x 10	23
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,8	1000	17 x 10	11 x 10	23
Ag(tot)	mg/L	0,0002	**	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Al(tot)	mg/L	0,0019	**	4,0756	4,0803	1,2647
As(tot)	mg/L	0,0004	0,05	0,0048	0,0088	0,0065
B(tot)	mg/L	0,0012	**	2,3671	0,2106	0,2216
Ba(tot)	mg/L	0,0006	1	0,0775	0,0927	0,0823
Be(tot)	mg/L	0,0006	**	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Bi(tot)	mg/L	0,0003	**	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Ca(tot)	mg/L	0,0303	**	267,6563	129,7025	145,8747

Descripción de Muestra	Unidad	Límite de Cuantificación	Categoría 4 Estuarios	VI-01	VI-02	VI-03
Cd(tot)	mg/L	0,0002	0,005	0,0003	0,0003	0,0003
Ce(tot)	mg/L	0,0003	**	0,0032	0,0025	0,0009
Co(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0022	0,0013	0,0007
Cr(tot)	mg/L	0,0005	**	0,0044	0,0046	0,0040
Cu(tot)	mg/L	0,0001	0,05	0,0115	0,0082	0,0077
Fe(tot)	mg/L	0,0031	**	3,6889	4,0933	1,2429
Hg(tot)	mg/L	0,0001	0,001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
K(tot)	mg/L	0,0237	**	181,8425	17,7251	18,1748
Li(tot)	mg/L	0,0012	**	0,0739	0,0048	0,0028
Mg(tot)	mg/L	0,0356	**	604,5637	69,5350	74,8112
Mn(tot)	mg/L	0,0003	**	0,0400	0,0699	0,0240
Mo(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0098	0,0071	0,0077
Na(tot)	mg/L	0,0100	**	5350,3761	460,3444	528,6287
Ni(tot)	mg/L	0,0004	0,002	0,0008	0,0006	0,0005
P(tot)	mg/L	0,0033	**	0,5330	0,2647	1,3669
Pb(tot)	mg/L	0,0002	0,0081	0,0127	0,0097	0,0294
Sb(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0005	0,0005	0,0005
Se(tot)	mg/L	0,0002	**	0,0165	0,0045	0,0021
Si(tot)	mg/L	0,1000	**	10,6828	13,7844	9,2900
Sn(tot)	mg/L	0,0004	**	0,0004	0,0004	<0,0004
Sr(tot)	mg/L	0,0020	**	4,7722	1,2654	1,3975
Th(tot)	mg/L	0,0010	**	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Ti(tot)	mg/L	0,0004	**	0,1101	0,1055	0,0313
Tl(tot)	mg/L	0,0003	**	<0,0003	<0,0003	<0,0003
U(tot)	mg/L	0,0003	**	0,0040	0,0022	0,0023
V(tot)	mg/L	0,0003	**	0,0043	0,0143	0,0044
Zn(tot)	mg/L	0,0002	0,03	0,0301	0,0429	0,0575

Fuente: Inspectorate services SAC

Elaboración: BISA 2012

Estándares de Calidad Ambiental para Agua (D.S. 002-2008-MINAM).

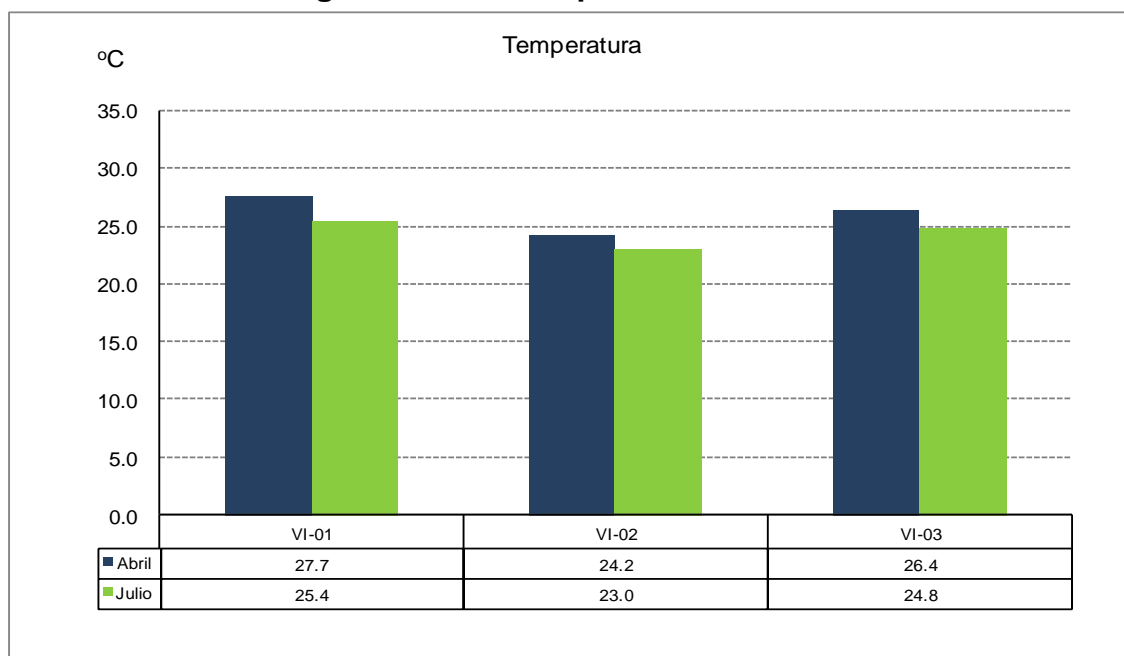
A. Interpretación de los resultados

Temperatura

La temperatura es un parámetro físico muy importante en cuyo rango de variación se define el funcionamiento de los procesos biológicos de los organismos en su ecosistema. No existen dudas de que cambios repentinos y bruscos en este parámetro causa una súbita variación y desaparición de la fauna acuática, ya que está además relacionado con las concentraciones de oxígeno en el agua.

En ambas temporadas, la máxima temperatura se registró en la estación VI-01, cerca a la desembocadura del estuario (27,7 °C) y la menor temperatura en la estación VI-02 (ubicada en la parte media del estuario cerca del puente Virrilá). Esto es congruente con las mayores temperaturas ambientales que se presentan en la zona en la temporada de verano (diciembre-abril).

Figura 3.3.9-1. Temperatura en Virrilá.



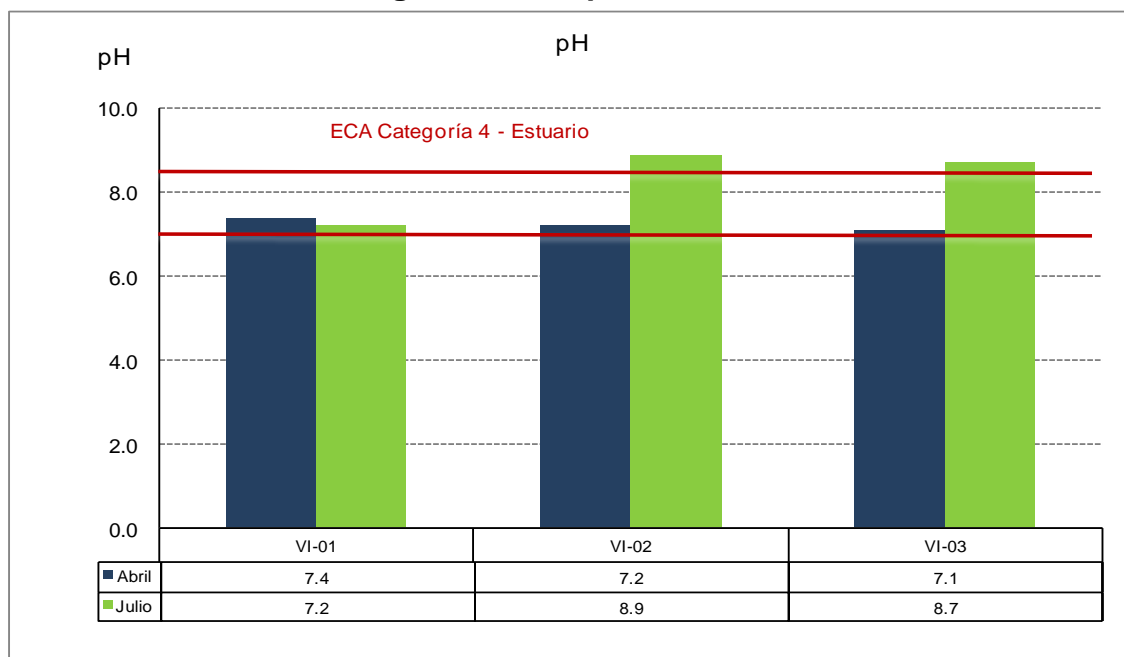
Fuente: BISA, 2012

Potencial de hidrogeno (pH)

Es una medida de la acidez o alcalinidad del agua y se manifiesta por la disponibilidad de iones de hidrógeno en el agua, lo cual está fuertemente relacionado con la concentración de CO₂ en el agua, presencia de carbonatos, bicarbonatos, y otros iones disueltos en el agua. Esto es una medida importante del estado trófico de los cuerpos de agua, ya que cambios bruscos de pH originados por contaminación orgánica, como la de los ácidos húmicos, llegan a afectar los procesos de respiración y fotosíntesis.

Como puede observarse en el gráfico, en temporada húmeda los valores de pH se registraron muy cercanos al nivel neutro y dentro de los valores del ECA para Agua Categoría 4 - Ecosistemas Marino Costeros - Estuarios. En la temporada seca, los valores registrados en la estación VI-02 y en la estación VI-03 superan ligeramente el valor máximo de 8,5 evidenciando características ligeramente alcalinas

Figura 3.3.9-2. pH en Virrilá.



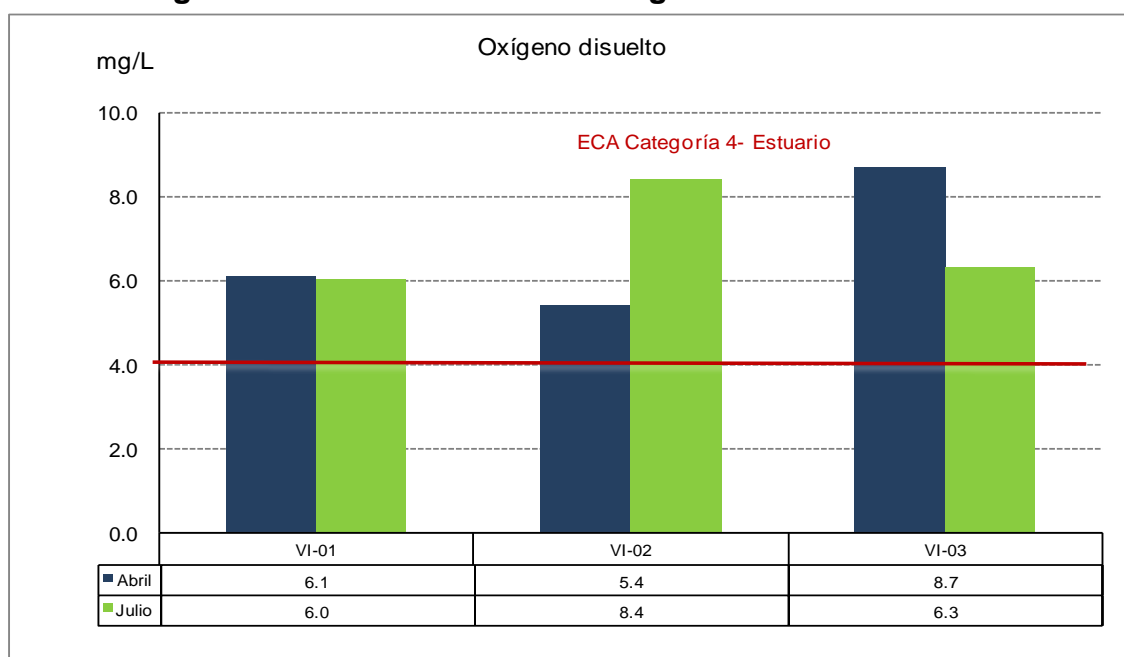
Fuente: BISA, 2012

Oxígeno disuelto

El oxígeno es un indicador importante por ser indispensable en los procesos de respiración de las comunidades acuáticas heterótrofas, siendo por ella limitante de la vida en el agua cuando se detectan bajas concentraciones. Además, de ser obtenido por difusión con el aire, es originado por la acción fotosintética de los organismos acuáticos.

Los valores de Oxígeno Disuelto cumplieron en todos los casos con los valores del ECA para Agua Categoría 4 – Ecosistemas Marino Costeros – Estuarios (≥ 4 mg/L).

Figura 3.3.9-3. Concentración oxígeno disuelto en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

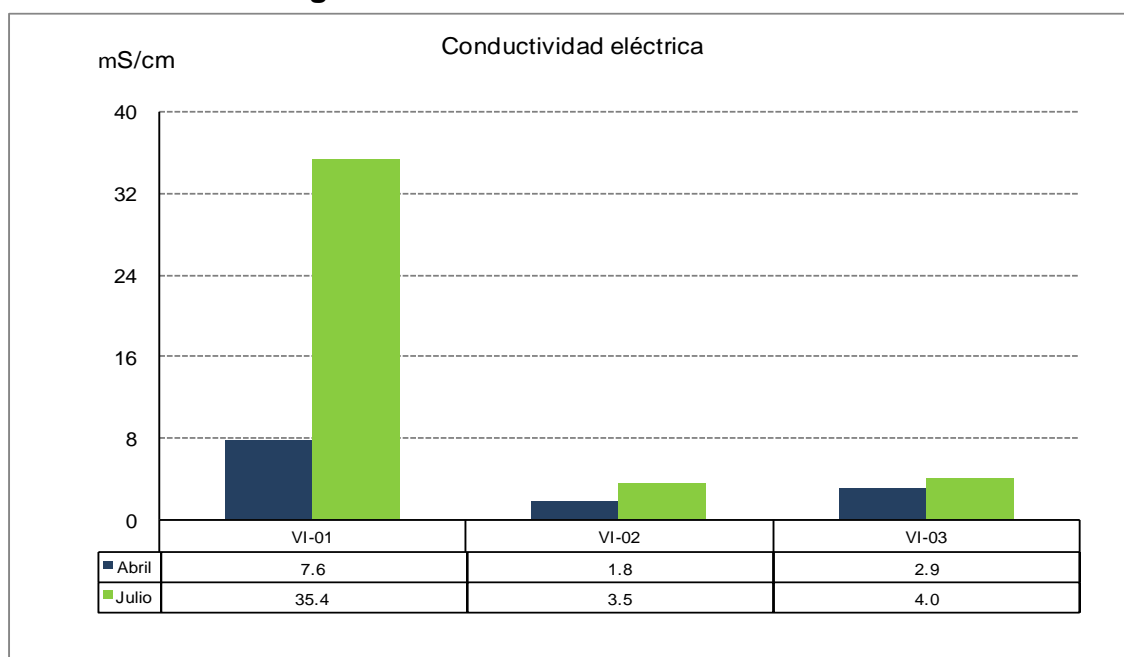
Conductividad eléctrica (CE)

La Conductividad Eléctrica mide los iones disueltos en el agua, que son generalmente sales inorgánicas formadas por compuestos biológicamente importantes (calcio, magnesio, sodio, potasio, carbonatos, cloruros y sulfatos). Pueden estar contenidas en la materia en suspensión.

Aunque el ECA para Agua no considera la conductividad eléctrica, se incluye este parámetro para correlacionar la salinidad del agua del estuario según su cercanía al área de contacto con el agua salada del mar.

El menor valor en temporada húmeda se registró en la estación VI-02, ubicada en la parte media del estuario (1.8 mS/cm), donde generalmente hay mayor profundidad, por ende mayor espejo de agua y las sales presentes en el agua están más diluidas. La estación VI-01(cerca de la desembocadura del estuario) tuvo la mayor conductividad eléctrica en ambas temporadas, congruente con un mayor contenido de salinidad en las aguas por la mezcla con el refluo del agua de mar.

Figura 3.3.9-4. Conductividad eléctrica



Fuente: BISA, 2012

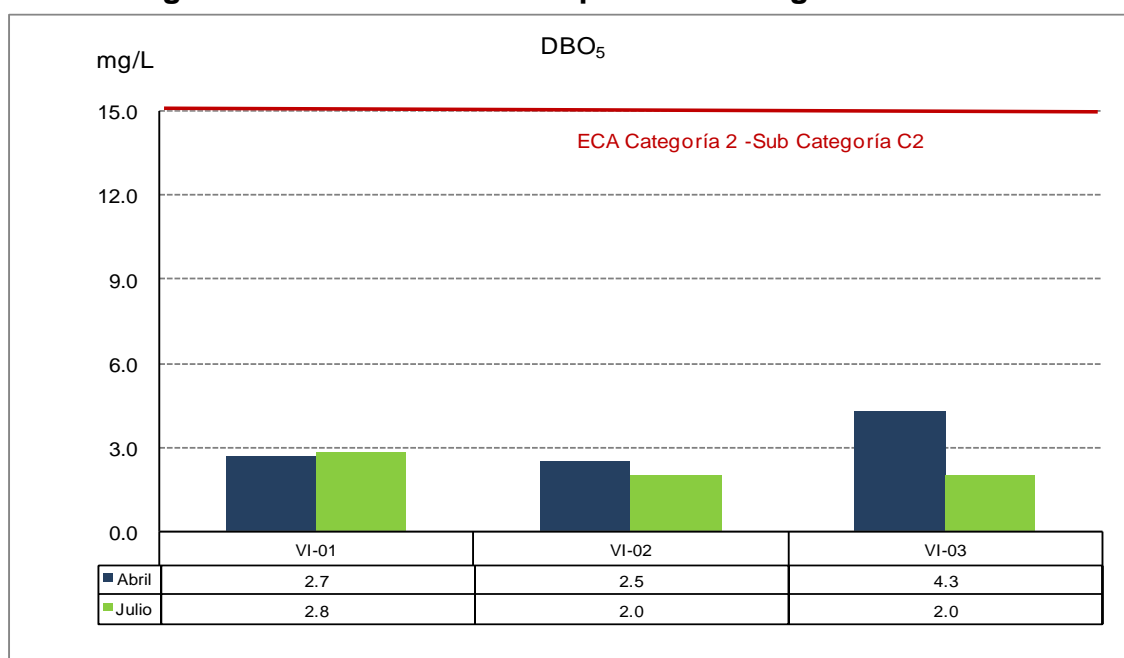
Demanda bioquímica de oxígeno

La demanda bioquímica de oxígeno (DBO) está referida a la cantidad de oxígeno que usan las bacterias aerobias para oxidar la materia orgánica y producir $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$. Una mayor demanda bioquímica de oxígeno está relacionada con la contaminación orgánica biodegradable. Los valores registrados se encuentran en

todos los casos dentro de los niveles aceptados por el ECA para Agua Categoría 4 - Ecosistemas Marino Costeros- Estuarios (15 mg/L).

En este caso, el mayor valor se presentó en la estación VI-03. Los valores de la demanda bioquímica de oxígeno indican que existe poca cantidad de materia orgánica que se esté degradando.

Figura 3.3.9-5. Demanda bioquímica de oxígeno en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

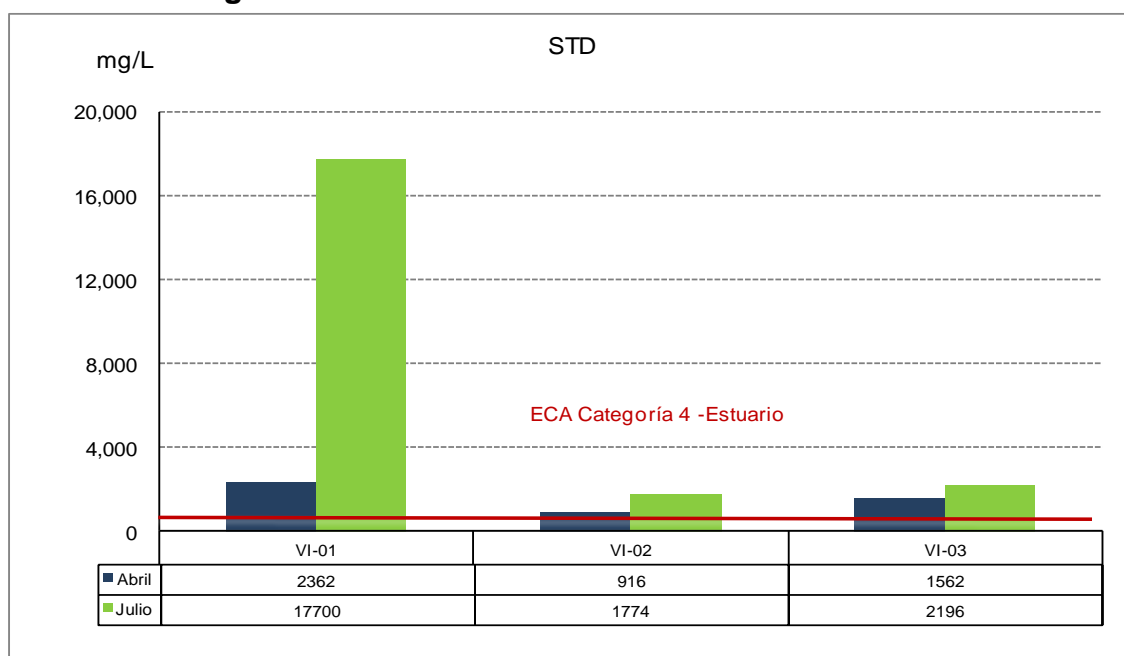
Sólidos totales disueltos (STD)

Este parámetro está referido al contenido combinado de todas las sustancias orgánicas e inorgánicas disueltas en el agua y sirve para estudiar la calidad de agua en ríos, arroyos y lagos que son receptores de escorrentía agrícola y doméstica, y de la lixiviación del suelo. Los componentes más comunes son calcio, fosfatos, nitratos, sodio, potasio y cloro.

Los valores de sólidos totales disueltos superan el valor ECA (500 mg/L) en todas las estaciones de muestreo y en ambas temporadas, resaltando el alto valor obtenido en la temporada seca para la desembocadura del estuario al mar.

Tanto en temporada húmeda como en temporada seca, los menores valores se registraron en la estación VI-02 (parte media del estuario, cerca al puente) y los mayores en la estación V-01 (cerca de la desembocadura del estuario). Esto se debe a que la presión de la masa de agua marina en la desembocadura, actúa como una barrera reductora de la descarga de agua del estuario, reduciendo la velocidad de flujo y propiciando la acumulación de los sólidos en un menor volumen de agua.

Figura 3.3.9-6. Sólidos totales disueltos en Virrilá.



Fuente: BISA, 2012

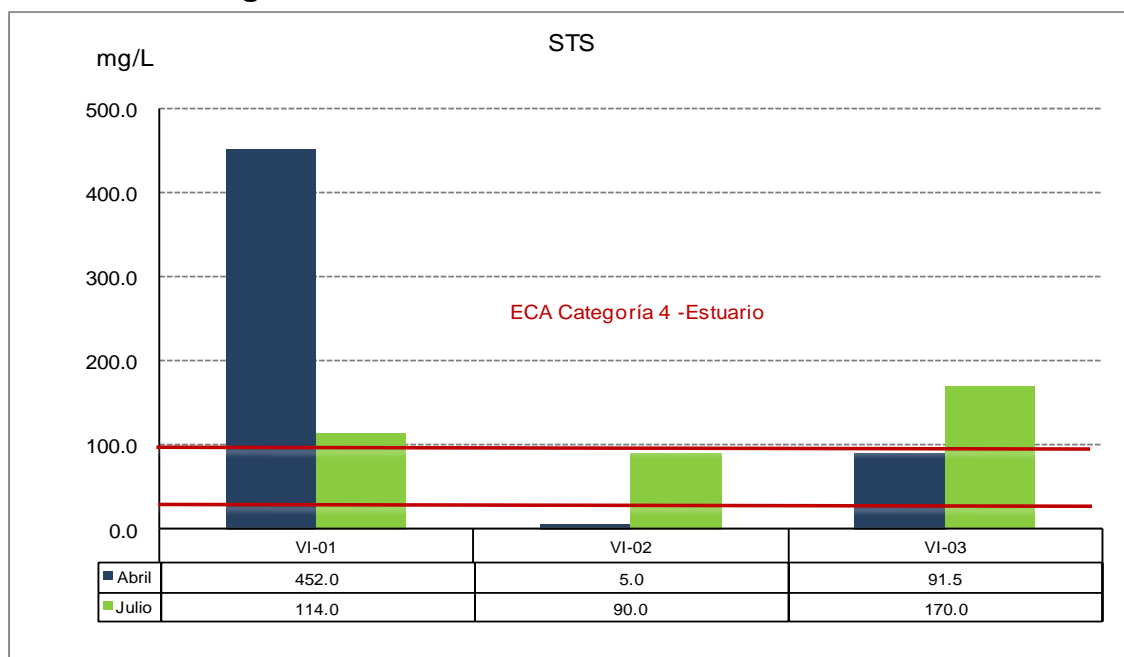
Sólidos totales suspendidos (STS)

Los sólidos suspendidos se refieren a la presencia de partículas orgánicas e inorgánicas que se encuentran en suspensión en la columna de agua, sin estar disueltos en ella. Proviene de los restos de animales, plantas marinas y material doméstico e industrial. La reducción de la claridad del agua se atribuye a la presencia de sólidos suspendidos.

La concentración de sólidos totales suspendidos varió desde 5 mg/L en la estación VI-02 (cerca de la desembocadura del estuario) hasta 452 mg/L en la estación VI-01 (cerca de la desembocadura del estuario).

estación VI-01 superó el ECA para Agua Categoría 4-Ecosistema Marinos Costeros- Estuarios (25 - 100 mg/L) en ambas temporadas. La estación VI-03 registró un valor superior al ECA

Figura 3.3.9-7. Concentración de STS en Virrilá.



Fuente: BISA, 2012

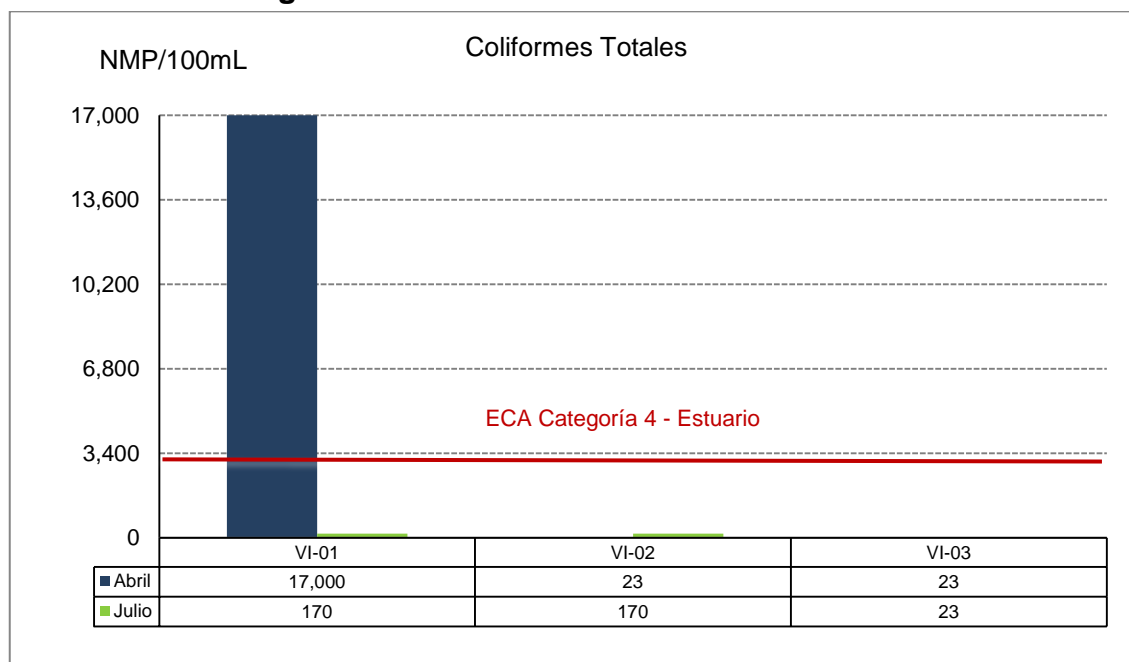
Coliformes totales

El grupo coliforme se define como todas las bacterias Gram negativas de forma bacilar que fermentan la lactosa a temperaturas de 35 a 37 °C y producen ácido y gas (CO₂) en 24 horas. Pueden ser aeróbicas o anaeróbicas facultativas, son oxidasa negativa y no forman esporas. En el grupo de coliforme se encuentran: *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. (Organización Panamericana de la Salud, 1987). Los coliformes además de presentarse en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, también están presentes en el agua, suelo, plantas, cáscara de huevo, etc.

El análisis de coliformes totales muestra que en la temporada húmeda de abril, la estación VI-01 (ubicada cerca de la desembocadura del estuario) registró 17 000 NMP/100mL, valor que supera en varias veces el valor ECA Categoría 4-

Ecosistema Marinos Costeros- Estuarios (2000 NMP/100mL). Los demás valores registrados en ambas temporadas estuvieron todos por debajo del límite crítico del ECA.

Figura 3.3.9-8. Coliformes totales en Virrilá.



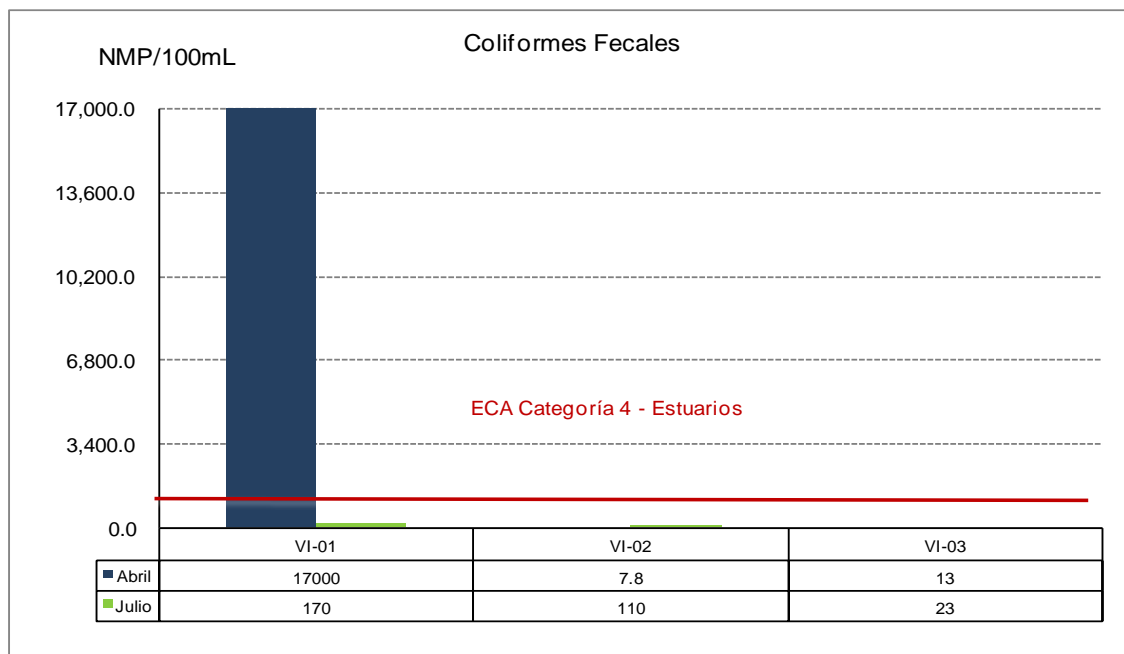
Fuente: BISA, 2012

Coliformes fecales

Los coliformes fecales son denominados también coliformes termotolerantes, por soportar temperaturas hasta de 45 °C. Comprende un grupo muy reducido de microorganismos que son indicadores de calidad del agua, En su mayoría están representados por *E.coli*, que representa el 90 -100% de la flora intestinal.

El registro muestra un comportamiento similar al de los Coliformes Totales. Al comparar los valores de coliformes fecales con totales vemos que la mayor cantidad de totales correspondió a fecales, sobretodo en la estación VI-01, en la cual los coliformes fecales representaron el total de coliformes, evidenciando que hubo o hay un vertimiento de aguas servidas cerca de la desembocadura.

Figura 3.3.9-9. Coliformes fecales en Virrilá.



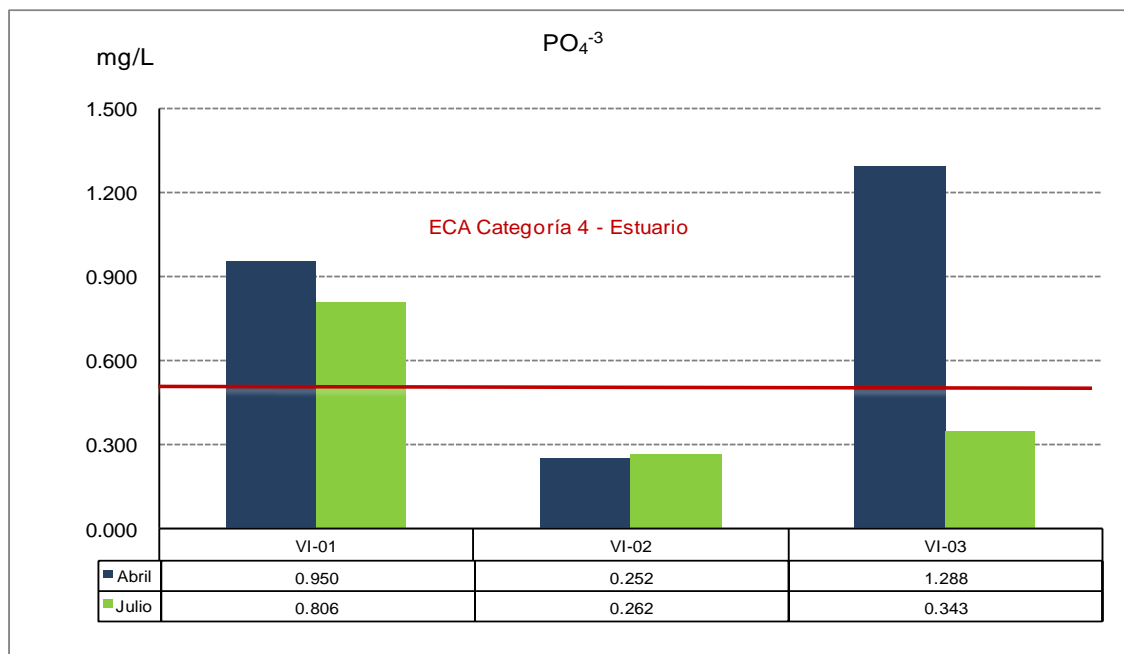
Fuente: BISA, 2012

Fosfatos

Los fosfatos son las sales o ésteres del ácido fosfórico. Son nutrientes; sin embargo un exceso de estos produce un crecimiento desmedido de algas que al morir y ser desintegrada por los microorganismos consumen el oxígeno del medio acuático.

En temporada húmeda de abril la cantidad de fosfatos en la estación VI-01 (cerca de la desembocadura del estuario) y la estación VI-03 (ubicada en la unión del estuario con Laguna de La Niña) con 1,288 mg/L, sobrepasaron el valor ECA- Ecosistemas Marino Costeros-Estuarios (0,5 mg/L.). En temporada seca, solamente la estación VI-01 con 0,806 mg/L supera el valor ECA.

Figura 3.3.9-10. Concentración de fosfatos en Virrilá



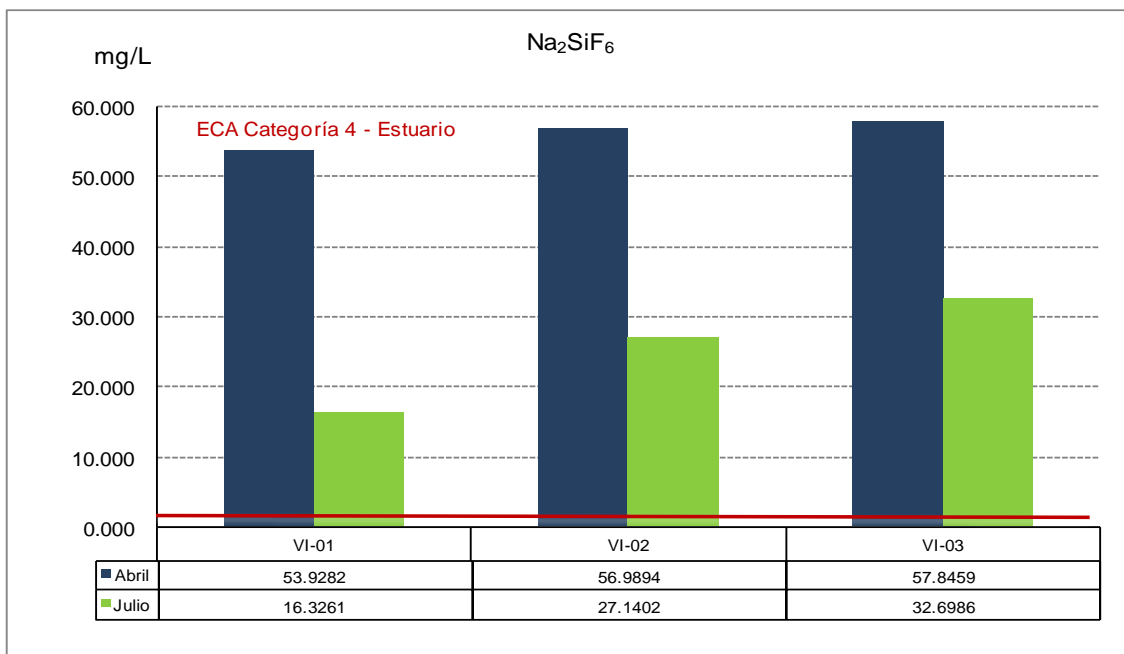
Fuente: BISA, 2012

Silicatos

Los silicatos son sales del ácido silícico que forman parte de la mayoría de las rocas, arenas y arcillas. Son nutrientes que usan las diatomeas para formar sus frústulas, pero las disminuciones significativas de silicatos limitan el crecimiento de las diatomeas.

Las tres estaciones en ambas temporadas seca y húmeda superaron el valor ECA, siendo mucho mayores en la temporada seca de abril. Estos valores se deben al contenido natural de los suelos en la zona, los que aportan silicatos al cuerpo de agua; es por ello que en abril los valores de silicatos en dos estaciones de muestreo fueron varias veces mayores al valor ECA debido a la disminución del espejo de agua que provoca un incremento en la concentración por disminución de la fase acuosa.

Figura 3.3.9-11. Concentración de silicatos en Virrilá.



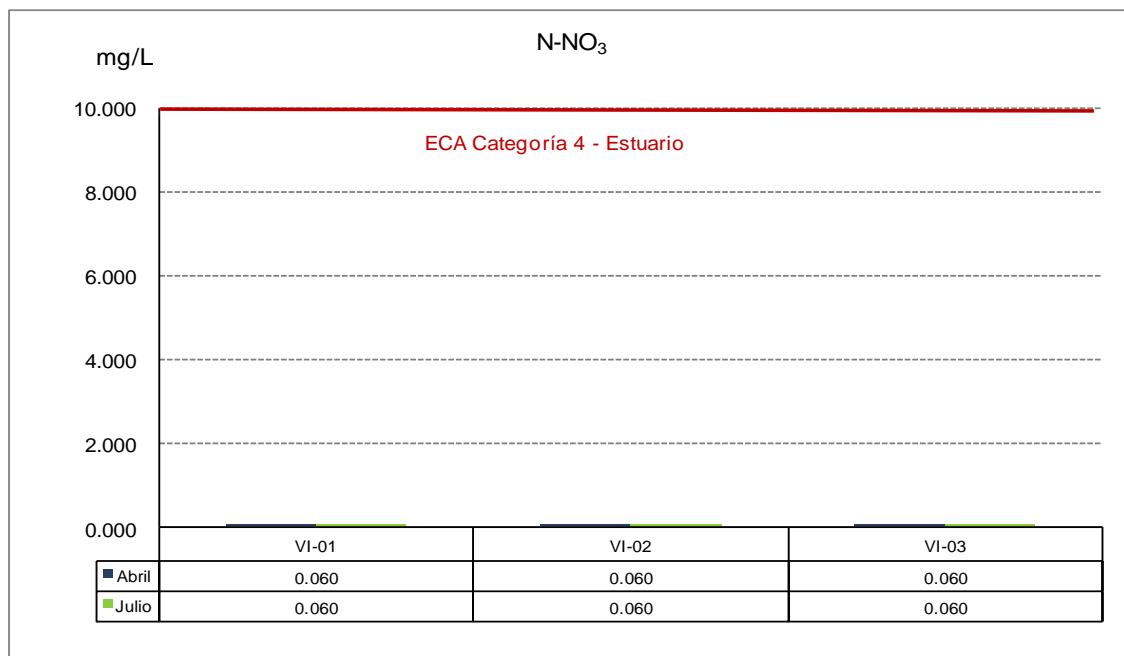
Fuente: BISA, 2012

Nitratos

Los nitratos son iones que forman parte del ciclo de nitrógeno. Son nutrientes para las plantas, pero para los peces un exceso de nitratos es peligroso.

Los valores de nitratos fueron muy bajos en ambas evaluaciones presentando valores debajo del límite de detección analítica.

Figura 3.3.9-12. Concentración de nitrato en Virrilá.



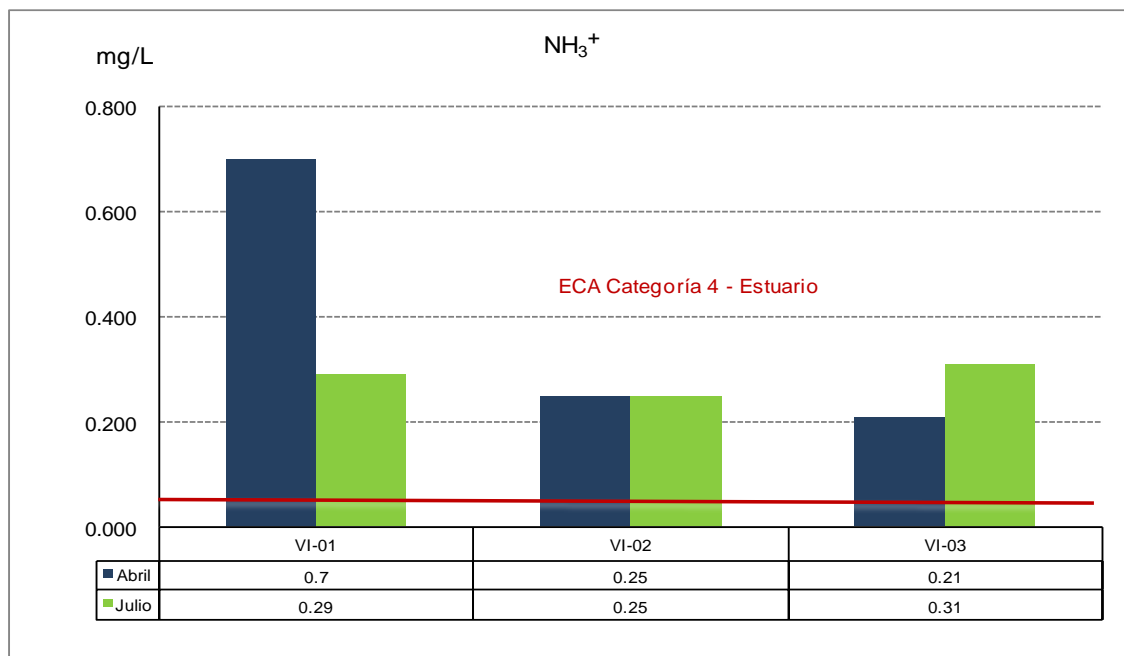
Fuente: BISA, 2012

Nitrógeno amoniacal

Es el resultado de la primera transformación del nitrógeno orgánico. Esta forma de nitrógenos es soluble en agua. Es una forma transitoria que se transforma en nitrógeno nítrico. Este proceso consta de dos partes: Nitritación: donde el amoniaco es oxidado a nitrito por las nitroso bacterias y la Nitratación, donde los nitritos son oxidados a nitratos por las nitro bacterias.

Los valores de nitrógeno amoniacal en las tres estaciones y durante las dos temporadas de evaluación superaron en varias veces el valor ECA para Agua Categoría 4- Ecosistemas Marino Costeros-Estuarios (0,05 mg/L), evidenciando la presencia en el ecosistema, de procesos de oxidación por bacterias.

Figura 3.3.9-13. Nitrógeno amoniacal en Virrilá.



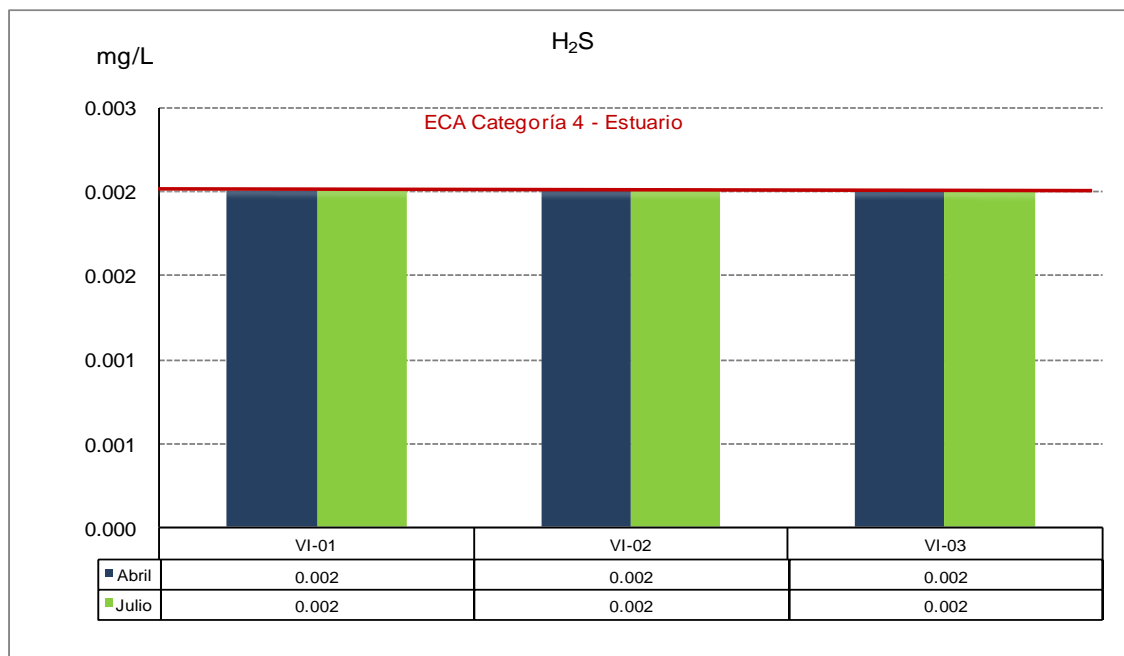
Fuente: BISA, 2012

Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno es un gas formado por la descomposición de la materia orgánica. Se le encuentra en aguas poco oxigenadas y con pH menor a 6.

Los valores del sulfuro de hidrógeno en todas las estaciones y en las dos evaluaciones se encontraron debajo del límite de detección del método analítico 0,02 mg/L y por tanto debajo del Valor ECA para Agua Categoría 4- Ecosistemas Marino Costeros-Estuarios (0,02 mg/L).

Figura 3.3.9-14. Sulfuro de hidrógeno en Virrilá.



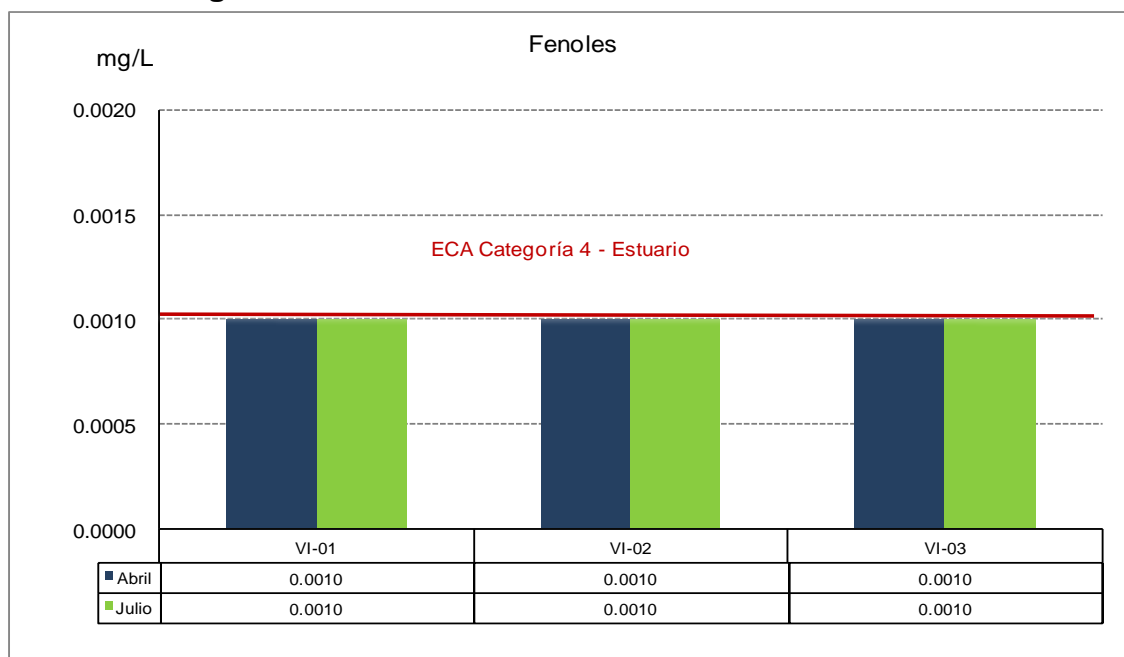
Fuente: BISA, 2012

Fenoles

Los fenoles son compuestos orgánicos aromáticos que contienen el grupo hidroxilo (OH⁻) como grupo funcional. Son hidróxidos derivados del benceno y su núcleo condensado. En la naturaleza su presencia está relacionada con la descomposición de hojas y materia orgánica, ácidos húmicos, pero principalmente se le asocia a procesos de contaminación de las fuentes por desechos industriales, aguas servidas, fungicidas y pesticidas, hidrólisis y oxidación de pesticidas orgánicos fosforados. El fenol y los compuestos fenólicos constituyen materias primas o productos intermedios en numerosas industrias petroquímicas, químicas y farmacéuticas. Las aguas residuales de la industria petrolera pueden presentar altas concentraciones de fenoles. Es una sustancia nociva para los organismos acuáticos, provocándoles efectos adversos de distinta magnitud en función de la concentración a la que se encuentren expuestos. Provocan manchas en la piel y a mayores concentraciones parálisis y congestión cardiovascular en los peces. En niveles bajos producen un olor muy desagradable en las aguas.

La concentración de fenoles en Virrilá se encontró debajo del límite de detección de los métodos de laboratorio utilizados (0,001 mg/L). Este valor coincide con el ECA Categoría 4 - Estuarios.

Figura 3.3.9-15. Concentración de fenoles en Virrilá.



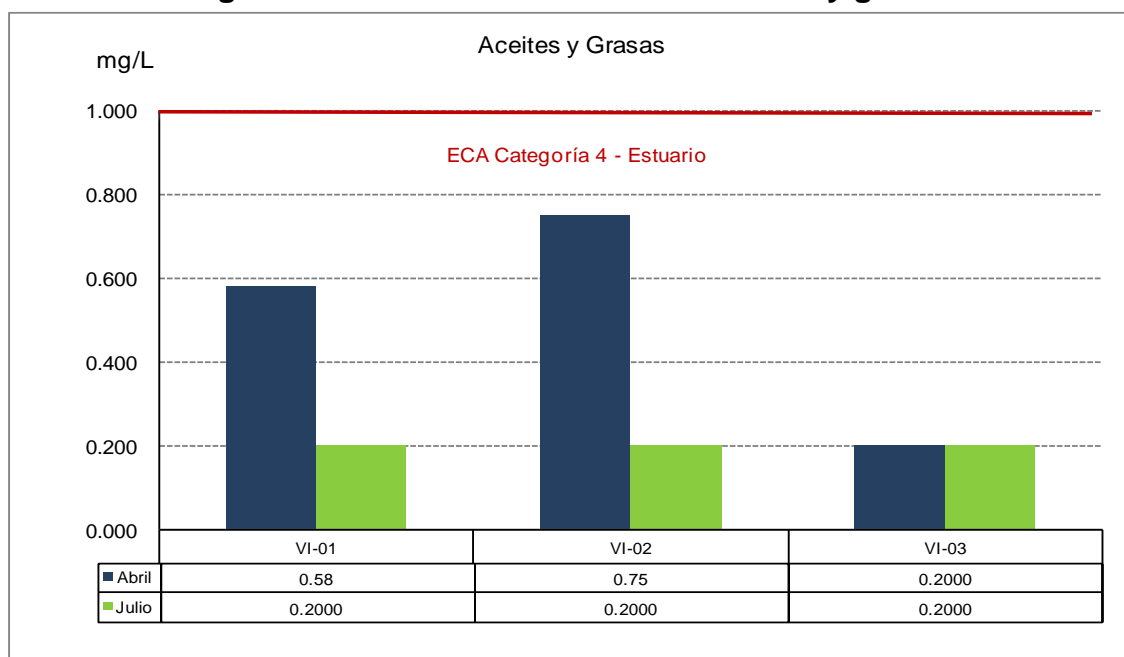
Fuente: BISA, 2012

Aceites y Grasas

Las grasas y aceites son compuestos orgánicos constituidos principalmente por ácidos grasos de origen animal y vegetal y de hidrocarburos del petróleo. Son de baja densidad, poco solubles en agua y baja o nula biodegradabilidad. Los aceites, grasas y el petróleo son perjudiciales para la vida acuática, porque forman películas sobre la superficie del agua; reduciendo así el intercambio de oxígeno y la penetración de la luz solar que es necesaria para la producción primaria. Además en el agua se forman bolitas de alquitrán que afectan a las plantas y animales. Los aceites y grasas pueden ocasionar el ahogamiento de las aves acuáticas debido a la pérdida de flotabilidad, hacen que las plumas pierdan su capacidad de aislamiento, hambre y vulnerabilidad ante los depredadores por la carencia de movilidad. En peces cubren las superficies epiteliales imposibilitando el intercambio gaseoso.

Los valores en ambas temporadas se encontraron por debajo del ECA Categoría 4 Ecosistemas Marino Costeros- Estuarios (1 mg/L).

Figura 3.3.9-16. Concentración de aceites y grasas



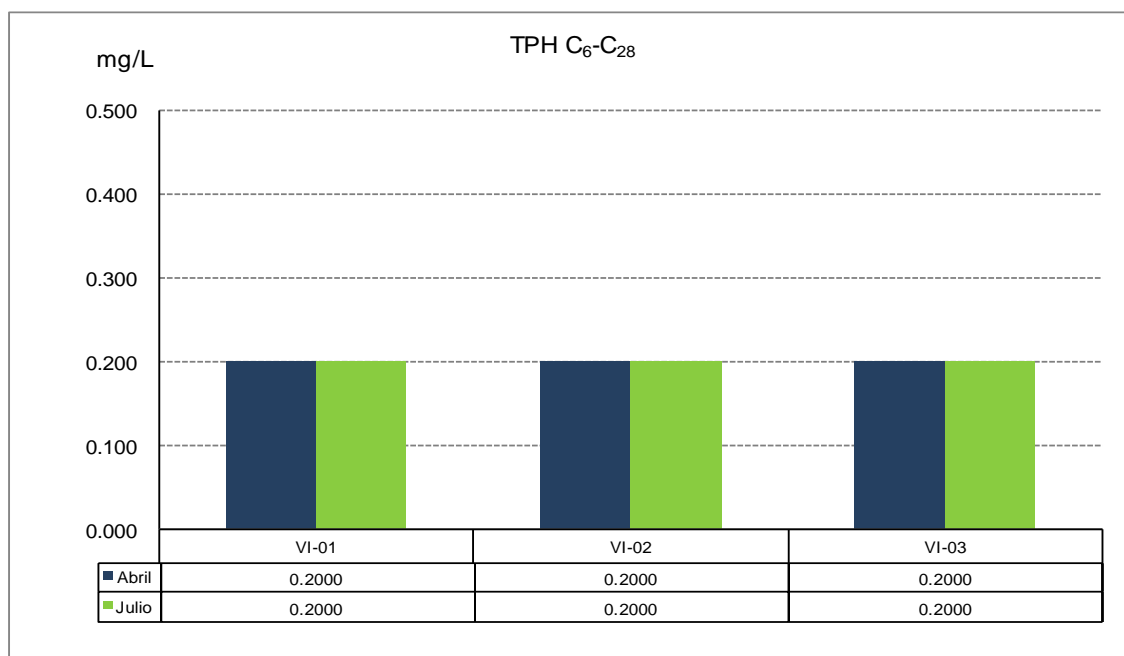
Fuente: BISA, 2012

Hidrocarburos Totales de Petr6leo

El t6rmino de hidrocarburos totales de petr6leo (abreviados TPH en ingl6s) se usa para describir una gran familia de varios cientos de compuestos qu6micos originados de petr6leo crudo. La industria del petr6leo est6 expuesta a riesgos de contaminaci6n por un manejo incorrecto de los combustibles.

En Virril6 la concentraci6n de hidrocarburos totales de petr6leo en ambas temporadas se encuentra debajo del l6mite de detecci6n anal6tica (0,2 mg/L).

Figura 3.3.9-17. Concentración de hidrocarburos totales de petróleo en Virrilá



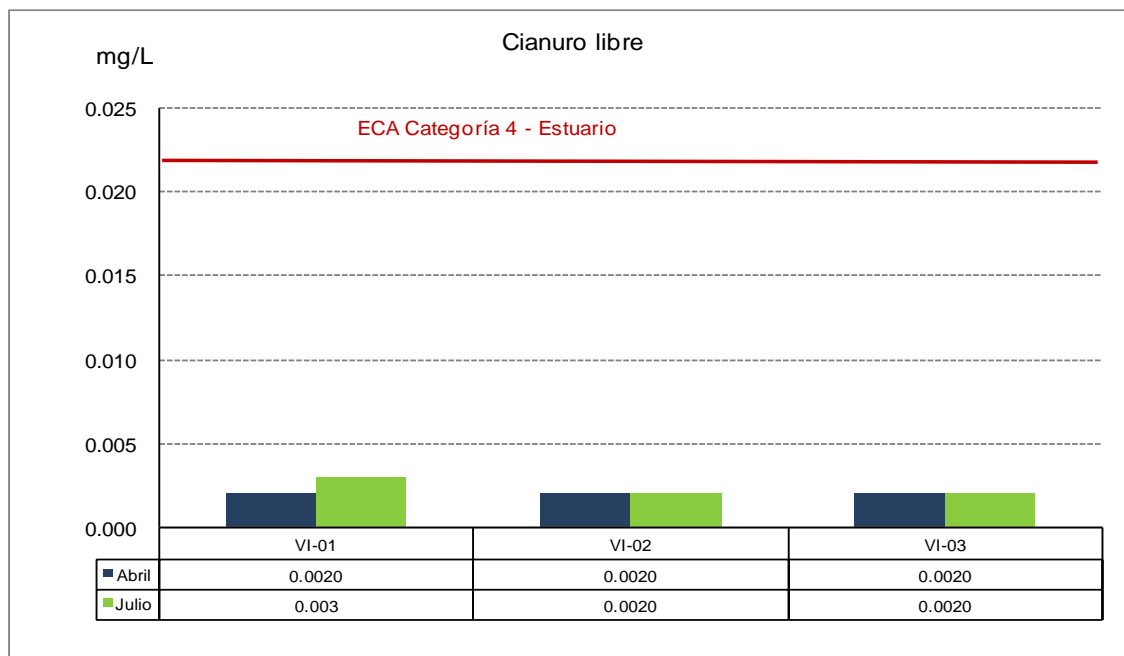
Fuente: BISA, 2012

Cianuro libre

El cianuro libre Incluye el anión del cianuro (CN⁻) y el hidrogeno del cianuro molecular (HCN) en forma acuosa o gaseosa. La proporción de HCN y del anión cianuro dependen del pH, a pH elevado predomina anión del cianuro (CN⁻) y a pH bajo el hidrogeno del cianuro molecular (HCN). El cianuro libre es altamente tóxico. El cianuro libre disminuye la concentración de oxígeno en los tejidos. Puede afectar la reproducción y el nivel de actividad de las especies. Puede impedir la posibilidad de nadar en peces como la trucha.

La concentración de cianuro libre durante las evaluaciones se encuentra muy por debajo del valor ECA para Agua para la Categoría 4 – Estuarios (0,022 mg/L).

Figura 3.3.9-18. Concentración cianuro libre en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

Metales en agua

Se ha descrito que en muchos casos los cuerpos de agua son usados como receptoras de descargas de origen antrópico. Particularmente es importante el ingreso de metales pesados debido a su concentración y el fenómeno de biomagnificación. Los metales pesados resultan peligrosos por su carácter no biodegradable.

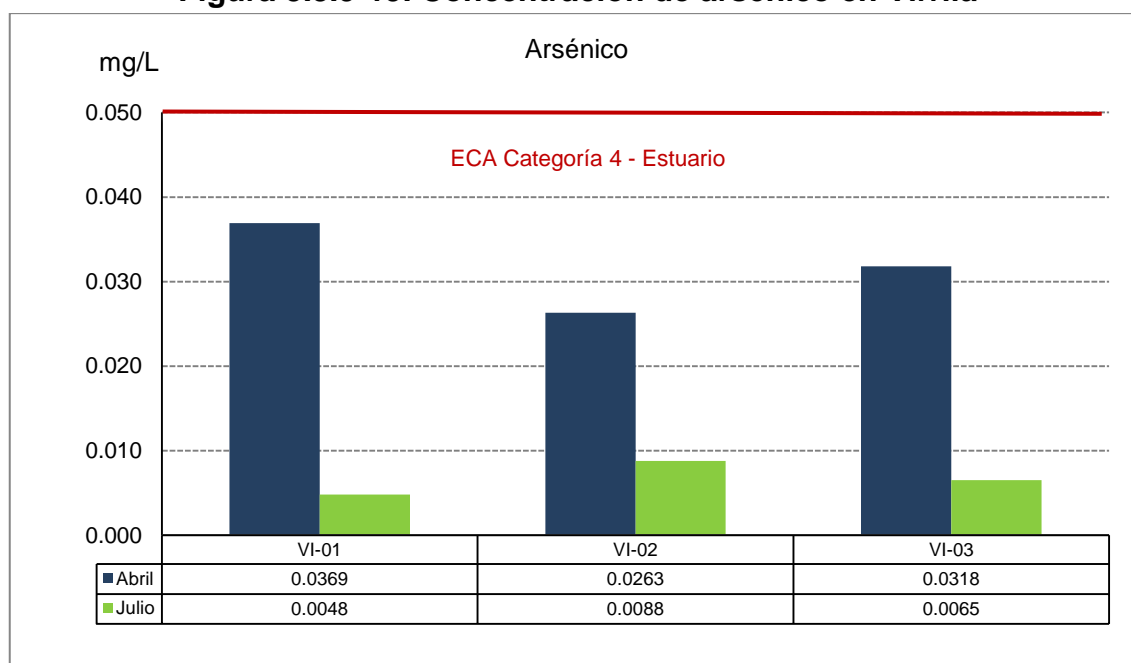
Arsénico (As)

En la naturaleza el arsénico se encuentra en la superficie de las rocas combinado con azufre o metales como Mn, Fe, Co, Ni, Ag o Sn. El arsénico llega al agua a través de la disolución de minerales, desde efluentes industriales y vía deposición atmosférica principalmente de la actividad minera y muy rara vez por causas naturales, aunque si ocurre es en concentraciones muy bajas. También se encuentra en ciertos insecticidas y herbicidas, los que pueden contaminar

artificialmente las aguas con dicho elemento. La presencia de arsénico se ha detectado asimismo, como impurezas de otros metales, como el cobre.

En ambas temporadas los valores de arsénico en todas las estaciones se encontraron debajo del ECA para Agua, Categoría 4-Ecosistemas Marino Costeros-Estuarios, que indica un valor de 0,05 mg/L.

Figura 3.3.9-19. Concentración de arsénico en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

Bario (Ba)

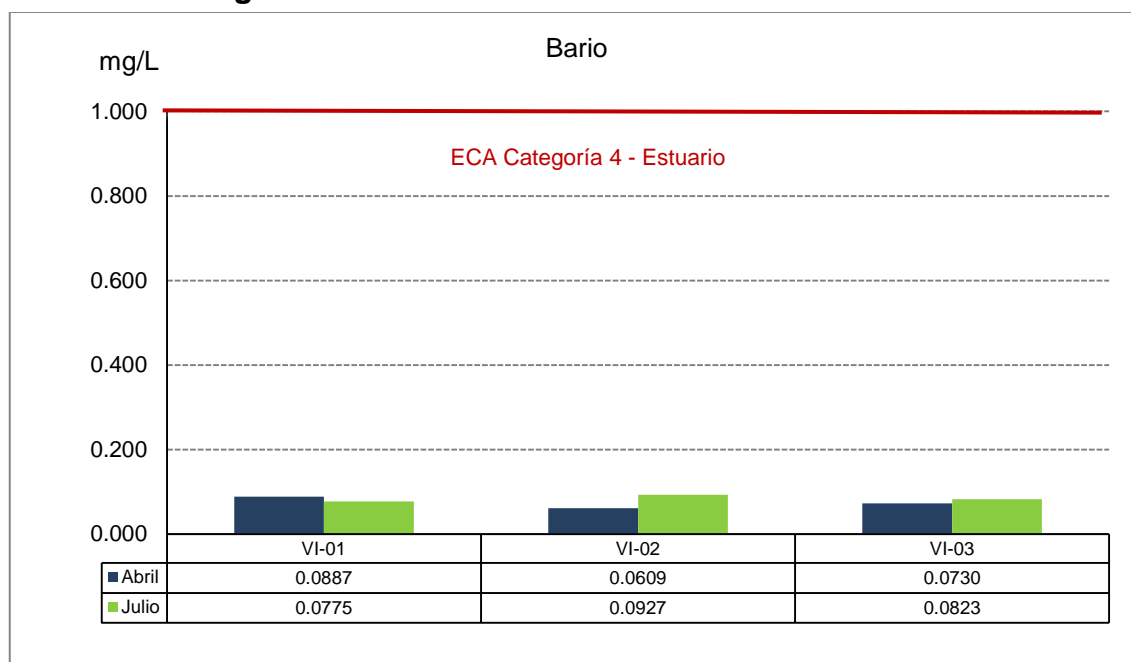
La contaminación del agua por bario puede provenir principalmente de los residuos de perforaciones, de efluentes de refinerías metálicas o de la erosión de depósitos naturales.

Cuando el bario es liberado al medio acuático el tiempo que va permanecer en el agua depende de la forma de bario que se libera. Los compuestos de bario que no se disuelven bien en agua, como el sulfato de bario y carbonato de bario, pueden permanecer en el ambiente mucho tiempo. Los compuestos de bario,

como el cloruro de bario, nitrato de bario, o hidróxido de bario, que se disuelven fácilmente en agua, no permanecen mucho tiempo en el ambiente en estas formas.

En Virrilá, los valores registrados en ambas temporadas se encuentran debajo del ECA Categoría 4- Estuarios (1 mg/L) en todas las estaciones.

Figura 3.3.9-20. Concentración de bario en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

Cadmio (Cd)

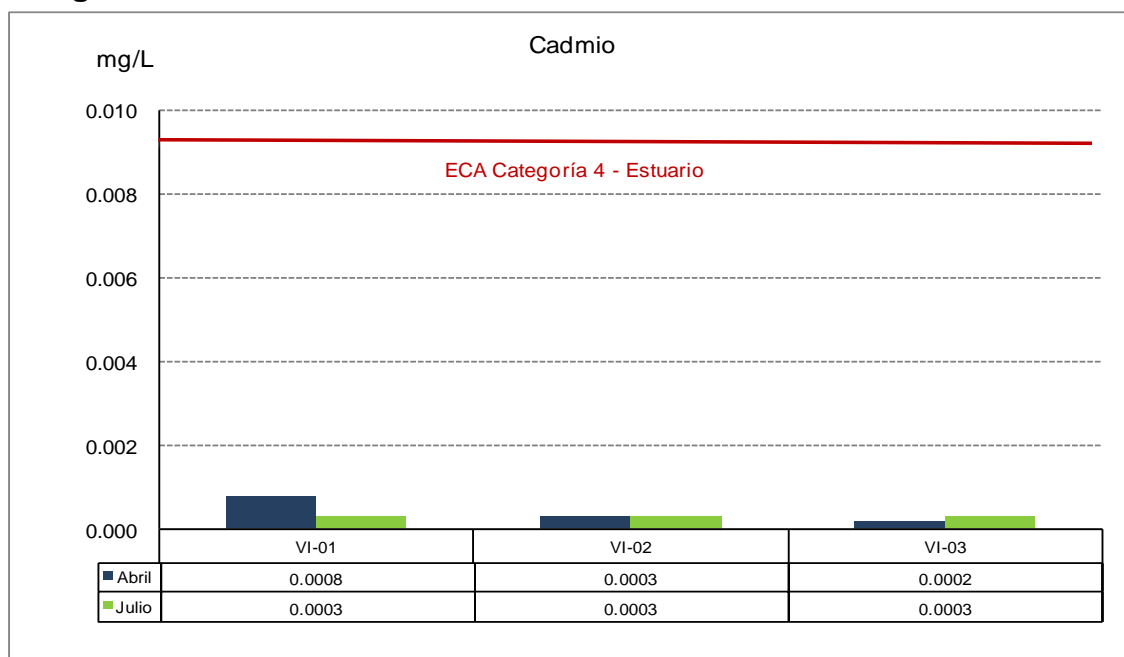
El cadmio (Cd) es el segundo elemento tóxico en ambientes acuáticos después del mercurio (UNEP, 1994).

La contaminación de las aguas superficiales con este metal pesado puede provenir de la erosión de depósitos naturales, de los efluentes de refinerías de metales. Muchos pigmentos usados en las pinturas y elaboración de plásticos contienen altas concentraciones de cadmio. El cadmio afecta la capacidad reproductiva de las especies acuáticas, el desarrollo del feto, desórdenes a nivel

del sistema nervioso. En peces produce hipocalcemia ya que inhibe la captación del calcio, puede producir malformaciones en la espina dorsal. Afecta el crecimiento, desarrollo de invertebrados acuáticos y produce modificaciones en sus branquias. Los efectos tóxicos del cadmio aumentan la temperatura; mientras que la salinidad y la dureza del agua la disminuyen. El zinc aumenta la toxicidad del cadmio.

En Virrilá, los valores de cadmio en ambas temporadas han estado siempre por debajo del ECA para Agua Categoría 4- Estuarios en todas las estaciones.

Figura 3.3.9-21. Distribución de la concentración del cadmio en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

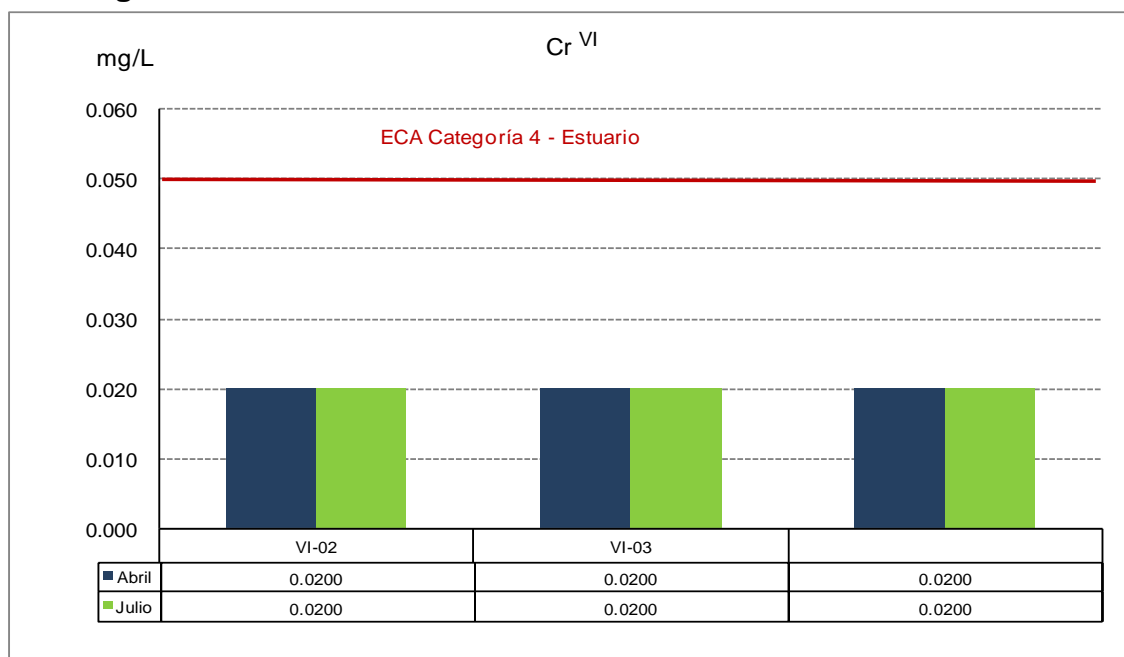
Cromo Hexavalente (Cr VI)

El cromo hexavalente (Cr^{+6}) es una forma del cromo caracterizado porque al átomo le falta de 6 electrones, es producto de procesos industriales como: fabricación de textiles, cromado, fabricación de colorantes, piezas componentes eléctricos, curtiembre.

Se ha mostrado cromo VI se acumula en muchas especies, especialmente en peces que se alimentan en el fondo y en bivalvos como ostras. El Cromo (VI) es mayoritariamente tóxico para los organismos. Este puede alterar el material genético y causar cáncer.

Las concentraciones del cromo hexavalente en Virrilá estuvieron en ambas temporadas debajo del límite de detección analítico (0,02 mg/L) y debajo del ECA – Categoría 4- Estuarios (0,05 mg/L) en todas las estaciones.

Figura 3.3.9-22. Concentración del cromo hexavalente en Virrilá.



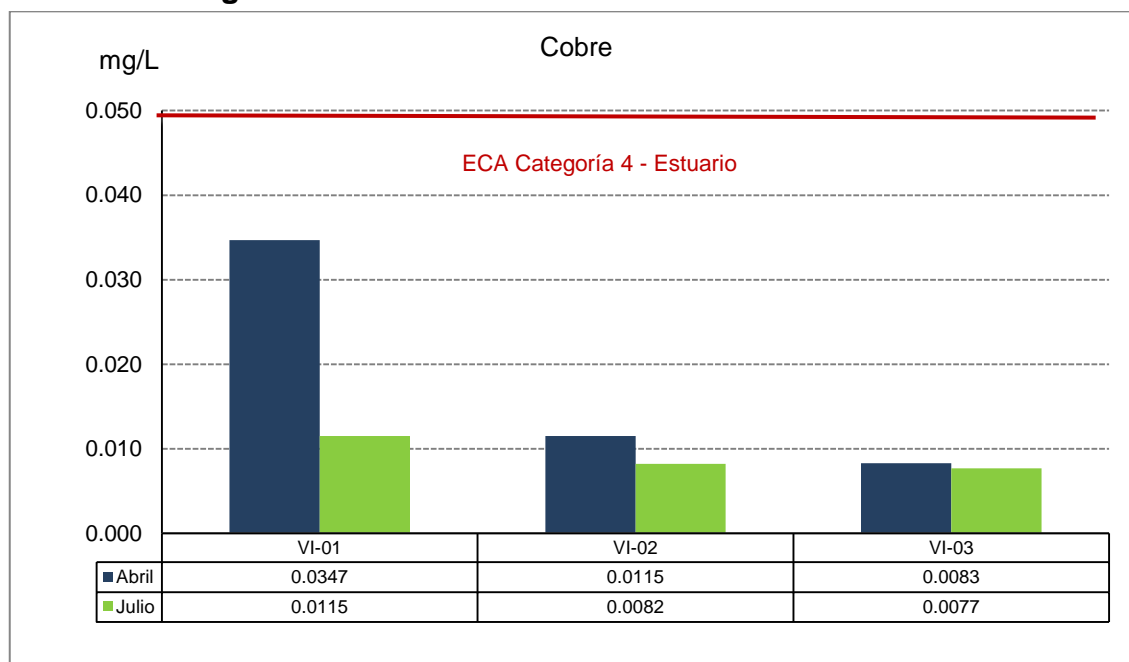
Fuente: BISA, 2012

Cobre (Cu)

El cobre puede estar presente naturalmente en agua, como sal soluble o como partículas en suspensión. El cobre en concentraciones superiores a 1 mg/L elimina totalmente la microfauna del medio acuático (muchos organismos acuáticos son muy sensibles a la acción tóxica del cobre). Para muchos peces se considera letales las concentraciones de 0,25 a 1 mg/L.

Los valores encontrados en ambas temporadas son menores al valor ECA Categoría 4- Ecosistemas Marino Costeros- Estuarios (0,05 mg/L) en todas las estaciones.

Figura 3.3.9-23. Concentración del cobre en Virrilá.



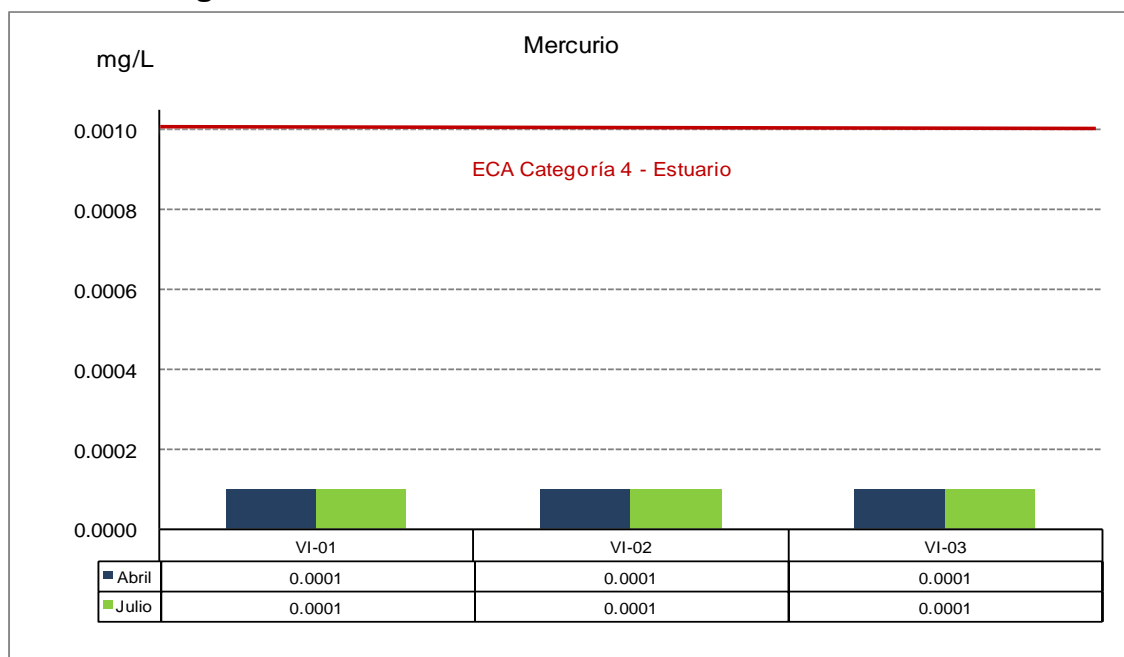
Fuente: BISA, 2012

Mercurio (Hg)

El mercurio es el único metal que se presenta líquido a la temperatura ambiente. Es sumamente volátil. Por otra parte, tiene una alta capacidad para formar compuestos orgánicos e inorgánicos. Al ponerse en contacto con un ambiente acuático, el mercurio se transforma en metilmercurio, un potente neurotóxico que se acumula, por medio de la cadena trófica, en los peces y en los humanos y fauna silvestre que de ellos se alimentan. Se cree que el metilmercurio es uno de los seis peores contaminantes del planeta ya que nunca desaparece del ambiente. El mercurio reduce el crecimiento, la reproducción e incluso puede causar la muerte en organismos acuáticos.

Las concentraciones de mercurio se encontraron debajo del límite de detección del método analítico (0,0001 mg/L) y muy por debajo del ECA Categoría 4 – Estuarios (0,0010 mg/L).

Figura 3.3.9-24. Concentración del mercurio en Virrilá



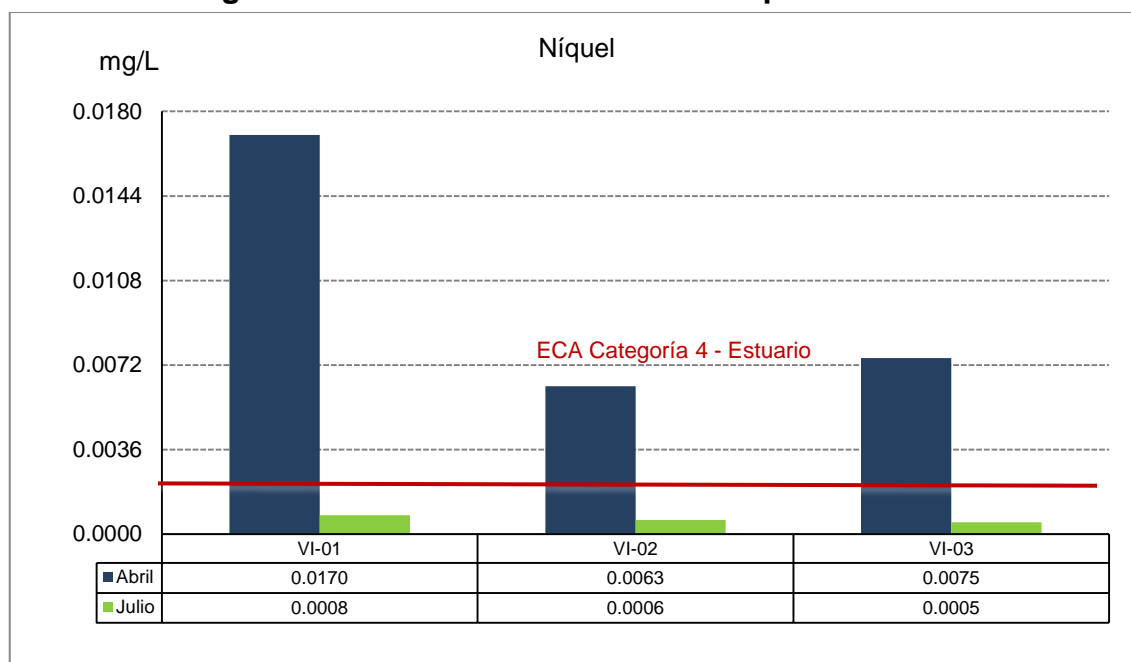
Fuente: BISA, 2012

Níquel (Ni)

La ocurrencia de níquel en los ecosistemas acuáticos resulta de la meteorización de rocas y suelos y de aportes de origen antrópico. En el caso del níquel, la movilidad y biodisponibilidad en ambientes acuáticos, están influenciadas por factores ambientales tales como pH, potencial redox y presencia de materia orgánica; en condiciones aeróbicas, a pH por debajo de 9, el níquel forma compuestos con iones hidroxilo, carbonato y sulfato; y en condiciones anaeróbicas los óxidos de hierro adsorben Ni^{+2} y precipitan a pH mayor a 6. Varios compuestos del níquel son mutagénicos y pueden causar transformación celular. La toxicidad crónica en los organismos acuáticos es alta.

En abril la concentración de níquel osciló entre 0,0063 en la estación VI-02 a 0,0170 en la estación VI-01, ubicada cerca a la desembocadura del estuario. En julio los valores oscilaron entre 0,0005 mg/L (estación VI-03) y 0.0008 mg/L en la estación VI-01. Vemos que solo durante el mes de Abril (época húmeda), todos los valores reportados sobrepasan el valor ECA Categoría 4 - Estuarios (0,002 mg/L).

Figura 3.3.9-25. Concentración del níquel en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

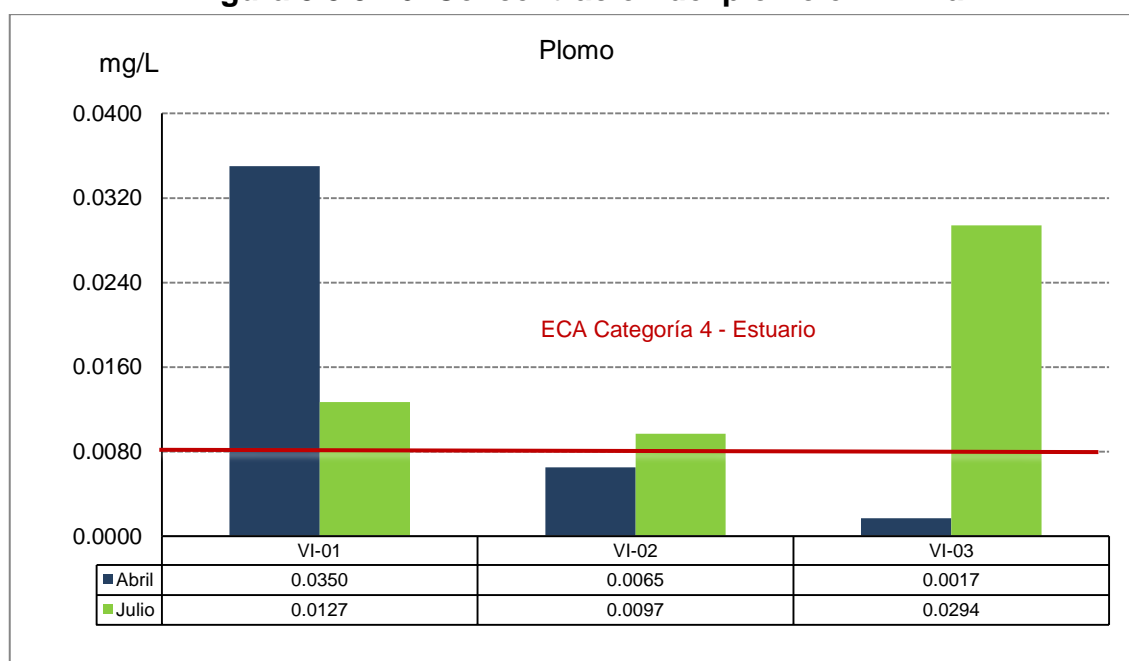
Plomo (Pb)

El plomo se presenta de manera natural en el ambiente, pero las mayores concentraciones que son encontradas en el ambiente son el resultado de las actividades humanas. El plomo puede llegar al agua y suelos a través de la corrosión de las tuberías de Plomo en los sistemas de transportes y a través de la corrosión de pinturas que contienen Plomo.

El plomo es tóxico para los organismos acuáticos, sobre todo para las especies asociadas al fondo (Bryan & Langston 1992). El plomo puede acumularse en

especies que viven en agua dulce especialmente en organismos que utilizan las agallas para filtrar su alimento (Sadiq 1992). Se reporta efectos subletales en peces incluyendo cambios en la morfología, metabolismo y actividad enzimática. En invertebrados como ostiones, erizos, caracoles, copépodos y pulgas de agua, se reporta un retardo en el crecimiento, disminución de la fertilidad y supresión de la reproducción. Puede causar también la muerte. Las funciones en el fitoplancton pueden ser alteradas en presencia del plomo.

Figura 3.3.9-26. Concentración del plomo en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

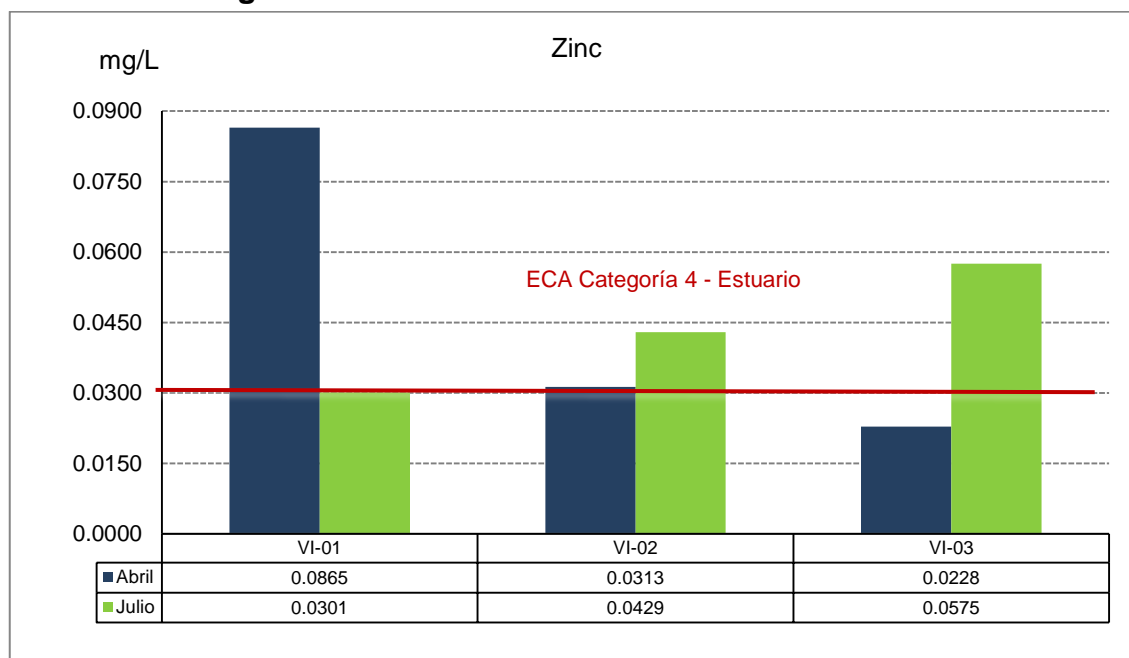
En abril la concentración del plomo varió desde 0,0017 mg/L (estación VI-03 (ubicada en la unión del estuario con la laguna de la Niña) hasta 0,0350 mg/L en la estación VI-01, ubicada cerca a la bocana. Este valor superó el ECA para Agua Categoría 4- Ecosistemas Marino Costeros - Estuarios (0,0081 mg/L). En julio los valores reportados fueron 0,0097 mg/L para la estación VI-02 (ubicada en la parte media del estuario cerca al puente Virrilá); 0,0127 mg/L en la estación VI-01 y 0,0294 mg/L en la estación VI-03. Como se observa las tres estaciones sobrepasaron el valor ECA en julio.

Zinc

Los compuestos del zinc como hidroxilos y carbonatos son poco solubles y se absorben fuertemente sobre los sedimentos y lodos en el fondo del lecho de los cauces hídricos. Este elemento puede presentar altas concentraciones en el medio acuático debido a las deyecciones de animales y personas. Es tóxico para algunas plantas y peces salmónidos. El zinc puede afectar la membrana celular externa o paredes celulares de los organismos y producir mortandad.

En abril la concentración del zinc en la estación VI-03 (Laguna de La Niña) fue 0,0228 mg/L. Mientras que la estación VI-01 VI-02 con valores de 0,0865 mg/L y 0,0313 mg/L, respectivamente superaron los valores ECA-Categoría 4- Ecosistemas Marino Costeros–Estuarios (0,03 mg/L). En julio las concentraciones de zinc superaron en todas las estaciones el valor ECA. Las concentraciones oscilaron desde 0,0301 mg/L hasta 0,0575 mg/L.

Figura 3.3.9-27. Concentración del zinc en Virrilá



Fuente: BISA, 2012

Resultados de monitoreo de sedimentos en Virrilá

Granulometría

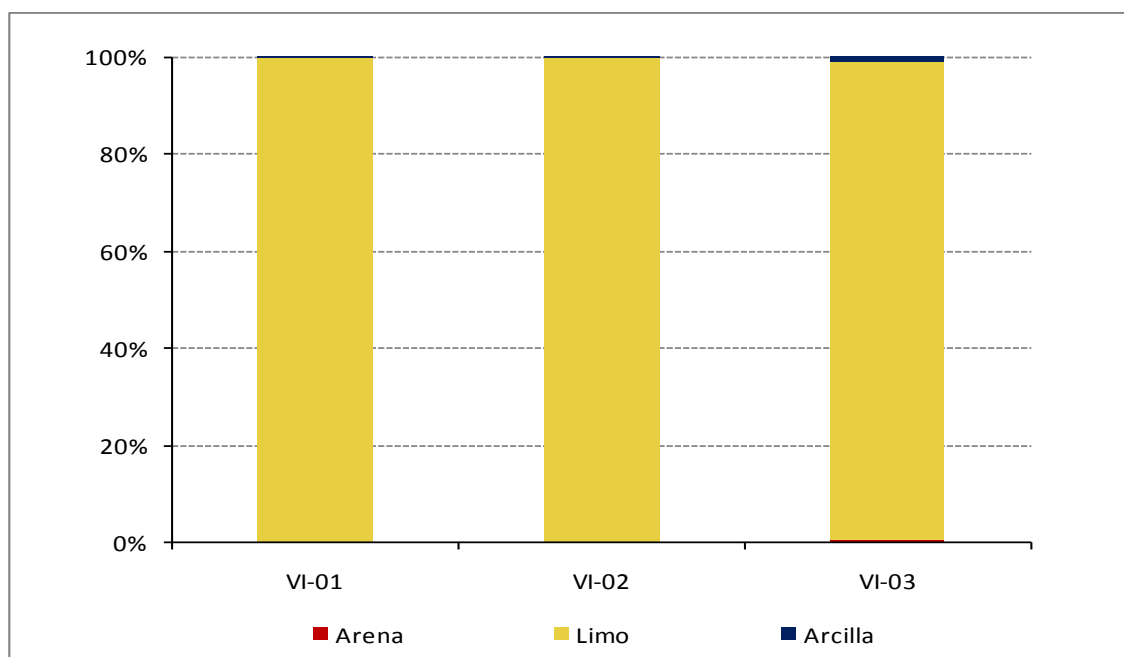
Los estudios de textura de los suelos en Virrilá muestran que el limo constituye más del 98% de las partículas; por tanto los suelos son de tipo limoso. Los valores encontrados no presentan variación entre la temporada húmeda y la temporada seca.

Cuadro 3.3.9-7. Composición granulométrica de los sedimentos de Virrilá.

GRANULOMETRIA	Estaciones		
	VI-01	VI-02	VI-03
Arena	0,34%	0,04%	0,59%
Limo	99,53%	99,88%	98,30%
Arcilla	0,13%	0,08%	1,10%

Fuente: BISA, 2012

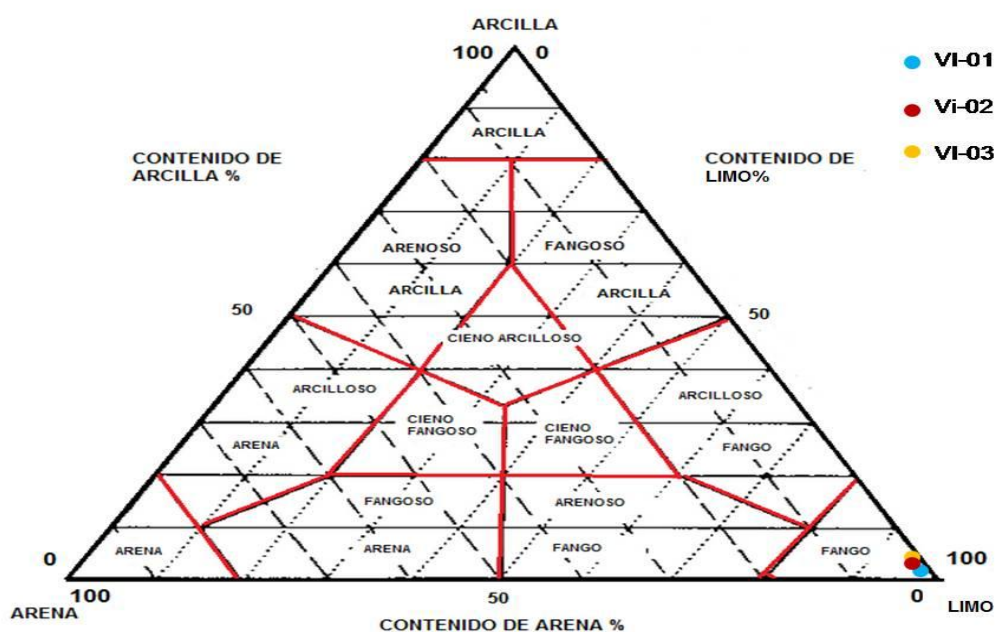
Figura 3.3.9-28. Distribución granulométrica de los sedimentos de Virrilá, 2012.



Fuente: BISA, 2012

El diagrama de Shepard muestra que en todas las estaciones el porcentaje de limo representa valores cercanos al 100%, este sedimento se clasifica en los sedimentos fangosos.

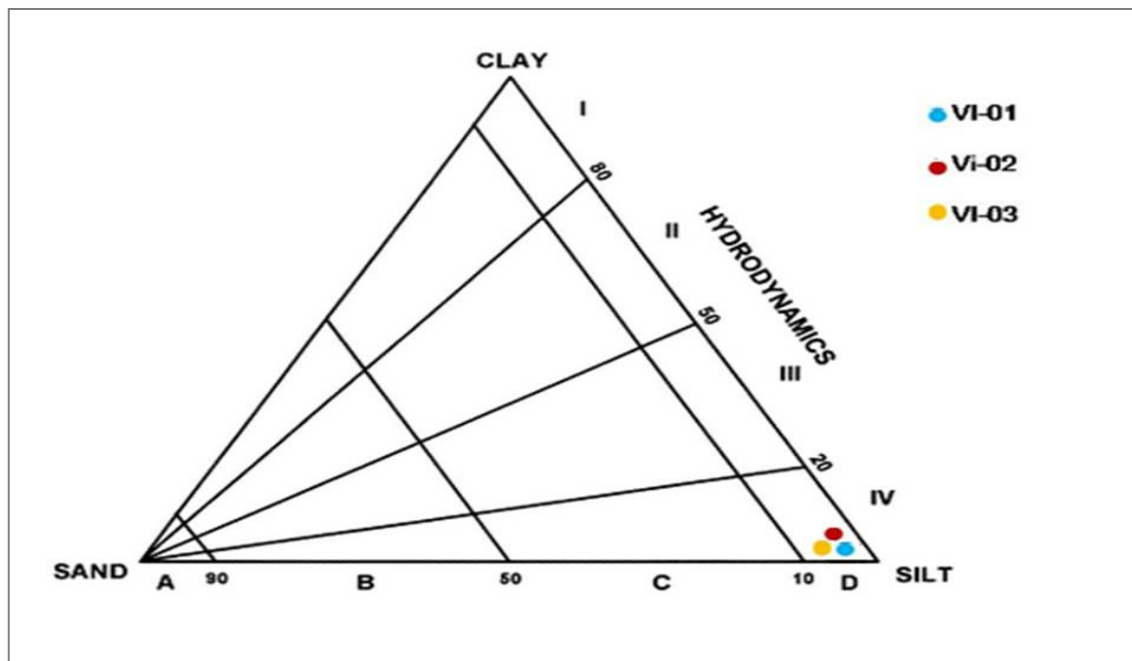
Figura 3.3.9-29. Diagrama de textura de suelos de Shepard para Virrilá.



Fuente: BISA, 2012

En la Figura 3.3.9-30 se muestra la representación de los caracteres texturales de los suelo en Virrilá según el diagrama propuesto por Pejrup (1988), que indica de que los sedimentos se encuentran en la Categoría 4, es decir de donde el sustrato presenta una energía moderada.

Figura 3.3.9-30. Representación de la relación entre textura y la hidrodinámica de los sedimentos.

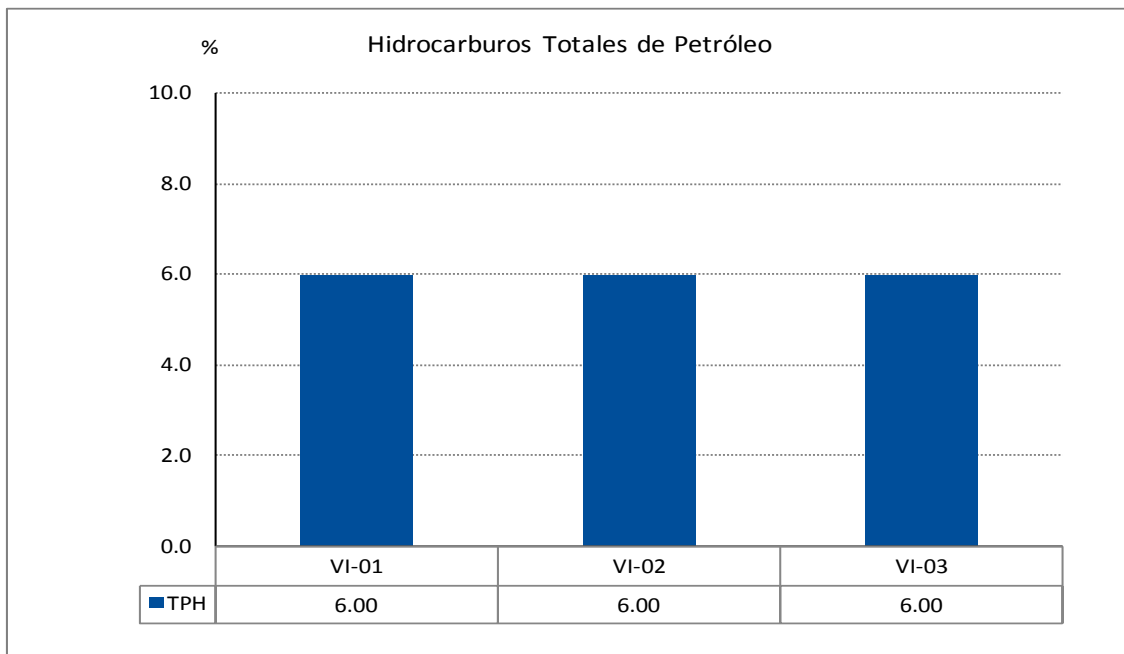


Donde I: calma total; II: relativa calma hidrodinámica; III: energía baja; IV : energía moderada.
Fuente: BISA, 2012

Hidrocarburos totales del petróleo

La concentración de hidrocarburos totales del petróleo en todas las estaciones estuvo debajo del límite de detección (6%).

Figura 3.3.9-31. Distribución de los hidrocarburos totales del petróleo en Sedimentos de Virrilá.

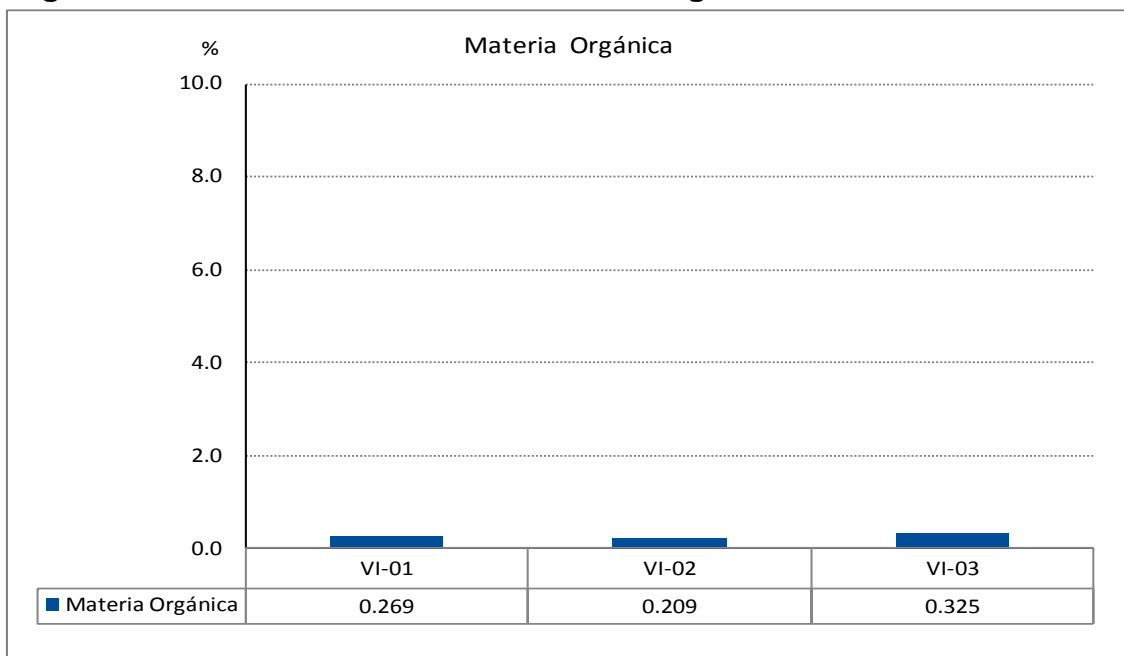


Fuente: BISA, 2012

Materia orgánica

En Virrilá los valores de materia orgánica fueron bajos, con valores que oscilaron entre 0.209% en la estación VI-02, ubicada en la parte media del estuario y 0.325% en la estación VI-03, ubicada en la unión del estuario con la Laguna de La Niña.

Figura 3.3.9-32. Distribución de la materia orgánica en sedimentos de Virrilá



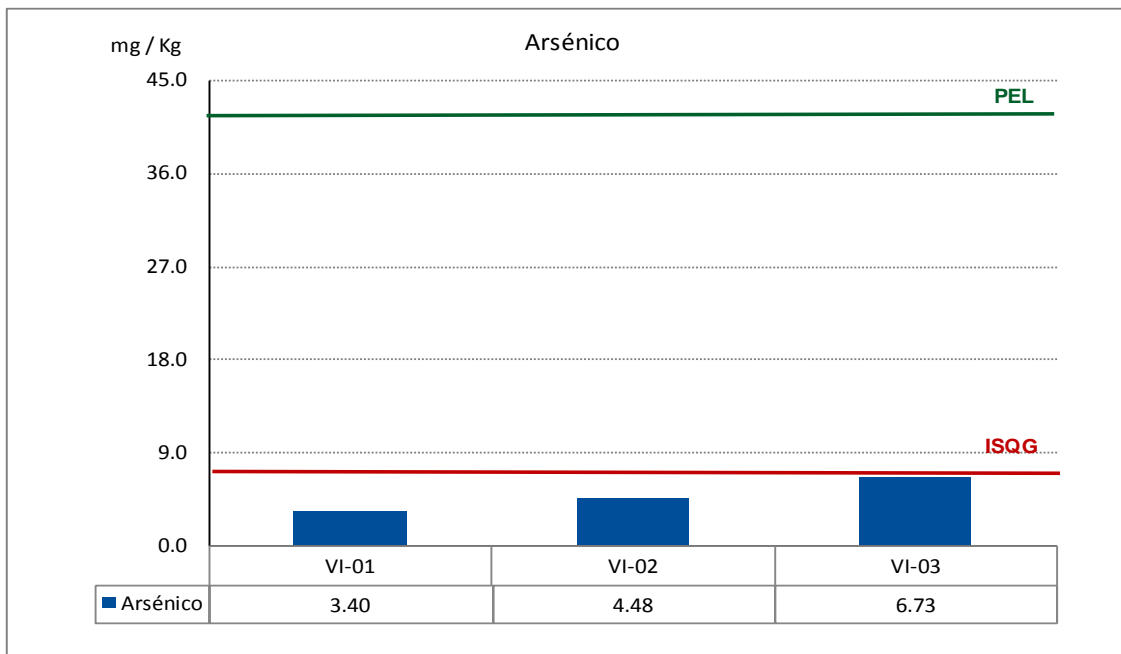
Fuente: BISA, 2012

Arsénico

El arsénico es un metaloide considerado no esencial para los organismos vivientes. Es estable en sus cuatro formas de oxidación (+5, +3, 0, y 3). Existe una fuerte afinidad entre el arsénico y el oxido de fierro y manganeso. Los efectos del arsénico sobre los microorganismos del fondo incluyen disminución de la abundancia, aumento de mortalidad y cambios en el comportamiento.

Las concentraciones de arsénico en los sedimentos de Virrilá variaron desde 3.4 mg/kg en la estación VI-01 (desembocadura del estuario) hasta 6.73 en la estación VI-03 (unión del estuario con la Laguna de La Niña). Las concentraciones en sedimentos en las tres estaciones se encuentran debajo del valor ISQG (7.24 mg/kg) y del valor PEL (41.6 mg/kg). Es decir que la concentración de arsénico no tendría un efecto adverso sobre la fauna.

Figura 3.3.9-33. Distribución de la concentración de arsénico en los sedimentos Virrilá



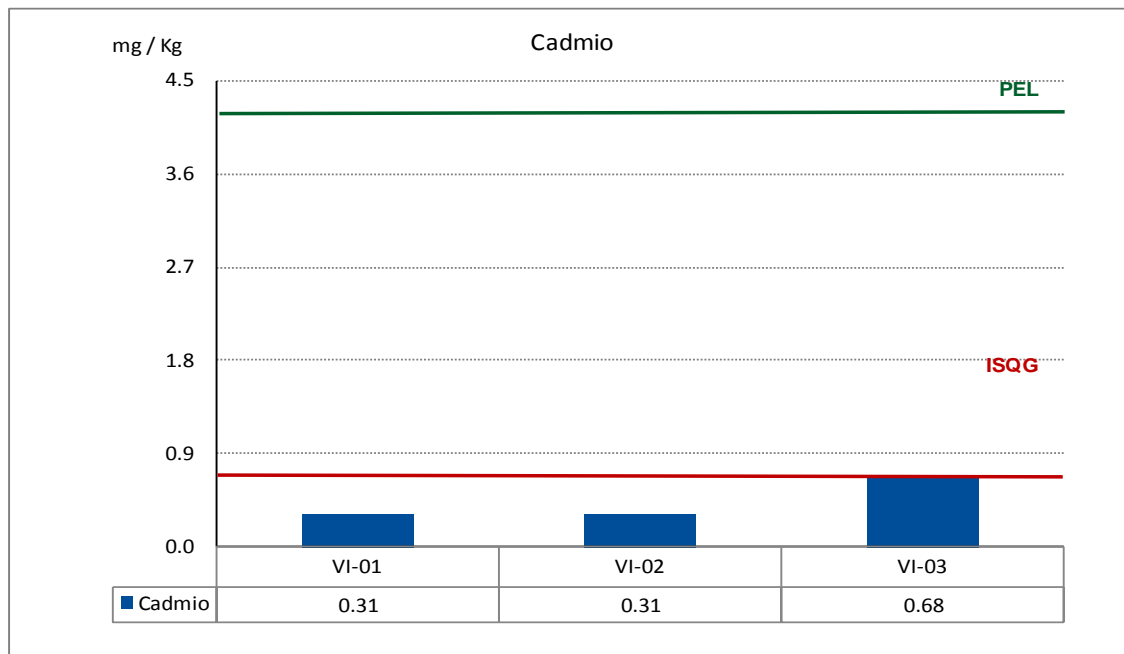
Fuente: BISA, 2012

Cadmio

El cadmio es un elemento traza que puede ser peligroso para la biota a elevadas concentraciones. Es considerado como el más móvil de los contaminantes metálicos en el medio acuático, es también bioacumulativo y persistente en el ambiente, con tiempos de vida media estimados entre 10 y 30 años (Brigden et al., 2000).

La concentración de cadmio en los sedimentos de Virrilá varió desde 0.31 mg/kg en la estación VI-01 y VI-02, hasta 0.68 mg/kg en la estación VI-03. Los valores en todas las estaciones se encuentran debajo del valor ISQG (0.7 mg/kg) y PEL (4.2 mg/kg).

Figura 3.3.9-34. Distribución de la concentración de cadmio en los Sedimentos Virrilá.



Fuente: BISA, 2012

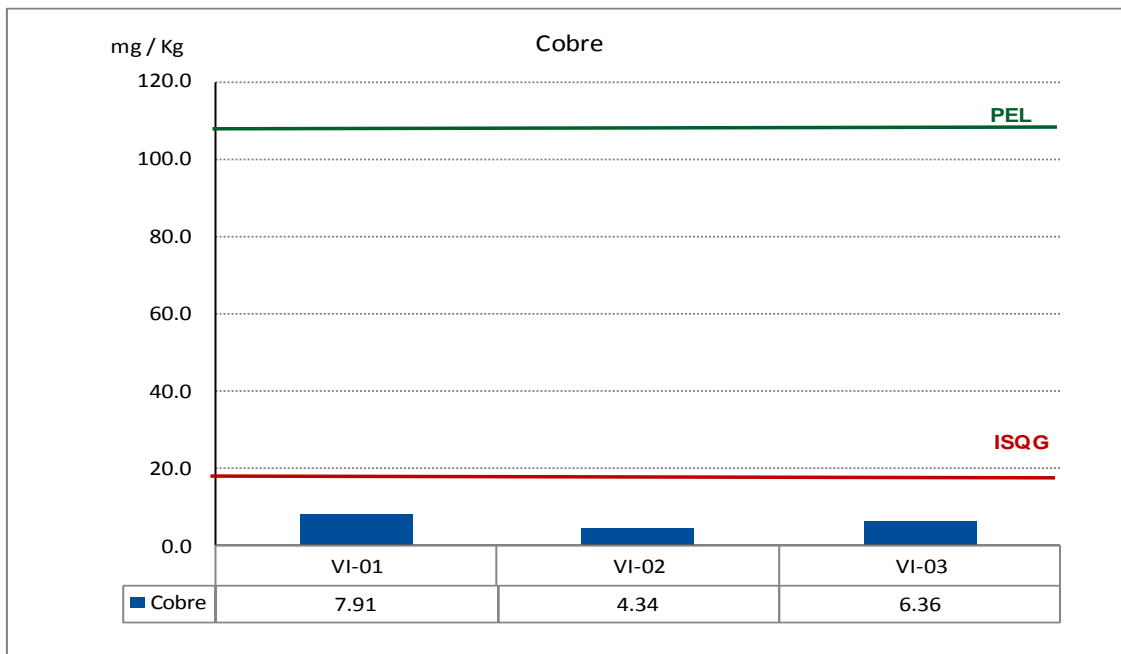
Cobre

El cobre es un elemento traza esencial que puede a elevadas concentraciones ser tóxico para los organismos acuáticos. El cobre en puede depositarse y acumularse en los sedimentos debido a su afinidad por algunas partículas como óxidos de hierro y manganeso y materia orgánica.

Los efectos del cobre sobre el bentos incluyen disminución de la diversidad, reducción de la abundancia y aumento de la mortalidad.

En Virrilá los valores de cobre en el sedimento oscilaron entre 4.34 mg/kg en la estación VI-02 (en la parte media del estuario, cerca al puente Virrilá y 7.91 mg/kg en la estación VI-01 (cerca de la desembocadura del estuario). Los valores encontrados se encuentran muy por debajo del valor ISQG (18.7 mg/kg) y del valor PEL (108 mg/kg).

Figura 3.3.9-35. Distribución de la concentración del cobre en los Sedimentos Virrilá.



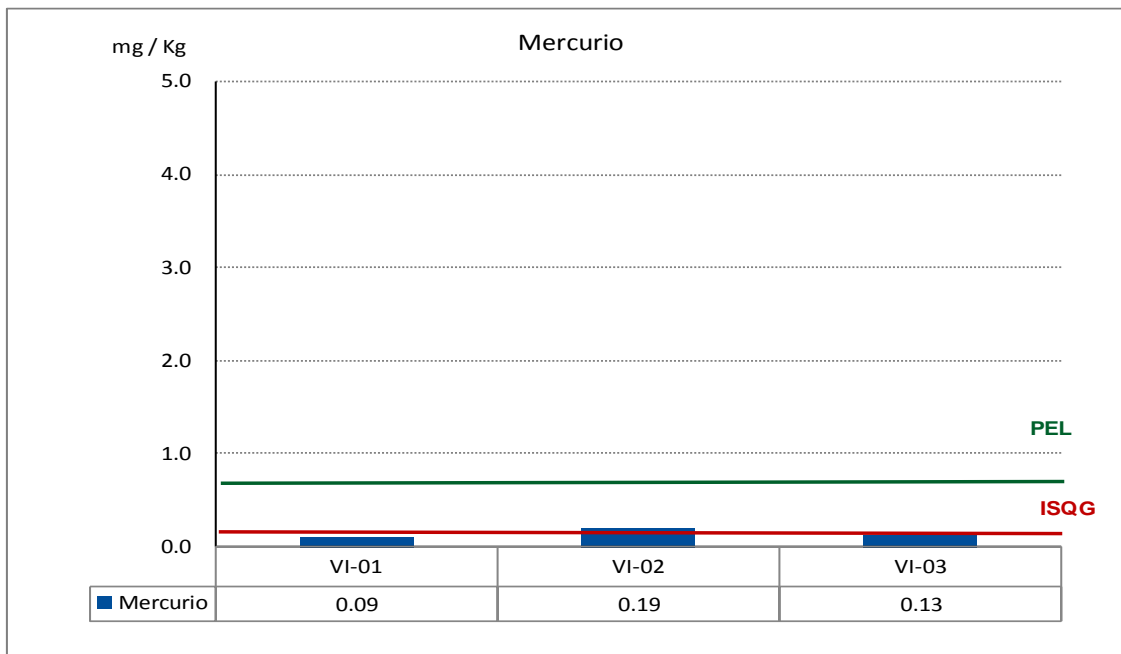
Fuente: BISA, 2012

Mercurio

El mercurio es un elemento traza no esencial que puede ser tóxico para la biota acuática a elevadas concentraciones. Los efectos adversos sobre la fauna incluyen mortalidad, reducción de la fertilidad y de la abundancia.

La concentración de mercurio en los sedimentos de la estación VI-01 (0.09 mg/kg) es menor al valor ISQG (0.13 mg/kg) y que el valor PEL (0.7 mg/kg). La estación VI-03 con una concentración de 0.13 mg/kg, se encuentra en el límite, mientras que la estación VI-2, ubicada la parte media del estuario sobrepasa el valor ISQG, pero no el valor PEL.

Figura 3.3.9-36. Distribución de la concentración del mercurio en los sedimentos Virrilá.



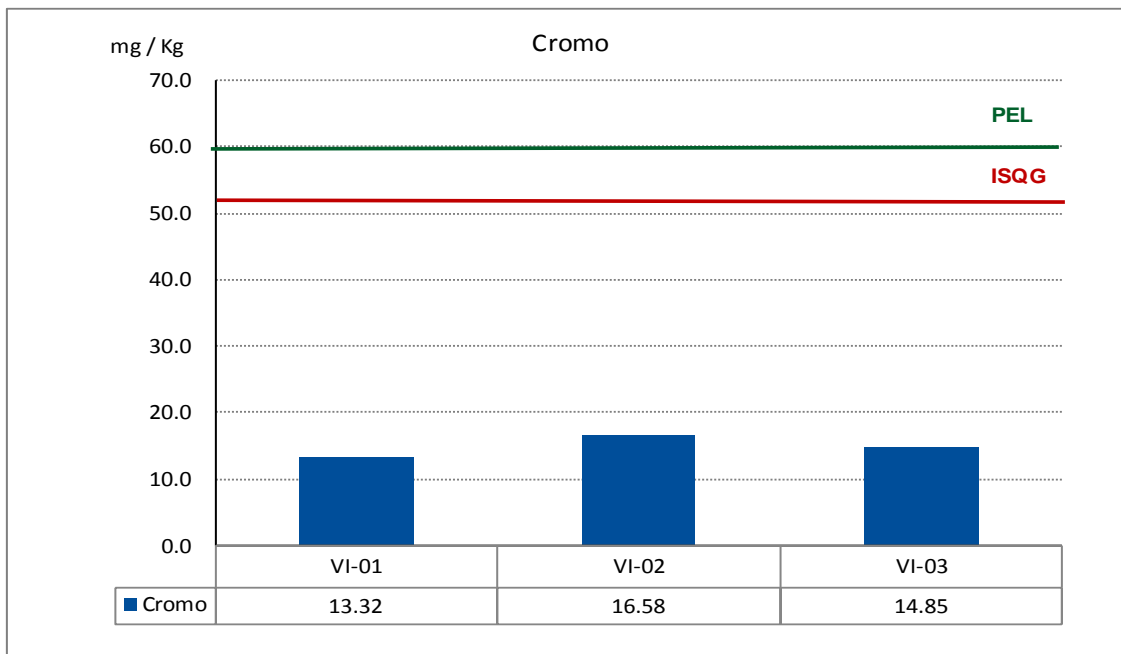
Fuente: BISA, 2012

Cromo

El cromo es un elemento traza esencial que puede ser tóxico a elevadas concentraciones. En el medio acuático el cromo presenta dos tipos de oxidaciones: trivalente (Cr^{3+}), y hexavalente (Cr^{6+}), siendo este último el de mayor toxicidad; su efecto sobre la biota a elevadas concentraciones incluye el decrecimiento en la biodiversidad y la abundancia, el incremento de la mortalidad y producción de cambios en el comportamiento de los organismos.

Los valores de la concentración del cromo en Virrilá variaron desde 13.32 en la estación VI-01 (cerca de la desembocadura del estuario) hasta 16.58 en la estación VI-02 (ubicada en la parte media del estuario cerca al puente). En todos los casos las concentraciones son mucho menores al valor ISQG (52.3 mg/kg) y PEL (60 mg/kg).

Figura 3.3.9-37. Distribución de la concentración del cromo en los sedimentos Virrilá.



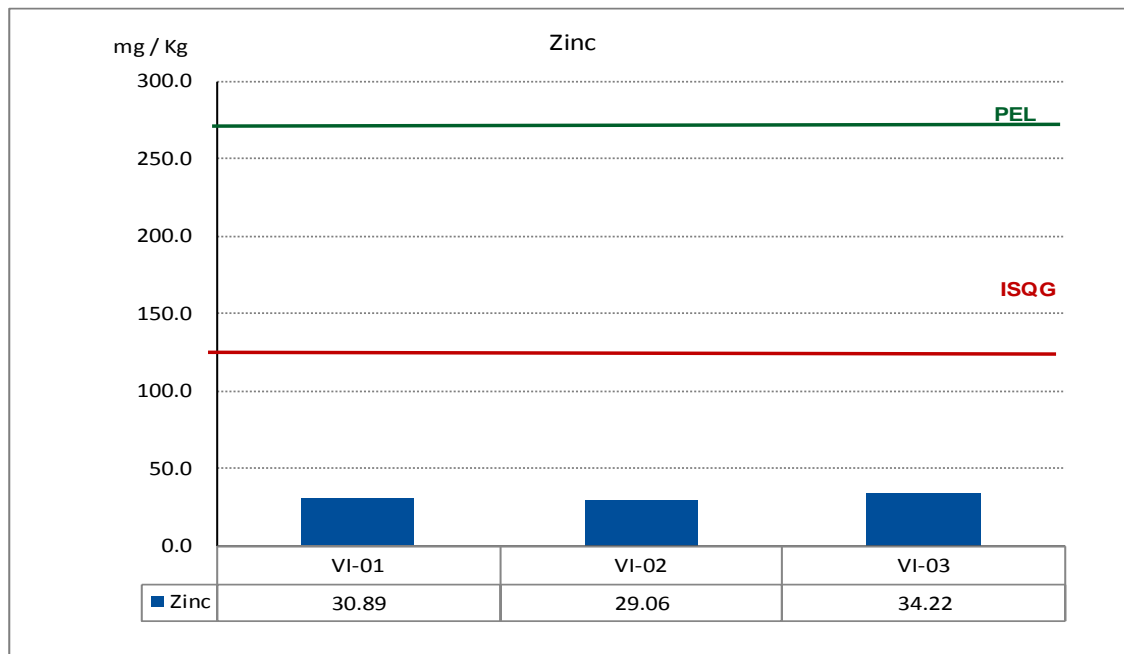
Fuente: BISA, 2012

Zinc

El zinc es un elemento traza esencial que a concentraciones elevadas puede ser tóxico para la biota acuática. Su fuerte afinidad hacia los sulfatos de hierro, manganeso y materia orgánica hacen que se acumule en el fondo. Los efectos adversos del zinc sobre los organismos acuáticos incluyen disminución de la diversidad y de la abundancia, así como cambios del comportamiento.

Las concentraciones del Zinc en los sedimentos de Virrilá mostraron valores entre 29,06 mg/kg en la estación VI-02 hasta 34,22 mg/kg en la estación VI-03. Los valores en zinc se encuentran debajo del valor ISQG (124 mg/kg y del valor PEL (271 mg/kg).

Figura 3.3.9-38. Distribución de la concentración del zinc en los sedimentos de Virrilá.



Fuente: BISA, 2012

3.3.9.1.5 Conclusiones

La temperatura del agua en el ecosistema acuático de Virrilá osciló en el mes de abril desde 24,2 °C en la estación VI-02 (ubicada en la parte media del estuario cerca al puente Virrilá) y 27,7 °C en la estación VI-01 (ubicada en la desembocadura del estuario). Mientras que en julio la temperatura osciló entre 23 °C en la estación VI-02 y 25,4 °C en la estación VI-01. Observándose que las mínimas temperaturas correspondieron en ambos casos a la estación VI-02 y las máximas a la estación VI-01, mientras que la estación VI-03 presentó temperaturas intermedias.

En abril los valores de pH se encuentran dentro de los ECA para Agua Categoría 4. Ecosistemas Marino Costeros- Estuarios (6,9 y 8,5); variando desde 7,1 (aguas ligeramente alcalinas) hasta 8,9 (aguas alcalinas). En julio las estaciones VI-01 y VI-02 superan el ECA.

Los valores de oxígeno disuelto en todas las estaciones cumplen con el ECA para Agua Categoría 4 – Ecosistemas Marino Costeros – Estuarios (≥ 4 mg/L). Los valores de Oxígeno disuelto variaron entre 5.4 mg/L (VI-02) y 8,7 mg/L (estación VI-03).

Los valores de de conductividad fueron mayores en julio. Apreciándose un mayor incremento en la estación VI-01 (cerca a la desembocadura del estuario) debido probablemente a un mayor intercambio del agua dulce con el agua de mar.

La demanda bioquímica de oxígeno registró valores entre 2,0 mg/L y 4,3 mg/L, los cuales son menores al ECA (15 mg/L), indicando que hay poca materia orgánica para ser degradadas por las bacterias aerobias.

Los sólidos totales disueltos superaron el valor ECA en todas las estaciones. Los valores de sólidos totales suspendidos superaron el valor ECA en la estación VI-01 (cerca a la desembocadura del estuario) durante las dos evaluaciones y en la estación VI-03 (ubicada en la unión del estuario con la Laguna de la Niña) en la evaluación de julio. Lo cual evidencia la presencia de gran cantidad de sólidos en el sistema acuático proveniente tanto de los aportes del flujo de agua como del arrastre eólico que transporta sólidos de los alrededores hacia el espejo de agua.

La estación ubicada cerca de la desembocadura del estuario (VI-1) presentó en abril una concentración de coliformes totales y fecales de 17 000 NMP/100mL superando en varias veces el valor ECA (2000 NMP/100mL), e indicando la presencia de vertimientos de aguas servidas.

La concentración de fosfatos en Virrilá supera el valor ECA (0,5 mg/L.) en la estación VI-01 cerca de la desembocadura del estuario durante las evaluaciones de abril y julio y la estación VI-03 (ubicada en la unión del estuario con la Laguna de La Niña) en abril. Esto se debe a la presencia de componentes de roca fosfórica de origen natural en la zona.

Las concentraciones de silicatos en Virrilá fueron muy altas, superando en varias veces el valor ECA (0,14 – 0,17 mg/L). Las mayores concentraciones de silicatos se dieron en temporada húmeda con valores que oscilaron entre 53,9 mg/L y 57,8 mg/L. El origen de esta alta concentración es probablemente el contenido natural de las arenas que aportan al estuario por efecto de arrastre eólico.

La concentración de nitrógeno amoniacal superó en todas las estaciones el valor ECA (0,05 mg/L). El mayor valor de nitrógeno amoniacal (0,7 mg/L) se registró en abril en la estación VI-01. Estos resultados muestran la presencia de procesos de descomposición en las aguas del Estuario.

Los valores del níquel superaron en todas las estaciones los valores ECA (0,002 mg/L). Las concentraciones llegaron a 0,25 mg/L en la estación VI-01(ubicado en la desembocadura del estuario). Este valor elevado solo puede explicarse como proveniente de fuentes naturales ya que no hay actividades antrópicas en la cuenca que podrían aportar este elemento.

Las concentraciones de plomo excedieron el valor del ECA (0,0081 mg/L) en las tres estaciones durante el mes de julio; mientras que en abril solo la estación VI-01 lo supera con un valor máximo (0,0350 mg/L). La presencia de este elemento proviene posiblemente de los desagües domésticos que se vierten al río y son arrastrados hasta este lugar.

Los valores de Zinc con excepción de la estación VI-03 (ubicada en la unión del estuario con la Laguna de La Niña) durante el mes de abril, superan el valor ECA (0,03 mg/L). La presencia de este elemento proviene posiblemente también de los desagües domésticos que se vierten al río.

El análisis granulométrico en las tres estaciones indica que los suelos en Virrilá son de tipo limoso, representando el limo más del 98% del peso.

El porcentaje de materia orgánica fue bajo representando entre el 0,209% y 0,325% del peso.

Las concentraciones de arsénico, cadmio, cobre, cromo y zinc en los sedimentos de Virrilá se encuentran debajo del valor ISQG y del valor PEL. Las concentraciones de esos metales en el sedimento al momento del muestreo no representaban un riesgo para la biota de Virrilá.

En la estación VI-01 la concentración de mercurio en los sedimentos (0,09 mg/kg) fue menor que el valor ISQG (0,13 mg/kg) y que el valor PEL (0,7 mg/kg). La estación VI-02 con 0,19 mg/kg sobrepasa el valor ISQG y PEL. Mientras que en la estación VI-03 el valor coincide con el valor ISQG.

3.3.9.2 Calidad de agua subterránea

En esta sección, se describen las condiciones referenciales de la calidad de cuerpos o fuentes de agua presentes en el área de proyecto. Se verificó que, con excepción del Estuario Virrilá, la única fuente de agua constituyen los pozos de donde se extrae el recurso mediante bombeo, éstos se distribuyen en las cercanías del sector conocido como “Caserío Illescas”. La evaluación se ejecutó mediante mediciones en campo y toma de muestras para su posterior análisis en laboratorio. La toma de muestras se realizó en dos periodos, correspondientes a la época seca (Noviembre 2011) y a la época húmeda (Abril del 2012).

Para este programa se utilizó como referencia el protocolo de monitoreo de efluentes del Ministerio de Energía y Minas.

3.3.9.2.1 Objetivo

La evaluación tiene como finalidad, brindar una visión de las condiciones actuales de calidad de los cuerpos de agua subterráneos, a través de la caracterización de los parámetros primarios indicadores de calidad ambiental que están en la legislación nacional e internacional como estándares de calidad.

3.3.9.2.2 Área de estudio

El área de estudio comprende el área de influencia ambiental directa del proyecto, donde se ha identificado la presencia de dos pozos que son explotados por SEDAPIURA extrayendo agua del acuífero subterráneo.

3.3.9.2.3 Metodología

a) Estándares de referencia

La legislación nacional cuenta con Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para Agua, normados mediante el D.S. N° 002-2008-MINAM, que establece niveles o grado de concentración de sustancias físicas, químicas o biológicas en los cuerpos de agua según los usos predominantes. De acuerdo a las investigaciones realizadas en campo el uso dado a las aguas en evaluación es para consumo humano por lo que corresponden al ECA Aguas de Categoría 1; Sub-categoría A1: Poblacional y Recreacional, Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable – Agua que puede ser potabilizada con desinfección (Cat 1-A1). Así mismo, se compararon los resultados utilizando normas internacionales de referencia vigentes en la actualidad como los lineamientos de la Organización Mundial de la Salud (OMS), de la Unión Europea (Directiva 98/83/CE), la EPA (Environmental Protection Agency of USA), la GBC (Government of British Columbia) y la norma Canadiense (CEQG = Canadian Environmental Quality Guidelines).

b) Selección de parámetros de evaluación para calidad de agua

En el cuadro siguiente se presentan los valores límite de los parámetros ECA tomados como referencia para fines de comparación.

Cuadro 3.3.9-8. Estándares de Calidad ambiental para Agua

Parámetro	Unidad	Cat 1-A1a
Fisicoquímicos		
Aceites y Grasas (MEH)	mg/L	1
Cianuro Libre	mg/L	0,005
Cianuro WAD	mg/L	0,08
Cloruros	mg/L	250
Conductividad Eléctrica	uS/cm	1500
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L	3

Parámetro	Unidad	Cat 1-A1a
Demanda Química de Oxígeno (DQO)	mg/L	10
Dureza	mg/L	500
S.A.A.M. (detergentes)	mg/L	0,5
Fenoles	mg/L	0,003
Fluoruros	mg/L	1
Fosforo Total	mg/L	0,1
Nitratos (NO3-N)	mg/L	10
Nitritos (NO2-N)	mg/L	1
Nitrógeno Amoniacal	mg/L	1,5
Oxígeno Disuelto	mg/L	<=6
pH	Unid.	6,5-8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1000
Sulfatos	mg/L	250
Sulfuros	mg/L	0,05
Inorgánicos		
Aluminio	mg/L	0,2
Antimonio	mg/L	0,006
Arsénico	mg/L	0,01
Bario	mg/L	0,7
Berilio	mg/L	0,004
Boro	mg/L	0,5
Cadmio	mg/L	0,003
Cobre	mg/L	2
Cromo Total	mg/L	0,05
Cromo Hexavalente	mg/L	0,05
Hierro	mg/L	0,3
Manganeso	mg/L	0,1
Mercurio	mg/L	0,001
Niquel	mg/L	0,02
Plata	mg/L	0,01
Plomo	mg/L	0,01
Selenio	mg/L	0,01
Uranio	mg/L	0,02
Vanadio	mg/L	0,1
Zinc	mg/L	3
Plaguicidas		
Organofosforados		
Paratión	mg/L	Ausencia
Organoclorados (COP)		
Aldrín	mg/L	Ausencia
Clordano	mg/L	Ausencia
DDT	mg/L	Ausencia
Dieldrín	mg/L	Ausencia
Endosulfan	mg/L	0,000056
Endrín	mg/L	Ausencia
Heptacloro	mg/L	Ausencia

Parámetro	Unidad	Cat 1-A1a
Heptacloro Epoxido	mg/L	0,00003
<u>Carbamatos</u>		
Aldicarb	mg/L	Ausencia
<u>Policloruros Bifenilos Totales</u>		
PCBs	mg/L	0,000001
Otros	mg/L	
Asbesto	MM de fibras/L	7
<u>Microbiológicos</u>		
<u>Coliformes Termotolerantes</u>		0
Coliformes Totales	NMP/100mL	50
Enterococos fecales	NMP/100mL	0
Escherichia Coli	NMP/100mL	0
Formas parasitarias	organismo/L	0
Giardia duodenalis	organismo/L	Ausencia
Salmonella SP	Presencia/100mL	Ausencia
Vibrio Cholerae	Presencia/100mL	Ausencia

Fuente: Estándares de Calidad Ambiental del Agua (ECA) - D.S. N° 002-2008-MINAM

^a Cat. 1-A1: Aguas de Categoría 1; Sub-categoría A1: Poblacional y Recreacional, Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable – Agua que puede ser potabilizada con desinfección.

- = valor de estándar no establecido.

c) Métodos de muestreo y análisis

Los análisis siguen las metodologías del Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater y U.S. Environmental Protection Agency-U.S. EPA.

La metodología empleada para la obtención de las muestras de agua y su posterior análisis tiene como referencia el Protocolo de Monitoreo de Calidad de Aguas del MINEM, las guías elaboradas por la Agencia para la Protección Ambiental de los EE.UU. (EPA, 1992) y los Métodos Estándar – SM (APHA, 1992), los mismos que proporcionan las reglas para la preservación de muestras, procedimientos, materiales y recipientes para garantizar la representatividad y calidad de la muestra de agua a ser evaluada.

Los siguientes lineamientos generales han sido tomados en cuenta en la recolección y manipulación de las muestras de agua obtenidas:

- Algunos parámetros se obtuvieron con mediciones in situ como el caso de Temperatura y pH realizados con equipo de medición multi parámetro.
- La recolección de muestras se realizó manualmente en la descarga de la salida de los pozos. Para ello se usaron recipientes de plástico o vidrio según el parámetro a evaluar.
- Las botellas fueron enjuagadas tres veces con el agua que estaba siendo recolectada, excepto en aquellas botellas que contenían preservante.
- Las botellas para muestras fueron llenadas dejando un espacio de aire necesario para permitir la expansión térmica durante el transporte.
- Las muestras recolectadas fueron registradas rotulando cada frasco para su identificación y posterior análisis en laboratorio.
- Se elaboró la correspondiente "cadena de custodia" que rastrea la historia de la muestra desde la recolección hasta la presentación del informe.

Los frascos con las muestras fueron colocadas en cajas térmicas (coolers) con bolsas de hielo y gel refrigerante, a fin mantenerlas en la temperatura adecuada (4°C) durante el trayecto hacia Lima. En el mismo recipiente térmico se colocaron en un sobre impermeable la cadena de custodia, hojas de datos de campo y la solicitud de análisis de muestras. Las botellas de vidrio fueron embaladas con cuidado para evitar roturas y derrames.

Los métodos de análisis empleados para el análisis de muestras en laboratorio se mencionan en los Informes de Ensayo N° 12-11-0675 y 117274L/11-MA-MB elaborados por INSPECTORATE SERVICES PERÚ S.A.C. (Ver **Anexo 3-4**) se resumen en el cuadro siguiente:

Cuadro 3.3.9-9. Métodos de análisis empleados

Parámetro	Referencia del método
pH	EPA 150.1 pH Electrometric; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Temperatura	EPA 170.1 Temperature, Thermometric; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Conductividad	EPA 120.1 Conductance, Specific Conductance; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Oxígeno Disuelto	Test Oxígeno "Método volumétrico"
Aceites y Grasas	D 7066-04 Standard Test Method for dimet/trimer of chlorotrifluoroethylene
Cianuro WAD	Method EPA OIA-1677, Draft Available Cyanide by Flow Injection, Ligand Exchange, and Amperometry
Nitrógeno Nitrato	EPA 352.1 Nitrate, Colorimetric, Brucine; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Sulfatos	EPA 375.4 Sulfate (Turbidimetric) "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Cromo Hexavalente	APHA AWWA WEF 21th Edition 2005. Pag 3-67 a 3-68. 3500-Cr B 4e, Chromium; Colorimetric, Method.
Cloruros	EPA 325.3 Chloride, Titrimetric, Mercuric Nitrate; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; " Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999.
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EPA 405.1 Biochemical Oxygen Demand, 5 Days, 20oC; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999
Demanda Química de Oxígeno	EPA 410.2 Chemical Oxygen Demand, Titrimetric, Low-Level. "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999
Sulfuro	EPA 376.2 Sulfide, Colorimetric, Methylene Blue; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999.
Nitrito	EPA 354.1 Nitrite, Spectrophotometric; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-

Parámetro	Referencia del método
	99-004, June 1999.
Fluoruro	EPA 340.2 Fluoride (Potentiometric, Ion Selective Electrode); "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999
Coliformes Totales	APHA AWWA WEF. 21st Edition. 2005. Pag. 9-49 – 9-50. Part 9221 B. Standard Total Coliform Fermentation Technique.
Coliformes Fecales	APHA AWWA WEF. 21st Edition. 2005. Pag. 9-56 – 9-57. Part 9221 E. Fecal Coliform Procedure. 1Fecal Coliform Test (EC Medium).
Metales por ICP	EPA 200.8 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry. Revisión 5.4, 1994
Fenoles	EPA 420.1 Phenolics, Total recoverable, Spectrophotometric, Manual 4-AAP with destillation; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999.
Sustancias Activas Azul Metileno	APHA AWWA WEF, Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21TH Ed. 2005. Part 5540 C Anionic Surfactants as MBAS, Pag 5-47.
Fósforo Total	EPA 365.3 Phosphorus, All Forms, Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Turbidez	EPA 180.1: Turbidity, Nephelometric; "Meethods for ChemicalAnalysis of Water; Document 20460; EPA 621 – C – 99, June 199".
Sólidos Totales Disueltos	EPA 160.1: Residue, filterable, Gravimetric,Dried at 180°C; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Dureza Total	EPA 130.2 Hardness, Total (mg/L as CaCO3), Titrimetric, EDTA; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999.
Color	EPA 110.2 color, Colometric, Platinum – Cobalt, "Methods for Chemical for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999.
Olor	ISP – 005 2004 Determinación de Análisis Organopéptico.

Parámetro	Referencia del método
Nitrógeno Amoniacal	APHA AWWA WEF. 21th Edition, 2005. Pag 4-114. 4500NH3-F: Nitrogen (Ammonia) Phenate Method
Pesticidas Carbamatos	METHOD EPA 8270D: Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision Pesticidas Carbamatos 4, February 2006
Pesticidas Organofosforados	METHOD EPA 8270D :Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS)
Pesticidas Organoclorados	METHOD EPA 8270D: Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS)
Eschericha Coli	SMEWW APHA AWWA WEF. Part 9221 F. 21st Ed. 2005. Approved by SM Committee, 2006. <i>Escherichia coli</i> Procedure Using Fluorogenic Substrate. 1. <i>Escherichia coli</i> Test (EC-MUG medium).
Salmonella	SMEWW-APHA AWWA WEF. Part 9260 B. 21 st Ed. 2005. Approved by SM committee; 2007 salmonella
Vibrium Cholerae	SMEWW APHA AWWA WEF. Part 9260 H. 21 st. Ed 2005 Approved by SM Committee, 2007 <i>Vibrio</i>
Parásitos y Protozoarios Enteropatógenos	APHA AWWA WEF. 18th Edition. 1992. Pag. 9-126 – 9-127. Part 9711 B,3b-c. <i>Giardia lamblia</i> ; Pag. 9-128 – 9-129. Part 9711 C. <i>Entamoeba histolytica</i> ; Pag. 9-129 – 9-131. Part 9810. Nematological Examination.
<i>Giardia duodenalis</i>	
<i>Enterococcus</i>	APHA AWWA WEF. Part 9230 C-21st Ed. 2005. Approved by SM Committee 2007.
Hidrocarburos Totales de Petróleo	Method 8015D: Determinacion de Organicos Halogenados usando CG/FID
Trihalometano	METHOD EPA 8260B: Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision 2, December 1996
Hidrocarburos Aromáticos de	METHOD EPA 8270D: Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision 4, February 2006
PCBs	METHOD EPA 8270D: Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision 4, February 2006
BTEX	METHOD EPA 8260B: Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision 2,

Parámetro	Referencia del método
	December 1996
VOC's	METHOD EPA 8260B: Volatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision 2, December 1996.
Cianuro Libre	D 7237-06 Standard Test Method for Aquatic Free Cyanide with Flow Injection Analysis (FIA) Utilizing Gas Diffusion Separation and Amperometric Detection1

Fuente: Informes de Ensayo N° 12-11-0675, 05-12-0278, 117274L/11-MA-MB, 117278L/11-MA-MB, 53002L/12-MA-MB y 53003L/12-MA-MB - Inspectorate Services Perú S.A.C.

d) Estaciones de muestreo y/o evaluación

Para tal efecto se determinaron como estaciones de muestreo a los dos (02) pozos de bombeo de agua subterránea ubicados en el lado sur-oeste del área del proyecto.

En el cuadro 3.3.9-10, se detalla sus ubicaciones políticas y coordenadas UTM (Ver plano **830MA0001A-010-20-019**, Plano Monitoreo de Calidad Agua y Sedimentos).

Cuadro 3.3.9-10. Estaciones de evaluación de calidad de agua

Código	Descripción de Ubicación	Ubicación Política			Coordenadas UTM WGS 84 Zona 17 Sur		
		Distrito	Provincia	Región	Este m	Norte m	Altitud m.s.n.m.
PA-01	Pozo Illescas I-9	Sechura	Sechura	Piura	504 706	9 345 664	84
PA-02	Pozo Illescas I-1A.	Sechura	Sechura	Piura	504 083	9 347 159	85

Fuente: Inspectorate Services Perú S.A.C./BISA 2012

3.3.9.2.4 Resultados

Los resultados de mediciones de campo y los análisis de laboratorio para calidad de agua, se presentan en los Informes de Ensayo N° 12-11-0675, 05-12-0278, 117274L/11-MA-MB, 117278L/11-MA-MB, 53002L/12-MA-MB y 53003L/12-MA-MB elaborados por Inspectorate Services Perú S.A.C. (Ver **Anexo 3-4**).

En el cuadro siguiente se consignan los resultados obtenidos comparados con los valores ECA elegidos como referencia.

Cuadro 3.3.9-11. Valores de concentración obtenidos para Agua Subterránea

Parámetros	Unidades	Temporada Húmeda		Temporada Seca		ECA ⁽¹⁾	OMS ⁽²⁾	UE ⁽³⁾	EPA ⁽⁴⁾	GBC ⁽⁵⁾	CEQG ⁽⁶⁾
		PA-01	PA-02	PA-01	PA-02						
Físicos y Químicos											
Aceites y grasas (MEH)	mg/L	< 0,20	< 0,20	0,83	0,67	1	-	-	-	-	-
Cianuro Libre	mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	< 0,002	0,005	-	0,05	0,14	0,2	0,2
Cianuro Wad	mg/L	< 0,002	< 0,002	< 0,002	?	0,08	-	-	-	-	-
Cloruro	mg/L Cl ⁻	364,4	450,2	448,8	373,4	250	5	250	-	250	-
Color	U. C.	2,5	< 0,5	2,1	< 0,5	15	-	Aceptable	-	-	-
Conductividad	µs/cm	2085	2401	2046	1752	1500	-	2500 (20°C)	-	-	-
Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO ₅)	mg/L O ₂	< 2,0	< 2,0	< 2,0	< 2,0	3	-	-	-	-	-
Demanda Química de Oxígeno	mg/L O ₂	7,3	9,5	5,7	< 2,0	10	-	-	-	-	-
Dureza Total	mg/L CaCO ₃	-	-	247,2	263,3	500	-	-	-	-	-
Sustancias Activas Azul de Metilo (SAAM)	mg/L SAAM	< 0,025	< 0,025	< 0,025	< 0,025	0,5	-	-	-	-	-
Fenoles	mg/L	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	< 0,0010	0,003	-	-	10	0,05	-
Fluoruro	mg/L	0,4	0,4	0,4	0,4	1	1,5	1,5	4	1,5	1,5
Fósforo Total	mg/L P Total	-	-	0,04	0,03	0,1	-	-	-	-	-
Nitratos	mg/L N (NO ₃ ⁻)	0,340	0,240	< 0,06	0,07	10	50	50	10	10	45
Nitritos	mg/L N (NO ₂ ⁻)	0,0120	< 0,006	< 0,0006	< 0,0006	1	3	0,5	1	1	-
Nitrógeno Amoniacal	mg/L N (NH ₃ ⁻)	0,85	0,07	0,15	0,02	1,5	-	-	-	-	-
Olor	-	Aceptable	Aceptable	Libre de Olores extraños	Libre de Olores extraños	Aceptable	-	Aceptable	-	-	-
Temperatura	°C	30,1	30,2	28,6	28,5	-	-	-	-	15	15
Oxígeno Disuelto	mg/L	4,4	4,8	6	6,2	>= 6	-	-	-	>=5	-
pH	Unidad de pH	7,1	7,1	7,47	7,18	6,5 - 8,5	-	6,5 - 9,5	5 - 9	-	6,5 - 8,5
Sólidos Disueltos Totales	mg/L	1221,0	1131,6	1146	1051,2	1000	-	-	250	-	<= 500
Sulfatos	mg/L SO ₄ ⁻²	189,7	215,3	194,5	173,2	250	-	250	-	500	500
Sulfuros	mg/L S ⁻²	< 0,002	< 0,002	0,019	< 0,002	0,05	-	-	-	-	0,05
Turbiedad	U.N.T.	6,6	6,9	6,2	6,4	5	-	Aceptable	-	-	-
Inorgánicos - Metales											
Aluminio (Al)	mg/L	0,0050	0,0182	0,0034	0,0043	0,2	-	0,2	-	0,2	0,1
Antimonio (Sb)	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0,006	0,02	0,005	0,0056	-	0,006
Arsénico (As)	mg/L	0,0007	0,0013	0,0014	< 0,0004	0,01	0,01	0,01	0,01	0,025	0,01
Bario (Ba)	mg/L	0,0104	0,0124	0,0114	0,0108	0,7	0,7	-	1	-	1
Berilio (Be)	mg/L	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	< 0,0006	0,004	-	-	0,004	-	-
Boro (B)	mg/L	0,3415	0,3707	0,3812	0,3864	0,5	2,4	1	-	5	5
Cadmio (Cd)	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0,003	0,003	0,005	0,005	-	0,005
Cobre (Cu)	mg/L	0,0033	0,0084	0,0048	0,0018	2	2	2	1,3	0,5	-
Cromo (Cr)	mg/L	0,0023	0,0037	< 0,0005	< 0,0005	0,05	0,05	0,05	0,1	-	0,05
Cromo Hexavalente (Cr ^{VI})	mg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,05	-	-	-	-	-
Hierro (Fe)	mg/L	0,0440	2,3511	1,1425	0,6348	0,3	-	0,2	-	1	0,3
Manganeso (Mn)	mg/L	0,0021	0,0065	0,0151	0,0052	0,1	-	0,05	0,05	-	0,05

Parámetros	Unidades	Temporada Húmeda		Temporada Seca		ECA ⁽¹⁾	OMS ⁽²⁾	UE ⁽³⁾	EPA ⁽⁴⁾	GBC ⁽⁵⁾	CEQG ⁽⁶⁾
		PA-01	PA-02	PA-01	PA-02						
Mercurio (Hg)	mg/L	< 0,0001	< 0,0001	< 0,0001	0,0001	0,001	0,006	0,001	0,002	0,001	0,001
Níquel (Ni)	mg/L	< 0,0004	< 0,0004	0,0011	0,0024	0,02	0,07	0,02	0,61	-	-
Plata (Ag)	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	< 0,0002	0,01	-	-	-	0,05	-
Plomo (Pb)	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	0,0002	< 0,0002	0,01	0,01	0,01	0,015	0,05	0,01
Selenio (Se)	mg/L	< 0,0002	< 0,0002	0,0002	0,0011	0,01	0,04	0,01	0,05	0,01	0,01
Sodio (Na)	mg/L	260,95	324,97	391,2821	315,5217	-	50	200	-	-	200
Uranio (U)	mg/L	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	< 0,0003	0,02	0,03	-	-	-	0,02
Vanadio (V)	mg/L	0,0005	0,0011	< 0,0003	< 0,0003	0,1	-	-	-	-	-
Zinc (Zn)	mg/L	0,0062	0,0062	0,0547	0,0241	3	-	-	7,4	5	5
Orgánicos											
Hidrocarburos totales de petróleo, HTTP	mg/L (C ₆ -C ₂₈)	< 0,20	< 0,20	< 0,20	< 0,20	0,05	-	-	-	-	-
Compuestos Orgánicos Volátiles COVs											
1,1-Dicloroetileno	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	30	-	-	330	-	14
1,2-Dicloroetano	µg/L	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	30	30	3	0,38	-	5
1,1,1-Tricloroetano	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2000	-	-	-	-	-
Tetracloruro de carbono	µg/L	< 0,3	< 0,3	< 0,3	< 0,3	2	4	-	-	-	-
Benceno	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	10	-	1	2,2	5	5
1,1,2-Tricloroetano	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	2000	-	-	0,59	-	-
Tolueno	µg/L	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	700	-	-	1300	-	-
Tetracloroetileno	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	40	-	-	-	-	30
1,2-Diclorobenceno	µg/L	< 0,4	< 0,4	< 0,4	< 0,4	1000	1000	-	420	-	200
Hexaclorobutadieno	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,6	0,6	-	0,44	-	-
BETX											
Benceno	µg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	10	-	-	2,2	5	5
Tolueno	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	700	700	-	1300	-	24
Xileno (m+p)	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	500	500	-	-	-	30
Xileno (o)	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	500	500	-	-	-	-
Hidrocarburos Policíclicos Aromáticos (PAHs)											
Benzo (A) Pyrene	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	0,7	-	0,01	0,0038	-	0,01
Plaguicidas											
Organofosforados											
Triethylphosphor othioate	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	-
Thionazin	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	-
Phorate	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	-
Sulfotep	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	-
Disulfoton	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	-
Dimethoate	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	20
Methyl Parathion	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	-
Parathion	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	50
Famphur	µg/L	< 0,5	< 0,5	< 0,5	< 0,5	Ausencia	-	-	-	-	-

Parámetros	Unidades	Temporada Húmeda		Temporada Seca		ECA ⁽¹⁾	OMS ⁽²⁾	UE ⁽³⁾	EPA ⁽⁴⁾	GBC ⁽⁵⁾	CEQG ⁽⁶⁾
		PA-01	PA-02	PA-01	PA-02						
Organoclorados (COP*)											
Heptachlor	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Ausencia	-	-	0,000079	-	-
Aldrin	µg/L	< 0,03	< 0,03	< 0,03	< 0,03	Ausencia	0,03	-	0,000049	-	0,7
HeptachlorEpoxide Isomer B	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Ausencia	-	-	0,000039	-	-
Clordane Cis	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Ausencia	-	-	0,0008	-	-
Clordane Trans	µg/L	< 0,05	< 0,05	< 0,05	< 0,05	Ausencia	-	-	-	-	-
Endosulfan-I (Alpha)	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,056	-	-	62	-	-
Dieldrin	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Ausencia	0,03	-	0,000052	-	0,7
Endosulfan-II (Beta)	µg/L	< 0,02	< 0,02	< 0,02	< 0,02	0,056	-	-	62	-	-
4,4'-DDT	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Ausencia	-	-	0,00022	-	-
Endrin Aldehyde	µg/L	< 0,1	< 0,1	< 0,1	< 0,1	Ausencia	-	-	0,29	-	-
Endosulfan Sulphate	µg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	Ausencia	-	-	62	-	-
Endrin Ketone	µg/L	< 0,2	< 0,2	< 0,2	< 0,2	Ausencia	-	-	-	-	-
Carbamatos:											
Aldicarb (restringido)	µg/L	< 1,0	< 1,0	< 1,0	< 1,0	Ausencia	10	-	-	-	-
Policloruros Bifenilos Totales											
(PCBs)	µg/L	< 0,8	< 0,8	< 0,8	< 0,8	0,001	-	-	0,000064	-	9
Microbiológicos											
Coliformes Totales	NMP/100ml	< 1,8	49	< 1,8	< 1,8	50	Ausente	0	-	-	0
Coliformes Fecales	NMP/100ml	< 1,8	11	< 1,8	< 1,8	0	Ausente	-	-	0	-
Escherichia coli	NMP/100ml	< 1,8	2	< 1,8	< 1,8	0	Ausente	0	-	0	0
Enterococcus Group	ufc/100ml	< 1	< 1	< 1	< 1	0	Ausente	0	-	0	-
Giardia duodenalis	Organismos/Litro	-	-	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausente	-	-	-	-
Salmonella	Detección/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausente	-	-	-	-
Vibrio cholerae	Detección/100ml	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausente	-	-	-	-
Parásitos y Protozoarios Enteropatógenos	/1 L	Ausencia	Ausencia	Ausencia	Ausencia	-	Ausente	-	-	-	-

FUENTE: Informes de Ensayo N° 12-11-0675, 05-12-0278, 117274L/11-MA-MB, 117278L/11-MA-MB, 53002L/12-MA-MB y 53003L/12-MA-MB - Inspectorate Services Perú S.A.C.

- = valor de estándar no establecido.

(1) ECA = Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para agua D.S. N° 002-2008 del Ministerio del Medio Ambiente, Categoría 1-A1 - Aguas de Categoría 1; Sub-categoría A1: Poblacional y Recreacional, Aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable – Agua que puede ser potabilizada con desinfección

(2) OMS = Organización Mundial de la Salud: Estándares para agua potable (OMS 2004). Valores Guía para Aguas Superficiales

(3) UE = Unión Europea; Directiva 2006/44/CE Relativa a la calidad de aguas continentales que requieren protección o mejoras para ser aptas para la vida de peces (Aguas Oprinícolas).

(4) EPA = U. S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, EPA Recommended Ambient Water Quality Criteria. Aquatic Life freshwater

(5) GBC = Government of British Columbia - Environmental Protection Division, British Columbia Approved Water Quality Guidelines 2006.

(6) CEQG = Canadian Environmental Quality Guidelines; water for Aquatic Life.

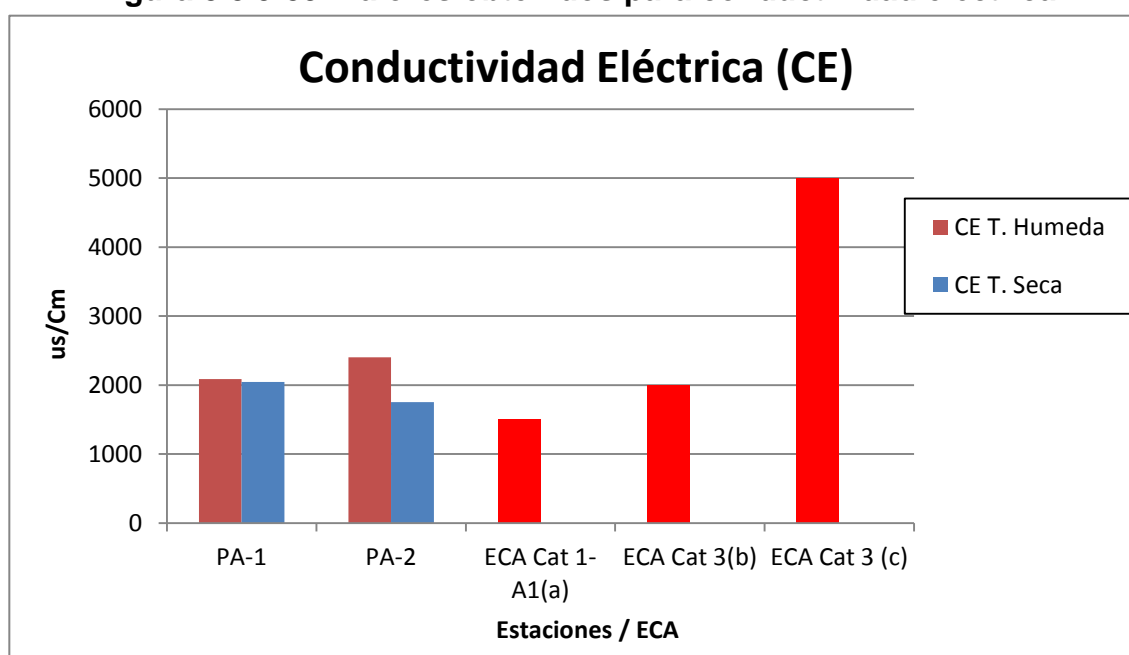
3.3.9.2.5 Interpretación de los resultados

Como se sabe, no hay estándares para la calidad de agua subterránea, por lo que los resultados de los parámetros evaluados y su comportamiento se han evaluado tomando como referencia los valores estipulados por los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (D.S. N° 002-2008-MINAM). Teniendo en cuenta el uso del recurso, la mayoría de los parámetros estudiados han estado dentro de los valores aceptados del ECA Categoría 1 – A1. A continuación se analizan los valores que han estado por encima del ECA.

Conductividad Eléctrica

Los valores de este parámetro varían entre 1752,0 y 2401,0 uS/cm. En ambas estaciones y en las 2 temporadas evaluadas superan el valor límite ECA de Categoría 1 – A1 (1500 uS/cm). La mayor variación se presenta en PA-2 siendo mayor en temporada húmeda. Los niveles de conductividad registrados determinan una alta concentración de sales disueltas característica en aguas de origen subterráneo. (Ver figura 3.3.9-39).

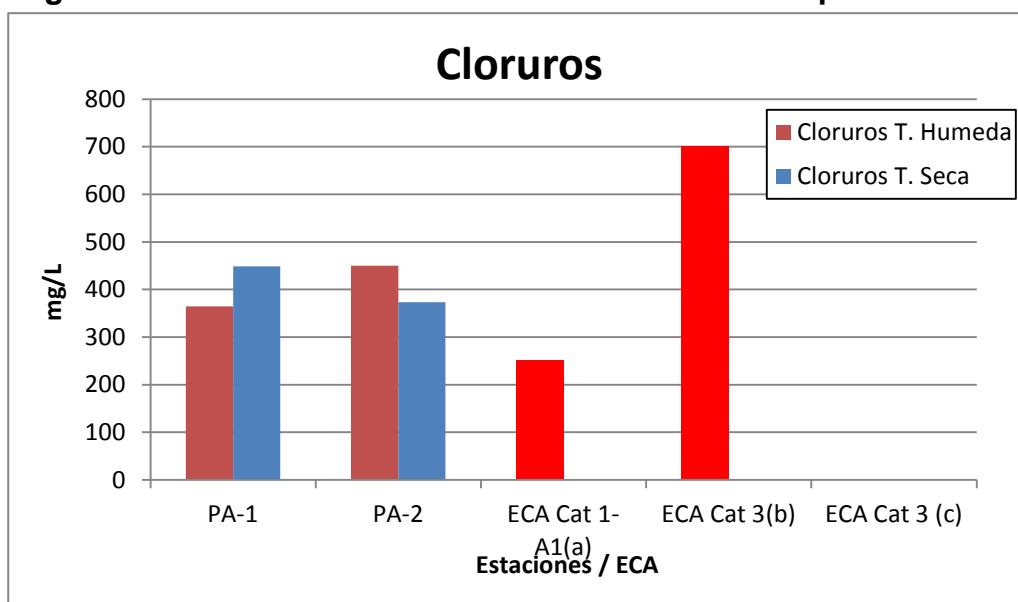
Figura 3.3.9-39. Valores obtenidos para conductividad eléctrica



Cloruros

Los valores reportados en las 2 estaciones y ambas temporadas superan el valor ECA para la Categoría 1-A1. En la estación PA-1 el valor es mayor en temporada seca y en PA-2 es mayor en temporada húmeda (Ver Figura 3.3.9-40). Estos resultados son congruentes con la alta Conductividad registrada, concluyendo que hay una alta concentración de sales tipo cloruros.

Figura 3.3.9-40. Valores de concentración obtenidos para cloruros



Otros parámetros fisicoquímicos

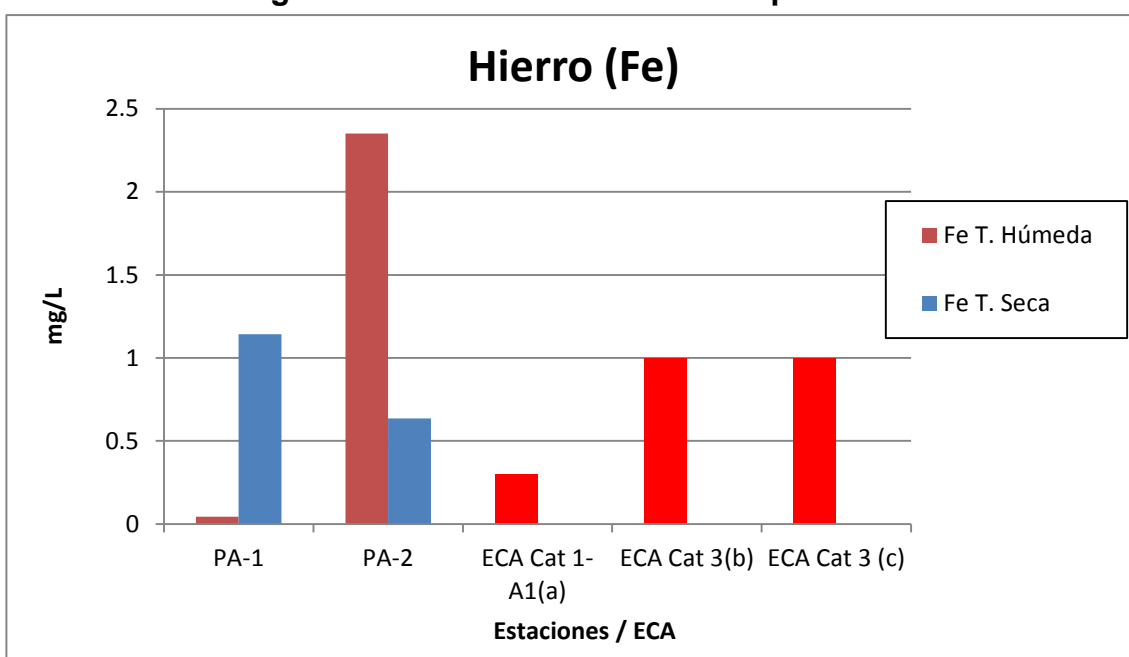
Los demás parámetros evaluados como cianuro WAD, fenoles, fluoruros, fósforo total, detergentes, nitrato y nitritos reportaron valores muy por debajo de los valores límite de ECA para la categoría usada como referencia.

Metales

En general casi todos los metales evaluados reportan valores por debajo del ECA con excepción del hierro; cuyos valores en la estación PA-2 supera el valor ECA Categoría 1-A1 en ambas temporadas, resaltando el muy alto valor en temporada

húmeda; mientras en la estación PA-1, solo el valor en temporada seca supera el valor ECA de referencia. (Ver figura 3.3.9-41). El alto valor de hierro en la estación PA-2 en temporada húmeda puede deberse a contenido natural de las aguas, lo cual deberá confirmarse en los monitoreos posteriores del plan de manejo ambiental.

Figura 3.3.9-41. Valores obtenidos para hierro



Los valores reportados para los metales pesados y/o de mayor interés ambiental por sus características de potencial toxicidad como arsénico, plomo, cadmio, cromo (total y hexavalente), bario y mercurio para las 2 estaciones y ambas temporadas están por debajo de los valores de ECA para la categoría 1-A1 usada como referencia.

Parámetros microbiológicos

Los valores detectados por los métodos seguidos para coliformes totales en ambas estaciones para la temporada Húmeda están por debajo del valor ECA usado para comparación. El método de análisis no permitió detectar el valor exacto de coliformes termotolerantes para la Categoría 1-A1 (0 NMP/100mL).

Los resultados para salmonella sp y vibrio cholerae están dentro del valor límite del ECA.

Se detectó E. coli solo en la estación PA-2 para temporada húmeda donde supera ligeramente (en 2 unidades) el valor ECA para Categoría 1-A1 (0 NMP/100mL). Con los datos existentes no se puede explicar este resultado ya que no hay poblaciones en las cercanías de este pozo; podría deberse a una contaminación por manipuleo durante la colección y traslado de la muestra.ñ

Plaguicidas

Se evaluó la presencia de plaguicidas tipos organofosforados (Parathion), organoclorados (Adrín, Dieldrín, DDT, Etc.) y Carbamatos. Los valores reportados no superan el valor ECA escogido como referencia en un caso y en otros casos el límite de detección del método de análisis utilizado es mayor al valor ECA.

3.3.9.3 Bibliografía

- Buchanan, B.A. & W.A. Stoner. 1988. Distributional patterns of blue crabs (Callinectes sp.) in a tropical estuarine lagoon. Estuaries 11: 231-239.
- Canadian Council of Ministers of the Environment. Canadian Sediment Quality Guidelines for the protection of the aquatic life. In Canadian Environmental Quality Guidelines 2002.
- Duinker, J. C. Suspended Matter in Estuaries: Adsorption and Desorption Processes. Ch. in Chem. and Biogeochem. of Estuaries, ed. by E. Olausson and I. Cato. Wiley Intersci. 1980, pp. 121-150.
- Fernandes, L. F. 1992. Seasonal variation of phytoplankton and hydrographical parameters in a coastal station off Paranaguá Bay, Paraná,

Brazil. Master Thesis in Botany, Federal University of Paraná State, Curitiba, Brazil, 93 pp.

- Fernandes, LF, Zehnder-Alves, L & JC Bassfeld. 2001. The recently established diatom *Coscinodiscus wailesii* (Coscinodiscales, Bacillariophyta) in Brazilian waters. I. Remarks on morphology and distribution. *Phycol. Res.* 49: 89-96.
- Inés Sunesen and Eugenia A. Sar (2007) Marine diatoms from Buenos Aires coastal waters (Argentina). IV. Rhizosolenia s. str., Neocalyptrella, Pseudosolenia, Proboscia. *Phycologia*: November 2007, Vol. 46, No. 6, pp. 628-643.
- Koray T. 2004. Potentially toxic and harmful phytoplankton species along the coast of the Turkish Seas. En: Steindinger KA, JH Landsberg, CR Tomas & GA Vargo (eds). *Harmful Algae 2002*, pp. 335-337. Florida Fish and Wildlife Conservation Commission, Florida Institute of Oceanography, and IOC of UNESCO, St. Petersburg, Florida.
- Nagai, S., Hori, Y., Miyahara, K., Manabe, T. and Imai, I. 1996. Population Dynamics of *Coscinodiscus Wailesii* Gran (Bacillariophyceae) in Harina-Nada, Seto Island Sea, Japan. In Yasumoto, T., Oshima, Y. and Fukuyo, Y. (Eds) *Harmful and Toxic Algal Blooms*. Intergovernmental Oceanographic Commission of UNESCO, Japan, pp. 239–42.
- Nelson, J.S., 1994. *Fishes of the world*. Third edition. John Wiley & Sons, Inc., New York. 600 p.
- Ministerio del Ambiente. D.S. N° 002-2008-MINAM Estándares Nacionales de Calidad Ambiental ECA para agua. Perú.
- Prahl, Henry von y Felipe Guhl (1979) "Notas sobre la biología de UCA (Minuca) panamensis (Stimpson, 1859) Crustacea, Ocipodidae) y su

distribución en Colombia"; Anales del Instituto de Investigaciones Marinas de Punta Betín 11: 147-152

- Russell Lande May, 1996 Statistics and Partitioning of Species Diversity, and Similarity among Multiple Communities Oikos Vol. 76, No. 1, pp. 5-13.
- Rosenberg, M. S. 2001. The systematics and taxonomy of fiddler crabs: A phylogeny of the genus *Uca*. J. Crust. Biol. 21: 839–869,
- KRUSKAL, J. B. (1964): Nonmetric Multidimensional Scaling: A Numerical. Method. Psychometrika, 2, 115-129.

3.3.10 Estudio hidro-oceanográfico

3.3.10.1 Introducción

Los estudios de olas tienen el objeto de proporcionar información útil para el diseño, operatividad e instalación de cualquier tipo de infraestructura en costa o en el mar, a fin de que no existan contratiempos ni fallas durante la instalación y operación de los mismos. En tal sentido, los datos e informaciones obtenidas por los estudios deben ser lo suficientemente precisos y densos para evitar inconvenientes. En este caso, el análisis del oleaje estará orientado a determinar principalmente las características de altura de ola a diferentes profundidades.

Con el uso de datos estadísticos de olas registradas adyacentes a la bahía de Sechura, se determinaron las alturas de olas en aguas profundas y, a partir de estas últimas, en la zona de estudio. Asimismo, se comprobó resultados mediante el uso de los datos estadísticos de oleajes de braveza de mar correspondientes al puerto de Talara (proporcionada por la DHN).

Por último, se usaron como referencia las alturas y las direcciones de olas (obtenidas de observaciones hechas durante el año 2005 en la costa norte del Perú) presentadas en el modelo Wavewatch III que difunde el NCEP de la NOAA.

3.3.10.2 Descripción morfológica del borde costero del área levantada

El área de levantamiento, está comprendida entre las puntas Aguja y Bappo, en la ensenada de Sechura, extendiéndose hacia el mar aproximadamente 500 metros (ver figura 3.3.10-1).

Figura 3.3.10-1. Área de levantamiento estudio oceanográfico



Fuente: Google Earth Julio 2012.

Ensenada de Sechura

Después de la punta Gobernador, desaparece la costa barrancosa y en cambio, descienden hasta la playa, cuevas de arena que terminan en pampas altas

Aproximadamente a 12 millas al sudeste de la costa, la ensenada de Sechura presenta la misma fisonomía y a esta distancia se encuentra la caleta San Pedro, en la costa norte de la desembocadura del río Piura, es decir este río descarga sus aguas casi en la parte media de la ensenada, distante 18 millas de punta Gobernador y aproximadamente a 14 millas de punta Foca.

A más de 6 millas de punta Gobernador y aproximadamente a 14 millas de punta

Foca, se encuentra el límite fronterizo entre la provincias de Paita y Piura; partiendo de este lugar, la costa presenta una playa baja y de arena hasta alcanzar la caleta san pedro y la desembocadura del rio Piura.

De este último fenómeno geográfico, la costa continúa hacia el sudeste y luego hacia el sur labrando ligeras curvaturas con llanuras bajas de arena, donde los pescadores de la región fondean sus embarcaciones. Hacia el interior y en la margen izquierda del rio Piura se encuentra la ciudad de Sechura,

La ensenada de Sechura cuenta con fondos que varían entre los 18 y 80 metros; este último veril corre en dirección noreste desde punta Aguja, donde son bastante profundos. En el extremo sudoeste de la ensenada de Sechura y al abrigo de los vientos y el mar de leva, se encuentra puerto Bayoyar, cuyas instalaciones atienden los embarques de petróleo a través del terminal de la larga tubería del oleoducto que viene desde la selva del nororiente peruano.

La punta Aguja, llamada también Pisura, constituye la extremidad austral de la ensenada de Sechura y la más septentrional de un tablazo alto que se extiende aproximadamente 200 millas hacia el sur. Esta punta esta constituida por un pequeño cerro de forma cónica de 10 metros de alto, cuya costa despide por el noroeste algunas piedras visibles.

El macizo de Sechura está formado por una cadena de colinas de unos 36 km. de largo y 300 metros de alto, alineados en forma semicircular hacia la extremidad occidental de la península del mismo nombre, entre el desierto y el mar.

Punta Aguja tiene la particularidad de despedir fuertes rachas de viento casi en forma permanente; frente a la punta Aguja y hasta 200 metros a su contorno, se encuentran bajos y rocas anegadizas peligrosas para las embarcaciones menores, que voltean esta punta, al entrar o salir de la bahía, por lo que se debe tomar buen resguardo en ella.

Fotografía 3.3.10-1. Vista panorámica de la punta Aguja



Fuente: BISA 2012

Punta Bappo se encuentra frente al extremo occidental del puerto a 3/4 de milla hacia el sudeste de punta Aguja.

En general, la zona del levantamiento, tiene una geomorfología irregular, de pendiente pronunciada, rodeada de elevaciones continentales constituidas por conglomerados rocosos, de pendiente pronunciada, los que además limitan su accesibilidad y complican el replanteo de la línea costera. El perfil de costa, está constituido por mantos rocosos, compuesta por barrancos y quebradas, terminando con pequeñas playas de arena.

3.3.10.3 Batimetría

El plano batimétrico **830MA0001A-010-20-020** es una representación de las características topográficas del lecho marino, del cauce de un río o del fondo de un lago.

Para el posicionamiento de los sondajes se puede aplicar métodos tradicionales como la triangulación, radiación o modernos con el DGPS, sin embargo a diferencia de los levantamientos topográficos propiamente dichos, en los levantamientos batimétricos la determinación de la altura o profundidad, se hace utilizando equipos de tecnología diferente, denominados ecosondas hidrográficas digitales.

3.3.10.4 Olas

3.3.10.4.1 Generalidades

Las olas que llegan a nuestras costas, son generadas en aguas profundas bajo la presión del viento. La zona donde el oleaje se genera, se sitúa más o menos entre las latitudes 35° y 40° Sur, mientras que la longitud Oeste del centro de generación varía con mayor amplitud; es en ésta área donde se produce la mayor subsidencia atmosférica y consecuentemente divergencia del viento en superficie.

Este tipo de oleaje (olas Swell, mar de fondo) viaja grandes distancias y determina la dinámica en las costas del Perú. Esto ha sido corroborado por los diferentes análisis realizados para pronosticar las características de las olas que llegan a las costas del Perú.

Las zonas de fetch, o de incidencia de vientos, se forman donde existe un fuerte gradiente de presión (generalmente en la periferia del anticiclón del pacífico sur).

Es en esas zonas donde los vientos descienden en forma oblicua sobre la superficie del mar, transfiriendo energía más eficazmente de lo que ocurriría si estos fuesen horizontales. Dichos vientos se dirigen luego hacia el ecuador (la región ecuatorial es una zona donde las temperaturas son más altas, ocasionando una dilatación de la atmósfera y formando una zona de baja presión atmosférica), donde convergen con los del hemisferio norte. Posteriormente, se elevan hasta la tropósfera (10 km

de altura, aproximadamente) y se dirigen hacia las zonas polares. En su recorrido hacia los polos se enfrían y se vuelven más densos, descendiendo en las zonas de alta presión atmosférica de ambos hemisferios, generando el oleaje.

Es de notar que, en la costa peruana, los vientos se caracterizan por una calma en las mañanas (debido al balance energético entre el continente y el mar que ocurre durante las primeras horas del día) y vientos del mar hacia la costa en las tardes. Los vientos que se registran en superficie son vientos principalmente térmicos, generados por la diferencia de temperatura entre la costa y el mar adyacente.

Otro aspecto importante en las mediciones de olas, es el proceso que sufre el oleaje al acercarse a las playas, por efecto del fondo marino que produce la refracción y difracción en la dirección del frente de olas, modificando las características del oleaje proveniente de aguas profundas.

Como la magnitud del oleaje en el litoral, depende de la altura de las olas en aguas profundas, es necesario conocer las áreas de incidencia de oleajes en el ámbito del estudio, específicamente en la zona de interés ubicada al Sur de la ensenada de Sechura - Piura.

En vista que el cálculo de los datos de olas se efectúa mediante técnicas estadísticas, no es necesario registrar datos de olas en forma continua durante las 24 horas del día. Por lo general, se asume que las características estadísticas de las olas del mar son constantes durante un número de horas.

Dentro de este lapso, se toma una muestra que contenga el suficiente número de olas para que los parámetros característicos (H_s y T_s) sean estables y representativos para ese lapso. En otras palabras, se debe calcular H_s y T_s de un grupo de olas lo suficientemente grande para que elimine las irregularidades que se presentan en un tiempo determinado. Además, se debe tomar un suficiente número de muestras del oleaje al día, para determinar la variación de los

parámetros a largo plazo.

3.3.10.4.2 Frecuencia de las mediciones

Por lo general, la ola significativa varía en altura continuamente durante todo el año, esta variación es pequeña, pero durante una braveza puede ocurrir una variación grande muy repentinamente. Las bravezas son períodos de ocurrencia de olas de tipo "Swell", que en nuestra costa ocurren normalmente por 4 ó 6 días continuos y que afectan gran parte del litoral.

La frecuencia de las mediciones que se registran en cada lugar depende de las condiciones locales. Por lo general, es necesario medir olas por lo menos una vez al día; sin embargo, debido a que los vientos costeros son variables durante el día, es conveniente hacer mediciones más frecuentes.

En la costa del Perú, los vientos se caracterizan por una calma en las mañanas y vientos del mar hacia la costa en las tardes.

3.3.10.4.3 Tipos de olas

Frente a nuestras costas se presentan dos tipos de olas teniendo en cuenta su origen:

SEA.- Son olas originadas por vientos locales, que se caracterizan por ser olas cortas de mucha pendiente y superficie muy confusa, este tipo de olas no se han tomado en cuenta para el presente informe, debido a que en la zona de estudio este tipo de olas es de muy corto período, poca altura y escasa ocurrencia.

SWELL.- Son olas que se originan en alta mar y viajan grandes distancias, este tipo de oleaje es la fuente principal de las alturas de olas cuya incidencia determina la dinámica de la costa del Perú.

3.3.10.4.4 Refracción de olas

Un fenómeno importante se produce cuando la profundidad disminuye y el fondo empieza a afectar el movimiento de las partículas de agua, debido al efecto de fricción, el mismo que provoca una reducción en la velocidad de propagación y en la longitud de onda. La disminución de la velocidad significa que cuando un tren de olas de un determinado período, entra en aguas intermedias y bajas, las distintas partes de la cresta (frente de olas), se desplazan con diferentes velocidades dependiendo de la profundidad, provocando que la cresta se deforme o doble en su proyección horizontal, de tal forma que tiende a hacerse paralela a las líneas batimétricas sobre las que se propaga. A este fenómeno se le llama refracción.

La importancia de la refracción del oleaje estriba en el hecho de que prácticamente todas las estructuras marítimas se construyen en aguas bajas o intermedias, donde las olas sufren considerables cambios debido a este efecto. Por lo tanto, el estudio del fenómeno de refracción es materia obligada para la determinación de las características del oleaje y sus acciones, como por ejemplo:

Deducir las características de las olas en aguas finitas, a partir de las correspondientes en aguas profundas, en donde no tiene influencia el fondo.

- Definir la altura de la ola de diseño en cualquier punto y/o profundidad.
- Determinar concentraciones (divergencia o convergencia).
- Determinar los arrastres o transportes de sedimentos.
- Definir los ángulos de incidencia de los frentes de ola con respecto a la línea de costa, los que permiten calcular tendencia y magnitud del transporte litoral.
- Definir fronteras en modelos hidráulicos.

3.3.10.4.5 Dirección de olas

Específicamente en el área de estudio, de acuerdo a una estadística de dirección de olas en la costa central del Perú, (información del Sailing Directions for South América) se ha determinado que el 59,2 % de las olas provienen del sur, y un 16,2 y 16,3 % del suroeste y sureste respectivamente. Sin embargo, a medida que se acercan a costa, por efectos del fondo y/o obstáculos, como por ejemplo puntas e islas, el oleaje se reorienta o cambia de dirección, produciéndose los fenómenos de refracción y difracción respectivamente.

Este caso es de suma importancia para el extremo norte del Perú, donde se ubica la zona de estudio, debido a que a partir de los 06° de Latitud Sur, la orientación de la costa cambia bruscamente con respecto a la zona de generación del oleaje, ocasionando que en la punta donde se produce el quiebre de la orientación de la costa peruana (punta Aguja) se produzcan procesos de refracción y difracción muy acentuados, restándole gran cantidad de energía a las olas, de tal forma, que a partir de dicho lugar, el oleaje es en general de mucho menor energía que el de la costa central y sur del Perú.

3.3.10.4.6 Distribución de alturas y dirección del oleaje

a) Olas en aguas profundas.-

La información del Sailing Directions está basada en observaciones visuales de barcos mercantes o de oportunidad.

Los datos sobre la ocurrencia de las olas en porcentajes de tiempo por direcciones son bastantes exactos, en cuanto a las alturas de las olas, son datos que tienen validez para zonas de aguas profundas y áreas muy extensas.

b) Olas en aguas poco profundas.-

Se han efectuado cálculos para la determinación de la distribución de alturas de

olas en el área de interés utilizando la información de aguas profundas.

Son importantes también los datos de dirección del oleaje del Sailing Directions y del modelo Wavewatch III, en base a los cuales se ha determinado la dirección predominante del frente de olas a la costa. En tal sentido, para el presente estudio se han utilizado la dirección del Suroeste.

Cuadro 3.3.10-1. Distribución de olas Swell en la zona evaluada

Distribución de olas swell					
(05° - 10° Sur)					
Altura (m)	O (%)	SO (%)	S (%)	SE (%)	E (%)
0,3 – 1,8	0,9	10,8	39,0	9,7	1,2
1,8 – 3,6	---	4,8	19,0	6,3	---
> 3,6	0,2	0,6	1,2	0,3	---
Total	1,1	16,2	59,2	16,3	1,2

Fuente: Elaboración propia Buenaventura Ingenieros S.A.

El cuadro anterior corresponde a un cuadro de distribución de olas, y ha sido tomado en cuenta para seleccionar la dirección de aproximación del oleaje en la zona de interés. Se observa que la mayor frecuencia es del sur; sin embargo, estas olas no ingresan a la zona de Bayóvar. Se observa, también, olas del Suroeste. Éstas sí ingresan a la zona de Bayóvar, aunque muy refractadas y difractadas. Las olas del este y sureste son olas que no ingresan a las costas del Perú (éstas últimas, más bien, se alejan). Así, pues, para el presente análisis se han tomado solamente la dirección del suroeste.

Cabe mencionar que, eventualmente, se presenta en las costas del Perú un oleaje con una dirección de aproximación del noroeste; es decir, que llega de la zona de generación de olas del hemisferio norte (periferia del anticiclón del pacífico norte). Este oleaje ingresa al hemisferio sur cuando, eventualmente, los sistemas de circulación (tanto atmosféricos como marinos) se debilitan

considerablemente (generalmente en verano y/o durante la presencia del fenómeno de “El Niño”). Estas olas son de poca altura y períodos mayores, por lo que, a pesar de su poca altura relativa y de las grandes distancias que viajan, poseen una buena energía.

3.3.10.4.7 Cálculo de alturas de olas incidentes para olas del suroeste

El análisis del oleaje que se ha efectuado está basado en la información estadística del Sailing Directions y en los datos del modelo numérico Wavewatch III que difunde la NOAA/NCEP a través de su página Web. El método consiste en obtener los cálculos de altura y período de olas en aguas profundas. Con esta información y en base a la batimetría obtenida para la zona de interés, se proyectó el oleaje por el método de las ortogonales hasta la zona de estudio, y mediante diagramas de refracción aplicando la ley de Snell (Wiegle) se realizaron los cálculos de altura de ola utilizando los diferentes coeficientes de refracción y de cambio de profundidad correspondiente.

La altura de una ola en aguas poco profundas está dada por la siguiente fórmula:

$$H = K_r \cdot K_s \cdot K_d \cdot H_o$$

Donde:

- K_r = Coeficiente de Refracción
- K_s = Coeficiente por cambio de profundidad
- K_d = Coeficiente de difracción
- H_o = Altura de ola en aguas profundas

De la clasificación de períodos promedios máximos T = 14 sg, la longitud de onda está dada por **L_o** en aguas profundas.

Reemplazando para alturas máximas observadas en aguas profundas de 3,60 m, que corresponde a un estado de braveza de mar y una altura significativa de 1,80 m, de acuerdo al Sailing Directions, se obtiene una altura de ola incidente de:

$$H = (0,7906) (1,2850) (1) (3,60) = 3,66 \text{ m}$$

$$H = (0,7906) (1,2850) (1) (1,80) = 1,83 \text{ m}$$

3.3.10.4.8 Difracción de olas

Tal como ocurre en óptica y en acústica, un tren de olas parcialmente obstruido puede irradiar energía en la zona de sombra geométrica situada detrás de la obstrucción. Este fenómeno se denomina difracción, y es característico de todo tipo de propagación de ondas. Puede comprenderse este fenómeno fundándose en el principio de Huygens – Fresnel que dice “Todos los puntos de un frente de ondas pueden ser considerados como puntos de origen para la producción de pequeñas ondas secundarias esféricas o cilíndricas cuando se trata de propagación bidimensional. Después de un cierto tiempo, la nueva posición del frente de ondas será la superficie (o línea) de tangencia con estas pequeñas ondas secundarias” (Halliday y Resnick, 1960). Alternativamente, otros autores han manifestado que la difracción de la energía de las olas es transferida lateralmente a lo largo de la cresta de la ola (Cerc, 1984).

La difracción sólo es importante cuando las dimensiones del obstáculo o “hueco” en un muro marítimo sean del orden de una a cinco longitudes de onda. Este fenómeno es de importancia para tener en cuenta la distribución de la altura de las olas dentro de los puertos o marinas, la resonancia y la enlodadura.

La difracción del oleaje es entonces fundamentalmente una transferencia de la energía de una zona a otra, se presenta cuando el oleaje es interrumpido por un obstáculo que impide su paso a la zona posterior del mismo. El obstáculo puede ser natural (isla, punta, etc.) o artificial (rompeolas, espigones, etc.), las ondas se curvan a su alrededor y penetran dentro de la zona protegida, diciéndose que se presenta una expansión lateral.

Para el análisis de la difracción, al igual que en la refracción, se suponen unas

hipótesis de partida las cuales son: Ondas monocromáticas, periodo constante, cresta definida, energía constante entre ortogonales y velocidad que depende exclusivamente de la profundidad del punto por donde se desplaza.

El coeficiente de difracción K' ó K_d , es igual a la relación que existe entre la altura de ola difractada y la altura de ola incidente H_{inc} .

Según el diagrama de refracción de olas en aguas profundas, las olas llegan al extremo Norte de Punta Aguja, desde el Suroeste con 60° (Ver plano **830MA001A-010-20-021**).

3.3.10.4.9 Cálculo de la longitud de ola al llegar al extremo de punta aguja para un periodo de 14 segundos y olas del suroeste.

Según la batimetría el extremo de punta Aguja está a una profundidad aproximada de 10,0 m.

Como: $d/L_0 = 10/1,56 (14)^2 = 0,0327$

Dónde:

d = profundidad

L_0 = longitud de ola en aguas profundas

Según tablas (Shore Protection Manual), se encuentra que:

$$d/L = 0,0740$$

Dónde:

d = profundidad

L = longitud de ola en aguas poco profundas

En tablas (Shore Protection Manual) se encuentra que $d/L = 0,05189$.

De donde: $L = 135$ m

La longitud de ola “L” está en función de la profundidad y el período. Cuando el oleaje comienza a entrar en aguas poco profundas, la longitud de ola disminuye, pero la ola misma crece en altura. Se ha determinado que la longitud de ola en la zona de incidencia (punta Aguja) es de 135 m.

3.3.10.4.10 Cálculo del coeficiente de difracción

Sabemos que r y \hat{o} definen la coordenada polar del punto donde se quiere calcular la altura de ola difractada.

Donde:

r = radio

\hat{o} = ángulo hacia el punto donde se calcula la altura de ola

\hat{o}_0 = ángulo de incidencia de ola

3.3.10.4.11 Cálculo de la altura de ola incidente sobre punta aguja

$$K' = \frac{H}{H_{inc}}$$

Donde:

K' = Índice de difracción

H = Altura de ola al lado este de punta Aguja

$H_{inc.}$ = Altura de ola en el extremo de punta Aguja

Entonces, para un ángulo de incidencia de ola de 60° que proviene del Suroeste, en un punto que coincide con el medio de la zona de estudio, tenemos según gráfico un $K' = 0,50$

La altura incidente de ola, para una altura máxima significativa, será en este punto de:

$$H = K' H_{inc.}$$

$$H = (0,50) (3,66 \text{ m}) = 1,83 \text{ m}$$

La altura de ola, para una altura significativa, será en este punto de:

$$H = (0,50) (1,83 \text{ m}) = 0,92 \text{ m}$$

3.3.10.5 Niveles del mar (mareas)

3.3.10.5.1 Introducción

Para llevar a cabo diseños de obras portuarias, que involucra principalmente el estudio del transporte marino, erosión costera, diseño de defensas contra las inundaciones, determinación de la altura de muelles y malecones, corrección de sondajes y mediciones de corrientes, se debe tener suficiente conocimiento de los fenómenos originados por las mareas en sentido horizontal (corrientes de marea), y en sentido vertical (alturas de pleamares y bajamares).

3.3.10.5.2 Generalidades

Las mareas se presentan como cambios periódicos en el nivel de mar causadas por la fuerza de atracción de los cuerpos celestes sobre la tierra, donde la luna es el cuerpo celeste más importante por su cercanía a la tierra. Para poder explicar en forma simple el origen de las mareas vamos a suponer que la luna y la tierra son los dos únicos cuerpos celestes.

La fuerza de atracción entre dos cuerpos celestes puede describirse por la Ley de Newton:

$$F = \frac{f m_1 m_2}{D^2}$$

En donde:

m_1, m_2 = Masa del cuerpo 1, y del cuerpo 2 respectivamente.

D = Distancia entre los dos cuerpos celestes.

f = Coeficiente.

Esto significa que sobre cada partícula de agua en la tierra se ejerce una fuerza de atracción causada por la luna, siendo que la línea de atracción de esta fuerza está en la dirección del centro de gravedad de la luna.

Para caracterizar las mareas en el área de estudio se ha tomado los datos, de la tabla de mareas que edita la Dirección de Hidrografía y Navegación de La Marina para el puerto de Bayóvar, ubicada en el sector sur de la bahía de Sechura. Las mareas que se presentan en la zona de estudio son del tipo semi diurno, es decir que se presentan dos pleamares y dos bajamares en un día mareal (24 horas 50 minutos). La amplitud media es de 1,07 m y la amplitud en sicigias (luna llena o nueva) es de 1,37 m; el establecimiento de puerto es de 3 horas 15 minutos.

3.3.10.5.3 Niveles de referencia

La importancia de las mareas y de su estudio, radica en la necesidad de obtener planos de referencia o DATUM con el fin de determinar las alturas de los accidentes topográficos y las profundidades del mar, además en la determinación de terrenos ribereños para el establecimiento de linderos y el diseño de estructuras en zonas costeras.

Para determinar estos niveles básicos se requiere contar con un registro de varios años. Si se quiere eliminar la influencia de la variación en los niveles de mareas por el cambio en el ángulo de declinación de la Luna, se necesita un registro mínimo de un período 18,6 años.

En la estación de Paita, existe un mareógrafo instalado por más de 20 años, por lo que ya se tiene definido los valores de los diferentes niveles de referencia, y que abarcarían la zona de estudio ubicada en la gran ensenada de Sechura.

Niveles en Bayóvar.

Pleamar		Bajamar	
Máxima	Media	Mínima	Media
2,07 m	1,37 m	-0,25 m	0,35 m

3.3.10.5.4 Influencia del evento El Niño

Como es de conocimiento, con cierta frecuencia se presenta en las costas peruanas el llamado "Fenómeno del Niño", que se manifiesta en la costa peruana entre otras características como un incremento de los niveles del mar, que en condiciones extremas pueden alcanzar un valor de 40 cm.

3.3.10.5.5 Análisis

En el Perú, para referir las profundidades del mar (batimetría) se utiliza el Nivel Medio de Bajamares de Sicigias (MLWS), como nivel cero. Se tiene en cuenta, que las alturas de las pleamares y bajamares, pronosticadas en la tabla de mareas que edita la Dirección de Hidrografía y Navegación, están referenciadas también al MLWS, siendo estos los utilizados para efectuar las correcciones de las mediciones efectuadas durante los trabajos de campo. Sin embargo, como ya se mencionó,

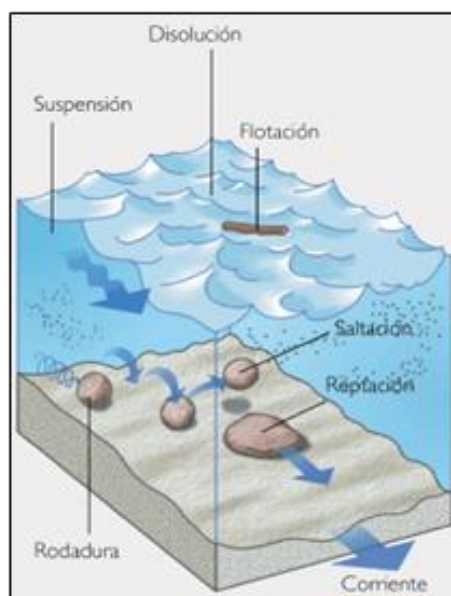
estos valores pronosticados no incluyen fenómenos naturales como El Niño, sino, asumen condiciones normales reflejadas en los cálculos de los constituyentes armónicos.

Teniendo en cuenta lo mencionado anteriormente, los valores de los niveles de referencia son utilizados para efectos de corregir los valores de batimetría, pendientes en el área de interés, programar las mediciones de corrientes y determinar la más alta marea registrada, a fin de que sea utilizada como datum en el establecimiento de límites jurisdiccionales.

3.3.10.6 Corrientes marinas

3.3.10.6.1 Introducción

Para poder analizar correctamente las corrientes marinas en el área de interés, es necesario identificar los tipos de corrientes y las causas de generación de cada una de ellas. En tal sentido, a continuación hacemos una descripción general de toda la zona de influencia de la bahía Bayóvar, a fin de poder identificar aquellas corrientes que se producen específicamente en el área de estudio y discernir sobre la influencia, más o menos importantes, que tengan cada una de ellas sobre el patrón de circulación.



El Sistema de corrientes frente a las costas del Perú, tiene dirección Norte y difiere del sistema de orilla, donde se presenta una gran variabilidad debido principalmente al perfil de los accidentes costeros; especialmente dentro de una bahía, el sistema de corrientes responde también a otros factores como las mareas, la batimetría, los vientos locales, las olas, etc. Esto hace que las

corrientes cercanas a la costa sean muy variables y difíciles de describir.

En general, se puede definir a las corrientes marinas como el desplazamiento de una masa de agua por dos características: dirección y velocidad. En este caso, y de acuerdo a la ubicación del área de interés, analizaremos a las corrientes costeras y que para su estudio se pueden dividir en tres:

- Corrientes locales inducidas por el viento
- Corrientes por marea
- Corrientes producidas por el oleaje

A. Corrientes locales inducidas por el viento

Cuando el viento sopla sobre la superficie del mar, se produce un esfuerzo constante sobre el agua que originará una resultante de translación importante. Se observará que esta corriente generada por el viento, presenta en su dirección una desviación en general de 45 grados con respecto a la del viento, y a medida que se profundiza, el ángulo aumenta hasta hacerse opuesto en el fondo. A la representación gráfica de este comportamiento se le llama “Espiral de Ekman”.

B. Corrientes por marea

La elevación y descenso periódico del nivel del mar genera movimientos notables en las masas líquidas, sobre todo en zonas costeras, en donde la comunicación con el mar abierto está relativamente restringida (estuarios, bahías, entradas a puertos, desembocaduras, estrechos, etc.) y genera las llamadas corrientes de marea. A su vez, esta corriente se subdivide en:

Corrientes rotatorias: cuando su rumbo varía escalonadamente conforme la rosa de vientos, en uno u otro sentido, a medida que la marea progresa.

Corrientes pendulares: cuando el sentido de la corriente cambia según el estado de la marea (ascendente o descendente).

Corrientes hidráulicas: caracterizada por el efecto de represamiento de las aguas producido por una especial configuración de la costa.

Los efectos producidos por las corrientes de marea interesan para la construcción y/o diseño de embarcaderos u otras obras de ingeniería en costa, ya que dan lugar a problemas de transporte de sedimentos, accesos de embarcaderos, transporte de contaminantes, etc.

C. Corrientes producidas por oleaje

El oleaje tiende a romper, modificando sustancialmente las características del transporte de masa líquida y en consecuencia provocando corrientes. La importancia de las corrientes marinas producidas por el oleaje, radica fundamentalmente en el hecho de que son las que originan y regulan en su mayor parte el movimiento de los sedimentos costeros. En función de la dirección de su movimiento, estas corrientes se clasifican en dos tipos:

Corrientes normales a la costa

Son generadas por la necesidad de evacuación del volumen de agua sobrante que ha sido empujado y acumulado contra la playa en la zona intermareal, debido a la acción del oleaje. Este tipo de corrientes a su vez, pueden tomar dos formas:

- **Corrientes de resaca (Under Tow):** se manifiesta como un flujo difuso que arranca de la zona intermareal desplazándose por el fondo hacia mar adentro, a lo largo de prácticamente toda la playa. Esta corriente desaparece a la altura de la línea de rompiente.
- **Corriente de retorno (Rip Current):** se presenta en forma de chorro concentrado, atravesando la línea de rompiente para expandirse luego.

Corrientes Paralelas a la Costa

Lo más común en una playa es que el oleaje incida formando un cierto ángulo con ella, es decir oblicuamente, bien sea debido a la refracción que sufre en su acercamiento o por la dirección con que fue generado, debido a ello se formará una corriente paralela a la costa localizada entre la línea de rompiente y la orilla. Esta corriente recibe el nombre de corriente litoral o corriente a lo largo de la costa (Long Shore Current).

Se considera generalmente que esta corriente es la principal responsable de transportar a los sedimentos a lo largo de la costa, una vez que el sedimento ha sido puesto en suspensión en la rotura de la ola, por tal razón, es muy importante dentro de la ingeniería de costas conocerla cuantitativa y cualitativamente.

3.3.10.6.2 Metodología y resultados

Las mediciones de corrientes marinas en el área frente al área de estudio en el distrito de Sechura, se realizaron aplicando el método Lagrangiano, para lo cual se utilizan flotadores a la deriva monitoreando el movimiento de estos desde tierra por medio de la intersección de ángulos medidos con dos teodolitos instalados en tierra.

Obtención de información por el método Lagrangeano

Durante el día 04 de agosto del 2012, en la fase de luna llena, y en las etapas de marea ascendente y descendente, se efectuaron mediciones de corrientes a dos niveles (superficiales y sub-superficiales).

La profundidad de las mediciones en el caso de corrientes superficiales se realizaron a un (01) metro por debajo del nivel medio de Bajamares de Sicigias Ordinarias (NMBSO) y para las corrientes sub-superficiales a 1/6 de la profundidad total.

Corrientes Superficiales

Las direcciones de las corrientes superficiales, frente a la zona de estudio, mostraron una clara dirección prevaleciente hacia el sureste y sur, durante una etapa de marea ascendente; mientras que durante la etapa de marea descendente las direcciones prevalecientes fueron del suroeste y oeste.

Las velocidades en superficie fluctuaron entre 16,0 y 1,4 cm/s, con una velocidad promedio de 8,6 cm/s. Las mayores velocidades de las corrientes mostraron una dirección prevaleciente hacia el sureste, pero en general, estas se mantuvieron con valores similares durante todas las corridas. En general, las velocidades observadas fueron las esperadas para la zona y época del año.

Corrientes subsuperficiales

Como se puede apreciar en los dos cuadros siguientes y en el Plano **830MA0001A-010-20-020** de corrientes marinas, las direcciones de las corrientes sub superficiales, frente a la zona de estudio, mostraron una dirección prevaleciente hacia el sureste durante una marea ascendente, con algunas variantes hacia el Sur y suroeste. En cambio, durante una marea descendente, las direcciones fueron muy variables y diferentes en las tres estaciones efectuadas: A, C y F, con direcciones del noroeste, oeste y suroeste, respectivamente.

Las velocidades sub superficiales fluctuaron entre 11,7 y 2,3 cm/s, con una velocidad promedio de 7,0 cm/s. Las velocidades fueron muy variables de una estación a otra. Cabe resaltar, que las corrientes sub superficiales fueron ligeramente de menor intensidad que las superficiales, situación que normalmente ocurre cuando no se presentan cambios relevantes en la superficie del fondo marino.

Cuadro 3.3.10-2. Mediciones de corrientes en marea descendente

Mediciones de corrientes en marea descendente 04/08/12					
Corrida		Hora inicio	Hora final	Vel cm/s.	Dirección
A	Sub superficial	08:52	09:02	9.4	ONO
B	Superficial	08:55	09:05	12	O
C	Sub superficial	09:08	09:21	5.9	O
D	Superficial	09:10	09:23	9.2	OSO
E	Sub superficial	09:41	09:52	4.6	SO
F	Superficial	09:42	09:54	6.2	SO
G	Sub superficial	09:56	10:13	4.5	O
H	Superficial	09:59	10:16	5.2	O
I	Superficial	10:31	10:44	2.8	SO

Fuente: Elaboración Buenaventura Ingenieros S.A.

Cuadro 3.3.10-3. Mediciones de corrientes en marea ascendente

Mediciones de corrientes en marea ascendente 04/08/12					
		Hora inicio	Hora inicio	Vel cm/s.	DIRECCIÓN
1	Sub superficial	12:58	13:16	11.7	ESE
2	Superficial	13:01	13:18	16.0	SE
3	Sub superficial	13:25	13:44	8.2	SSE
4	Superficial	13:30	14:47	4.5	SE
5	Sub superficial	13:54	14:08	7.3	SE
6	Superficial	13:57	14:11	14.1	SSE
7	Superficial	14:14	14:28	10.6	SSE
8	Sub superficial	14:17	14:30	4.0	SSE
9	Superficial	14:20	14:32	7.8	S
10	Sub superficial	14:34	14:50	2.3	OSO
11	Superficial	14:40	14:55	1.4	SSO

Fuente: Elaboración Buenaventura Ingenieros S.A.

3.3.10.7 Bravezas

3.3.10.7.1 Generalidades

Las bravezas son trastornos atmosféricos que se originan debido a una diferencia de presión atmosférica. Se presentan como trenes de olas levantadas en regiones lejanas por efecto de vientos intensos y persistentes tormentas, que recorren muchas millas por el océano hasta que se elevan delante de la costa, descargando su energía con una intensidad mayor que el promedio.

Las olas de bravezas tienen un periodo diferente a las olas normales; las primeras presentan periodos entre 18 y 20 segundos, mientras que las normales alcanzan nuestras playas con periodos que oscilan entre 10 y 14 segundos. La duración promedio de este fenómeno fluctúa entre 5 a 7 días, esto ocurre en cualquier mes del año y con mayor frecuencia en el invierno.

El hecho crítico se produce cuando ocurren simultáneamente los tres siguientes eventos influyentes sobre el nivel del mar.

- Viento (levanta 30 a 40 cm el nivel medio del mar)
- Alta marea
- Pico de ola de braveza

Viento + Olas + Mareas → empujan la masa de agua

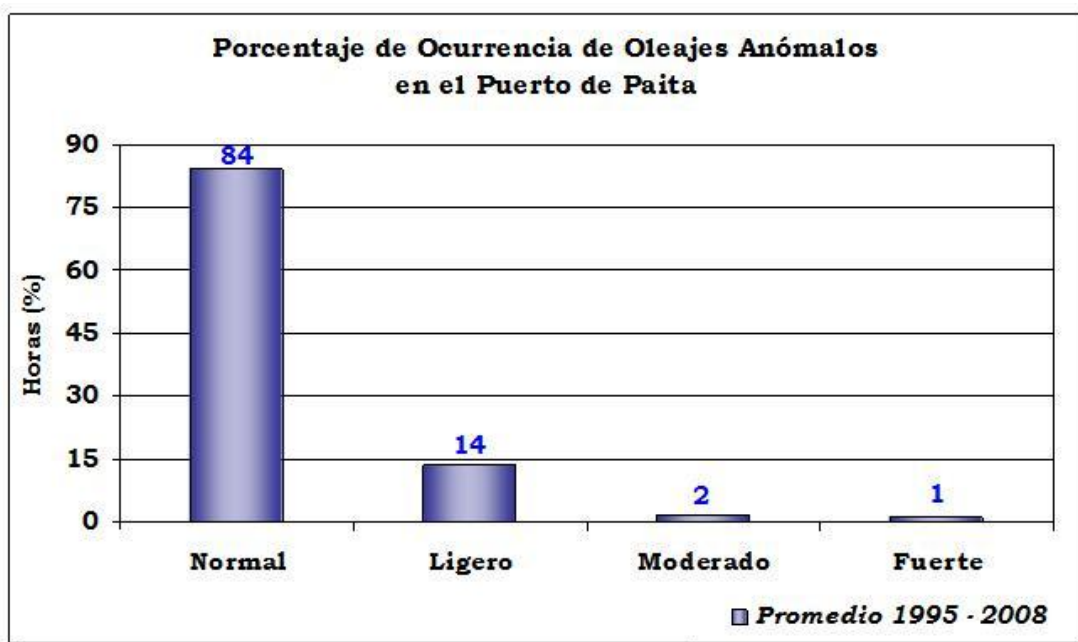
3.3.10.7.2 Estadísticas de bravezas

Estadísticamente (período 1995-2008), el porcentaje de ocurrencia de oleajes anómalos o "Bravezadas de Mar" en el Puerto de Paita es 16% (84% de condiciones normales) y de éstas el 86% son de oleaje anómalo ligero, 9% de oleaje anómalo moderado y 5% de oleaje anómalo fuerte. El estado del mar, de acuerdo a la

estadística de bravesas de mar u oleaje anómalo, muestra 307 días al año de condiciones normales, 50 días de oleaje anómalo ligero, 5 días de oleaje anómalo moderado y 3 días al año de oleaje anómalo fuerte.

Si bien los valores mostrados de las estadísticas de las bravesas de mar, son registros de un promedio de varios años, existen años en donde el oleaje puede ser en promedio mayor que otros años. Esta situación de variabilidad interanual, nos muestra que durante los años de presencia del fenómeno El Niño, los efectos de las bravesas de mar se acrecientan, debido al incremento de los niveles del mar y a la mayor presencia de oleajes del Oeste y Noroeste.

Figura 3.3.10-2. Ocurrencia de oleajes anómalos en el puerto de Paita



Fuente: BISA 2012

3.3.10.7.3 Vientos en bahía de Sechura

A. Generalidades

De todos los factores que afectan a los puertos y sus operaciones, el viento es considerado el más significativo, ya que afecta la entrada y salida de las embarcaciones al puerto y las maniobras de atraque. Esto es particularmente verdadero, cuando se tiene grandes embarcaciones, zarpando alto en la condición de lastrado, embarcaciones de contenedores y grades balsas, todas con grandes áreas expuestas al viento.

Casi todos los lugares del mundo están sujetos a lo que se denominan vientos predominantes; esto es el viento soplando en una dirección general en el ámbito de una mayor porción en el año. Los vientos predominantes no son necesariamente los vientos más fuertes. Muy frecuentemente los vientos de mayor intensidad, pero que ocurren menos frecuentemente, vienen de otras direcciones

El área de interés localizada ligeramente al sur del puerto de Bayóvar, sur de la ensenada de Sechura, se caracteriza por estar ubicado en el límite de la circulación de la corriente fría del Perú y presentar un perfil sinuoso ovalado, protegido del viento y del oleaje irregular proveniente del sur, por el cerro de Illescas de 500 metros de altura aproximadamente y el saliente continental constituido por las puntas Aguja, Nonura y Falsa, localizado al sur de la ensenada. Por otro lado, en el área de interés no se tiene información estadística; sin embargo, se ha considerado la información referencial del puerto de Paita, a efectos de correlacionar la información, teniendo en cuenta la dinámica e hidrodinámica del flujo y estimar aproximadamente las condiciones en el área de interés.

B. Influencia macro-escalar del sistema oceano-atmosfera

En el orden macroescalar las condiciones climatológicas en el norte del litoral peruano están influenciadas por factores geográficos, oceanográficos y

meteorológicos. Los factores geográficos se deben a la posición latitudinal por su cercanía a la zona ecuatorial donde se recibe la mayor incidencia de radiación solar; los factores oceanográficos, debido a la presencia de la corriente fría del Perú como mecanismo termorregulador que interacciona con la corriente marina ecuatorial de aguas cálidas, y los factores meteorológicos debido a los sistemas atmosféricos que determinan el estado del tiempo, como el sistema de baja presión ecuatorial y el anticiclón del pacífico sur oriental, que condiciona la estabilidad de los vientos alisios como agente externo de generación de oleaje irregular.

C. Influencia meso-escalar y local

En el orden meso-escalar, la influencia continental modifica la circulación a lo largo de la línea costera, debido a los accidentes orográficos, así mismo, el flujo es levemente modificado por el diferencial de temperatura entre el mar y tierra, acentuándose más en las zonas del litoral con mayor área desértica, y en zonas específicas con prominencias y/o entrantes (bahías, ensenadas, penínsulas); también producen modificaciones en la circulación del aire, debido al efecto de fricción y al cambio en la cantidad de movimiento entre el flujo del aire sobre el mar y tierra.

D. Vientos

Climatológicamente los vientos son variables ligeros, siendo las componentes más frecuentes del suroeste a noroeste, oscilando su velocidad media mensual multianual entre 3 a 5 nudos, variando al sur/sureste y aumentando sus velocidades entre 6 a 8 nudos, conforme se aleja hacia mar afuera de la ensenada. Generalmente, durante la madrugada y primeras horas de la mañana, el viento es débil con tendencia a la calma y se intensifica en horas de la tarde entre 14:00 a 20:00 horas; ocasionalmente se presentan velocidades de hasta 12 nudos.

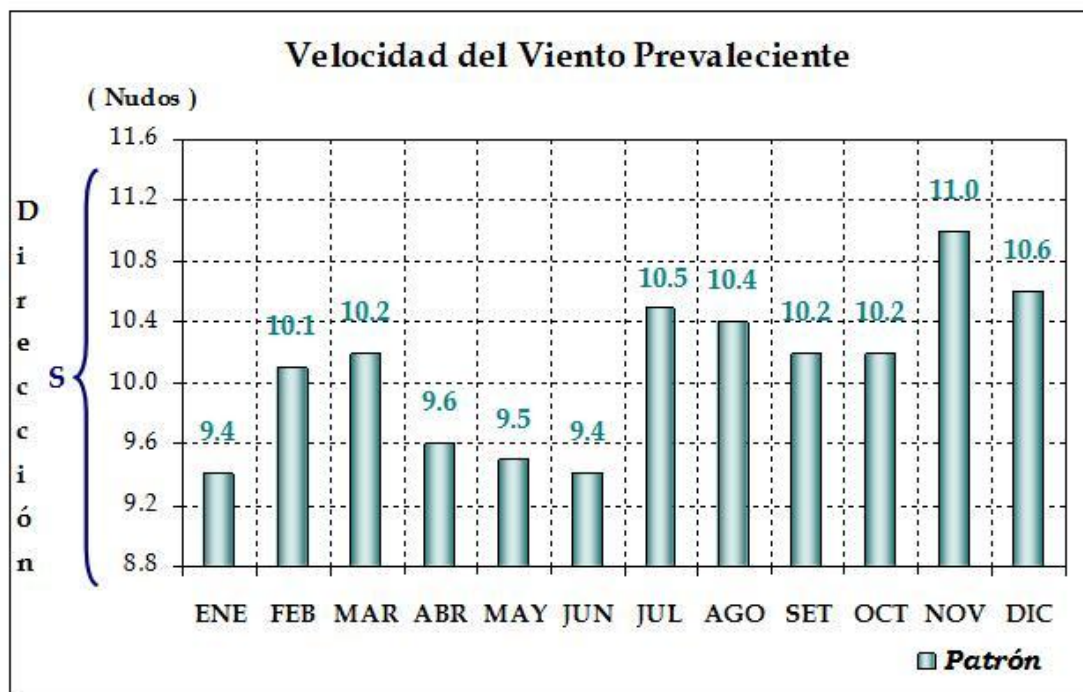
Debido al principio de continuidad y cantidad de movimiento, el saliente continental constituido por las puntas Aguja, Nonura y Falsa, ocasiona un efecto de

“apiñamiento” en la líneas de corriente, acelerando el flujo a lo largo de la saliente, variando gradualmente su componente al suroeste/sur/sureste hacia mar afuera y manteniéndose estable conforme avanza el día, e intensificándose en horas de la tarde entre 12:00 a 20:00 horas; hacia el lado de la playa de Bayóvar, sus velocidades disminuyen notablemente, variando sus componentes al oeste/noroeste por la fuerte dispersión angular, al distribuirse la energía sobre mayor área.

Normalmente durante el verano, las aguas cálidas tropicales avanzan hacia la zona de interés y su intensificación comúnmente es llamada corriente "El Niño" por los pescadores del litoral norte del Perú. La comunidad científica, al intensificarse aún más dicha corriente y sobrepasar su influencia hacia el sur de Punta Aguja, la ha denominado fenómeno de "El Niño". Este fenómeno generalmente se presenta a intervalos de 3 a 11 años, cada 3 a 5 años los de menor intensidad y de 8 a 11 años los de mayor intensidad. Su duración se extiende entre 6 a 12 meses y en otros casos hasta 18 meses. La ocurrencia de este fenómeno trae como consecuencia alteraciones climáticas, con aumentos de la temperatura superficial del mar y del aire, respecto de sus valores medios normales, entre 2° a 5°C y excepcionalmente mayores de 7°C; disminuye la intensidad de los vientos a ligeros variables y calmas, variando sus direcciones hacia las componentes del oeste y norte; así mismo, baja la presión atmosférica entre 2 a 5 hectopascales.

Condiciones de oleaje irregular son poco frecuentes, sin embargo, durante la presencia del fenómeno de "El Niño", la probabilidad de ocurrencia de oleaje irregular es mayor, especialmente proveniente del oeste y noroeste.

Figura 3.3.10-3. Velocidad del viento



Fuente: BISA 2012

3.3.10.7.4 Fondo marino

En el área de estudio se obtuvieron dos (02) muestras del lecho del mar. Para este propósito, se utiliza un muestreador de fondo "VAN VEEN" que funciona en base al principio del cucharón de almeja; por medio de un seguro se mantiene abierto el muestreador, posición en la que se baja en el agua hasta que toca el fondo, donde se suelta el seguro en forma automática y las válvulas quedan libres. En el momento de jalar el cable para recuperar el instrumento se cierran ambas válvulas recogiendo una muestra del fondo.

Otro método de obtener muestras, es mediante la extracción directa con un buzo debidamente entrenado para este fin. Este último, fue el método utilizado para este levantamiento.

Una vez en el laboratorio, las muestras son decantadas, lavadas y secadas para el análisis granulométrico respectivo. Los certificados de granulometría de las muestras M1 y M2, se pueden ver en el **Anexo 3-6** y, su posición geográfica en el siguiente cuadro.

Cuadro 3.3.10-4. Ubicación de puntos para muestreo del lecho de mar

Muestra	Norte	Este	Latitud S	Longitud W
M1	9'360,259	493,166	05° 47' 15.85"	81° 03' 42.22"
M2	9'360,645	492,786	05° 47' 03.28"	81° 03' 54.58"

3.3.11 Calidad de agua marina y sedimentos

3.3.11.1 Calidad de agua marina

3.3.11.1.1 Introducción

La empresa FOSFATOS PACIFICO S. A. proyecta la construcción de un puerto para la exportación de roca fosfórica, fertilizante de muy alta calidad que se explotará de los yacimientos de fosfatos de Bayóvar, ubicados en provincia de Sechura, Piura. El puerto estará ubicado entre la zona de Punta Laguna y Punta Aguja (distrito de Bayóvar) a 5 kilómetros al oeste de la caleta de Puerto Rico y tendrá una plataforma de carga de 16 metros de ancho y 187 metros de largo.

Como parte del estudio de Línea Base se realizó en los meses de abril y julio el estudio de la calidad del agua en el área de influencia del proyecto, que comprende la zona de Bayóvar. Se evaluaron los parámetros físicos y químicos del agua (pH, temperatura, oxígeno, sólidos totales, coliformes, fosfatos, sulfatos y metales pesados), que luego fueron comparados con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ECA) para Agua referidos a actividades marino costeras (D.S. N° 002-2008-MINAM), para determinar si los valores de los parámetros evaluados no representan un riesgo significativo para la salud de las personas ni del ambiente.

3.3.11.1.2 Metodología

Estaciones de muestreo

Para la evaluación de la calidad de la zona de Bayóvar se realizaron monitoreos en los meses de abril y julio.

En Bayóvar se establecieron 12 estaciones, pero por presentar Bayóvar zonas donde el nivel es más profundo, se consideró la toma de muestras a 0m, 10m y 20m, dependiendo sí la profundidad de la estación lo permitía. Este procedimiento se realizó con el fin de poder realizar comparaciones entre las estaciones evaluadas. La ubicación de las estaciones de Bayóvar es descrita en el cuadro 3.3.11-1 y en el plano **830MA0001A-10-20-019**. Las respectivas fichas SIAM se adjutan en el **Anexo 3-7**.

Cuadro 3.3.11- 1. Ubicación de las estaciones de muestreo de calidad de agua mar en Bayóvar.

Estación de muestreo	Coordenadas UTM (Datum WGS 84)		Profundidad (m)	Profundidad del agua		
	Norte	Este		0m	10m	20m
BA-01	9 360778	492 310	5,3	X	---	---
BA-02	9 361016	492 586	18,0	X	X	X
BA-03	9 361271	492 783	42,0	X	X	X
BA-04	9 360548	492 737	4,2	X	---	---
BA-05	9 360 645	492 876	13,0	X	X	---
BA-06	9 361 045	493 033	37,6	X	X	X
BA-07	9 360327	493 049	4,1	X	---	---
BA-08	9 360 554	493 224	29,6	X	X	X
BA-09	9 360 806	493 420	46,0	X	X	X
BA-10	9 360128	493 364	4,8	X	---	---
BA-11	9 360365	493 558	36,0	X	X	X
BA-12	9 360 622	493 743	46,0	X	X	X

Fuente: BISA, 2012

Parámetros fisicoquímicos In situ

Para la medición de los parámetros in situ (temperatura, oxígeno disuelto, pH, conductividad), se utilizó un equipo multiparámetro de acuerdo a las especificaciones de su respectivo manual, el cual fue calibrado antes de iniciar el trabajo de campo y verificado antes de cada medición. Las sondas de los equipos se sumergieron directamente en la superficie del cuerpo de agua.

Las mediciones de los parámetros in situ fueron realizadas y reportadas por el personal del laboratorio Inspectorate Services Perú SAC, el cual está acreditado ante INDECOPI.

Los métodos de análisis químicos empleados para el análisis *In Situ* por el laboratorio se muestran en Cuadro 3.3.11-2.

Cuadro 3.3.11-2. Método empleado para los parámetros in situ

Parámetro evaluado	Método de Análisis
PH	EPA 150.1: pH Electrometric; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Temperatura	EPA 170.1: Temperature, Thermometric; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Oxígeno	EPA 360.1 Oxygen Dissolved, (Membrane electrode). "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Conductividad Eléctrica	EPA 120.1 Conductance, Specific Conductance; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"

Fuente: Inspectorate Services Perú SAC, 2012

Elaboración: BISA, 2012

Parámetros fisicoquímicos analizados en el laboratorio

Para los análisis en laboratorio las muestras fueron tomadas con una botella Niskin a nivel superficial, de acuerdo a lo indicado en el Protocolo Nacional de Monitoreo de la Calidad de los Cuerpos Naturales de agua superficial, aprobado por la Autoridad Nacional de Agua (ANA).

Los envases de las muestras recolectadas también por el laboratorio Inspectorate, fueron debidamente rotulados y colocados en coolers con refrigerantes para mantener la cadena de frío hasta su traslado al laboratorio para los análisis respectivos.

Cuadro 3.3.11- 3. Métodos empleados para los análisis fisicoquímicos en laboratorio

Parámetro evaluado	Método de Análisis
Demanda Bioquímica de Oxígeno	EPA 405.1 Biochemical Oxygen Demand, 5 Days, 20°C; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Coliformes Totales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 B. 21st Ed. 2005. Approved by SM Committee 2006. Standard Total Coliform Fermentation Technique (Except item 1. Samples).
Coliformes Fecales	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 9221 E. 21st Ed. 2005. Approved by SM Committee 2006. Fecal Coliform Procedure. 1. Thermotolerant Coliform Test (EC Medium).
Sólidos Totales Suspendidos	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 2540 D, 21st Ed. 2005. Solids. Total Suspended Solids Dried at 103-105°C
Sólidos Totales Disueltos	EPA 160.1 :Residue, filterable, Gravimetric, Dried at 180°C; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Hidrocarburos totales de Petróleo	Method 8015D: Determinacion de Organicos Halogenados usando CG/FID
Nitrógeno Nitrato	EPA 352.1 Nitrate, Colorimetric, Brucine; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Nitrógeno Amoniacal	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ -F, 21st Ed. 2005. Nitrogen (Ammonia). Phenate Method
Cromo Hexavalente	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 3500 Cr-B, 21st Ed. 2005. Approved by SM Committee 2009. Chromium; Colorimetric Method
Fosfatos	EPA 365.3 :Phosphorus, All Forms, Colorimetric, Ascorbic Acid, Two Reagent; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
METALES TOTALES Y DISUELTOS EN AGUA POR ICP	EPA 200.8, Revision 5.4 1999 Determination of trace elements in waters and wastes by inductively coupled plasma mass spectrometry ICP MS
Cianuro Libre	D 7237-06 Standard Test Method for Aquatic Free Cyanide with Flow Injection Analysis (FIA) Utilizing Gas Diffusion Separation and Amperometric Detection1
Nitrógeno Total	EPA 351.3 Nitrogen, Kjeldahl, Total (Colorimetric;Titrimetric; Potentiometric); "Methods for Chemical Analysis of
Amoniaco	SMEWW-APHA-AWWA-WEF Part 4500-NH ₃ -F, 21st Ed. 2005. Nitrogen (Ammonia). Phenate Method
Fenoles	EPA 420.1 Phenolics, Total recoverable, Spectrophotometric, Manual 4-AAP with destillation; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Sulfuro	EPA 376.2 Sulfide, Colorimetric, Methylene Blue; "Methods for Chemical Analysis of Water and Waste; Document 20460; EPA 621-C-99-004, June 1999"
Aceites y Grasas	D 7066-04 Standard Test Method for dimet/trimer of chlorotrifluoroethylene (S-316) Recoverable Oil and Grease and Nonpolar Material by Infrared Determination; ASTM 2004.
Clorofila	SM 10200-H "Chlorophyll". Standard Methods for Examinations of Water and Wastewater. APHA, AWWA, WEF 21 st Ed 2005.
PAHs	METHOD EPA 8270D :Semivolatile Organic Compounds by Gas Chromatography/Mass spectrometry (GC/MS) Revision 4, February

Parámetro evaluado	Método de Análisis
	2006
Silicatos	Determination of Reactive Silicate; Standard Chemical Methods for Marine Environmental Monitoring; Methods For Marine Pollution Studies No 50 UNEP 1988

Fuente: Inspectorate Services Perú SAC, 2012

Elaboración: BISA, 2012.

Calidad ambiental

Los datos obtenidos de los análisis *in situ* utilizando el equipo multiparámetro y los analizados en el laboratorio son comparados con el Estándar Calidad Ambiental (ECA) para Agua (D.S. N°002-2008-MINAM), que establece el nivel de concentración de los parámetros físicos y químicos y biológicos presentes en el agua que no representa riesgo significativo para la salud de las personas ni al ambiente.

El ECA para agua, clasifica el uso de este recurso en categorías. La Categoría 2 está referida a Actividades Marino Costeras y presenta 3 Sub categorías, para fines de este estudio se realizó las comparaciones con las dos primeras.

Sub Categoría C1: Extracción y cultivo de moluscos bivalvos, que comprende a las aguas de donde se extraen o cultivan moluscos bivalvos, que se alimentan por filtración, a los gasterópodos, equinodermos y tunicados.

Sub Categoría C2: Extracción y Cultivo de otras especies hidrobiológicas, que comprende a aguas destinadas a la extracción y cultivo de otras especies hidrobiológicas para el consumo humano directo e indirecto y que comprende a los peces y algas comestibles.

3.3.11.1.3 Resultados

A. Resultados de parámetros in situ

Los resultados de los registros de temperatura, pH, conductividad específica y oxígeno para el mes de abril en Bayóvar son presentados en el cuadro 3.3.11-4 y para el mes de julio en el cuadro 3.3.11-5.

Cuadro 3.3.11-4. Resultados de los parámetros in situ en Bayóvar para el mes de abril.

Estación de monitoreo	Fecha	Hora	Temperatura	pH	Conductividad Especifica	Oxígeno Disuelto	Profundidad
unidad	(dd/mm/aa)	(24h)	(°C)	(unidad)	(µs/cm)	(mg/L)	(metros)
Límite de Cuantificación			0,1	0.1	1	0,1	
ECA Categoría 2 Sub Categoría 1			delta 3 °C	7 – 8,5	**	≥ 4	
ECA Categoría 2 Sub Categoría 2			delta 3 °C	6.8 – 8,5	**	≥ 3	
BA-01	27/04/2012	09:05	21,5	7,1	58820	4,6	5
	27/04/2012	09:10	21,8	7,2	58813	5,9	0
BA-02	27/04/2012	10:30	20,4	7,0	58889	4,4	18
	27/04/2012	10:35	20,3	7,1	58872	4,3	10
	27/04/2012	10:40	21,4	7,2	58806	6,1	0
BA-03	27/04/2012	11:54	19,5	7,0	58782	6,8	42
	27/04/2012	11:59	20,0	7,1	58759	4,2	20
	27/04/2012	12:05	20,9	7,1	58739	5,8	10
	27/04/2012	12:10	21,8	7,2	58707	7,8	0
BA-04	27/04/2012	12:32	22,0	7,1	58862	5,3	4,2
	27/04/2012	12:37	22,0	7,2	58818	6,6	0
BA-05	28/04/2012	13:00	21,1	7,1	58715	4,5	13
	28/04/2012	13:03	20,7	7,1	58796	4,5	10
	28/04/2012	13:10	21,8	7,2	58816	6,7	0
BA-06	28/04/2012	10:00	20,1	7,1	58977	4,5	37,6
	28/04/2012	10:20	20,9	7,1	58895	4,9	20
	28/04/2012	10:33	21,3	7,2	58837	5,4	10
	28/04/2012	10:40	21,0	7,2	58814	6,4	0
BA-07	27/04/2012	14:38	22,3	7,1	58860	6,1	4
	27/04/2012	14:43	22,5	7,2	58851	7,0	0
BA-08	28/04/2012	14:30	20,2	7,1	58827	3,6	29
	28/04/2012	14:39	20,2	7,1	58812	3,9	20
	28/04/2012	14:52	20,8	7,2	58772	4,4	10
	28/04/2012	14:58	22,5	7,2	58853	4,5	0

Estación de monitoreo	Fecha	Hora	Temperatura	pH	Conductividad Especifica	Oxígeno Disuelto	Profundidad
BA-09	29/04/2012	09:24	19,2	7,1	58833	2,8	46
	29/04/2012	09:40	19,5	7,2	58800	3,3	20
	29/04/2012	09:45	19,5	7,3	58841	3,6	10
	29/04/2012	09:50	20,1	7,3	58845	5,2	0
BA-10	27/04/2012	15:41	22,6	7,1	58863	6,8	4,8
	27/04/2012	15:45	23,0	7,2	58844	8,4	0
BA-11	29/04/2012	12:45	19,0	7,1	58930	3,1	36
	29/04/2012	12:51	18,8	7,1	58900	2,7	20
	29/04/2012	12:56	18,9	7,2	58879	3,6	10
	29/04/2012	13:00	21,4	7,3	58840	6,9	0
BA-12	29/04/2012	11:20	19,2	7,1	58920	3,6	46
	29/04/2012	11:25	19,3	7,1	58324	3,0	20
	29/04/2012	11:30	19,4	7,1	58837	3,4	10
	29/04/2012	11:35	21,0	7,2	58840	5,7	0

Fuente: Inspectorate Services, 2012
Elaboración: BISA, 2012

Cuadro 3.3.11-5. Resultados de los parámetros in situ en Bayóvar para el mes de julio

Estación de monitoreo	Fecha	Hora	Temperatura	pH	Conductividad Especifica	Oxígeno Disuelto	Profundidad
unidad	(dd/mm/aa)	(24h)	(°C)	(unidad)	(µs/cm)	(mg/L)	(metros)
Límite de Cuantificación			0,1	0,1	1	0,1	
ECA Categoría 2 Sub Categoría 1			delta 3 °C	7.0 – 8,5	**	≥ 4	
ECA Categoría 2 Sub Categoría 2			delta 3 °C	6.8 – 8,5	**	≥ 3	
BA-01	04/07/2012	12:20	19,2	7,1	61615	5,6	5
	04/07/2012	12:24	19,6	7,2	61550	7,6	0
BA-02	04/07/2012	11:00	19,0	7,0	61760	4,0	18
	04/07/2012	01:55	18,8	7,1	61745	4,2	10

Estación de monitoreo	Fecha	Hora	Temperatura	pH	Conductividad Especifica	Oxígeno Disuelto	Profundidad
	04/07/2012	19:21	19,3	7,2	61570	6,4	0
BA-03	04/07/2012	02:24	18,8	7,1	61555	3,3	42
	04/07/2012	09:20	18,7	7,1	61635	3,7	20
	04/07/2012	09:30	19,1	7,2	61610	5,0	10
	04/07/2012	06:00	19,0	7,2	61555	7,0	0
BA-04	04/07/2012	10:48	20,0	7,0	61663	7,2	4,2
	04/07/2012	14:50	20,8	7,2	61584	8,0	0
BA-05	04/07/2012	15:35	19,2	7,1	61771	3,6	13
	04/07/2012	16:10	19,9	7,1	61758	5,7	10
	04/07/2012	16:15	20,1	7,2	61555	7,9	0
BA-06	05/07/2012	11:05	18,9	7,1	61714	3,7	37,6
	05/07/2012	11:30	19,8	7,1	61638	4,7	20
	05/07/2012	11:58	19,5	7,2	61627	6,3	10
	05/07/2012	12:04	19,2	7,2	61515	7,9	0
BA-07	05/07/2012	15:35	20,0	7,1	61685	6,4	4
	05/07/2012	15:50	19,8	7,2	61496	7,9	0
BA-08	05/07/2012	13:07	19,0	7,1	61674	4,1	29
	05/07/2012	13:35	19,0	7,1	61638	4,6	20
	05/07/2012	13:50	19,3	7,2	61627	5,7	10
	05/07/2012	13:58	19,2	7,2	61491	7,3	0
BA-09	06/07/2012	09:09	18,6	7,1	61516	3,2	46
	06/07/2012	09:19	18,8	7,2	61567	3,5	20
	06/07/2012	09:33	19,2	7,3	61614	4,6	10
	06/07/2012	09:48	19,4	7,3	61522	6,7	0
BA-10	06/07/2012	14:05	19,6	7,1	61431	4,1	4,8
	06/07/2012	14:20	19,8	7,2	61540	6,9	0
BA-11	06/07/2012	12:53	19,0	7,1	61636	3,1	36
	06/07/2012	12:59	19,5	7,1	61661	4,4	20
	06/07/2012	13:05	19,5	7,2	61607	5,1	10

Estación de monitoreo	Fecha	Hora	Temperatura	pH	Conductividad Especifica	Oxígeno Disuelto	Profundidad
	06/07/2012	13:12	19,8	7,2	61557	7,5	0
BA-12	06/07/2012	02:38	18,6	7,1	61479	3,0	46
	06/07/2012	11:19	18,6	7,1	61494	3,3	20
	06/07/2012	11:24	19,2	7,2	61407	5,4	10
	06/07/2012	11:29	19,5	7,2	61497	7,7	0

Fuente: Inspectorate Services, 2012
 Elaboración: BISA, 2012

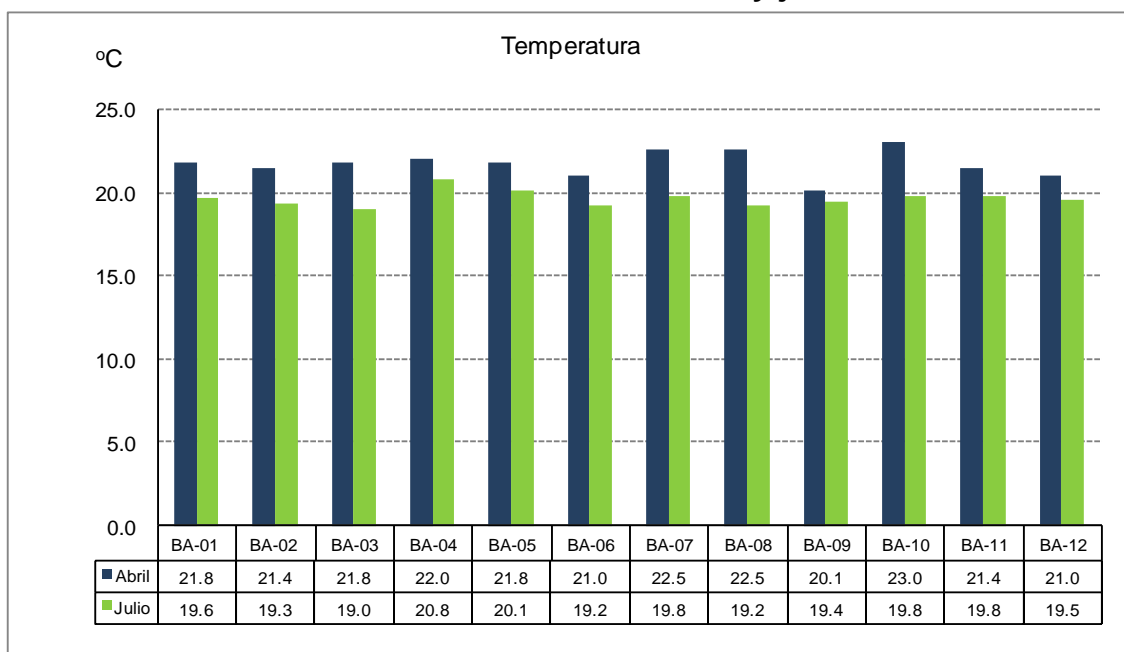
B. Interpretación de resultados de parámetros in situ

Temperatura

La temperatura es un factor muy importante en la regulación de muchos procesos fisiológicos como la maduración gonadal y el crecimiento de las crías. Puede controlar incluso la distribución de las especies dependiendo de la tolerancia de estas a las variaciones en la temperatura.

En Bayóvar, la temperatura superficial promedio en la evaluación de abril fue 21,7°C. La temperatura mínima fue 20,1°C (BA-09) y la máxima 23,0°C (BA-10). En julio la temperatura promedio fue 19,6°C, variando desde 19°C (BA-03) a 20,8°C (BA-04). Las temperaturas en abril fueron superiores a las de julio, lo cual es propio de la estación.

Figura 3.3.11-1. Distribución de la temperatura superficial en Bayóvar en durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

En Bayóvar, en la evaluación de abril se encontró que el valor de temperatura promedio del agua en el nivel medio (10m) fue 20,2°C, oscilando los valores de temperatura entre 18,9°C (BA-11) y 21,3°C (BA-6). En el nivel fondo la temperatura promedio fue 19,9 °C, siendo la mínima temperatura 18,8°C (BA-11) y la máxima 20,9°C (BA-06).

En Bayóvar durante el mes de julio, la temperatura en el nivel medio fue 19,3°C, con valores que variaron entre 18,8°C (BA-02) y 19,9°C (BA-05); mientras que en el nivel fondo la temperatura promedio del agua fue 19,1°C, con un registro mínimo de 18,6°C (BA-12) y un máximo de 19,8°C (BA-06). En general, se observa una disminución de la temperatura con la estacionalidad y el incremento de la profundidad.

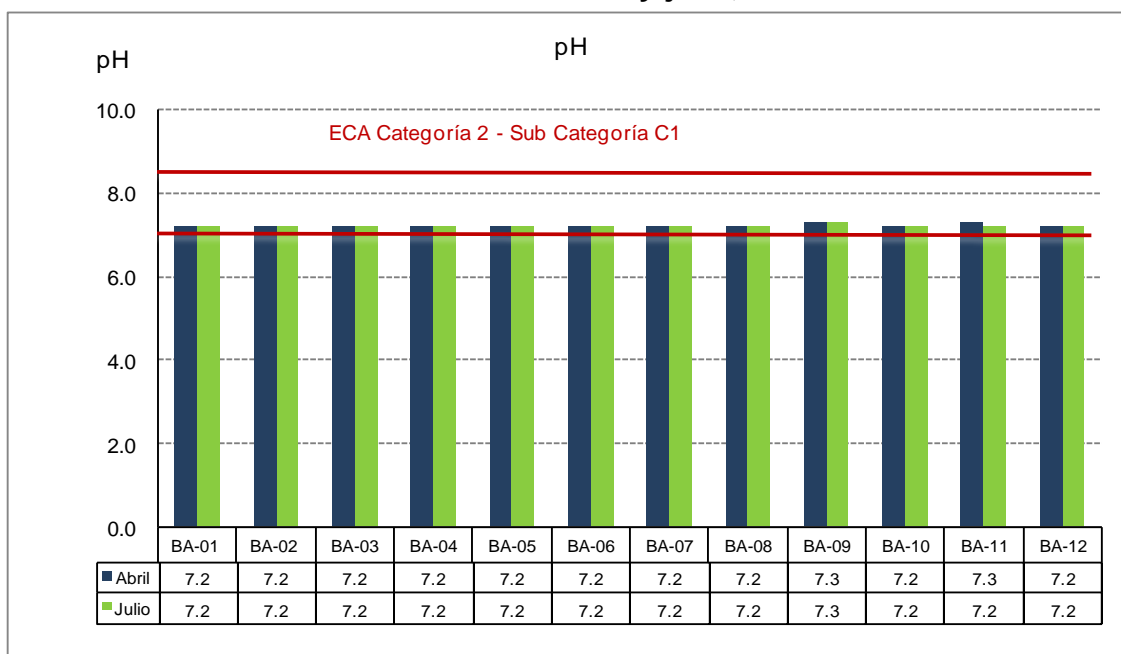
Potencial de hidrógeno (pH)

El pH es un factor importante en muchas de las actividades biológicas de las especies marinas. En el mar el valor del pH es ligeramente alcalino, el cual es regulado por el balance entre sus componentes disueltos (salinidad), y depende fundamentalmente de la cantidad total de dióxido de carbono (CO₂), temperatura y la actividad de los organismos marinos (función fotosintética).

En Bayóvar los valores de pH a nivel superficial se mantuvieron constantes en ambas evaluaciones, registrando valores entre 7,2 y 7,3. Los valores en Bayóvar se encuentran dentro de los ECA para Agua Categoría C2-Sub Categorías C2 y C3.

A media agua, el pH promedio en ambas evaluaciones fue igual al registrado a nivel superficial y en el nivel profundo se encontró una muy ligera disminución con respecto al nivel superficial y medio, tanto para la evaluación de abril como en la de julio.

Figura 3.3.11-2. Distribución del pH a nivel en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

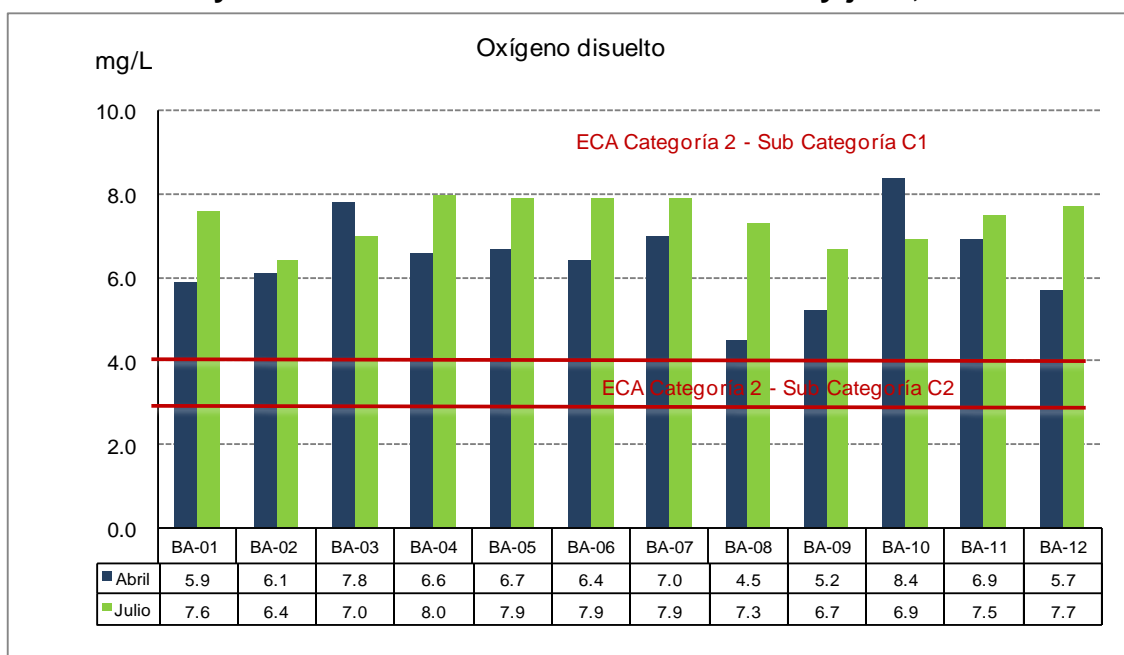
Oxígeno disuelto

El oxígeno del agua de mar proviene del oxígeno de la atmósfera y el resultante de la fotosíntesis de los vegetales marinos. El oxígeno se disuelve en el agua de mar hasta que se establece un equilibrio entre el aire y el agua aproximándose a su valor de saturación. El oxígeno al disolverse es captado por los vegetales marinos y los animales para su respiración. Los factores que regulan la cantidad de oxígeno disuelto en el agua son la temperatura, la salinidad, la actividad biológica, y los procesos de mezcla debidos a los movimientos del agua de mar (olas y turbulencias). La cantidad es mayor en las zonas superficiales que las profundas. El oxígeno es un indicador de la calidad de agua; así bajos niveles de oxígeno están relacionados con incremento de materia orgánica.

En Bayóvar, en la evaluación de abril el valor del oxígeno disuelto varió desde 4,5 mg/L hasta 8,4mg/L, presentando un valor promedio de 6,4 mg/L. En julio el valor

del oxígeno fue mayor, registrando un promedio de 7,4 mg/L; los valores variaron entre 6,4 mg/L y 8,0 mg/L. Los valores de Oxígeno disuelto en Bayóvar se encuentran de acuerdo a los ECA para Agua Categoría C2 y C3.

Figura 3.3.11-3. Distribución del oxígeno disuelto a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012



Fuente: BISA, 2012

En Bayóvar, en abril el valor promedio del oxígeno disuelto en nivel medio fue 4,4 mg/L, con un valor mínimo de 3,4 mg/L (BA-12) y un máximo de 5,8 mg/L (BA-03). En el nivel profundo el valor promedio del oxígeno disuelto fue 3,8 con valores que oscilaron entre 2,7 mg/L (BA-11) y 4,9 mg/L (BA-06).

En julio el valor promedio del oxígeno disuelto en el nivel medio fue 5,3 mg/L, con un valor mínimo de 4,2 mg/L (BA-02) y un máximo de 6,3 mg/L (BA-06). En el nivel profundo el promedio del oxígeno disuelto fue 4,0 mg/L, encontrándose los valores entre 3,3 mg/L (BA-12) y 4,7 mg/L (BA-06). En general, en Bayóvar se observa una disminución del oxígeno con el aumento de la profundidad y un

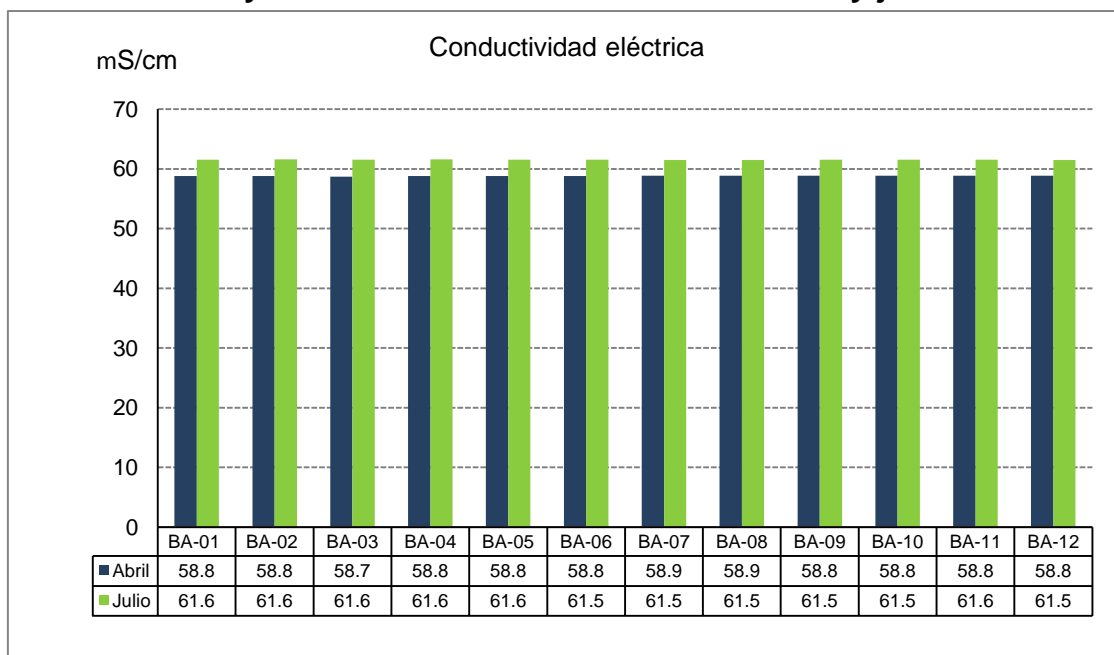
incremento del oxígeno disuelto en el nivel superficial con la disminución de la temperatura.

Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica en el agua de mar, está relacionada con la cantidad de sales que hay en disolución, a mayor salinidad mayor conductividad eléctrica.

En Bayóvar, en la evaluación de abril el valor promedio de la conductividad eléctrica fue 58,8 mS/cm. Los valores entre las diferentes estaciones presentaron variaciones mínimas, siendo el mínimo valor registrado 58,7 mS/cm y el máximo 58,9 mS/cm. En julio, el valor promedio de conductividad se incrementó a 61,5 mS/cm, oscilando los valores entre 61,5 mS/cm y 61,6 mS/cm. Se aprecia un mínimo incremento de la conductividad entre una evaluación y la otra.

Figura 3.3.11-4. Distribución de la conductividad eléctrica a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

En Bayóvar no se observa mayor variación de la conductividad con respecto a la profundidad.

C. Resultados de parámetros del laboratorio

En los cuadros 3.3.11-6 y 3.3.11-7 se presentan los resultados analizados de los diferentes parámetros fisicoquímicos. Los informes de ensayo se adjuntan en el **Anexo 3-4.**

Cuadro 3.3.11-6. Resultados de parámetros fisicoquímicos del agua de Bayóvar analizados en el laboratorio, abril 2012.

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-01	BA-02			BA-03			BA-04	BA-05		BA-06		
					BA-01 0m	BA-02 0m	BA-02 10 m	BA-02 18m	BA-03 0m	BA-03 10 m	BA-03 20 m	BA-04 0m	BA-05 0m	BA-05 10 m	BA-06 0m	BA-06 10 m	BA-06 20m
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2	**	10,0	<2,0	<2,0	--	--	<2,0	--	--	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	5,0	**	50	24,0	16,0	--	--	15,2	--	--	14,0	9,2	21,2	13,2	11,6	16,8
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	10,0	**	**	33720	36320	--	--	36160	--	--	36560	37220	37000	36180	35740	36280
Fosfato	mg/L PO ₄ ⁻³	0,008	**	0,03-0,09	0,205	0,119	0,108	0,159	0,075	0,181	0,101	0,257	0,163	0,410	0,178	0,186	0,124
Silicatos	mg/L Na ₂ SiF ₆	0,0188	**	0,14-0,70	2,2875	1,7178	2,2386	2,6814	1,8911	1,814	2,1469	2,5289	2,64400	2,47140	2,28670	2,71260	2,52560
Nitrógeno-Total	mg/L	0,10			0,68	1,86	0,54	1,02	1,69	1,69	0,61	0,88	0,76	0,48	1,14	1,38	0,96
Nitrógeno Nitrato	mg/L N-NO ₃	0,06	**	0,07-0,28	0,14	0,09	<0,06	<0,06	0,07	0,06	<0,06	0,13	0,07	0,14	0,13	0,07	0,15
Amoniaco	mg/L NH ₃ ⁻	0,01	**	0,08	0,11	0,24	--	--	0,09	--	--	0,10	0,1	0,02	0,02	0,14	0,06
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃ ⁺	0,01	**	**	0,09	0,2	0,05	0,05	0,08	0,12	0,04	0,09	0,08	0,02	0,01	0,12	0,05
Sulfuro	mg/L	0,002	**	0,06	<0,002	<0,002	--	--	<0,002	--	--	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fenoles	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010	--	--	<0,0010	--	--	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Cianuro Libre	mg/L	0,002	**	**	<0,002	<0,002	--	--	<0,002	--	--	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cromo Hexavalente	mg/L Cr ^{VI}	0,02	0,05	0,05	<0,02	<0,02	--	--	<0,02	--	--	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Aceites y Grasas	mg/L	0,20	1	1	0,47	<0,20	--	--	<0,20	--	--	<0,20	<0,20	<0,20	0,20	<0,20	<0,20
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L C ₆ -C ₂₈	0,20	**	**	<0,20	<0,20	--	--	<0,20	--	--	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	µg/L	<5,0	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	--	--
Naphtalene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Acenaphthylene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Acenaphthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Fluorene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Phenanthrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Chrysene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (A) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-01	BA-02			BA-03			BA-04	BA-05		BA-06		
					BA-01 0m	BA-02 0m	BA-02 10 m	BA-02 18m	BA-03 0m	BA-03 10 m	BA-03 20 m	BA-04 0m	BA-05 0m	BA-05 10 m	BA-06 0m	BA-06 10 m	BA-06 20m
Benzo (B) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (K) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (A) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Indeno (1,2,3-CD) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Dibenz (A,H) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (G,H,I) Perylene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,8	**	**	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--	<1,8	2,0	25	33x10	79x10 ²	79x10
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,8	≤14 (área aprobada)*	≤30	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--	<1,8	2,0	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Clorofila	µg/L	0,1	**	**	R N,D,	R N,D,	--	--	R 1,3	--	--	R N,D,	R,N,D	R 0,5	R 3,8	R,N,D	R,N,D
Ag(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--	0,0005	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Al(tot)	mg/L	0,0019	**	**	0,1055	0,0177	--	--	0,0256	--	--	0,0517	0,056	0,018	0,0258	0,0183	0,0148
As(tot)	mg/L	0,0004	0,05	0,05	0,0059	0,0099	--	--	0,0054	--	--	0,0095	0,00454	0,00597	0,00605	0,00619	0,00471
B(tot)	mg/L	0,0012			4,0435	4,2654	--	--	4,8394	--	--	3,9072	4,7092	4,4608	4,6188	4,3257	4,6227
Ba(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0130	0,0075	--	--	0,0066	--	--	0,0081	0,0102	0,0061	0,0065	0,0062	0,0062
Be(tot)	mg/L	0,0006	**	**	<0,0006	<0,0006	--	--	<0,0006	--	--	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Bi(tot)	mg/L	0,0003	0,0093	0,0093	<0,0003	<0,0003			<0,0003			<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Ca(tot)	mg/L	0,0303	**	**	472,4	487,0			480,5			411,3	453,9	489,1	462,7	482,1	494,0
Cd(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0002	0,0002	--	--	0,0002	--	--	0,0002	0,0003	0,0002	0,0003	0,0002	<0,0002
Ce(tot)	mg/L	0,0003	0,0031	0,05	<0,0003	<0,0003			<0,0003			<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Co(tot)	mg/L	0,0002	0,00094	0,0001	0,0039	0,0052	--	--	0,0047	--	--	0,0025	0,0025	0,0038	0,0041	0,0040	0,0038
Cr(tot)	mg/L	0,0005	**	**	0,0088	0,0056	--	--	0,0056	--	--	0,0053	0,0054	0,0048	0,0051	0,0049	0,0047
Cu(tot)	mg/L	0,0001	**	**	0,0178	0,0087	--	--	0,0087	--	--	0,0099	0,0104	0,0086	0,0096	0,0085	0,0092
Fe(tot)	mg/L	0,0031	**	**	0,2613	0,0591			0,0580			0,1810	0,1569	0,0495	0,0678	0,0590	0,0468
Hg(tot)	mg/L	0,0001	0,0082	0,1	<0,0001	<0,0001	--	--	<0,0001	--	--	<0,0001	0,0003	<0,0001	0,0017	<0,0001	<0,0001
K(tot)	mg/L	0,0237	**	**	453,0	402,6			411,5			394,2	399,4	420,1	395,9	398,9	390,5
Li(tot)	mg/L	0,0012	0,0081	0,0081	0,1697	0,1628	--	--	0,1544	--	--	0,1540	0,1554	0,1552	0,1568	0,1593	0,1550
Mg(tot)	mg/L	0,0356	**	**	1283,0	1337,2			1367,1			1139,3	1352,0	1362,0	1336,5	1325,3	1316,4
Mn(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0030	0,0018	--	--	0,0024	--	--	0,0022	0,0013	0,0014	0,0020	0,0011	0,0011

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-01	BA-02			BA-03			BA-04	BA-05		BA-06		
					BA-01 0m	BA-02 0m	BA-02 10 m	BA-02 18m	BA-03 0m	BA-03 10 m	BA-03 20 m	BA-04 0m	BA-05 0m	BA-05 10 m	BA-06 0m	BA-06 10 m	BA-06 20m
Mo(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0112	0,0110	--	--	0,0114	--	--	0,0114	0,0116	0,0128	0,0127	0,0125	0,0125
Na(tot)	mg/L	0,0100	**	**	10976,5	10852,9			10943,1			9948,7	11116,4	10931,4	10891,6	10980,3	11040,5
Ni(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0217	0,0216	--	--	0,0196	--	--	0,0187	0,0176	0,0183	0,0191	0,0193	0,0188
P(tot)	mg/L	0,0033	0,081	0,081	0,2045	0,1749	--	--	0,1139	--	--	0,1944	0,1549	0,2139	0,0739	0,1001	0,0722
Pb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0040	<0,0002	--	--	0,0005	--	--	0,0230	0,0036	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0007
Sb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0008	0,0002			<0,0002			0,0009	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Se(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0087	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--	0,0104	0,0125	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Si (tot)	mg/L	0,1000	**	**	0,8139	0,3667	--	--	0,2167	--	--	0,5892	0,5945	0,3966	0,3800	0,4309	0,3705
Sn(tot)	mg/L	0,0004	**	**	<0,0004	<0,0004			<0,0004			<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004
Sr(tot)	mg/L	0,0020	**	**	7,9602	6,8697	--	--	6,7061	--	--	5,9342	6,5134	6,7605	6,6325	6,748	6,7792
Th(tot)	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010			<0,0010			0,0024	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Ti(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0177	0,0253	--	--	0,0255	--	--	0,0192	0,0150	0,0191	0,0193	0,0189	0,0202
Tl(tot)	mg/L	0,0003	**	**	<0,0003	<0,0003			<0,0003			<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
U(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0034	0,0031			0,0028			0,0029	0,0027	0,0029	0,0029	0,0030	0,0029
V(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,1387	0,1108	--	--	0,0961	--	--	0,1008	0,0955	0,0870	0,0937	0,0933	0,0865
Zn(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0248	0,0192	--	--	0,0174	--	--	0,0287	0,0174	0,0113	0,0161	0,0020	0,0167

Continuación Resultados Abril 2012

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07	BA-08			BA-09			BA-10	BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2	**	10,0	<2,0	2,6	<2,0	2,7	<2,0	<2,0	<2,0	2,1	2,4	--	--	<2,0	--	--
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	5,0	**	50	15,6	12,8	20,8	20,8	7,2	8,4	8,4	6,0	9,6	--	--	10,4	--	--
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	10,0	**	**	36740	36540	37114	35660	36500	37040	37000	35960	35800	--	--	35800	--	--
Fosfato	mg/L PO ₄ ⁻³	0,008	**	0,03-0,09	0,165	0,145	0,097	0,137	1,610	0,171	0,319	0,216	0,177	0,153	0,238	0,160	0,147	0,294
Silicatos	mg/L Na ₂ SiF ₆	0,0188	**	0,14-0,70	2,3956	2,51640	2,21540	2,98720	4,1765	3,8581	4,6788	2,4634	4,144	4,3685	4,2171	4,3629	3,6406	4,4129
Nitrógeno-Total	mg/L	0,10			1,76	0,83	0,96	1,38	0,34	0,34	0,30	0,61	0,54	0,48	0,54	0,34	0,47	0,20

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07	BA-08			BA-09			BA-10	BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m
Nitrógeno Nitrato	mg/L N-NO ₃	0,06	**	0,07-0,28	0,11	<0,06	0,12	0,19	0,09	0,23	0,27	0,11	<0,06	0,23	0,23	0,1	0,23	0,2
Amoniaco	mg/L NH ₃	0,01	**	0,08	0,10	0,1	0,1	0,08	0,11	0,01	<0,01	0,18	0,03	--	--	0,08	--	--
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃ ⁺	0,01	**	**	0,08	0,08	0,08	0,06	0,09	0,01	<0,01	0,15	0,03	0,01	<0,01	0,08	0,01	0,01
Sulfuro	mg/L	0,002	**	0,06	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	--	--	<0,002	--	--
Fenoles	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	--	--	<0,0010	--	--
Cianuro Libre	mg/L	0,002	**	**	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	--	--	<0,002	--	--
Cromo Hexavalente	mg/L Cr ^{VI}	0,02	0,05	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	--	--	<0,02	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	0,20	1	1	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,21	0,20	<0,20	<0,20	<0,20	--	--	0,21	--	--
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L C ₆ -C ₂₈	0,20	**	**	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	--	--	<0,20	--	--
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	µg/L	<5,0	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Naphtalene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Acenaphthylene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Acenaphthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Fluorene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Phenanthrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Chrysene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Benzo (A) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Benzo (B) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Benzo (K) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Benzo (A) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Indeno (1,2,3-CD) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Dibenz (A,H) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Benzo (G,H,I) Perylene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	<0,5	--	--
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,8	**	**	<1,8	13	13x10 ³	2,0	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,8	≤14 (área aprobada)*	≤30	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07			BA-08			BA-09			BA-10		BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m			
Clorofila	µg/L	0,1	**	**	R N,D,	R 3,2	R 0,6	R 2,2	R 1,3	R N,D	R N,D	R 4,0	R 1,3	--	--	R 1,6	--	--			
Ag(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0011	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--			
Al(tot)	mg/L	0,0019	**	**	0,0301	0,0517	0,0682	0,0233	0,0893	0,0196	0,0377	0,0701	0,0714	--	--	0,0767	--	--			
As(tot)	mg/L	0,0004	0,05	0,05	0,0054	0,00529	0,00528	0,00382	0,00573	0,00687	0,00728	0,0051	0,00522	--	--	0,00494	--	--			
B(tot)	mg/L	0,0012			4,3904	3,9120	3,944	4,4758	4,4318	4,5235	4,1454	4,2474	4,6717	--	--	4,6784	--	--			
Ba(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0068	0,0082	0,01	0,0062	0,0083	0,0067	0,0076	0,0102	0,0074	--	--	0,0074	--	--			
Be(tot)	mg/L	0,0006	**	**	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	--	--	<0,0006	--	--			
Bi(tot)	mg/L	0,0003	0,0093	0,0093	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--			
Ca(tot)	mg/L	0,0303	**	**	468,3	470,2	446,5	493,1	515,9	467,8	466,1	432,4	530,8	--	--	519,0	--	--			
Cd(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0002	0,0002	0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--			
Ce(tot)	mg/L	0,0003	0,0031	0,05	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--			
Co(tot)	mg/L	0,0002	0,00094	0,0001	0,0039	0,0025	0,0025	0,0035	0,0025	0,0035	0,0031	0,0028	0,0022	--	--	0,0022	--	--			
Cr(tot)	mg/L	0,0005	**	**	0,0044	0,0055	0,0056	0,0049	0,0076	0,007	0,0067	0,0058	0,0072	--	--	0,0073	--	--			
Cu(tot)	mg/L	0,0001	**	**	0,0098	0,0118	0,0114	0,0087	0,0095	0,0075	0,0075	0,0109	0,0085	--	--	0,0078	--	--			
Fe(tot)	mg/L	0,0031	**	**	0,0728	0,1853	0,1837	0,0531	0,2126	0,0580	0,1012	0,1881	0,2094	--	--	0,2131	--	--			
Hg(tot)	mg/L	0,0001	0,0082	0,1	<0,0001	0,0053	0,0003	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	--	--	<0,0001	--	--			
K(tot)	mg/L	0,0237	**	**	397,4	396,3	380,1	403,1	427,8	444,7	440,7	359,8	440,8	--	--	439,9	--	--			
Li(tot)	mg/L	0,0012	0,0081	0,0081	0,1552	0,1624	0,1605	0,1543	0,1448	0,1390	0,1428	0,1596	0,1476	--	--	0,1467	--	--			
Mg(tot)	mg/L	0,0356	**	**	1322,2	1338,2	1383,4	1342,4	1338,9	1395,1	1462,7	1243,4	1283,6	--	--	1288,8	--	--			
Mn(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0029	0,0014	0,0023	0,0022	0,0005	0,0007	0,0019	0,0021	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--			
Mo(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0119	0,0122	0,0123	0,0122	0,0119	0,0121	0,0118	0,012	0,0117	--	--	0,0114	--	--			
Na(tot)	mg/L	0,0100	**	**	10453,5	11180,2	10913,6	11529,9	9884,5	10276,6	10027,8	10196,0	9495,1	--	--	9628,6	--	--			
Ni(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0187	0,0185	0,0177	0,0177	<0,0004	<0,0004	<0,0004	0,0175	<0,0004	--	--	<0,0004	--	--			
P(tot)	mg/L	0,0033	0,081	0,081	0,1741	0,1632	0,1156	0,078	0,1219	0,0985	0,1497	0,1476	0,1242	--	--	0,1262	--	--			
Pb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0004	0,0561	0,0046	<0,0002	0,0849	<0,0002	0,0012	0,0398	0,0388	--	--	0,0015	--	--			
Sb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	0,0008	<0,0002	<0,0002	0,0006	0,0003	0,0014	0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--			
Se(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	0,0141	0,0137	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--			
Si (tot)	mg/L	0,1000	**	**	0,4485	0,6192	0,9317	0,3457	0,9632	0,6652	0,9015	0,6572	0,8859	--	--	0,8794	--	--			
Sn(tot)	mg/L	0,0004	**	**	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	--	--	<0,0004	--	--			
Sr(tot)	mg/L	0,0020	**	**	6,6082	6,7597	6,5675	6,7637	7,4656	7,6297	7,6114	10,9073	7,1297	--	--	7,7489	--	--			
Th(tot)	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	0,0016	<0,0010	<0,0010	--	--	<0,0010	--	--			

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07	BA-08			BA-09			BA-10	BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m
Ti(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0246	0,0146	0,0149	0,0179	0,0255	0,0335	0,0322	0,0176	0,0256	--	--	0,0246	--	--
Tl(tot)	mg/L	0,0003	**	**	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--
U(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0028	0,0030	0,0032	0,0029	0,0028	--	--	0,0028	--	--
V(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0864	0,1054	0,0992	0,0805	<0,0003	0,0014	<0,0003	0,1012	0,0005	--	--	<0,0003	--	--
Zn(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0182	0,017	0,0309	0,019	0,0176	0,0148	0,0265	0,0259	0,0143	--	--	0,0127	--	--

BISA, 2012

Cuadro 3.3.11-7 Resultados de parámetros fisicoquímicos del agua de Bayóvar analizados en el laboratorio, julio 2012.

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-01	BA-02			BA-03			BA-04	BA-05		BA-06		
					BA-01 0m	BA-02 0m	BA-02 10 m	BA-02 20m	BA-03 0m	BA-03 10 m	BA-03 20 m	BA-04 0m	BA-05 0m	BA-05 10 m	BA-06 0m	BA-06 10 m	BA-06 20m
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2	**	10,0	<2,0	<2,0	--	-----	<2,0	--	--	<2,0	<2,0	2,8	2,2	2,0	2,5
Sólidos Totales Suspendedos	mg/L	5,0	**	50	8,4	6	--	--	25,6	--	--	16,4	22,8	23,6	30,4	18,8	19,2
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	10,0	**	**	36560	38560	--	--	36140	--	--	38640	29340	36420	36580	38600	37080
Fosfato	mg/L PO ₄ ⁻³	0,008	**	0,03-0,09	0,120	0,128	0,214	--	0,095	0,163	0,529	0,214	0,225	0,139	0,095	0,106	0,210
Silicatos	mg/L Na ₂ SiF ₆	0,0188	**	0,14-0,70	0,8560	0,7022	1,1231	--	0,6320	0,9144	1,8817	0,7023	0,6232	0,2060	0,8858	1,1180	1,4990
Nitrógeno-Total	mg/L	0,10			< 0,10	< 0,10	0,22	--	0,25	0,28	0,22	< 0,10	0,22	0,32	0,28	0,50	0,28
Nitrógeno Nitrato	mg/L N-NO ₃	0,06	**	0,07-0,28	<0,06	<0,06	<0,06	--	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Amoniaco	mg/L NH ₃ ⁻	0,01	**	0,08	0,09	0,07	0,020	--	0,14	0,110	0,050	0,10	0,11	0,15	0,07	0,07	0,06
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃ ⁺	0,01	**	**	0,07	0,06	0,01	--	0,12	0,09	0,04	0,08	0,09	0,12	0,06	0,06	0,05
Sulfuro	mg/L	0,002	**	0,06	<0,002	<0,002	<0,002	--	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Fenoles	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010	--	--	<0,0010	--	--	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Cianuro Libre	mg/L	0,002	**	**	<0,002	<0,002	--	--	<0,002	--	--	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002
Cromo Hexavalente	mg/L Cr ^{VI}	0,02	0,05	0,05	<0,02	<0,02	--	--	<0,02	--	--	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Aceites y Grasas	mg/L	0,20	1	1	<0,20	<0,20	--	--	<0,20	--	--	<0,20	<0,20	<0,20	0,2	0,2	0,26
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L C ₆ -C ₂₈	0,20	**	**	<0,20	<0,20	--	--	<0,20	--	--	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	µg/L	<5,0	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	--	--
Naphtalene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Acenaphthylene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-01	BA-02			BA-03			BA-04	BA-05		BA-06		
					BA-01 0m	BA-02 0m	BA-02 10 m	BA-02 20m	BA-03 0m	BA-03 10 m	BA-03 20 m	BA-04 0m	BA-05 0m	BA-05 10 m	BA-06 0m	BA-06 10 m	BA-06 20m
Acenaphthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Fluorene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Phenanthrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Chrysene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (A) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (B) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (K) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (A) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Indeno (1,2,3-CD) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Dibenz (A,H) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Benzo (G,H,I) Perylene	µg/L	0,5	**	**	<0,5	<0,5	--	--	<0,5	--	--	<0,5	<0,5	--	<0,5	--	--
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,8	**	**	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--	<1,8	<1,8	33 x 10 ²	<1,8	<1,8	<1,8
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,8	≤14 (área aprobada)*	≤30	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8
Clorofila	µg/L	0,1	**	**	6,5	3,8	--	--	1,3	--	--	N,D,	10,5	6,2	R 0,9	R 0,7	R N,D,
Aq(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Al(tot)	mg/L	0,0019	**	**	0,0306	0,0253	--	--	0,0311	--	--	0,0304	0,0285	0,035	0,0604	0,0212	0,0432
As(tot)	mg/L	0,0004	0,05	0,05	0,006	0,002	--	--	0,0042	--	--	0,0036	0,0051	0,0062	0,0059	0,0064	0,0054
B(tot)	mg/L	0,0012			4,9068	4,6584	--	--	4,7499	--	--	4,5562	4,6283	4,9525	4,4472	4,2501	4,5987
Ba(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0085	0,0076	--	--	0,0088	--	--	0,0096	0,0073	0,0081	0,0151	0,0085	0,0088
Be(tot)	mg/L	0,0006	**	**	<0,0006	<0,0006	--	--	<0,0006	--	--	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006
Bi(tot)	mg/L	0,0003	0,0093	0,0093	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Ca(tot)	mg/L	0,0303	**	**	440,1	406,1	--	--	431,8	--	--	421,8	414,2	440,5	507,0	542,5	515,2
Cd(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0002	0,0002	--	--	0,0003	--	--	<0,0002	0,0002	0,0003	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Ce(tot)	mg/L	0,0003	0,0031	0,05	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
Co(tot)	mg/L	0,0002	0,00094	0,0001	0,0027	0,0021	--	--	0,0024	--	--	0,0023	0,0019	0,0022	0,0031	0,0027	0,0033
Cr(tot)	mg/L	0,0005	**	**	<0,0005	<0,0005	--	--	0,0005	--	--	<0,0005	0,0035	0,0032	0,0050	0,0024	0,0028

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-01	BA-02			BA-03			BA-04	BA-05		BA-06		
					BA-01 0m	BA-02 0m	BA-02 10 m	BA-02 20m	BA-03 0m	BA-03 10 m	BA-03 20 m	BA-04 0m	BA-05 0m	BA-05 10 m	BA-06 0m	BA-06 10 m	BA-06 20m
Cu(tot)	mg/L	0,0001	**	**	0,0066	0,0065	--	--	0,0066	--	--	0,006	0,0096	0,0105	0,0195	0,0114	0,0116
Fe(tot)	mg/L	0,0031	**	**	0,1629	0,0834	--	--	0,1119	--	--	0,103	0,1808	0,1469	0,3934	0,2794	0,4854
Hg(tot)	mg/L	0,0001	0,0082	0,1	<0,0001	<0,0001	--	--	<0,0001	--	--	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001
K(tot)	mg/L	0,0237	**	**	371,4	334,8	--	--	350,2	--	--	362,5	352,2	364,2	358,2	346,6	331,0
Li(tot)	mg/L	0,0012	0,0081	0,0081	0,1355	0,1177	--	--	0,1277	--	--	0,1301	0,1196	0,1347	0,1271	0,1216	0,1353
Mg(tot)	mg/L	0,0356	**	**	1280,0	1134,1	--	--	1172,7	--	--	1214,0	1172,7	1224,3	1208,4	1159,9	1134,9
Mn(tot)	mg/L	0,0003	**	**	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--	0,0003	0,0062	0,0048	0,0065	<0,0003	0,0012
Mo(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,012	0,0116	--	--	0,0123	--	--	0,0128	0,0112	0,0128	0,0126	0,0119	0,0130
Na(tot)	mg/L	0,0100	**	**	10206,4	10048,1	--	--	10150,5	--	--	10344,9	10048,3	10256,2	10230,5	10264,9	10021,7
Ni(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0012	0,0012	--	--	0,0011	--	--	0,0017	0,0019	0,0006	0,0015	0,0029	0,0023
P(tot)	mg/L	0,0033	0,081	0,081	0,087	0,0795	--	--	0,1052	--	--	0,1036	0,541	0,0678	0,1059	0,0856	0,1117
Pb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0263	0,0081	--	--	0,0102	--	--	0,014	0,038	0,0132	0,0308	0,0200	0,0736
Sb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0006	0,0002	--	--	0,0004	--	--	0,0003	0,0015	0,0007	0,0018	0,0014	0,0032
Se(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002
Si (tot)	mg/L	0,1000	**	**	0,2703	0,3517	--	--	0,3214	--	--	0,2890	0,2472	0,2009	0,2121	0,1927	0,3772
Sn(tot)	mg/L	0,0004	**	**	<0,0004	<0,0004	--	--	0,0004	--	--	0,0005	0,0005	0,0006	0,0026	0,0004	0,0010
Sr(tot)	mg/L	0,0020	**	**	8,7727	8,0824	--	--	8,4408	--	--	8,5498	8,2219	8,7929	8,2351	8,5253	8,3085
Th(tot)	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010	--	--	<0,0010	--	--	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010
Ti(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,02	0,0185	--	--	0,025	--	--	0,0173	0,012	0,0075	0,0132	0,0068	0,0090
Tl(tot)	mg/L	0,0003	**	**	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003
U(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0061	0,0053	--	--	0,006	--	--	0,0058	0,0053	0,0057	0,0049	0,0049	0,0055
V(tot)	mg/L	0,0003	**	**	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	0,0008	<0,0003
Zn(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0261	0,0185	--	--	0,0156	--	--	0,0161	0,0409	0,0197	0,1155	0,0260	0,0684

Continuación Datos julio 2012

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07	BA-08			BA-09			BA-10	BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m
Demanda Bioquímica de Oxígeno	mg/L O ₂	2	**	10,0	<2,0	2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	<2,0	2,3	<2,0	--	--	4,1	--	--
Sólidos Totales Suspendidos	mg/L	5,0	**	50	25,6	25,2	20,4	26,4	21,6	25,6	24,8	50,8	25,2	--	--	8,4	--	--
Sólidos Totales Disueltos	mg/L	10,0	**	**	38320	38560	39160	38960	38400	36740	38840	38360	38360	--	--	39060	--	--
Fosfato	mg/L PO ₄ ⁻³	0,008	**	0,03-0,09	0,140	0,114	0,168	0,242	0,137	0,758	0,21	0,162	0,117	0,265	0,182	0,172	0,201	0,193
Silicatos	mg/L Na ₂ SiF ₆	0,0188	**	0,14-0,70	0,9547	1,0312	1,0321	1,3880	0,8185	0,8258	1,8860	1,0043	0,4861	3,8501	0,7940	0,5624	1,4079	1,4588
Nitrógeno-Total	mg/L	0,10			0,22	< 0,10	0,35	0,28	< 0,10	< 0,10	< 0,10	0,22	< 0,10	2,36	0,22	<0,10	< 0,10	< 0,10
Nitrógeno Nitrato	mg/L N-NO ₃	0,06	**	0,07-0,28	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06	<0,06
Amoniaco	mg/L NH ₃ ⁻	0,01	**	0,08	0,08	0,09	0,10	0,05	0,04	0,03	0,13	0,06	0,05	--	--	0,02	--	--
Nitrógeno Amoniacal	mg/L NH ₃ ⁺	0,01	**	**	0,07	0,07	0,08	0,04	0,03	0,02	0,11	0,05	0,04	0,01	0,07	0,02	<0,01	<0,01
Sulfuro	mg/L	0,002	**	0,06	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	--	--	<0,002	--	--
Fenoles	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	--	--	<0,0010	--	--
Cianuro Libre	mg/L	0,002	**	**	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	<0,002	--	--	<0,002	--	--
Cromo Hexavalente	mg/L Cr ^{VI}	0,02	0,05	0,05	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	--	--	<0,02	--	--
Aceites y Grasas	mg/L	0,20	1	1	<0,20	0,23	<0,20	0,25	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	0,24	--	--	<0,20	--	--
Hidrocarburos totales de Petróleo	mg/L C ₆ -C ₂₈	0,20	**	**	<0,20	<0,20	<0,20	<0,22	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	<0,20	--	--	<0,20	--	--
Hidrocarburos de Petróleo Totales (fracción aromática)	µg/L	<5,0	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Naphtalene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Acenaphthylene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Acenaphthene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07	BA-08			BA-09			BA-10	BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m
Fluorene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Phenanthrene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Chrysene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Benzo (A) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Benzo (B) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Benzo (K) Fluoranthene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Benzo (A) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Indeno (1,2,3-CD) Pyrene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Dibenz (A,H) Anthracene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Benzo (G,H,I) Perylene	µg/L	0,5	**	**	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--	<5,0	<5,0	--	--	<5,0	--	--
Coliformes Totales	NMP/100ml	1,8	**	**	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--
Coliformes Fecales	NMP/100ml	1,8	≤14 (área aprobada)*	≤30	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	<1,8	--	--	<1,8	--	--
Clorofila	µg/L	0,1	**	**	R N,D,	R N,D,	R 0,2	R N,D,	R N,D,	R N,D,	R N,D,	R N,D,	R 0,1	--	--	R 0,3	--	--
Ag(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--
Al(tot)	mg/L	0,0019	**	**	0,0354	0,0292	0,0252	0,0317	0,0155	0,0173	0,0268	0,0295	0,0192	--	--	0,0259	--	--
As(tot)	mg/L	0,0004	0,05	0,05	0,0046	0,0061	0,0011	0,0045	0,0038	0,007	0,0026	0,0058	0,0037	--	--	0,0062	--	--
B(tot)	mg/L	0,0012			4,7332	4,4232	4,4067	4,4625	5,3993	4,7665	4,5492	5,3123	4,9611	--	--	4,6828	--	--

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07	BA-08			BA-09			BA-10	BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m
Ba(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0081	0,0093	0,0089	0,0074	0,0081	0,0086	0,0087	0,0088	0,0088	--	--	0,0083	--	--
Be(tot)	mg/L	0,0006	**	**	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	<0,0006	--	--	<0,0006	--	--
Bi(tot)	mg/L	0,0003	0,0093	0,0093	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--
Ca(tot)	mg/L	0,0303	**	**	476,4	439,2	523,9	475,1	451,7	436,9	419,4	410,5	432,7	--	--	440,8	--	--
Cd(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	0,0002	--	--	0,0002	--	--
Ce(tot)	mg/L	0,0003	0,0031	0,05	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--
Co(tot)	mg/L	0,0002	0,00094	0,0001	0,0026	0,0038	0,0021	0,0023	0,0023	0,0024	0,0025	0,0026	0,0025	--	--	0,0023	--	--
Cr(tot)	mg/L	0,0005	**	**	0,0018	0,0016	0,0015	0,0019	0,0033	0,0018	0,0018	0,0022	0,0023	--	--	0,0036	--	--
Cu(tot)	mg/L	0,0001	**	**	0,0091	0,0108	0,0079	0,0088	0,0089	0,0083	0,0105	0,0099	0,01	--	--	0,0103	--	--
Fe(tot)	mg/L	0,0031	**	**	0,1728	0,6193	0,1783	0,1764	0,1448	0,1281	0,1351	0,1424	0,1419	--	--	0,1453	--	--
Hg(tot)	mg/L	0,0001	0,0082	0,1	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	<0,0001	0,002	<0,0001	<0,0001	--	--	<0,0001	--	--
K(tot)	mg/L	0,0237	**	**	324,0	318,3	326,5	324,3	375,7	364,9	349,5	368,2	369,6	--	--	364,6	--	--
Li(tot)	mg/L	0,0012	0,0081	0,0081	0,1201	0,1235	0,1210	0,1204	0,1269	0,1228	0,1163	0,1274	0,1339	--	--	0,1223	--	--
Mg(tot)	mg/L	0,0356	**	**	1112,5	1107,6	1113,8	1121,2	1252,0	1217,0	1201,7	1211,1	1260,1	--	--	1259,1	--	--
Mn(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0014	0,0008	0,0011	0,0009	0,0066	0,0042	0,0042	0,0054	0,0049	--	--	0,0062	--	--
Mo(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0123	0,0118	0,0127	0,0130	0,0121	0,0113	0,012	0,0116	0,0122	--	--	0,0117	--	--
Na(tot)	mg/L	0,0100	**	**	10110,2	10064,4	10030,6	10048,3	10764,1	10603,8	10512,4	10753,1	10774,3	--	--	10525,5	--	--
Ni(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0020	0,0004	0,0008	0,0019	0,0016	0,0018	0,001	0,0016	0,0013	--	--	0,0012	--	--
P(tot)	mg/L	0,0033	0,081	0,081	0,0840	0,0838	0,0925	0,0985	0,053	0,0657	0,0795	0,0959	0,0907	--	--	0,0907	--	--
Pb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0063	0,0036	0,0268	0,0157	0,0091	0,0136	0,019	0,0106	0,0119	--	--	0,0102	--	--

Descripción de Muestra	unidad	Límite de Cuantificación	ECA Categoría 2 Sub Categoría 1	ECA Categoría 2 Sub Categoría 2	BA-07	BA-08			BA-09			BA-10	BA-11			BA-12		
					BA-07 0m	BA-08 0m	BA-08 10 m	BA-08 20m	BA-09 0m	BA-09 10 m	BA-09 20 m	BA-10 0m	BA-11 0m	BA-11 10 m	BA-11 20 m	BA-12 0m	BA-12 10 m	BA-12 20 m
Sb(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0005	0,0007	0,0011	0,0009	0,0007	0,0007	0,0008	0,0007	0,0005	--	--	0,001	--	--
Se(tot)	mg/L	0,0002	**	**	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	<0,0002	--	--	<0,0002	--	--
Si (tot)	mg/L	0,1000	**	**	0,2864	0,2324	0,1965	0,3502	0,2281	0,2733	0,4907	0,3194	0,2633	--	--	0,2903	--	--
Sn(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0004	<0,0004	0,0011	0,0007	0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	<0,0004	--	--	0,0004	--	--
Sr(tot)	mg/L	0,0020	**	**	8,3068	8,3786	8,3992	8,0287	8,9165	8,7656	8,6027	9,0218	8,8565	--	--	8,823	--	--
Th(tot)	mg/L	0,0010	**	**	<0,0010	<0,0010	0,0015	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	<0,0010	--	--	<0,0010	--	--
Ti(tot)	mg/L	0,0004	**	**	0,0074	0,0070	0,0076	0,0064	0,0057	0,0096	0,0078	0,0079	0,0073	--	--	0,0068	--	--
Tl(tot)	mg/L	0,0003	**	**	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--
U(tot)	mg/L	0,0003	**	**	0,0051	0,0048	0,0052	0,0051	0,0056	0,0053	0,0054	0,0057	0,0059	--	--	0,0057	--	--
V(tot)	mg/L	0,0003	**	**	<0,0003	0,0007	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	<0,0003	--	--	<0,0003	--	--
Zn(tot)	mg/L	0,0002	**	**	0,0199	0,1016	0,0160	0,0222	0,0112	0,0131	0,0162	0,0237	0,03	--	--	0,0278	--	--

BISA,2012

D. Interpretación de los resultados de parámetros del laboratorio

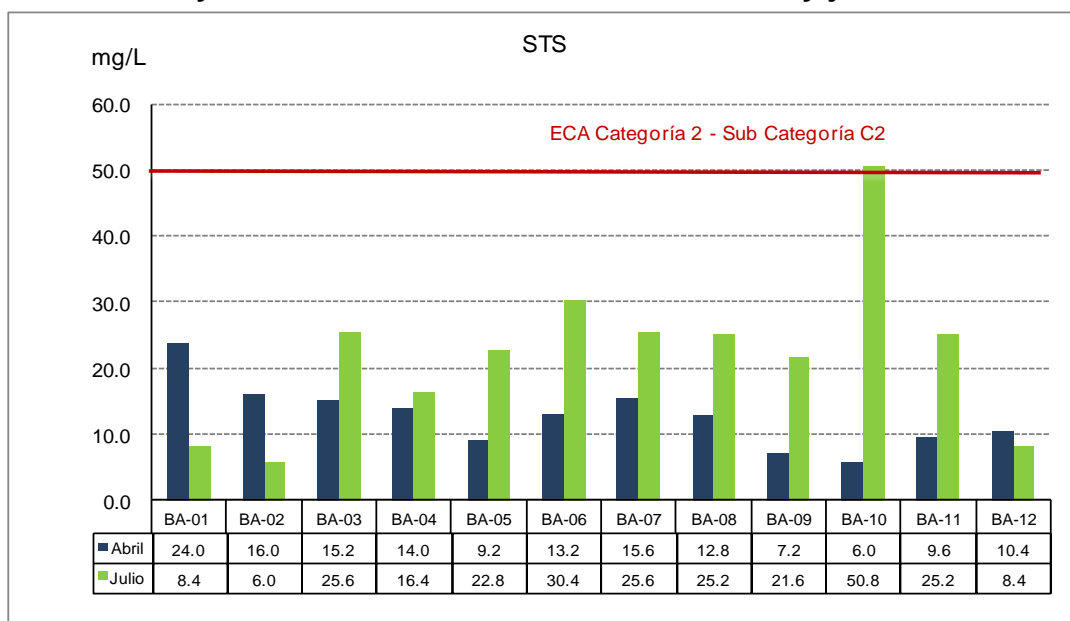
Sólidos totales suspendidos (STS)

Los sólidos suspendidos se refieren a la presencia de partículas orgánicas e inorgánicas que se encuentran en suspensión en la columna de agua, proveniente de los restos de animales, plantas marinas y material doméstico e industrial. La reducción de la claridad del agua se le atribuye a la presencia de STS.

En Bayóvar el promedio de STS a nivel superficial durante la evaluación de abril fue 12,8, variando desde 6 mg/L (BA-10) a 24 mg/L (BA-01). En julio el valor promedio de STS superficial aumentó a 22,2 mg/L. La estación BA-2 registró el menor valor (6.0 mg/L), mientras que la estación BA-08 presentó el mayor valor (50,8 mg/L), el cual supera el ECA para agua Categoría 2-Sub Categoría C2 que indica un máximo de 50,0 mg/L.

Comparando el valor de STS en Bayóvar a diferentes profundidades, se observa que en la evaluación de abril hay un incremento de STS con respecto a la profundidad obteniéndose valores promedios de 12.8 para el nivel superficial, 13.8 mg/L. a nivel medio y 15.3 mg/L. a nivel profundo. En julio se observó una ligera disminución desde 22.2 mg/L a 21.6 mg/L. y luego un incremento a 20m (23.5). Se espera que los STS aumenten con la profundidad por la acumulación de partículas en los niveles inferiores de la columna de agua.

Figura 3.3.11-5. Distribución de la concentración de STS a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



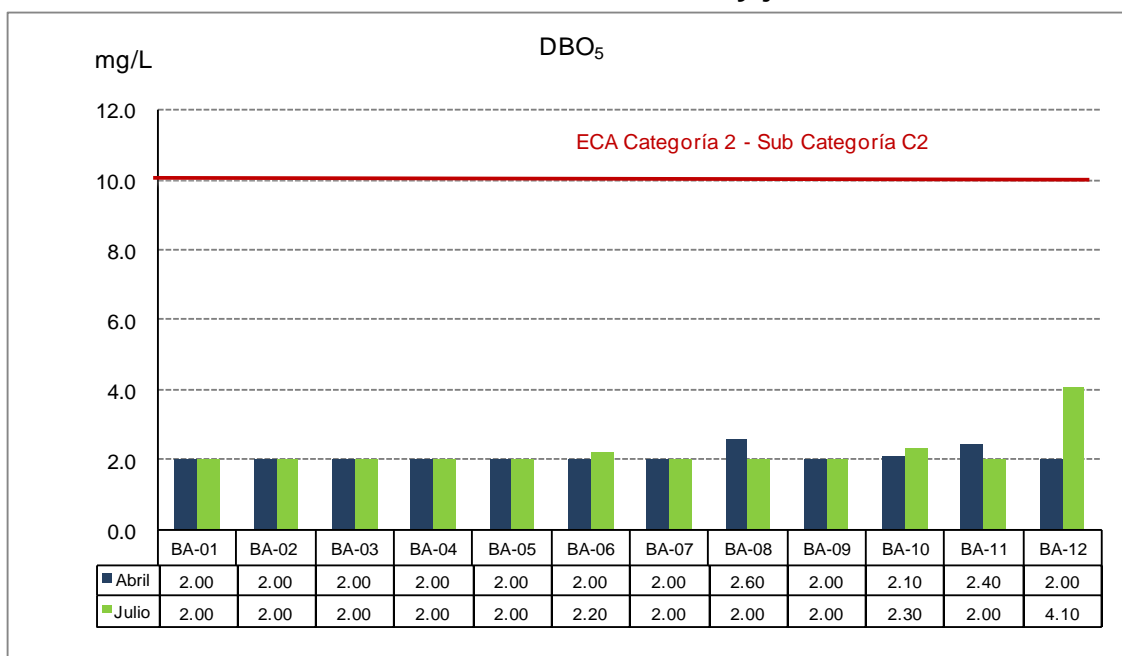
Fuente: BISA, 2012

Demanda bioquímica de oxígeno (DBO₅)

Este parámetro mide la cantidad de oxígeno consumido por los organismos biológicos aeróbicos para descomponer la materia orgánica presente en el agua. El aumento de la DBO₅, al igual que la DQO ocasiona disminución del oxígeno disuelto, afectando la vida acuática. La putrefacción de la materia orgánica en el agua produce una disminución de la cantidad de oxígeno (la cual es evaluada mediante la Demanda Bioquímica de Oxígeno, DBO₅) que causa graves daños a la flora y fauna acuática, pero que desaparece al término del proceso de putrefacción.

En Bayóvar a nivel superficial tanto para abril como para julio no se aprecia una mayor variación de la concentración de DBO₅, siendo los valores en la mayoría de las estaciones inferiores al mínimo de detección analítica 2,0 mg/L. Los valores de DBO₅, se encontraron debajo del límite del ECA para Agua Categoría 2, Sub Categoría C2 (10 mg/L).

Figura 3.3.11-6. Distribución de la DBO5a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

Considerando que en Bayóvar la mayor parte de registros se encontraron por debajo del mínimo detectable por el método analítico no se puede comparar la variación de la concentración a diferentes profundidades.

Fosfatos

Los fosfatos son las sales o ésteres del ácido fosfórico. Los fosfatos junto con los nitratos son considerados como los nutrientes del mar, controlando la productividad primaria y a todos los organismos que dependen de ella. La escasez de fosfatos puede ser un limitante de la capacidad fotosintética. De otro lado el exceso de este nutriente induce a un crecimiento desmesurados de las algas y otros microorganismos produciendo la eutrofización de las aguas. Cuando las algas mueren, son descompuestas por algunos microorganismos y produciendo un consumo del oxígeno.

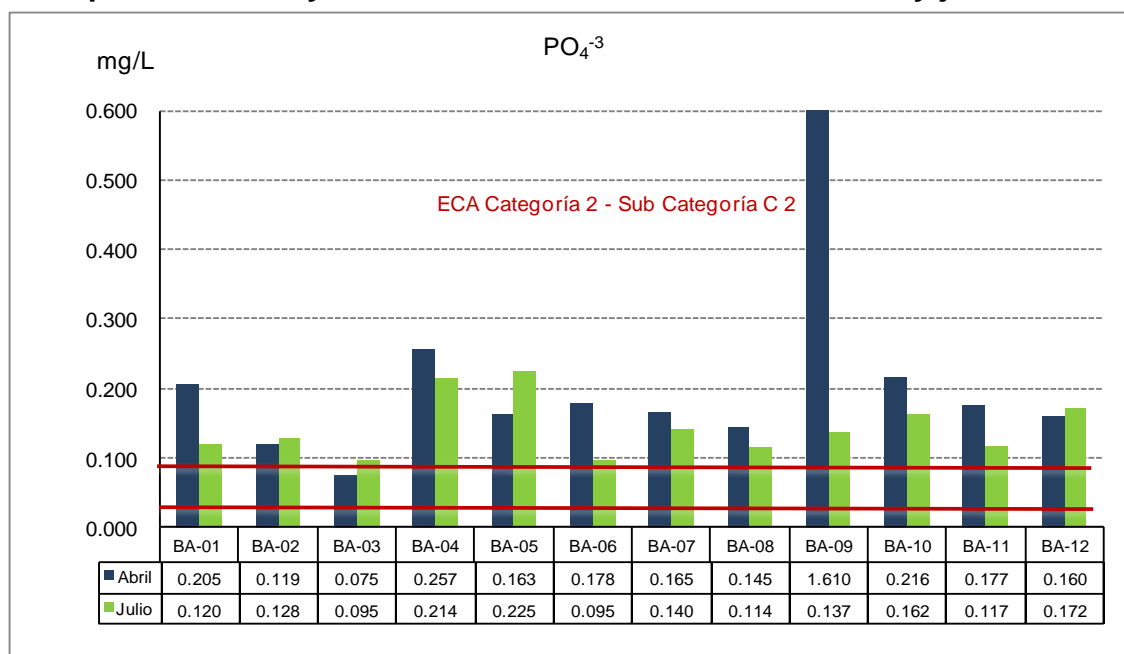
Los depósitos fosfáticos o fosforitas tienen gran importancia económica, por ser componentes de los fertilizantes usados en agricultura. Las fosforitas presentan grandes cantidades de fósforo y calcio, altas concentraciones de uranio, flúor y vanadio, y están asociadas a pelitas (rocas sedimentarias de grano muy fino) ricas en materia orgánica y potenciales rocas generadoras de petróleo.

En Bayóvar a nivel superficial la concentración promedio en abril fue 0,289, registrando un valor mínimo 0,075 mg/L en la estación BA-03 y un máximo de 1,61 mg/L en la estación BA-09. En julio la concentración promedio de fosfatos a nivel superficial disminuyó a 0,143 mg/L, con un valor mínimo (0,095) en la estación BA-06 y un valor máximo (0,225 mg/L) en la estación BA-05. Como se observa en la figura 14, en todas las estaciones (excepto la estación BA-03 durante el mes de abril) sobrepasaron el límite de los ECA para Agua Categoría 2 - Sub Categoría C2 (0.03 – 0,09 mg/L).

En Bayóvar se observó un incremento de la concentración de fosfatos con respecto a la profundidad, así en abril la concentración promedio en el nivel medio (10m) fue 0,149 mg/L y en el nivel profundo (20m) fue 0,196 mg/L. En julio la concentración promedio de fosfatos en el nivel medio fue 0,268 mg/L y en el profundo 0,277 mg/L, no observándose una gran variación con la profundidad en el invierno.

En ambas zonas de estudio se puede observar valores altos de fosfato que se relacionan con los depósitos de fosfato que hay aledaña al mar y por acción del viento se depositan en el mar.

Figura 3.3.11-7. Distribución de la Concentración de Fosfatos a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

Silicatos

Los silicatos en el mar provienen de la disolución de sales minerales como el aluminio silicato y de la degradación del sílicio orgánico. Los silicatos son un nutriente esencial para las diatomeas, quienes lo utilizan para formar sus frústulas. La distribución y concentración de los silicatos en el océano está controlada principalmente por procesos biológicos. Sin embargo, efectos físicos como el hundimiento de organismos muertos y fenómenos de surgencia, provocan la redistribución de estos compuestos en la columna de agua. Las concentraciones de silicatos aumentan con la profundidad.

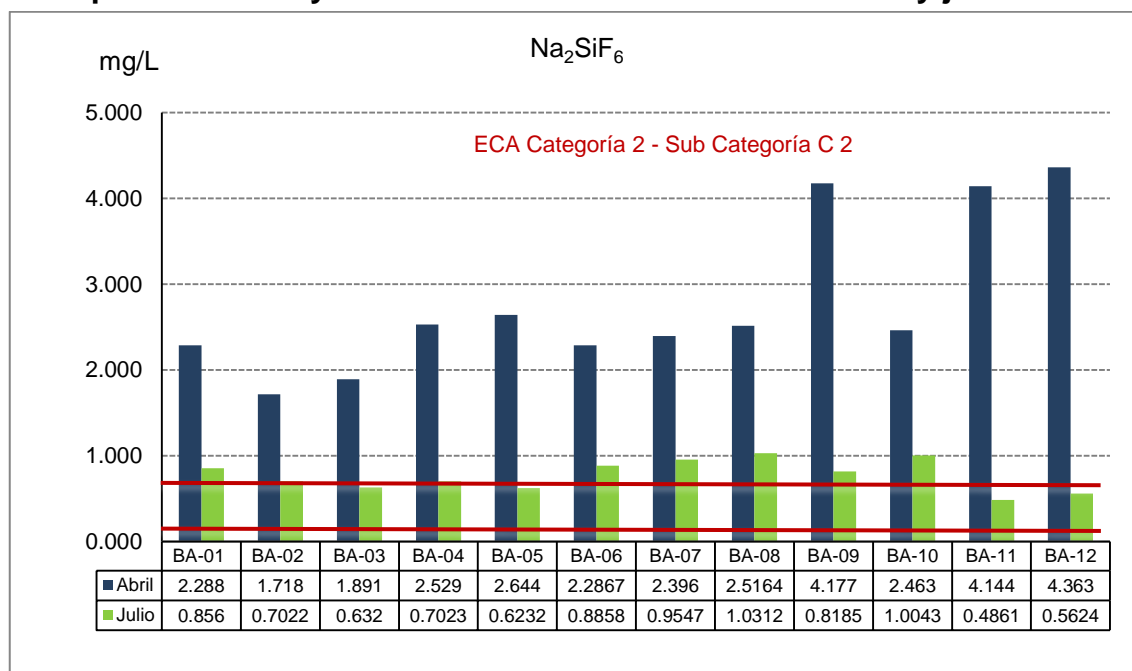
En Bayóvar la concentración promedio de silicatos a nivel superficial en abril fue 2,78 mg/L con un registro mínimo en la estación BA-02 con 1,176 mg/L y el máximo valor registrado en la estación BA-12 fue de 4,363 mg/L.

En julio los valores variaron desde 0,4861 mg/L en la estación BA-11 hasta 1,0312 mg/L en la estación BA-08. El valor promedio en esta temporada fue de 0,77 mg/L

Gran parte de las partículas de silicato son producidas por la erosión de las rocas por los vientos. El depósito es el mar, donde las diatomeas, radiolarios y esponjas, consumen sílice, reduciendo la concentración de silicatos en el agua, del mismo modo que la muerte de estos organismos hace que las partículas de sílice atrapada en los exoesqueletos nuevamente se diluyan y por surgencia se distribuya en la columna de agua.

Así que la concentración de silicatos en el mar es modulada en gran parte por el consumo de silicatos por los organismos marinos.

Figura 3.3.11-8. Distribución de la concentración de silicatos a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

En Bayóvar se aprecia durante el mes de abril un incremento de los silicatos en relación a la profundidad la concentración promedio a 10m fue 2,915 mg/L y a 20 m fue 3,627 mg/L. En julio el valor promedio a 10 m fue de 1,310 mg/L y a 20 m fue de 1,273 mg/L.

Nitrógeno Total

El nitrógeno es un elemento fundamental en la formación del fitoplancton y, por lo tanto, en el mantenimiento y continuidad de la cadena trófica. Está ampliamente distribuido en el océano y se presenta mayoritariamente en forma de varias especies químicas inorgánicas, como nitratos (NO_3), nitritos (NO_2) y amoníaco (NH_3), siendo los nitratos los más abundantes.

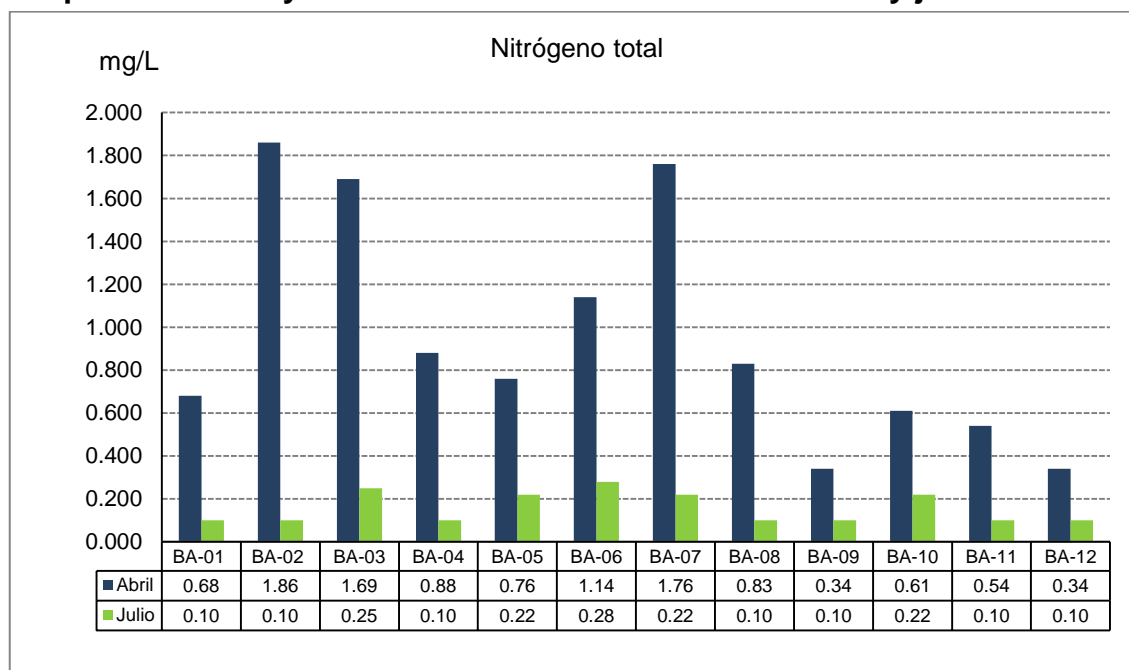
Los nitratos son más abundantes en zonas superficiales, ocurriendo al revés en el caso de los nitritos, que aparecen en mayor cantidad cerca del fondo, pudiendo faltar en superficie en zonas poco profundas. La concentración de amoníaco en profundidad es escasa pero se presenta de modo uniforme a lo largo de toda la columna de agua.

Los nitratos del agua del mar se van a regenerar a partir de organismos muertos que caen al fondo o a partir de sus excretas. En ambos casos, el N orgánico procede de los prótidos celulares que a causa de la acción de determinadas bacterias proteolíticas, forma nitrógeno inorgánico que puede ser absorbido por parte de vegetales marinos, fundamentalmente en forma de aminoácidos por medio de la serie $\text{NH}_3\text{-NO}_2\text{-NO}_3$.

En Bayóvar, en la evaluación de abril el valor promedio de nitrógeno total fue 0,74 mg/L, con valores que oscilaron entre 0,34 mg/L en las estaciones BA-09 y BA-12 y 1,86 mg/L en la estación BA-02.

En la evaluación de julio el valor promedio fue de 0,23 mg/L. Los valores fluctuaron desde <0,10 mg/L en todas las estaciones excepto en BA-03, BA-05, BA-06, BA-07 y BA-10. La máxima concentración de 0,28 mg/L fue registrada en la estación BA-06

Figura 3.3.11-9. Distribución de la concentración del nitrógeno total a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio del 2012.



Fuente: BISA, 2012

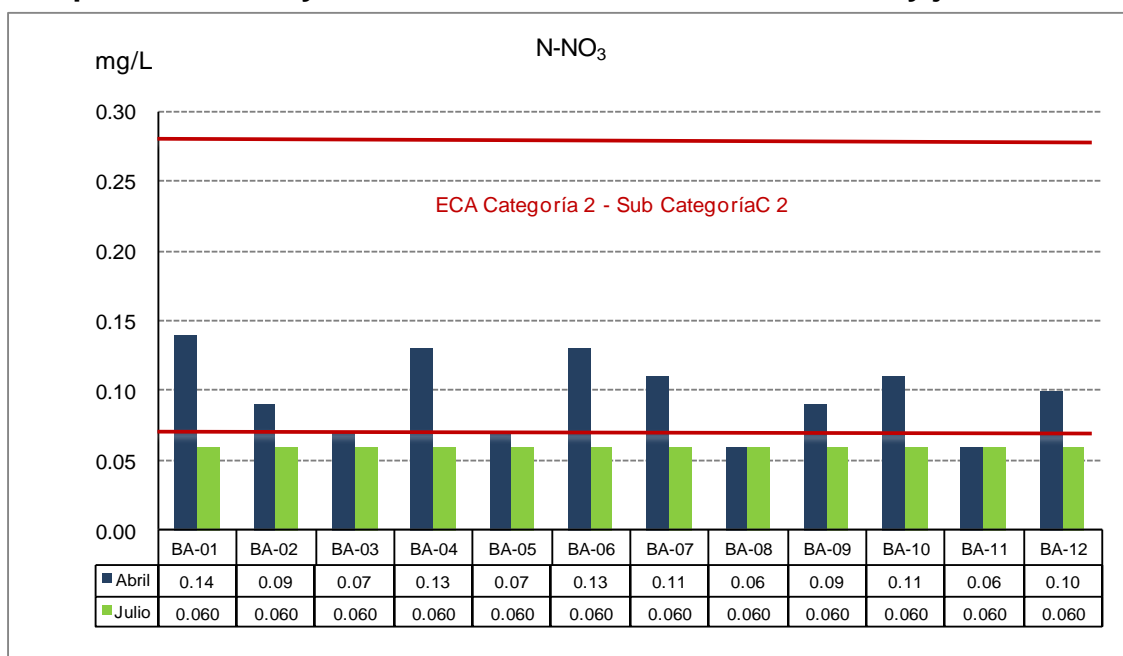
Nitratos

Los nitratos NO_3^- son la forma de nitrógeno que se encuentran en mayor concentración en el mar. Es muy importante para la vida acuática, y para que exista continuidad en la vida del mar es necesario un intercambio continuo y balanceado de nitrógeno de los organismos residentes y su medio ambiente. En concentraciones altas el nitrato puede ser tóxico para los peces.

Los nitratos aumentan con la profundidad y sus concentraciones son mayores en invierno.

En Bayóvar las concentraciones superficiales del nitrato, en abril, variaron desde debajo del límite de detección (0,060 mg/L) en las estaciones BA-08 y BA-11 hasta 0,14 mg/L en la estación BA-01. Todas las estaciones excepto BA-08 y BA-11 presentaron valores conforme a los ECA para, Agua (0,07 mg/L – 0,28 mg/L). En julio los valores se encontraron debajo del límite de detección.

Figura 3.3.11-10. Distribución de la concentración del nitrato a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

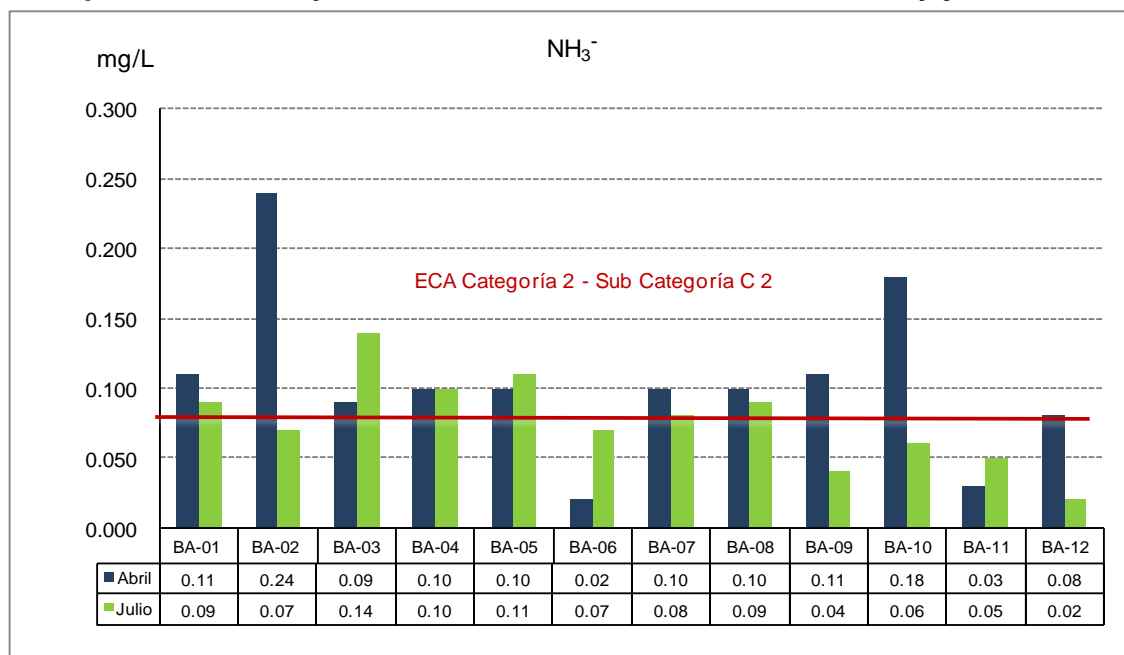
En Bayóvar en la evaluación de abril se encontró que las concentraciones de nitrato fueron superiores con el aumento de la profundidad registrando valores promedios de 0,09 mg/L, 0,143 mg/L y 0,166 mg/L para los niveles superficial, medio y profundo, respectivamente.

Amoniaco

El amoniaco (NH_3^-), se origina de varios procesos biológicos: (1) es un componente de las excreciones de invertebrados acuáticos, generado por el

proceso de amonificación, (2) es el producto principal de la fijación de N_2 por procariotas y (3) es un producto de la actividad metabólica de varios microorganismos heterótrofos que llevan a cabo la amonificación de moléculas orgánicas nitrogenadas y la amonificación de nitrato (respiración anaerobia). Aún cuando el amoniaco es un gas extremadamente soluble, el mismo es generalmente removido del ambiente inmediato a los organismos, antes de que se desarrollen efectos tóxicos.

Figura 3.3.11-11. Distribución de la concentración del amoniaco a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

En Bayóvar la concentración promedio de amoniaco en abril fue 0,105 mg/L, con valores que variaron desde 0,020 mg/L en la estación BA-06 hasta 0,240 mg/L (BA-02). Las estaciones BA-06 y BA-11 estuvieron por debajo del valor ECA Categoría 2 - Sub Categoría C2 (0,08 mg/L), mientras que las otras estaciones superaron los valores ECA. En julio la concentración promedio fue 0,077 mg/L, con valores que oscilaron entre 0,020 mg/L (BA-12) y 0,140 mg/L (BA-03). Las

estaciones BA-02, BA-06, BA-07, BA-09, BA-10 BA-11 y BA-12 se encontraron de acuerdo a los ECA, mientras que las otras estaciones lo superaron.

En abril en Bayóvar se aprecia una disminución de los valores promedios de amoníaco con respecto a la profundidad.

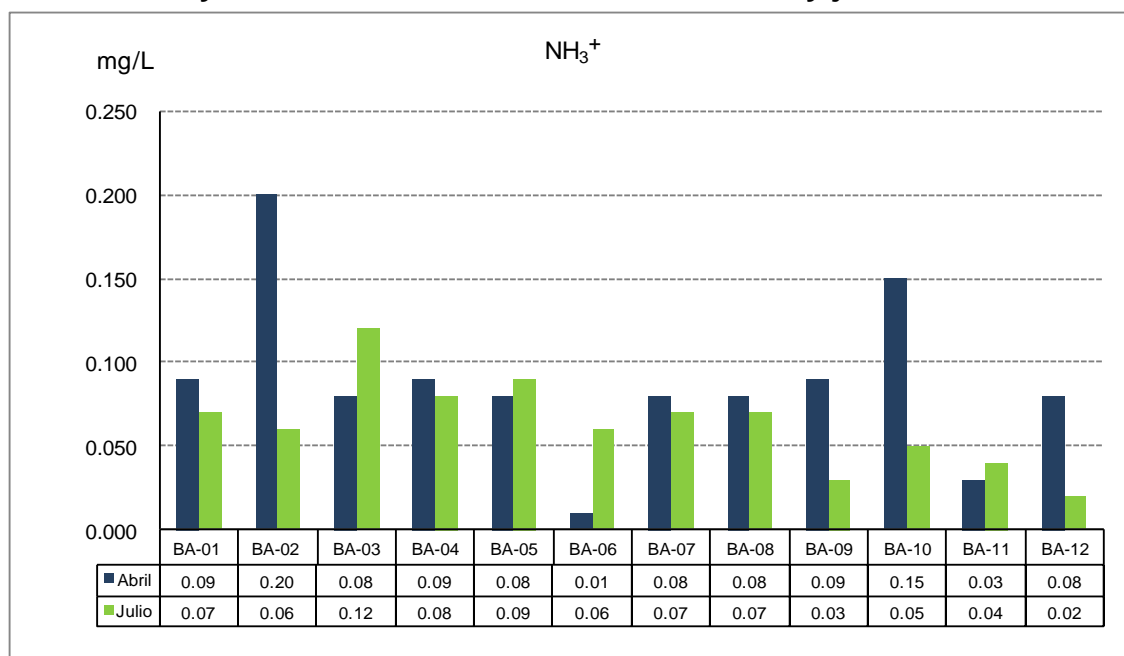
Nitrógeno amoniacal

Es el resultado de la primera transformación del nitrógeno orgánico. Esta forma de nitrógenos es soluble en agua y queda retenida por el poder absorbente del suelo. es una forma transitoria que se transforma en nitrógeno nítrico. Este proceso consta de dos partes: Nitritación: donde el amoníaco es oxidado a nitrito por las nitroso bacterias y la Nitratación, donde los nitritos son oxidados a nitratos por las nitro bacterias.

En Bayóvar, el valor promedio del nitrógeno amoniacal a nivel superficial en abril fue 0,090 mg/L, con un valor mínimo de 0,01 mg/L en la estación BA-06 hasta 0,2 mg/L en la estación BA-2. En julio, el valor promedio a nivel superficial fue de 0,06 mg/L, con un mínimo registro de 0,02 mg/L en la estación BA-12 y un máximo de 0,12 mg/L en la estación BA-03.

En Bayóvar se encontró a nivel superficial una concentración de 0,090 mg/L, a nivel medio (10m) 0,057 mg/L y a 20 m 0,033 mg/L, apreciándose una disminución de la concentración del nitrógeno amoniacal con la profundidad.

Figura 3.3.11-12. Distribución del nitrógeno amoniacal a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



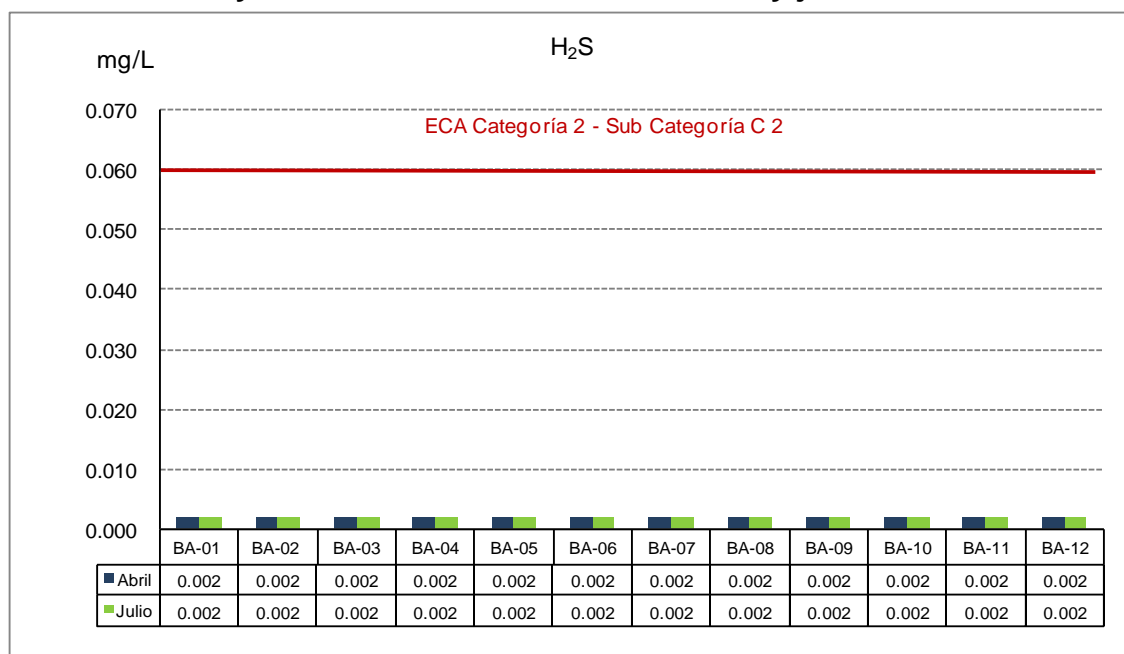
Fuente: BISA, 2012

Sulfuro de hidrógeno

El sulfuro de hidrógeno (H₂S) se origina de la actividad metabólica de bacterias y de las reacciones químicas abióticas.

En Bayóvar las concentraciones de sulfuro de hidrógeno estuvieron por debajo del límite de detección 0.002 mg/L.

Figura 3.3.11-13. Distribución del sulfuro de hidrógeno a nivel superficial en Bayóvar en las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

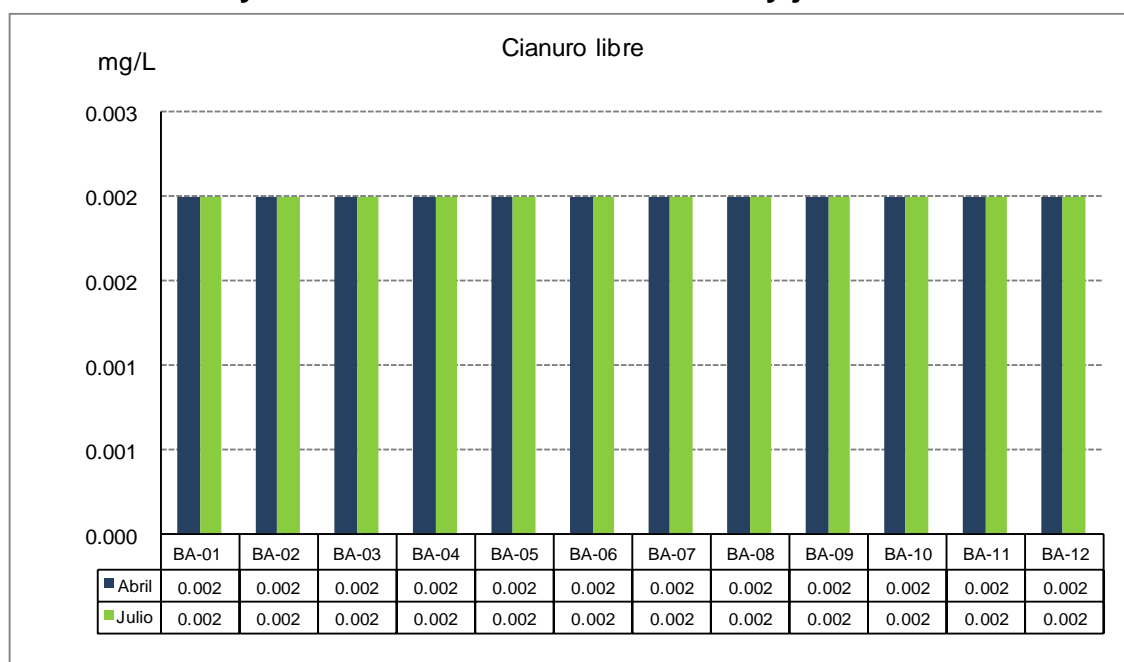
Cianuro Libre

Es el término usado para describir tanto el ion cianuro (CN⁻) que se disuelve en el agua como cualquier cianuro de hidrogeno gaseoso o acuoso (HCN). Casi todo el cianuro libre está presente como HCN cuando el pH es de menor o igual a 8. El HCN puede volatilizarse y dispersarse en el aire cuando el pH es superior a 10,5 (Scott, J. S. y J. Ingles, 1981).

Las formas de cianuro libre se eliminan más fácilmente de las soluciones. El principal mecanismo de degradación natural es la volatilización. La mayoría del cianuro en las aguas superficiales forma cianuro de hidrogeno y se evapora (Smith y Mudder, 1991).

En Bayóvar, los valores de cianuro libre estuvieron por debajo del límite de detección analítica (0,002 mg/L) en ambas evaluaciones y tanto en el nivel superficial como en el medio y profundo.

Figura 3.3.11-14. Distribución del Cianuro Libre a nivel superficial en Bayóvar en las evaluaciones de abril y julio 2012.



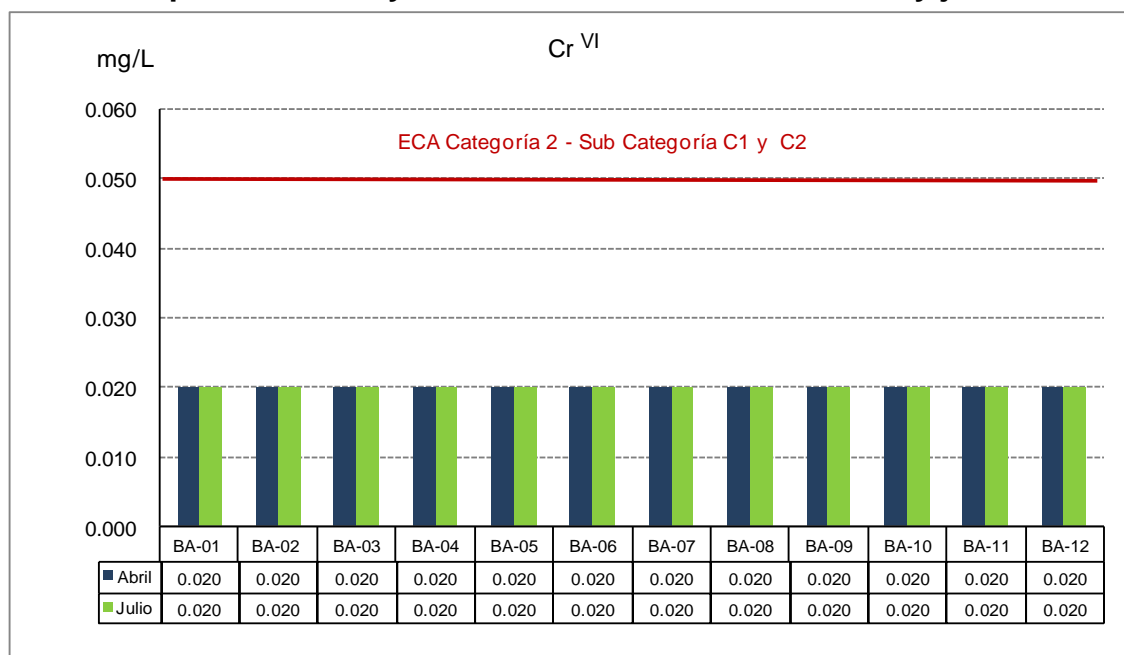
Fuente: BISA, 2012

Cromo Hexavalente

A diferencia del cromo III, que es una forma de cromo a la que le falta 3 electrones y que se encuentra de espontáneamente en la naturaleza ya sea en el agua, suelo, rocas y animales, y que además es un elemento esencial; el cromo hexavalente (Cr +6) es una forma del cromo caracterizado porque al átomo le falta de 6 electrones, es producto de procesos industriales como: fabricación de textiles, cromado, fabricación de colorantes, piezas componentes eléctricos, curtiembre y algunos. El cromo VI es un metal inestable y altamente tóxico y cancerígeno Existen indicios de que el cromo puede acumularse en diversos

animales y plantas y por tanto estar presente en la cadena alimenticia. Se ha comprobado la acumulación en peces del bentos y bivalvos.

Figura 3.3.11-15. Distribución de la Concentración del Cromo Hexavalente a nivel superficial en Bayóvar en las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

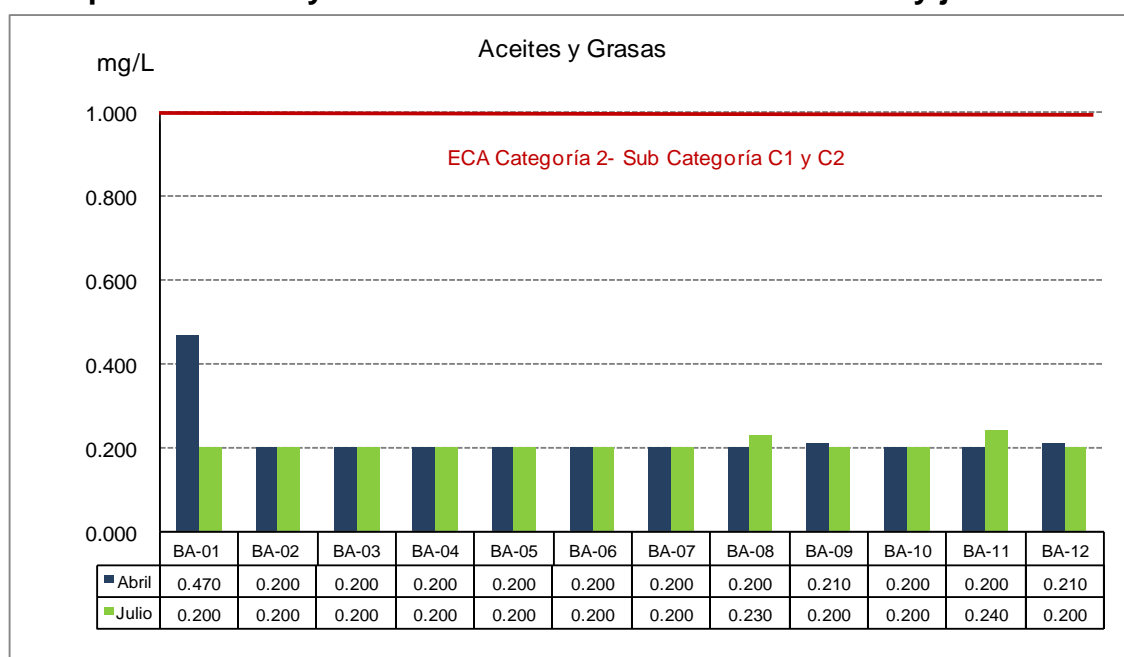
En Bayóvar los valores del cromo hexavalente en ambas evaluaciones se encontraron por debajo del límite de detección. Esto también se cumplió a niveles medios y profundos.

Aceites y grasas

Los aceites son inmiscibles con el agua, forman películas formando que no permite una adecuada oxigenación de las agua y que dañan a los seres vivos. Los aceites y grasas son difíciles de metabolizar por las bacterias. En el mar la presencia de aceites y grasas está muchas veces relacionada con la descargas de aguas residuales provenientes de las fabricas de harina y aceite de pescado, de residuos domésticos y de embarcaciones.

En Bayóvar los valores de aceites y grasas en la mayoría de las estaciones estuvieron por debajo del límite de detección. El mayor valor registrado en abril fue 0,470 mg/L en la estación BA-01, mientras que en julio el mayor valor registrado fue 0,240 mg/L en la estación BA-11. En todos los casos los valores reportados se encontraron por debajo del límite del ECA Categoría 2 (1 mg/L).

Figura 3.3.11-16. Distribución de la concentración de aceites y grasas a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

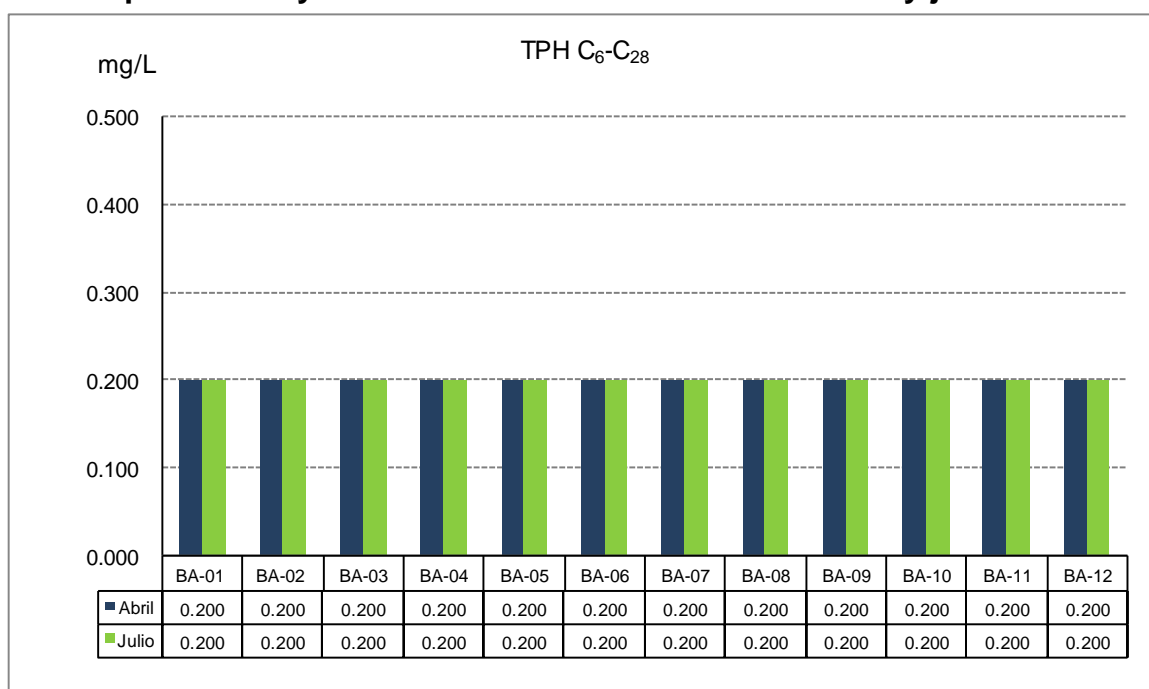
Hidrocarburos totales de petróleo

El término de hidrocarburos totales de petróleo (abreviados TPH en inglés) se usa para describir una gran familia de varios cientos de compuestos químicos originados de petróleo crudo. El petróleo crudo es usado para manufacturar productos de petróleo, los que pueden contaminar el ambiente. Debido a que hay muchos productos químicos diferentes en el petróleo crudo y en otros productos de petróleo, no es práctico medir cada uno en forma separada. Sin embargo, es útil medir la cantidad total de TPH en un sitio. Por otro lado, los TPH son una

mezcla de productos químicos compuestos principalmente de hidrógeno y carbono, llamados hidrocarburos. Los científicos han dividido a los TPH en grupos de hidrocarburos de petróleo que se comportan en forma similar en el suelo o el agua. Estos grupos se llaman fracciones de hidrocarburos de petróleo. Cada fracción contiene muchos productos químicos individuales.

En Bayóvar las concentraciones de hidrocarburos totales de petróleo se encontraron por debajo del límite de detección del método analítico.

Figura 3.3.11-17. Distribución de la concentración de HTP a nivel superficial Bayóvar durante las evaluaciones en abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

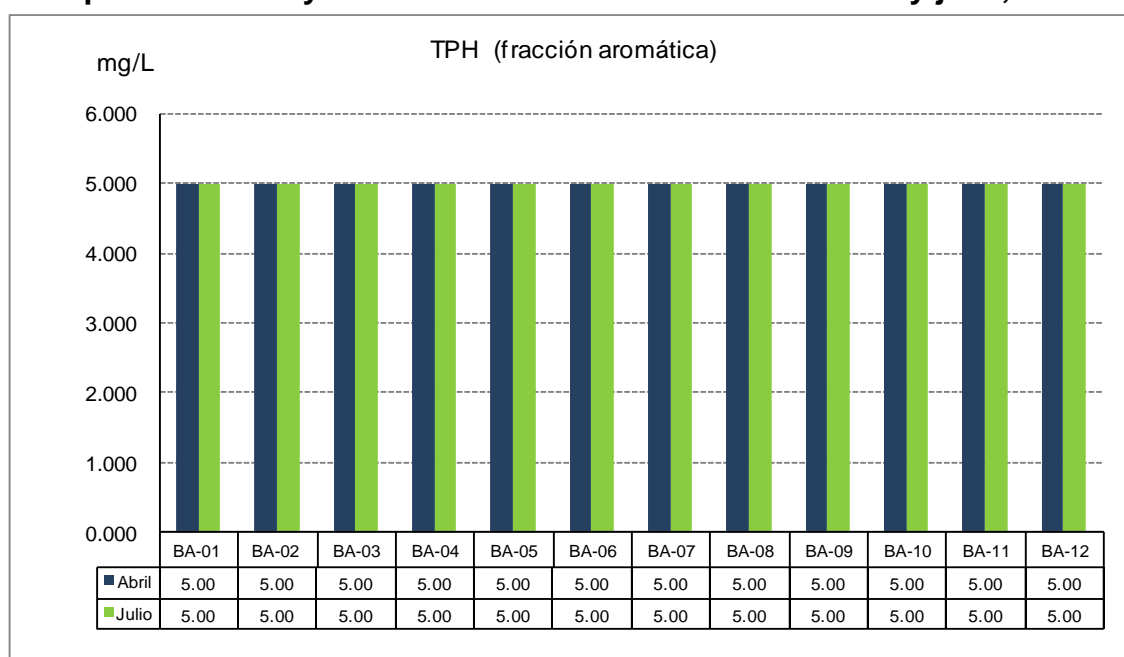
Hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs)

Los hidrocarburos policíclicos aromáticos (PAHs) y sus derivados se hallan en el medio ambiente y son el producto de diferentes procesos industriales y de combustión incompleta del carbón, petróleo y gasolina, basuras y otras sustancias orgánicas. Muchos de estos compuestos son carcinógenos y/o mutágenos. La contaminación del medio ambiente marino por introducción PAHs, se produce

generalmente por acciones antropogénicas, principalmente por derrames producidos en el transporte del petróleo, desechos industriales, aportes de ríos e intercambio atmosférico.

En Bayóvar las concentraciones de Hidrocarburos policíclicos se encontraron por debajo del límite de detección.

Figura 3.3.11-18. Distribución de la concentración de PAHs a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

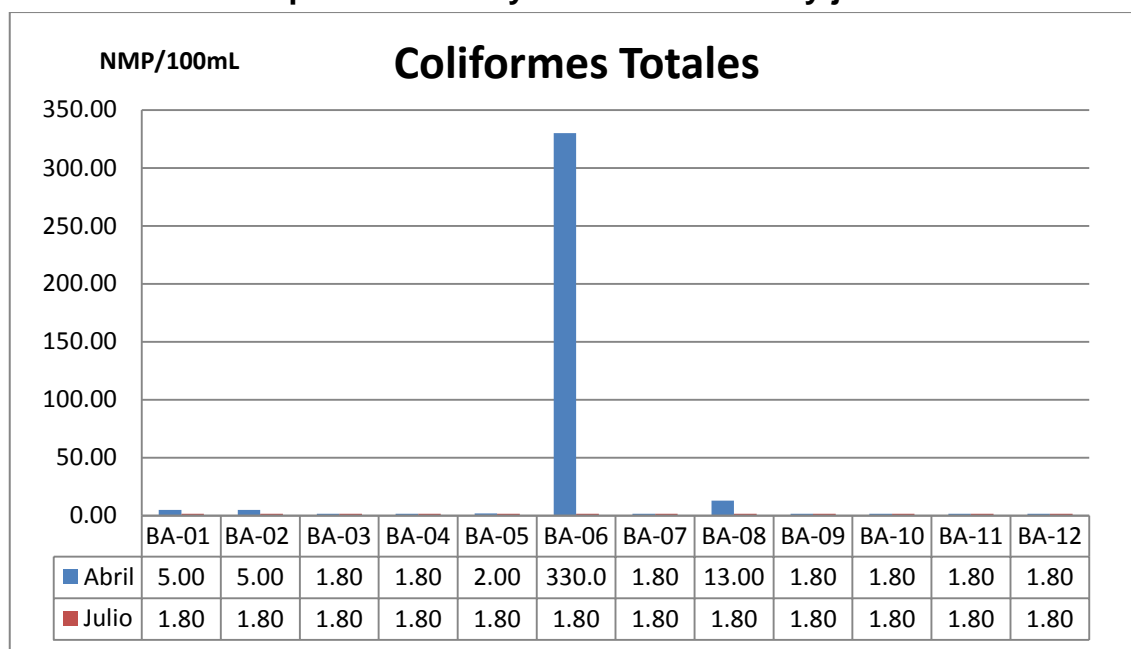
Coliformes Totales

El grupo coliforme se define como todas las bacterias Gram negativas de forma bacilar que fermentan la lactosa a temperaturas de 35 a 37 °C y que producen ácido y gas (CO₂) en 24 horas. Pueden ser aeróbicas o anaeróbicas facultativas, son oxidasa negativa y no forman esporas. En el grupo de coliforme se encuentran: *Escherichia coli*, *Citrobacter*, *Enterobacter* y *Klebsiella*. (Organización Panamericana de la Salud, 1987). Por otro lado, los coliformes, además de

presentarse en el intestino del hombre y de los animales de sangre caliente, también están presentes en el agua, suelo, plantas, cáscara de huevo, etc.

En Bayóvar el valor de coliformes totales en la mayoría de las estaciones se encuentra por debajo del límite de detección (1,8NMP/100ml). El máximo registrado fue en abril con 330 NMP/100ml en la estación BA-06.

Figura 3.3.11-19. Distribución de la concentración de coliformes totales a nivel superficial en Bayóvar durante abril y julio 2012.



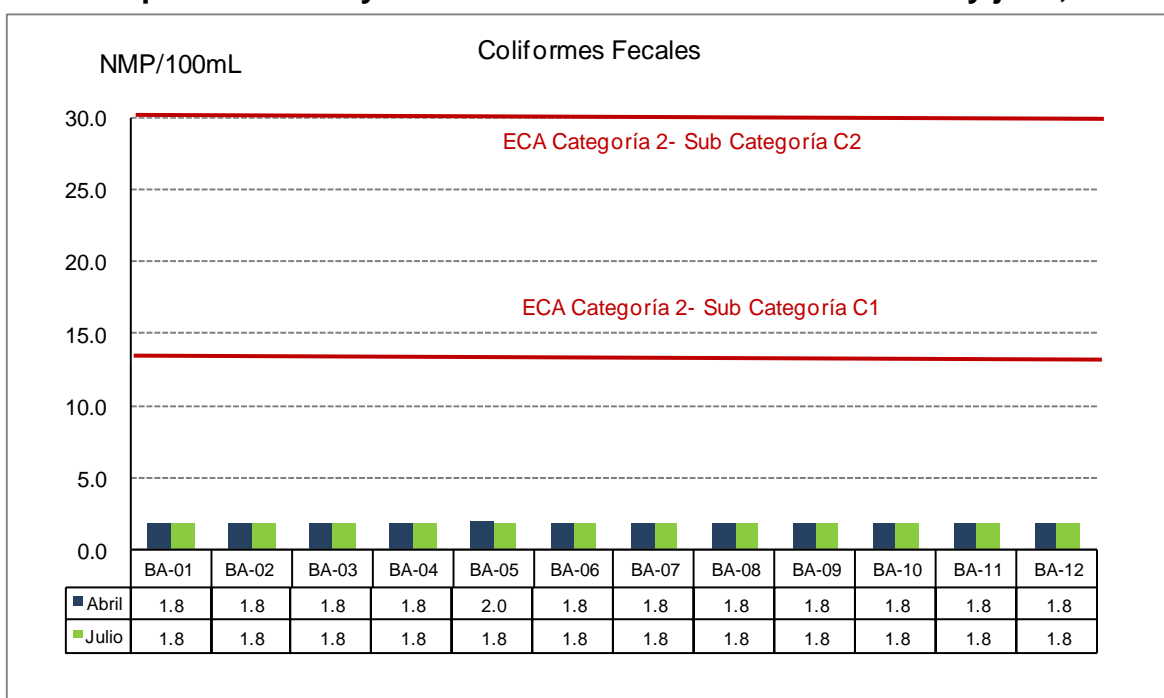
Fuente: BISA, 2012

Coliformes fecales

Los coliformes fecales son también denominados coliformes termotolerantes, y son llamados así porque soportan temperaturas hasta de 45 °C. Comprende un grupo muy reducido de microorganismos que son indicadores de calidad del agua, por ser de origen de humano o animal. En su mayoría están representados por *E. coli*, que representa el 90 -100% de la flora intestinal.

En Bayóvar la concentración de coliformes fecales a nivel superficial se encontró durante las evaluaciones por debajo del límite de detección analítica y por tanto de acuerdo al Estándar de Calidad Ambiental (ECA).

Figura 3.3.11-20. Distribución de la concentración de coliformes fecales a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

En cuanto a la concentración a nivel medio y profundo encontramos que de tres estaciones analizadas a nivel medio el promedio fue 6967,3NMP/100ml y a 20m fue 264.6NMP/100ml.

Arsénico (As)

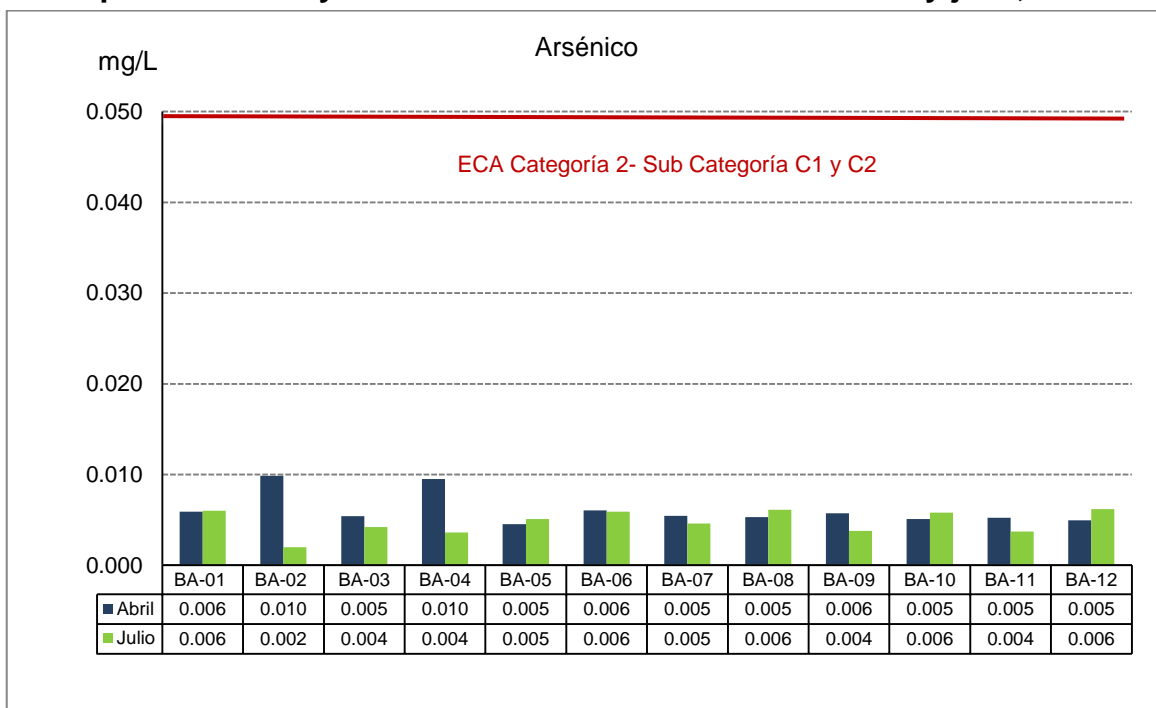
El arsénico es un metaloide que en contacto con la humedad se oxida fácilmente formando Trióxido de Arsénico o Anhídrido Arsenioso. El arsénico llega al agua a través de la disolución de minerales, desde efluentes industriales y vía deposición atmosférica principalmente de la actividad minera y muy rara vez por causas

naturales, aunque si ocurre es concentraciones muy bajas. También se encuentra en ciertos insecticidas y herbicidas, los que pueden contaminar artificialmente las aguas con dicho elemento. La presencia de arsénico se ha detectado asimismo, como impurezas de otros metales, como el cobre.

En aguas superficiales bien oxigenadas, el arsénico (V) es generalmente la forma más común.

En Bayóvar, en abril la concentración promedio de arsénico a nivel superficial fue 0,006 mg/L, con un valor mínimo de 0,005 mg/L y un máximo de 0,010 mg/L. En julio el valor promedio fue 0,005 mg/L, con un valor mínimo de 0,002 mg/L y un máximo de 0,006 mg/L.

Figura 3.3.11-21. Distribución de la concentración de arsénico a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



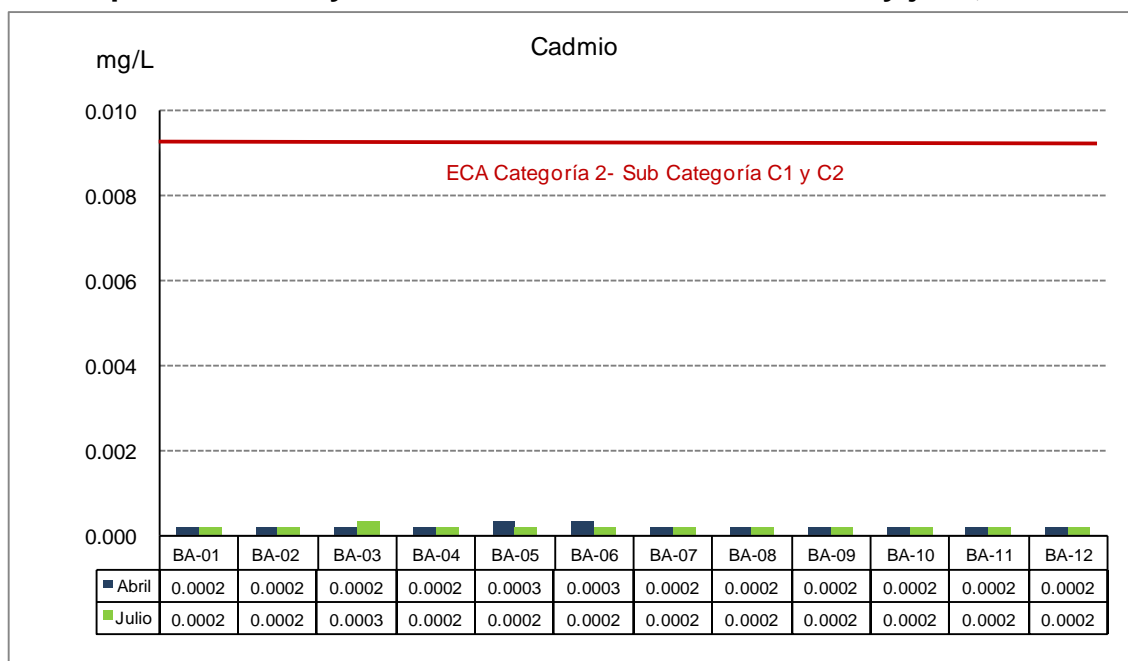
Fuente: BISA, 2012

Cadmio (Cd)

El cadmio es un metal contaminante que ingresa al medio marino como resultado de las actividades del hombre, tanto a través de la atmósfera como de la hidrósfera. La mayor parte de este ingreso se origina de la volatilización del metal que se produce durante la fundición de sulfuros, utilizados en la producción de aleaciones metálicas, o del tratamiento de materiales revestidos de cadmio o que contienen aleaciones de cadmio. El cadmio también es introducido desde los ríos, aunque en cantidades menores. Al igual que los fosfatos y nitratos el cadmio presenta mayores concentraciones en los fondos. El cadmio puede sustituir al zinc (Zn) en algunas moléculas bioquímicas, lo que permite a las diatomeas mantener su crecimiento en aguas deficientes en zinc (Leel y Morel, 1995).

En Bayóvar, el cadmio presentó baja concentraciones, con un valor máximo de 0,0003 mg/L. Los valores reportados se encuentran muy por debajo del ECA para Agua Categoría 2 – Sub Categoría C1 y C2, que es 0,0093 mg/L.

Figura 3.3.11-22. Distribución de la concentración del cadmio a nivel superficial en Bayóvar durante la evaluación de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

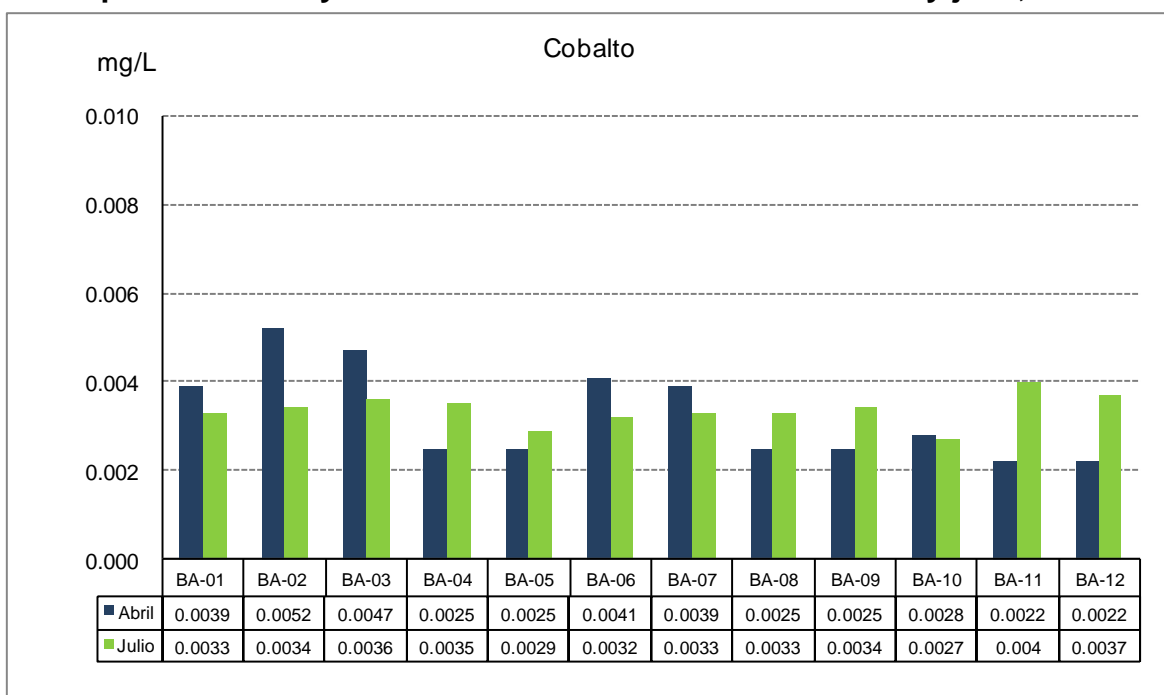
No se encontró mayor variación en la concentración del cadmio con respecto a la profundidad.

Cobalto (Co)

El cobalto es un elemento que ocurre de forma natural en el medio ambiente en el aire, agua, suelo, rocas, plantas y animales. Este puede también entrar en el aire y el agua y depositarse sobre la tierra a través del viento y el polvo y entrar en la superficie del agua a través de la escorrentía cuando el agua de lluvia corre a través del suelo y rocas que contienen cobalto. El cobalto se encuentra en el mar y que puede acumularse en las especies marinas, pero no es conocido que el cobalto sufra biomagnificación en la cadena alimentaria.

En Bayóvar, en abril la concentración promedio del cobalto a nivel superficial fue 0,0040 mg/L, con un valor mínimo de 0,0022 mg/L (BA-11y BA-12) y un máximo de 0,0052 mg/L (BA-2). En julio el valor promedio fue 0,0034 mg/L, presentó un mínimo de 0,0027 (BA-10) y un máximo de 0,0040 mg/L (BA-11)

Figura 3.3.11-23. Distribución de la concentración del cobalto a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

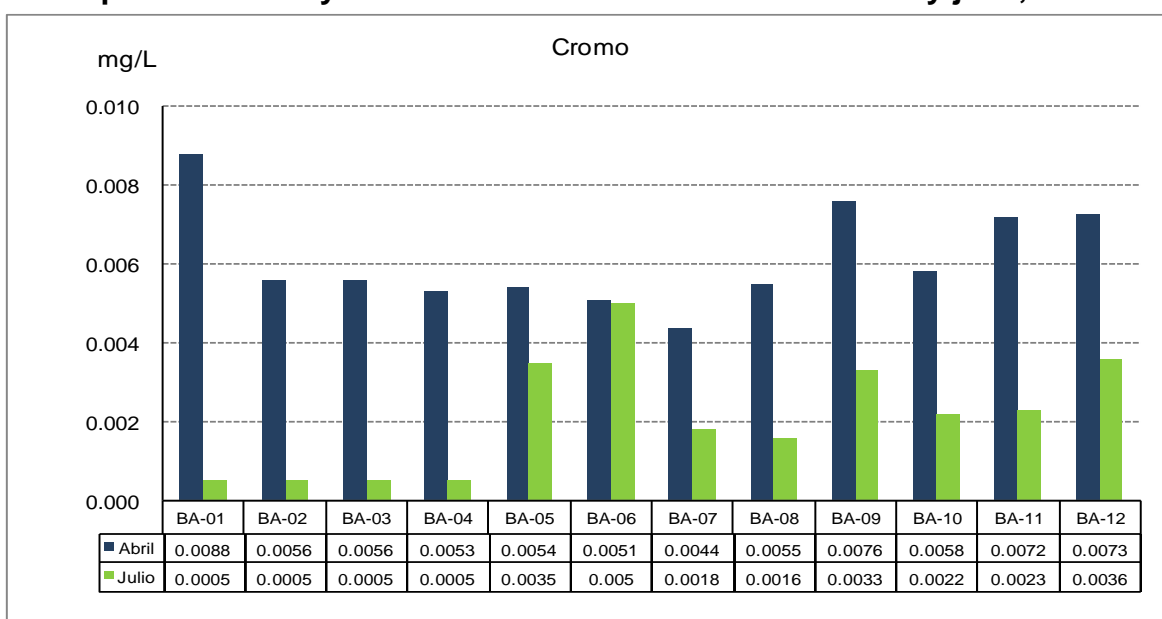
No se aprecia mayor variación en la concentración de cobalto de acuerdo a la profundidad.

Cromo

El cromo es un metal que en su estado de oxidación (+3) un elemento esencial, mientras que los compuestos de cromo en el estado de oxidación +6 son muy oxidantes y son carcinógenos. Una concentración $0,0125 \text{ mg.L}^{-1}$ de cromo, que es una produce efectos tóxicos en organismos marinos de acuerdo a Reish y Scott (1978).

En Bayóvar, en abril la concentración del cromo a nivel superficial fue $0,0061 \text{ mg/L}$, con un valor mínimo de $0,0044 \text{ mg/L}$ (BA-07) y un máximo de $0,0088 \text{ mg/L}$ (BA-01). En julio la concentración promedio fue menor que en abril ($0,0021 \text{ mg/L}$), el valor mínimo fue $0,0005 \text{ mg/L}$ (estaciones BA-01, BA-02, BA-03 y BA-04) y el máximo fue $0,0050 \text{ mg/L}$ (BA-06).

Figura 3.3.11-24. Distribución de la concentración del cromo a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

No se encontró mayor variación en la concentración del cromo con respecto a la profundidad.

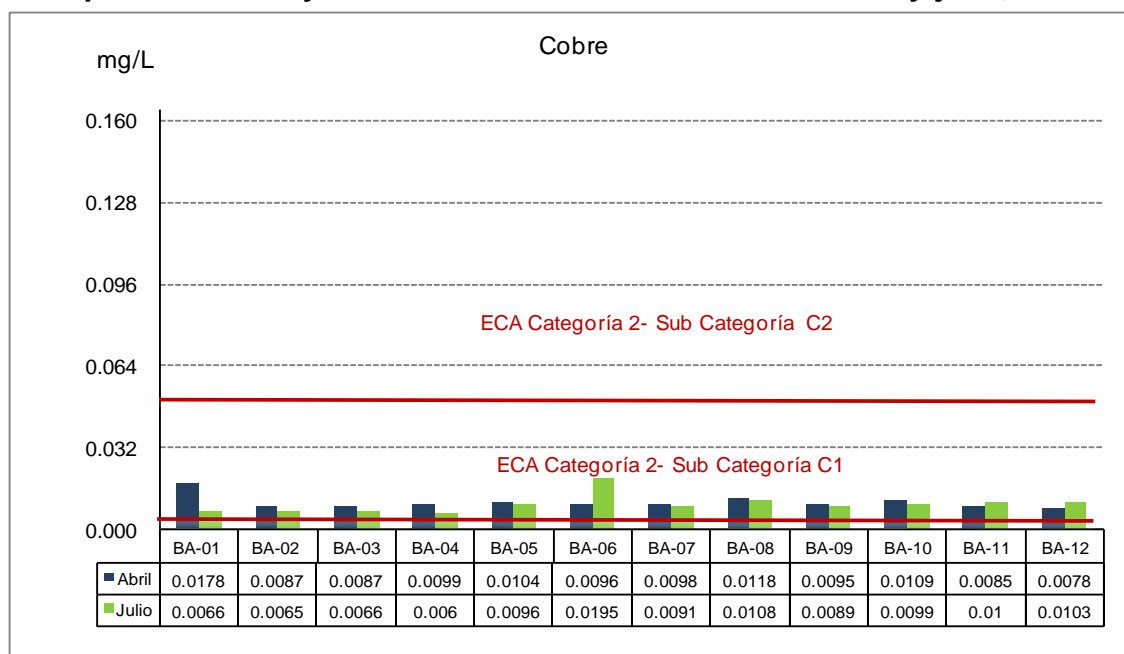
Cobre (Cu)

El cobre puede estar presente naturalmente en agua, como sal soluble o como partículas en suspensión. En pequeñas cantidades es esencial para animales y plantas y a concentraciones de 0.1 mg/l controla la proliferación de las algas.

El cobre es tóxico para muchas especies acuáticas, algunas son sensibles son a concentraciones disueltas tan bajas como 1-10 ug/L (Bryan and Langston 1992). Existen estudios que han mostrado que en niveles de 2 ug/L, la tasa de supervivencia en las pectínidos jóvenes fue significativamente afectada; y en los embriones de ostras y mejillones se observó que las concentraciones de 5 ug/L causaban anomalías. En el crustáceo isópodo *Idothea baltica* una concentración similar provocó un aumento en la mortalidad de la población (Bryan and Langston 1992, UNEP 1993). Otros estudios han reportado las reducciones en la supervivencia, crecimiento y fertilidad de los anfípodos y copépodos (Conradi and DePledge 1998), y sensibilidad embrionaria en peces expuestos a niveles de 25 ug/l (Mance et al. 1984). Además, un estudio de diversidad de especies en comunidades bentónicas de los fiordos noruegos, permitió concluir que los animales más sensibles estaban ausentes allí donde los niveles de cobre en los sedimentos excedían los 200 mg/kg.

En Bayóvar la concentración del cobre a nivel superficial fue 0,0103 mg/L, los valores oscilaron entre 0,0078 mg/L (BA-12) y 0,0178 (BA-01). En julio la concentración promedio del cromo fue menor (0,0095 mg/L), con valores que variaron desde 0,0060 mg/L (BA-04) y 0,0195 mg/L (BA-06). Todos los valores de cobre se encuentran por debajo del límite de los ECA Categoría 2 – Sub Categoría C1 (0,0031 mg/L) y C2 (0,05 mg/L).

Figura 3.3.11-25. Distribución de la concentración del cobre a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

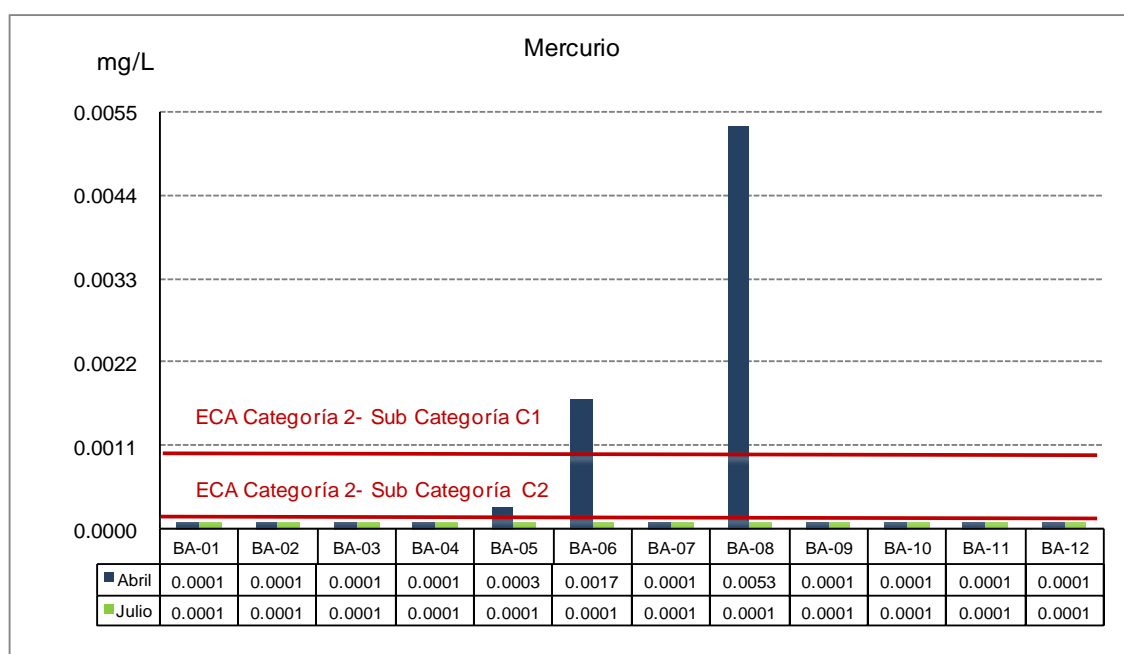
Mercurio (Hg)

El metilmercurio es la forma más tóxica del mercurio. Estudios en choritos *Mytilus edulis* han demostrado que concentraciones de 0,3 µg/L reducen la tasa de crecimiento cesando a 1,6 µg/L, mostrándose efectos letales agudos en 25 µg/L (WHO 1989). También se han registrado daños embrionarios en la ostra americana *Crassostrea virginica* a concentraciones de 5-10 µg/L.

Las tasas de supervivencia de las almejas y percebes expuestos, y de los copépodos, camarones y crustáceos se ven afectadas por el incremento en los niveles de mercurio (WHO 1997, Bryan and Langston 1992). El mercurio inorgánico en bajas concentraciones es tóxico para los peces. Los estudios han reportado un amplio rango de efectos reproductivos perjudiciales en los peces.

En Bayóvar, en abril la mayoría de las estaciones presentaron concentraciones debajo del valor ECA-Agua Categoría 2 Sub Categoría C2 (0,0001 mg/L). Las estaciones BA-05 (0,0003), BA-06(0,0017 mg/L) y BA-08(0,0053 mg/L); superaron la Categoría 2 Sub Categoría C2 y las estaciones BA-06y BA-08, superaron incluso la Sub Categoría C1 (0,00094 mg/L). En julio las concentraciones disminuyeron hasta encontrarse debajo del límite de detección.

Figura 3.3.11-26. Distribución de la concentración de mercurio a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

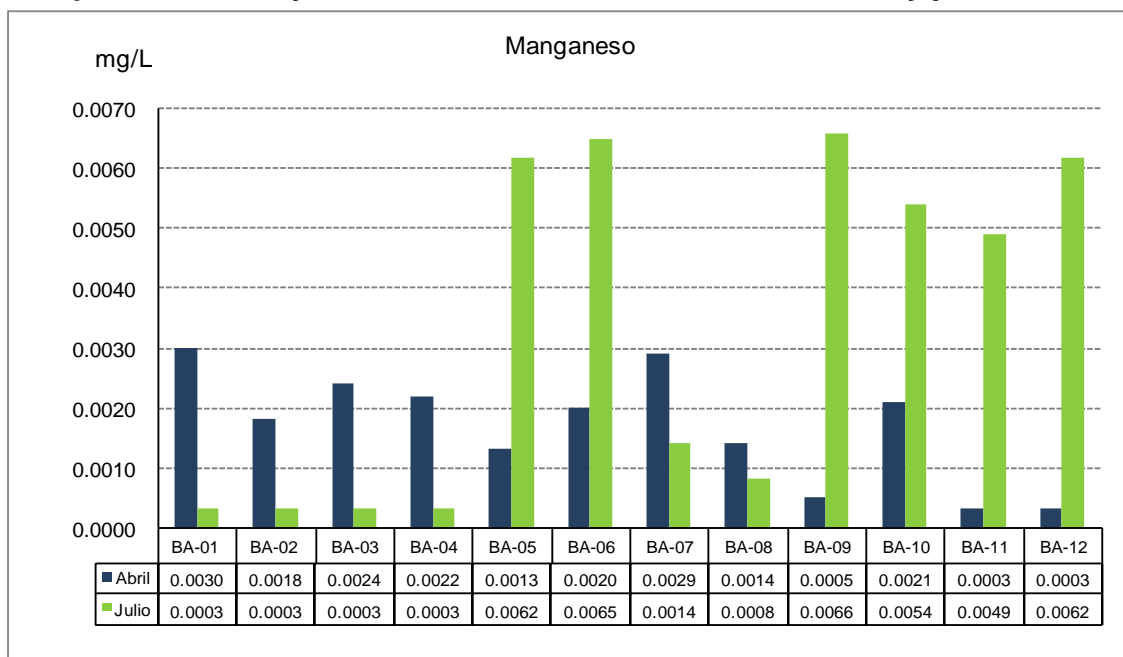
Las bajas concentraciones obtenidas, en muchos casos bajo el nivel de detección no permitieron hacer comparaciones en la concentración a diferentes profundidades.

Manganeso (Mn)

El manganeso, un elemento esencial para la fotosíntesis, se encuentra en concentraciones más altas en las aguas superficiales del océano (0,1 µg/litro) que

en las profundas (0,02 µg/litro). El manganeso es menos limitante que el hierro y el zinc para el crecimiento del fitoplancton marino en las aguas superficiales (Brand *et al.*, 1983). La concentración de manganeso en los sedimentos marinos es considerablemente mayor que su concentración media en las rocas continentales. Las acumulaciones sedimentarias más impresionantes toman la forma de nódulos de manganeso de 1 a 15 cm de diámetro que cubren grandes áreas del fondo oceánico.

Figura 3.3.11-27. Distribución de la concentración de manganeso a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio 2012.



Fuente: BISA, 2012

En Bayóvar, en abril se encontró que la concentración promedio de manganeso fue 0,0017 mg/L; el valor mínimo registrado fue 0,0003 mg/L (BA-11 y BA-12) y el máximo 0,0030 mg/L (BA-01). En julio los valores de manganeso presentaron una concentración promedio mayor (0,0033 mg/L). Los valores para julio oscilaron entre 0,0003 mg/L (BA-01, BA-02, BA-03 y BA-04) y 0,0066 (BA-09).

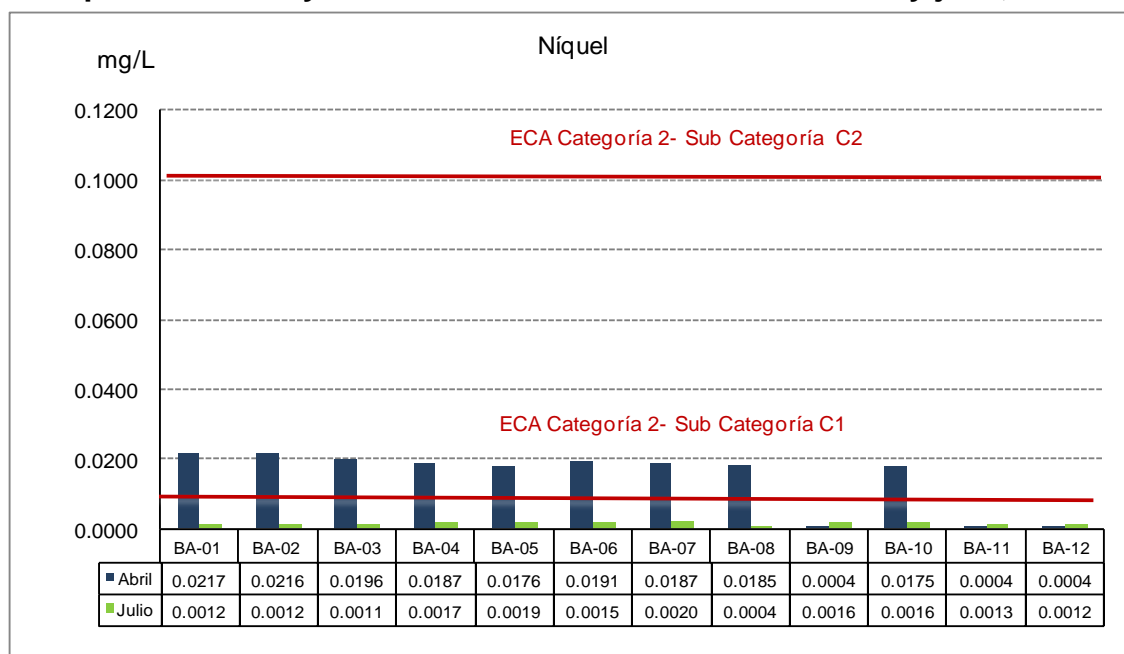
Por otro lado, no se observa mayor variación en la concentración del manganeso con respecto a a profundidad.

Níquel (Ni)

El níquel se encuentra en la corteza terrestre en distintas formas minerales, variando su concentración entre 1 mg/kg, en areniscas, y 2000 mg/kg, en rocas ígneas (Boyle, 1981). La ocurrencia de níquel en los ecosistemas acuáticos resulta de la meteorización de rocas y suelos y de aportes de origen antrópico.

En Bayóvar la concentración del níquel durante la evaluación de abril fue 0,0145. Los valores mínimos estuvieron por debajo del límite de detección (0,0004 mg/L) en las estaciones BA-09, BA-11 y BA-12 y el máximo fue 0,0217 mg/L en la estación BA-01. En abril las concentraciones de níquel se encontraron por encima del límite de la Categoría 2 Sub Categoría C1 (0,0082 mg/L). En julio las concentraciones disminuyeron, siendo el promedio de 0,0014 mg/L, los valores oscilaron entre 0.0004 (BA-08) y 0,0020 mg/L (BA-07). Las concentraciones en julio estuvieron conformes con los ECA Categoría C2-Sub Categoría C1 (0,0081 mg/L).

Figura 3.3.11-28. Distribución de la concentración del níquel a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

Plomo (Pb)

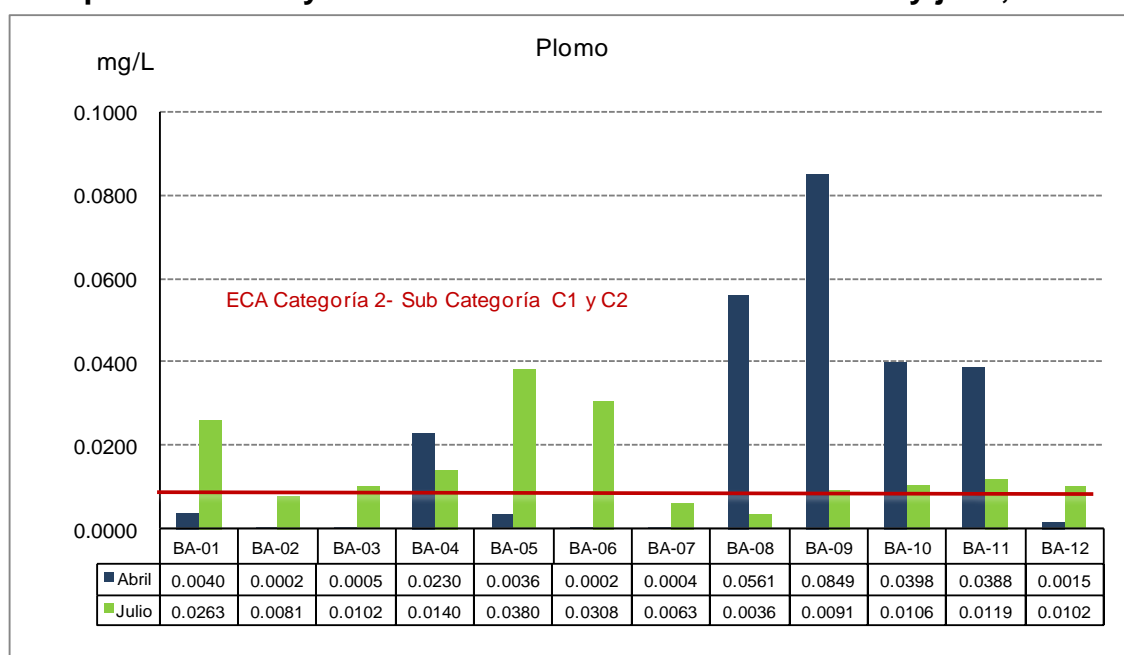
El plomo llega a los océanos a través de la atmósfera, después de su utilización como agente antidetonante en los combustibles de motores de combustión interna. El agua de mar contiene concentraciones traza de plomo(2-30 ppt). El fitoplancton contiene aproximadamente 5-10 ppm de plomo (en base seca) y las ostras 500 ppb aproximadamente. El plomo limita la síntesis clorofílica de las plantas. Aunque las concentraciones de plomo mayores en la superficie, existe evidencia apreciable que muestra la biodisponibilidad de plomo asociado a sedimentos hacia las especies que habitan el fondo (Bryan and Langston 1992), especialmente en organismos que utilizan las agallas como la principal ruta para la ingestión de alimentos (Sadiq 1992). Estudios toxicológicos han reportado efectos subletales en peces incluyendo cambios en la morfología, metabolismo y actividad enzimática. El comportamiento de evasión también se ha observado en

peces adultos expuestos a niveles que varían en el intervalo 10-100 mg/L (WHO 1989).

En Bayóvar, en abril la concentración promedio de plomo a nivel superficial fue 0,0211, las concentraciones variaron desde 0,0002(BA-06) a 0,0849 (BA-09). En abril las estaciones BA-04, BA-08, BA-09, BA-09, BA-10 y BA-11, superaron el valor ECA Categoría 2-Sub Categorías C1 y C2 (0,0081 mg/L).

En julio la concentración promedio fue menor (0,0149), oscilando los valores entre 0,0036 (BA-08) y 0,0380 (BA-05). En las estaciones BA-02, BA-07 y BA-08 no se superó el valor ECA Categoría 2-Sub Categorías C1 y C2.

Figura 3.3.11-29. Distribución de la concentración del plomo a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

No se encontró relación entre la concentración del plomo y la profundidad.

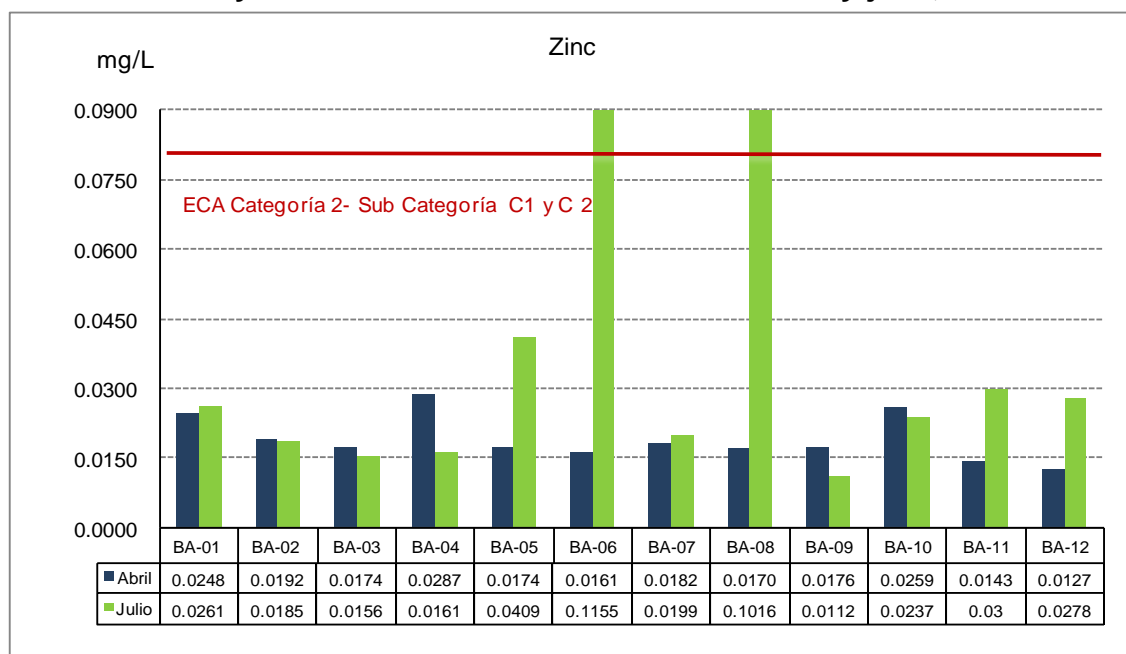
Zinc (Zn)

El Zinc se presenta de forma natural en el agua. La media de concentración de cinc presente en el agua de mar es de 0.6-5 ppb. Los ríos contienen generalmente entre 5 y 10 ppb de cinc. Las algas, entre 20 y 700 ppm, los peces de mar y las conchas 3-25 ppm, las ostras 100- 900 ppm y las langostas 7-50ppm.

El Zinc en su forma elemental no es tóxico y es incluso necesario para las personas y animales; pero algunos de sus derivados como arsenato de cinc y cianuro de cinc, pueden ser extremadamente peligrosos. Los compuestos poco solubles del zinc (hidroxilos y carbonatos), tienen capacidad de adsorberse fuertemente sobre sedimentos.

En Bayóvar la concentración superficial del zinc en abril fue 0,0191, el mínimo valor registrado fue 0,0127 (BA-12) y el máximo 0,0287 (BA-04). Las concentraciones en abril no superaron el ECA Categoría 2-Sub Categoría C1 y C2 (0,081 mg/L). En julio la concentración promedio fue mayor 0,0372, registrándose valores entre 0,112(BA-09) y 0,1155 (BA-06). En julio las estaciones BA-06 y BA-08 superaron los valores ECA Categoría 2-Sub Categoría C1 y C2 (0,081 mg/L).

Figura 3.3.11-30. Distribución de la concentración del zinc a nivel superficial en Bayóvar durante las evaluaciones de abril y julio, 2012.



Fuente: BISA, 2012

3.3.11.1.4 Conclusiones

La temperatura superficial del mar en abril fue 21,7°C y en julio 19,6°C. Comparando la temperatura a diferentes niveles se comprueba una disminución con el incremento de la profundidad.

Los valores del pH en ambas evaluaciones variaron entre 7,2 a 7,3. Los valores se encuentran dentro de los ECA Categoría 2 Sub Categoría 1 y 2.

El valor de conductividad eléctrica fue 58,8 ms/cm en abril y 61,5 ms/cm en julio. Se observa un incremento de la conductividad en el invierno.

El valor del oxígeno disuelto a nivel superficial fue 6,4 mg/L en abril y 7,4 mg/L en julio. En Bayóvar se aprecia un incremento de la concentración del oxígeno en el invierno. Los valores de oxígeno en ambas zonas cumplen con los ECA.

La demanda bioquímica de oxígeno en Bayóvar reportó un valor de 2,1 mg/L en abril y 2,2 mg/L en julio. Los valores se encuentran debajo del límite de los ECA.

En Bayóvar los valores de STS fueron 12,8 mg/L en abril y 22,2 mg/L en julio. En general los valores de STS se encuentran en ambas zonas y evaluaciones dentro de los valores ECA para agua Categoría 2 Sub Categoría C2 (50 mg/L), solo en la estación BA-10 en julio superó este valor.

En Bayóvar se reportó una concentración promedio de fosfatos de 0,289 mg/L en abril y 0,143 mg/L en julio. Ambas zonas presentan varias estaciones que superan el valor ECA para agua Categoría 2 Sub Categoría C2, el cual considera valores entre 0,03 y 0,09 mg/L. Se observa una mayor concentración de fosfatos con la profundidad.

La concentración de silicatos en abril fue de 2,8 mg/L, en julio la concentración promedio fue de 0,77 mg/L. Varias de las estaciones en ambas zonas han superado el valor ECA Categoría 2 Sub Categoría C2 (0,14-0,70 mg/L).

La concentración de nitratos en abril fue 0,097 mg/L y en julio la concentración fue menor 0,060 mg/L. En Bayóvar en varias estaciones durante la evaluación de abril se superaron los valores ECA Categoría 2 Sub Categoría C2 (0,07 mg/L - 0,28 mg/L). Se presenta un incremento de la concentración de nitratos con la profundidad.

En Bayóvar se observa que los valores de amoníaco superan en varias estaciones el valor ECA Categoría 2 Sub Categoría C2 (0,08 mg/L).

El sulfuro de hidrógeno presentó concentraciones debajo del límite del método de análisis (0,002 mg/L). El ECA Categoría 2 Sub Categoría C2 es 0,06 mg/L.

Los valores de cianuro libre así como de cromo hexavalente se encontraron por debajo del límite de detección analítica.

La concentración de aceites y grasas en Bayóvar sólo la estación BA-1 presenta un valor de 0,470 mg/L, pero que no supera al valor ECA Categoría 2 Sub Categoría C1 y C2 (1 mg/L).

Las concentraciones de hidrocarburos totales e hidrocarburos aromáticos en Bayóvar se encontraron por debajo del límite de detección analítica 0,2 mg/L y 5 mg/L, respectivamente.

Los valores de coliformes totales y fecales fueron bajos no superando en la mayoría de casos el límite de detección, solo la estación BA-06 en Bayóvar presentó en abril un valor de coliformes totales alto 330 NMP100/ML. En general los valores de coliformes no representan un riesgo para la salud.

Las concentraciones de arsénico en Bayóvar presentaron los mismos valores promedios 0,006 mg/Ly 0,005 mg/L, para abril y julio respectivamente. Las concentraciones de arsénico nunca sobrepasaron los ECA para Agua Categoría 2 -Sub Categoría C1 y C2 (0,05 mg/L).

Los valores de cadmio para Bayóvar fueron bajas, muy por debajo del valor ECA Categoría 2 Sub Categoría C1 y C2 (0,033 mg/L).

La concentración promedio de cobalto fue mayor en abril (0,0033 mg/L) y 0,0034 mg/L en julio. El ECA para Agua no evalúa la concentración de cobalto.

En Bayóvar los valores de cromo fueron 0,006 mg/L y 0,002 mg/L para abril y julio, respectivamente. El ECA para Agua no evalúa la concentración de cromo.

Con respecto al cobre, se encontró que en Bayóvar todas las estaciones superaron el valor ECA Categoría 2 Sub Categoría C1 (0,0031 mg/L)

Las concentraciones de mercurio en Bayóvar superaron el valor estándar del ECA para la Categoría 2 Sub Categoría C2 (0,0001 mg/L) en las estaciones BA-05,

BA-06 y BA-08 y las estaciones BA-06 y BA-08 superan incluso el valor de la Sub Categoría C1 (0,0094 mg/L).

Los valores de plomo han superado en varias de las estaciones los valores ECA Categoría C2 Sub Categoría C1 y C2 (0,0081 mg/L).

Las concentraciones promedio de manganeso en abril y julio fueron 0,0017 mg/L y 0,0033 mg/L, respectivamente. En ambas zonas se observa un incremento de la concentración durante la evaluación de julio. El ECA para Agua no evalúa la concentración de manganeso.

En Bayóvar las concentraciones de Zinc han sido mayores en julio. Las estaciones BA-06 y BA-08 superaron el valor ECA Categoría 2 Sub Categorías C1 y C2.

3.3.11.1.5 Bibliografía

- Agencia para Sustancias Tóxicas y el Registro de Enfermedades. (ATSDR). 1995. Reseña Toxicológica de los Hidrocarburos Aromáticos Policíclicos (en inglés). Atlanta, GA: Departamento de Salud y Servicios Humanos de los EE.UU., Servicio de Salud Pública.
- Bryan, G.W. and Langston, W.J. (1992). Bioavailability, accumulation and effects of heavy metals in sediments with special reference to United Kingdom Estuaries: a review. *Environmental Pollution* 76: 89-131.
- D.S. N° 002-2008-MINAM Estándares Nacionales de Calidad Ambiental ECA para agua.
- Leel, Jenifer y Morel François (1995). Replacement of zinc by cadmium in marine phytoplankton. *Marine Ecology Progress series* Vol 127:305-309.

- Mance, G., Brown, V.M. and Yates, J. (1984). Proposed environmental quality standards for List II substances in water. Copper. Water Research Centre Technical Report TR210.
- Mendiola, S. Achútegui J; Sanchez J, San José Potencial contaminante del mar por aguas residuales de las industrias de harinas y aceites de pescado
- Grasas y Aceites Vol. 49. Fase. 1 (1998), 30-33.
- UNEP (1993). Preliminary assessment of the state of pollution of the Mediterranean Sea by zinc, copper and their compounds and proposed measures. Mediterranean Action Plan UNEP (OCA)/MED/WG.66/Inf.3, Athens 3-7 May 1993.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION: Mercury. Environmental Health Criteria 1.
- Geneva, 1976, 131 pp.

3.3.11.2 Calidad de sedimentos marinos

3.3.11.2.1 Introducción

Los ecosistemas costeros constituyen uno de los ambientes más influenciados por el desarrollo socioeconómico. Gran porcentaje de la población humana vive en la zona litoral y sus actividades económicas e industriales influyen directamente sobre esta área en particular, de tal manera que está sujeto al impacto directo de las actividades humanas.

Los sedimentos marinos son el depósito final de las sustancias producidas tanto en las aguas superficiales como aquellas que son introducidas al sistema desde el continente. Dependiendo de las variaciones físicas y químicas que se producen en los ecosistemas costeros los sedimentos pueden actuar como sumideros o como fuente de una serie de elementos que modifiquen las propiedades de la columna de agua y la trama trófica marina. (Buccolieri et al., 2006). El presente trabajo pretende conocer las propiedades y composición de los sedimentos marinos en un área costera de la bahía de Sechura, Bayóvar cerca a Punta Aguja. Esta información permitirá evaluar el estado del sedimento marino y reconocer concentraciones de elementos que indiquen perturbaciones en las propiedades del ecosistema marino.

3.3.11.2.2 Metodología

En el Perú no existen estándares de Calidad ambiental para el sedimento, teniéndose que compararse entonces con el estándar internacional trabajado por el Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME). Este estándar internacional presenta valores que se derivan de la información científica disponible sobre efectos biológicos asociados a los productos químicos en los sedimentos y están destinados a apoyar el funcionamiento de los ecosistemas saludables. La herramienta seleccionada es la Canadian Environmental Quality

Guidelines, 2003 (Valores Guías de Calidad Ambiental Canadiense – Sedimentos Marinos).

Esta guía considera dos conceptos: el primero son los valores ISQG (Interim Sediment Quality Guideline), que se refiere a la concentración por debajo del cual no se espera efectos biológicos adversos, el segundo se refiere al PEL (Probable Effect Level), que se refiere a las concentración sobre la cual se encuentran efectos biológicos adversos con frecuencia.

El muestreo de sedimentos fue realizado en Bayóvar, entre el muelle de Petroperú y Punta Aguja. El muestreo se llevó a cabo con una draga Van Veen de acero inoxidable calidad 316 con 0,05 m² de área de cobertura. Se efectuó varios lances hasta completar el volumen de muestra requerida. Como plataforma de trabajo se usó una embarcación artesanal acondicionada para la naturaleza del trabajo. El sedimento fue colectado por personal del laboratorio Inspectorate que está acreditado por INDECOP. Las muestras fueron rotuladas apropiadamente y depositadas en un cooler, con icepack para mantener la cadena de frío hasta su desembarque y posterior envío al laboratorio de Inspectorate Services Perú S.A.C.

Cuadro 3.3.11-8. Estaciones de muestreo de sedimento en Bayóvar.

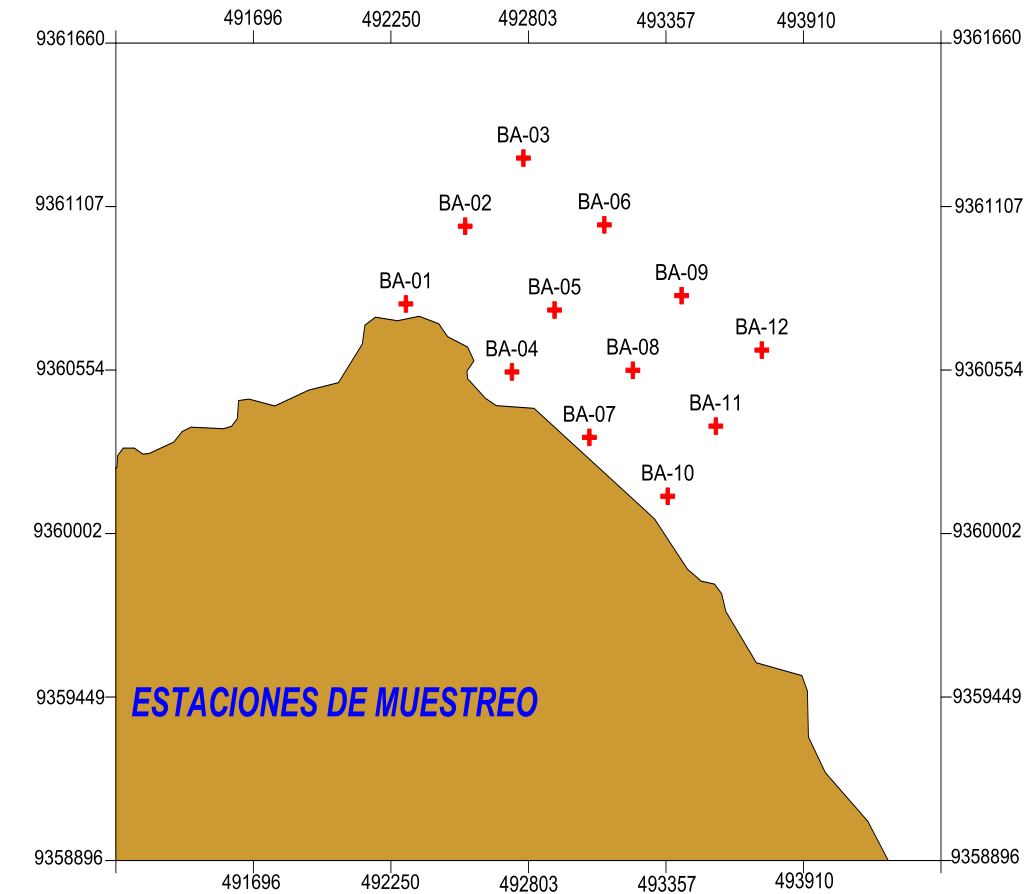
Estación de monitoreo	Coordenadas UTM WSG 84		Profundidad	Descripción
	Norte	Este		
BA-01	9 360778	492 310	5,3	Bayóvar
BA-02	9 361016	492 586	18	Bayóvar
BA-03	9 361271	492 783	42	Bayóvar
BA-04	9 360548	492 737	4,2	Bayóvar
BA-05	9 360 645	492 876	13	Bayóvar
BA-06	9 361 045	493 033	37,6	Bayóvar
BA-07	9 360327	493 049	4,1	Bayóvar
BA-08	9 360 554	493 224	29,6	Bayóvar
BA-09	9 360 806	493 420	46	Bayóvar
BA-10	9 360128	493 364	4,8	Bayóvar

Estación de monitoreo	Coordenadas UTM WSG 84		Profundidad	Descripción
	Norte	Este		
BA-11	9 360365	493 558	36	Bayóvar
BA-12	9 360 622	493 743	46	Bayóvar

Fuente: BISA, 2012.

En el plano **830MA0001A-010-20-019** se identifican las estaciones de muestreo de sedimentos. Las fichas SIAM de los diferentes puntos de muestreo se adjuntan en el **Anexo 3-7**.

Figura 3.3.11-31 Distribución de los puntos de muestreo en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012.

3.3.11.2.3 Resultados

En el cuadro 3.3.11-9 se presentan los resultados de Sedimento marino. Los informes de ensayo se adjuntan en el **Anexo 3-4**.

Cuadro 3.3.11-9. Resultados del análisis de sedimento marino de Bayóvar

Descripción de Parámetro	Unidad	Límite de Cuantificación	ISQG	PEL	BA-01	BA-02	BA-03	BA-04	BA-05	BA-07	BA-08	BA-09	BA-10	BA-11	BA-12
Materia Orgánica	g/100g	--	--	--	0,579	1,051	1,265	1,293	0,649	0,455	1,556	2,60	0,556	3,12	3,30
TPH	mg/Kg (C ₆ -C ₂₈)	6,00	--	--	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00	< 6,00
Li	mg/Kg	0,12	--	--	4,95	9,23	12,70	5,59	6,60	5,67	9,25	12,85	7,18	11,47	15,72
B	mg/Kg	0,12	--	--	10,09	23,55	40,71	10,05	18,08	7,50	11,94	20,53	9,43	19,54	35,62
Be	mg/Kg	0,06	--	--	0,11	0,24	0,34	0,16	0,18	0,18	0,20	0,28	0,24	0,32	0,37
Al	mg/Kg	0,19	--	--	4908,40	8441,68	12458,35	5400,72	5421,74	7237,17	10126,65	13143,65	6941,81	13002,62	17143,23
P	mg/Kg	0,33	--	--	2174,33	1403,00	3145,68	2297,86	2138,21	2837,09	2376,26	2598,30	2550,67	2790,25	3936,14
Ti	mg/Kg	0,04	--	--	318,82	31,16	175,51	277,47	85,88	358,03	425,94	471,80	363,88	429,07	512,79
V	mg/Kg	0,03	--	--	15,80	17,49	32,98	15,70	16,27	20,53	25,14	31,50	18,72	31,27	42,43
Cr	mg/Kg	0,05	52,3	60	14,77	25,14	38,73	13,14	21,79	17,33	26,94	33,47	17,42	35,17	43,62
Mn	mg/Kg	0,03	--	--	57,66	54,52	73,68	59,62	53,58	75,95	76,67	69,52	72,64	71,66	81,22
Co	mg/Kg	0,02	--	--	1,68	2,02	2,66	1,56	1,71	1,80	2,27	2,55	1,74	2,56	3,06
Ni	mg/Kg	0,04	--	--	3,94	8,16	10,72	3,37	6,31	3,59	7,56	11,05	3,82	10,67	13,85
Cu	mg/Kg	0,01	18,7	108	13,32	7,24	9,42	4,45	4,39	3,68	6,91	9,19	3,82	9,87	13,21
Zn	mg/Kg	0,02	124	271	63,62	36,01	49,21	22,94	64,00	26,02	35,68	46,49	26,43	45,72	57,23
As	mg/Kg	0,04	7,24	41,6	5,24	2,49	5,37	4,83	5,26	4,89	6,25	7,97	4,33	7,18	9,35
Se	mg/Kg	0,02	--	--	<0,02	0,78	1,12	<0,02	0,50	0,08	0,83	1,04	0,90	0,39	1,17
Sr	mg/Kg	0,20	--	--	756,59	1488,19	763,94	156,34	140,25	138,69	72,60	67,39	116,71	67,49	109,39
Mo	mg/Kg	0,02	--	--	0,16	0,17	0,87	0,16	0,41	0,20	1,28	2,69	0,28	2,50	3,07
Ag	mg/Kg	0,02	--	--	0,08	<0,02	0,06	<0,02	0,13	<0,02	<0,02	0,16	<0,02	0,10	0,11
Cd	mg/Kg	0,02	0,7	4,2	0,35	0,94	2,29	0,29	1,09	0,36	2,56	5,07	0,65	5,15	5,53
Sn	mg/Kg	0,04	--	--	3,18	<0,04	0,50	2,65	5,77	1,69	1,84	2,38	2,14	1,96	1,71
Sb	mg/Kg	0,02	--	--	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02	<0,02
Ba	mg/Kg	0,04	--	--	11,83	21,52	31,77	15,15	13,53	22,29	24,00	30,74	21,82	30,15	44,35
Ce	mg/Kg	0,03	--	--	10,52	8,77	11,37	11,68	9,61	19,56	15,97	13,40	14,86	16,10	16,57
W	mg/Kg	0,50	--	--	<0,50	<0,50	2,41	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50	<0,50

Descripción de Parámetro	Unidad	Límite de Cuantificación	ISQG	PEL	BA-01	BA-02	BA-03	BA-04	BA-05	BA-07	BA-08	BA-09	BA-10	BA-11	BA-12
Hg	mg/kg	0,01	0,13	0,7	7,09	1,54	3,06	1,00	1,80	2,28	1,15	2,50	0,72	1,58	0,86
Tl	mg/Kg	0,03	--	--	0,05	0,14	0,38	0,07	0,42	0,13	0,72	1,05	0,20	1,05	1,00
Pb	mg/Kg	0,02	30,2	112	10,28	2,46	2,89	2,87	3,87	2,12	2,27	2,92	1,88	2,99	3,63
Bi	mg/Kg	0,03	--	--	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03	<0,03
Th	mg/kg	0,10	--	--	1,08	0,90	1,55	1,26	1,26	1,72	1,71	1,97	1,69	2,47	2,56
U	mg/kg	0,03	--	--	1,73	1,84	2,85	1,80	1,98	2,31	2,62	3,45	2,19	3,79	4,50
Na	mg/Kg	1,00	--	--	3241,37	10066,77	9946,88	3362,73	3109,83	2861,88	5261,06	6267,72	2907,28	7008,78	11444,90
Mg	mg/Kg	3,56	--	--	4169,68	6048,09	6486,53	2484,03	2779,62	2697,09	3669,83	4285,15	2594,16	4656,10	6225,38
K	mg/Kg	2,37	--	--	956,85	1957,54	2655,85	1210,08	1101,39	1311,59	2144,99	2701,00	1357,57	2764,39	3527,79
Ca	mg/Kg	3,03	--	--	82952,92	134037,28	97550,44	36826,48	30995,39	33863,11	27973,94	20377,06	30555,75	19441,97	30757,63
Fe	mg/Kg	0,31	--	--	4323,72	3832,83	11754,79	4124,82	5212,97	7999,01	9729,56	11713,91	7285,44	12083,59	15007,42

Fuente: INSPECTORATE, 2012

(1) Unidad expresada en % (g/100g). Descripción del Método: Soil Quality Determination of organic Carbon by Sulfochromic Oxidation

(2) ISQG Límite debajo de los cuales no se esperan efectos biológicos adversos.

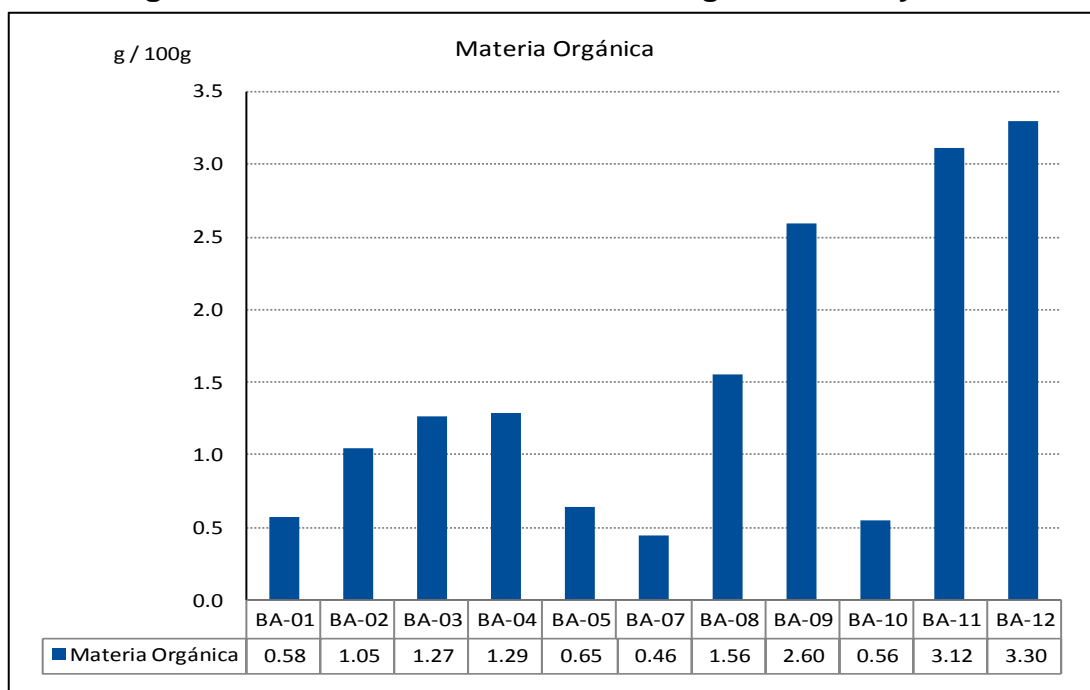
(3) PEL Concentraciones sobre las cuales los efectos biológicos adversos se encuentran con frecuencia

3.3.11.2.4 Interpretación de los resultados

Materia Orgánica

Los valores de materia orgánica en el área de Bayóvar variaron desde 0,46% en la estación BA-07 (ubicada en la parte cercana a orilla) hasta 3,3% ubicada en la estación BA-12, en la parte más lejana y en dirección al muelle de Petroperú. La mayor concentración de materia orgánica se da en la zona alejada de la orilla y en dirección al muelle de Petroperú.

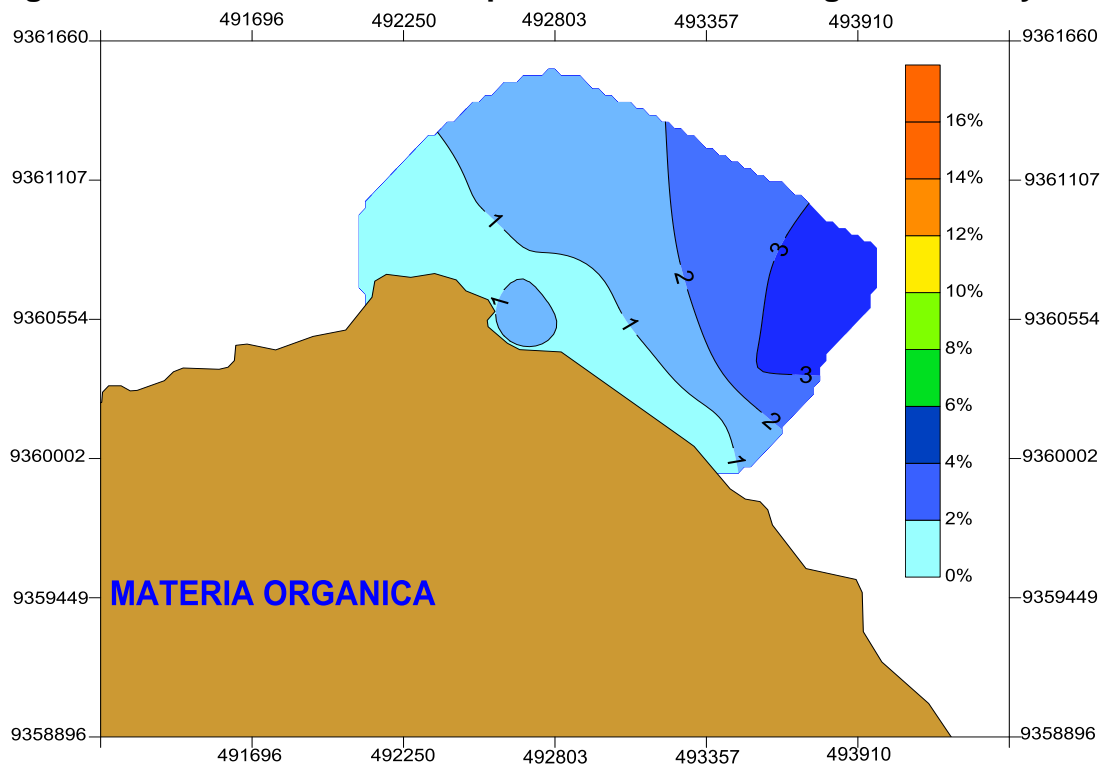
Figura 3.3.11-32. Valores de materia orgánica en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Las estaciones que presentan mayores valores son las estaciones BA-11 (3,12%) y Ba-12 (3,30%), superando el valor de materia orgánica de las estaciones que se encuentran cercanas a la orilla BA-10(0,56%), BA-07(0,46%). Esto se explicaría porque los sedimentos ubicados en la orilla están formados por partículas de tamaño de grano más grueso y que no son afines a acumular materia orgánica.

Figura 3.3.11-33. Distribución espacial de la materia orgánica en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

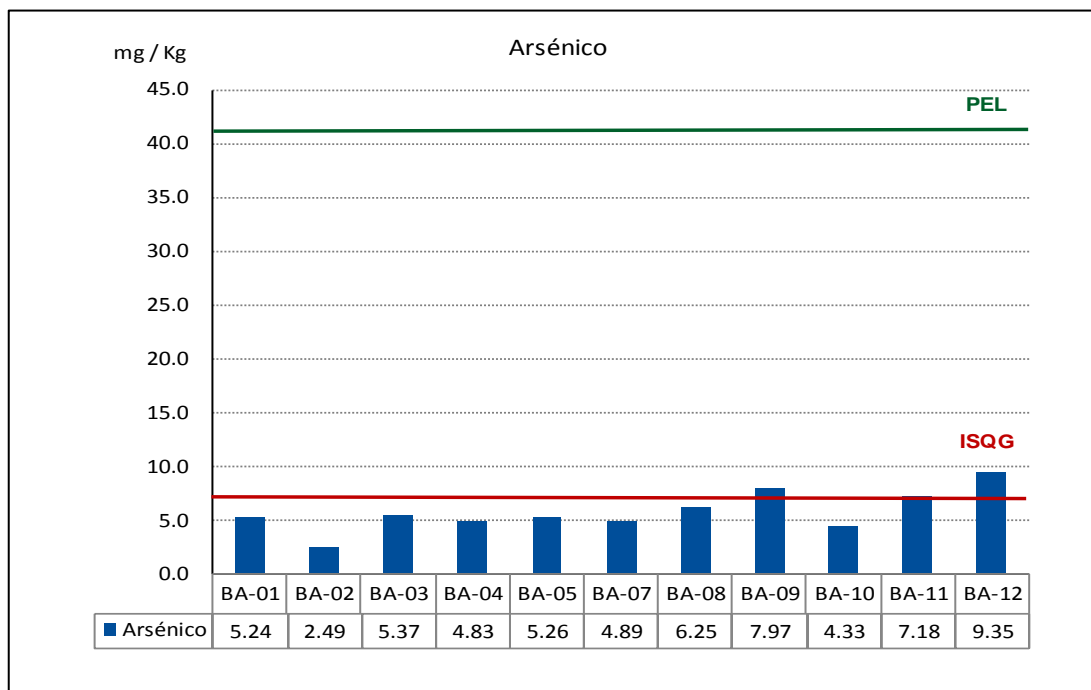
Metales en sedimento

Los resultados muestran los valores y la distribución de una serie de elementos, pero para el presente estudio, nos centramos en los análisis de los elementos como arsénico, cadmio, cromo, cobre, plomo, mercurio, y zinc, metales comúnmente asociados a la actividad antropogénica.

Arsénico (As)

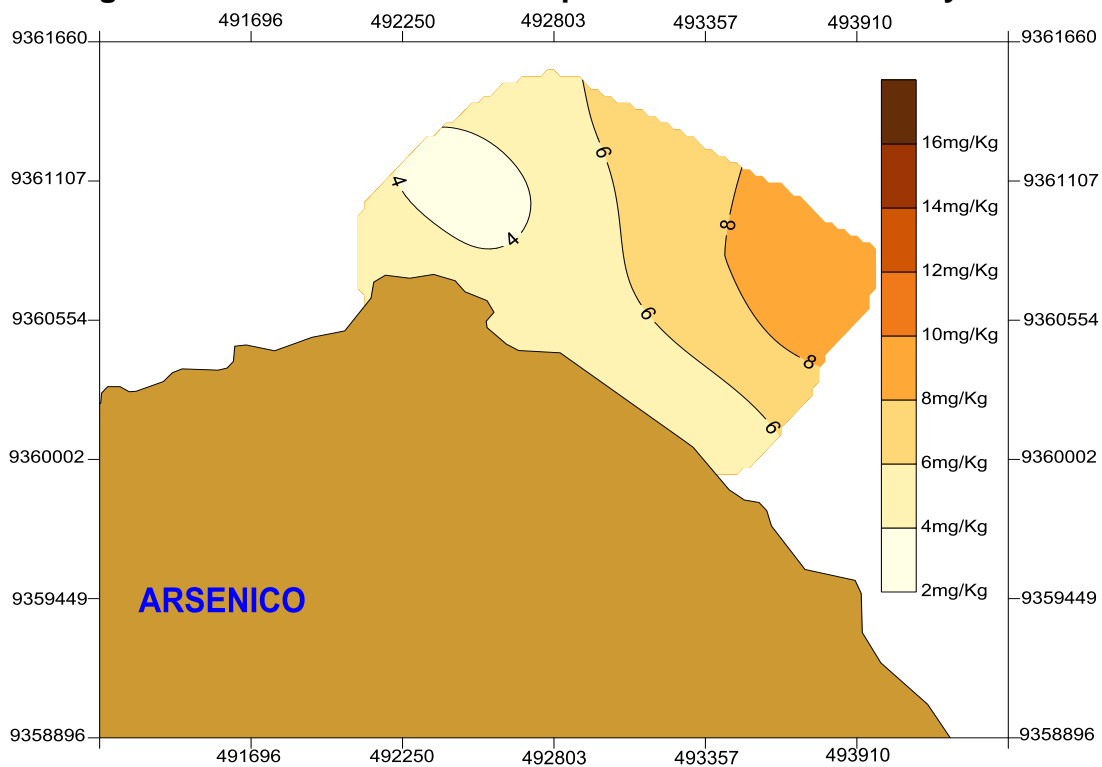
Los valores de arsénico en el área de Bayóvar fluctuaron entre 2,49 mg/kg en la estación BA-02 y 9,35 mg/kg (BA-12). Los valores de ISQG (7,24 mg/kg) fueron superados en las estaciones BA-09 y BA-12, pero en ningún caso llegaron a superar los valores del PEL (41,6 mg/kg). La mayor concentración de As se corresponde a la mayor concentración de materia orgánica que actúa como sumidero.

Figura 3.3.11-34. Valores de arsénico encontrados en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-35. Distribución espacial del arsénico en Bayóvar.

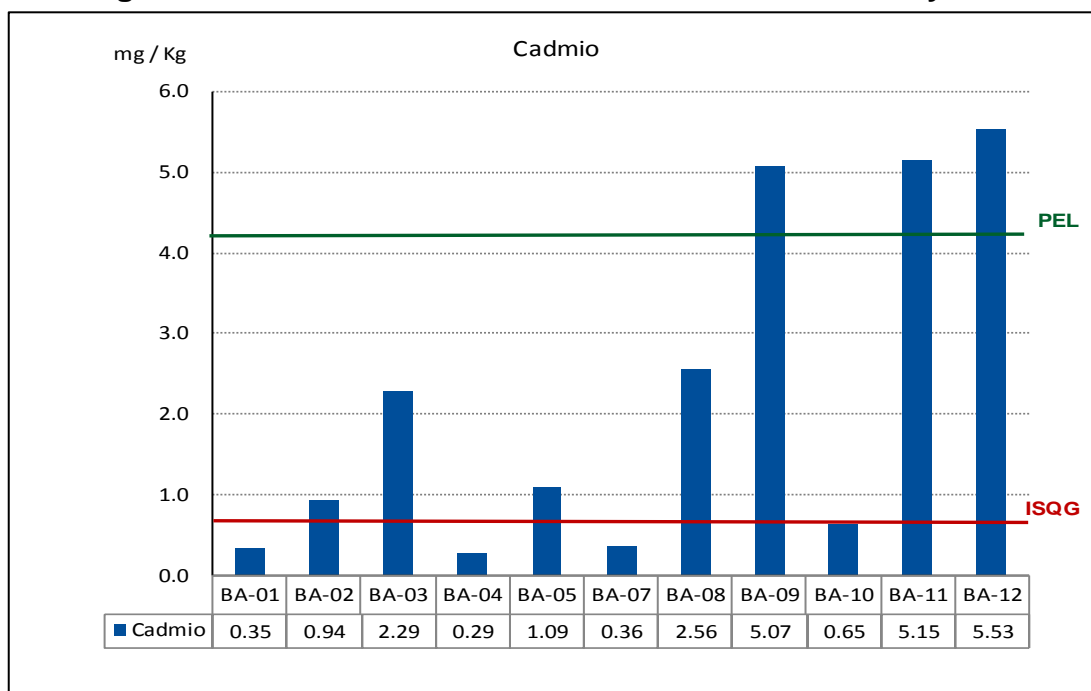


Fuente: BISA, 2012

Cadmio (Cd)

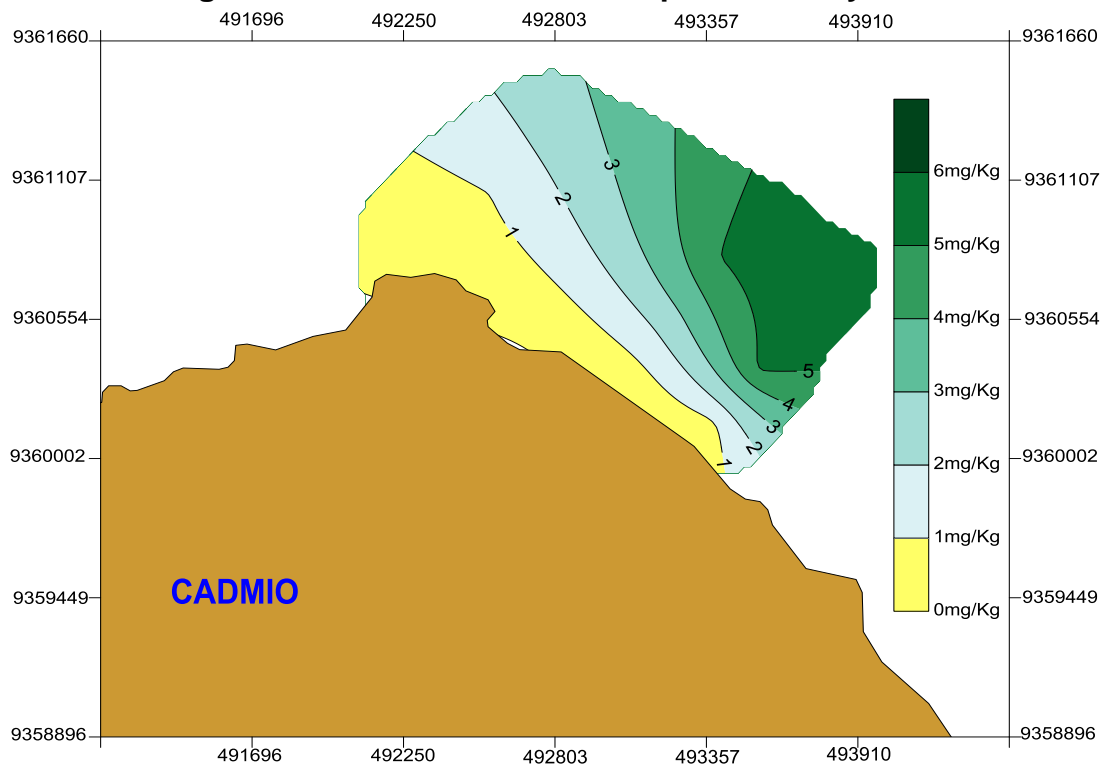
El cadmio en la zona de estudio tuvo una concentración desde 0,35 mg/kg en la estación BA-01 hasta 5,53 mg/kg en la estación BA-12. Los valores de ISQG (0,7 mg/kg) son superados en las estaciones BA-02, BA-03, BA-05, BA-08, BA-09, BA-11 y BA-12. En el caso de las concentraciones superiores al PEL, esto fue reportado en 3 estaciones BA-09 (5,07 mg/kg), BA-11 (5,15 mg/kg) y BA-12 (5,53 mg/kg).

Figura 3.3.11-36. Valores de cadmio encontrados en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-37. Distribución espacial en Bayóvar.

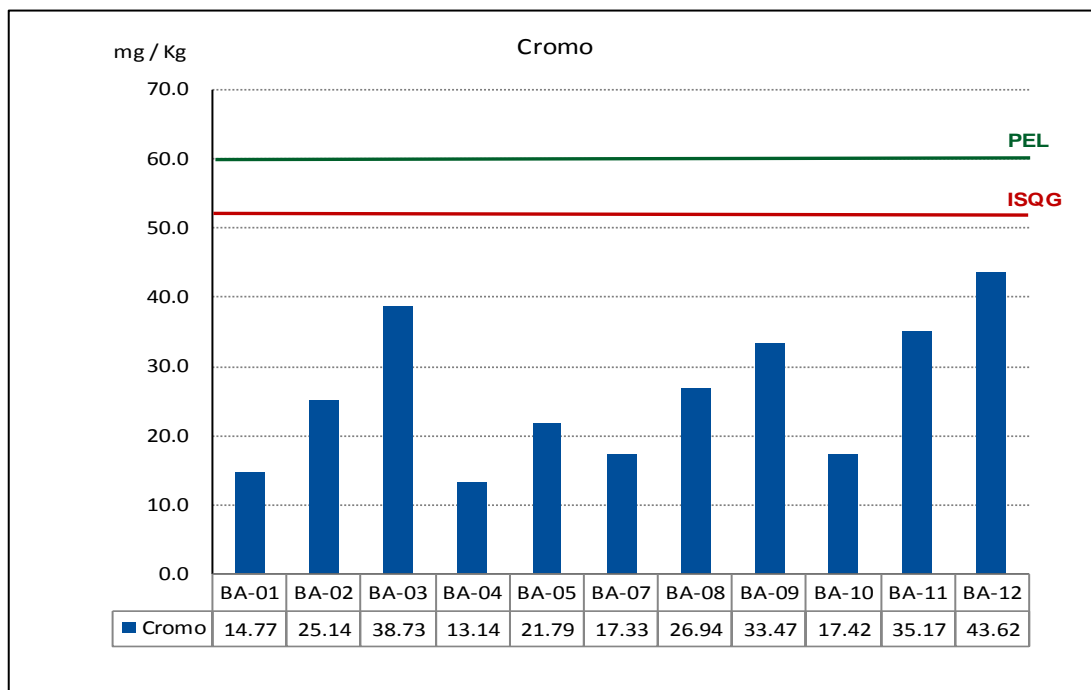


Fuente: BISA, 2012

Cromo (Cr)

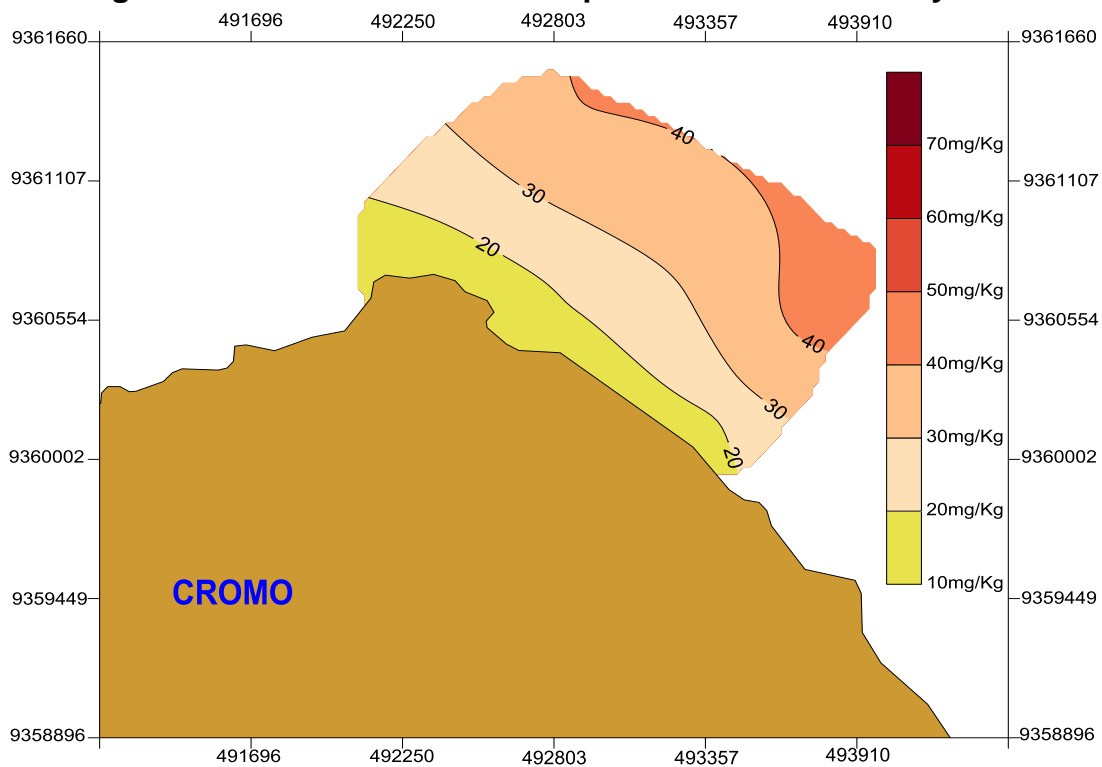
Los valores de cromo en el sedimento variaron desde 13,14 mg/kg en la estación BA-04 hasta 43,62 mg/kg en la estación BA-12. Los valores reportados fueron inferiores a los estándares canadienses usados en el estudio, ISQG (52,3 mg/kg) y el PEL (60,00 mg/kg).

Figura 3.3.11-38. Valores de cromo encontrados en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-39. Distribución espacial del cromo en Bayóvar.

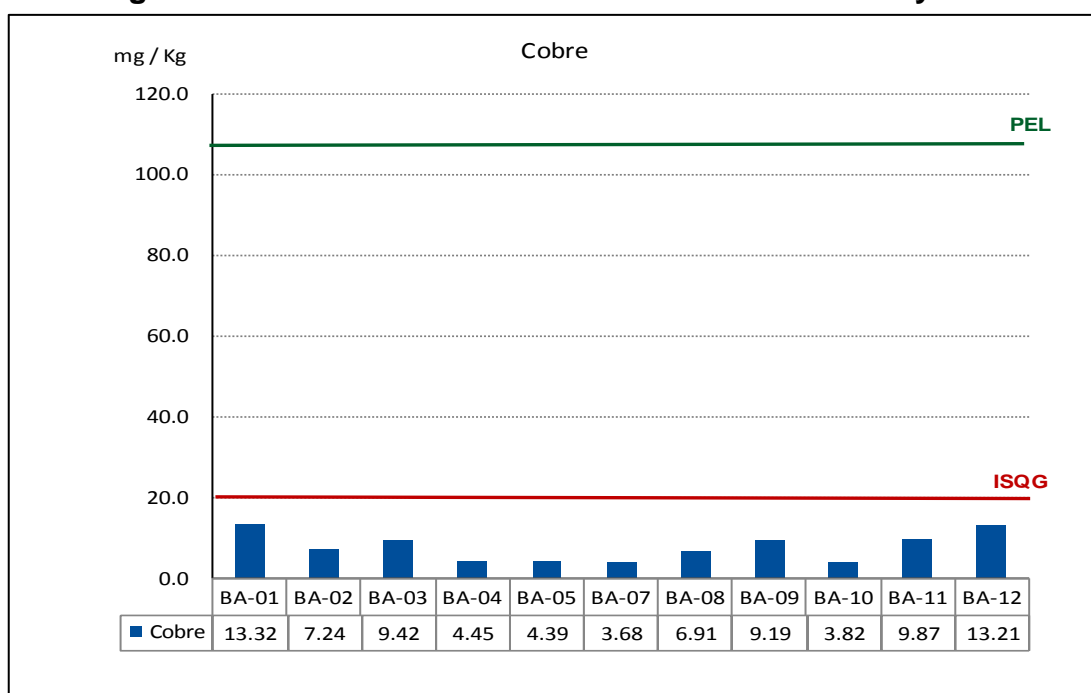


Fuente: BISA, 2012

Cobre (Cu)

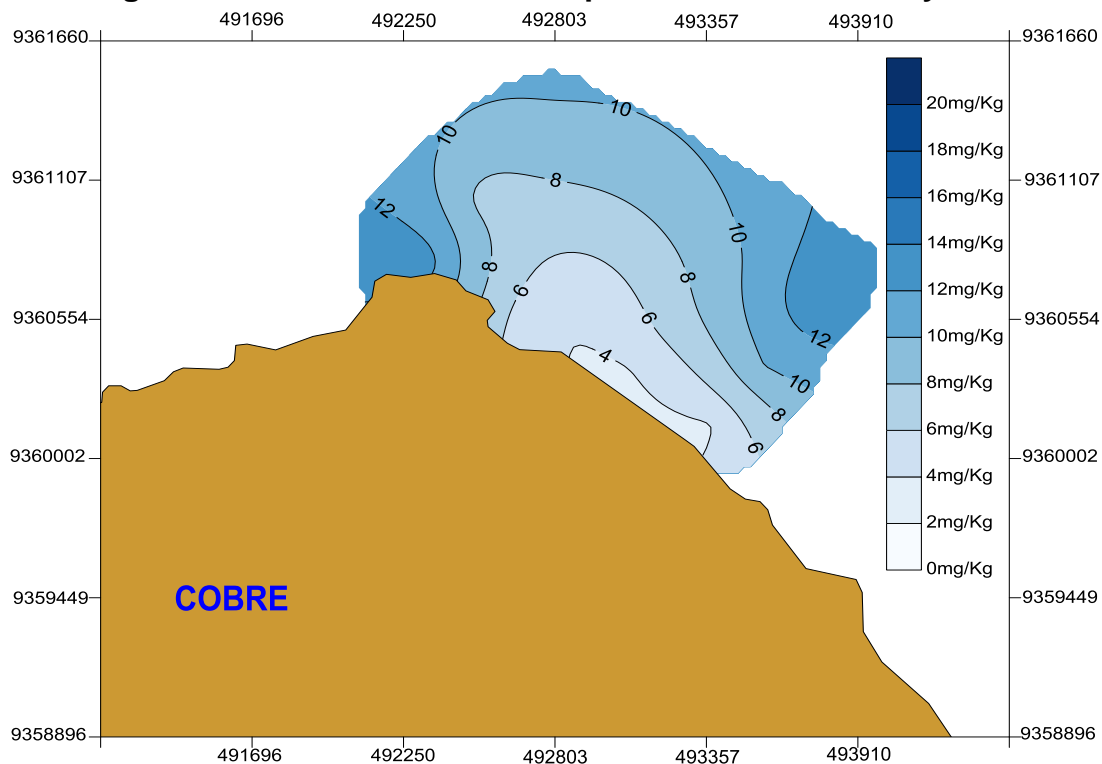
Las concentraciones de cobre en el área de Bayóvar fluctuaron desde 4,39 mg/kg en la estación BA-05 hasta el máximo valor reportado en la estación BA-01 (13,32 mg/kg). En ningún caso se superó los valores de ISQG (18,7mg/kg), ni el valor del PEL (108 mg/kg).

Figura 3.3.11-40. Valores de cobre encontrados en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-41. Distribución espacial del cobre en Bayóvar.

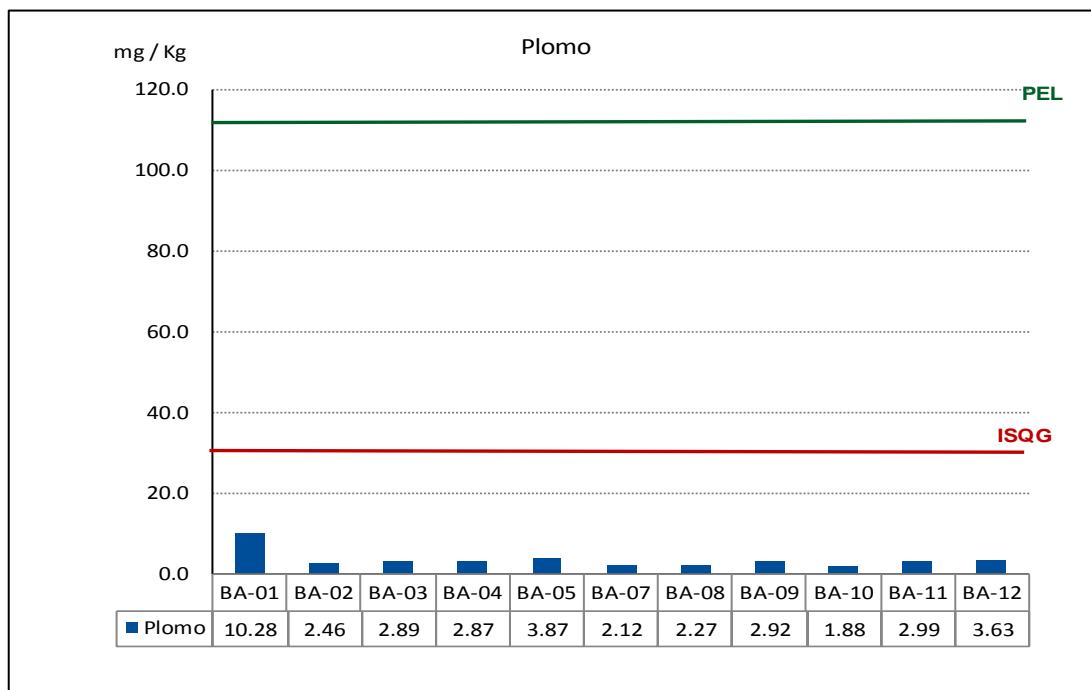


Fuente: BISA, 2012

Plomo (Pb)

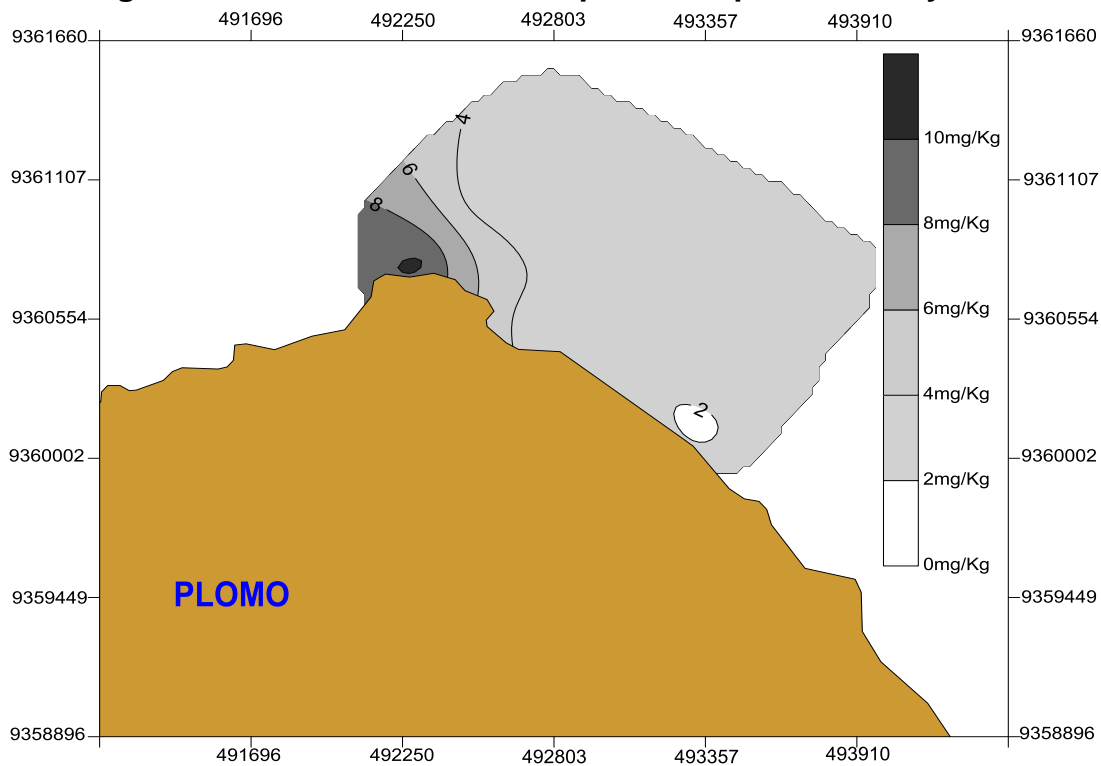
Los resultados del plomo en el sedimento muestran concentraciones que variaron desde 1,88 mg/kg en la estación BA-10, hasta 10,28 mg/kg en la estación BA-01. Los valores de plomo no sobrepasaron los valores de ISQG (30,2 mg/kg) ni el valor PEL (112 mg/kg). En la distribución espacial se observa que la mayor concentración de plomo se da en el extremo oeste, cerca de Punta aguja.

Figura 3.3.11-42. Valores del plomo encontrados en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-43. Distribución espacial del plomo en Bayóvar.

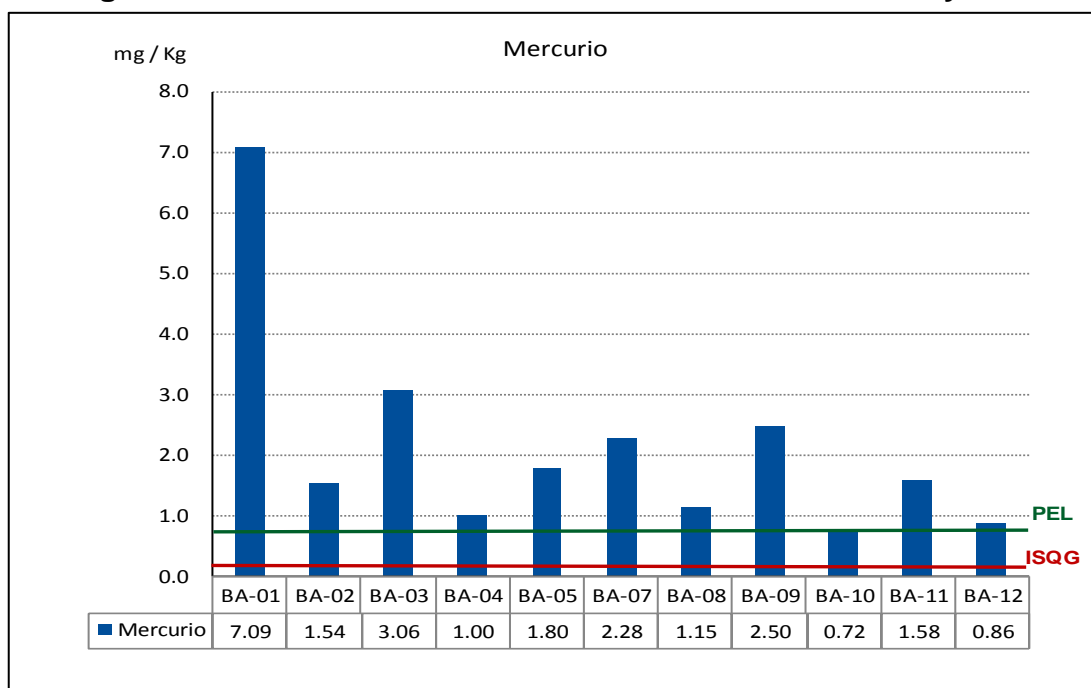


Fuente: BISA, 2012

Mercurio (Hg)

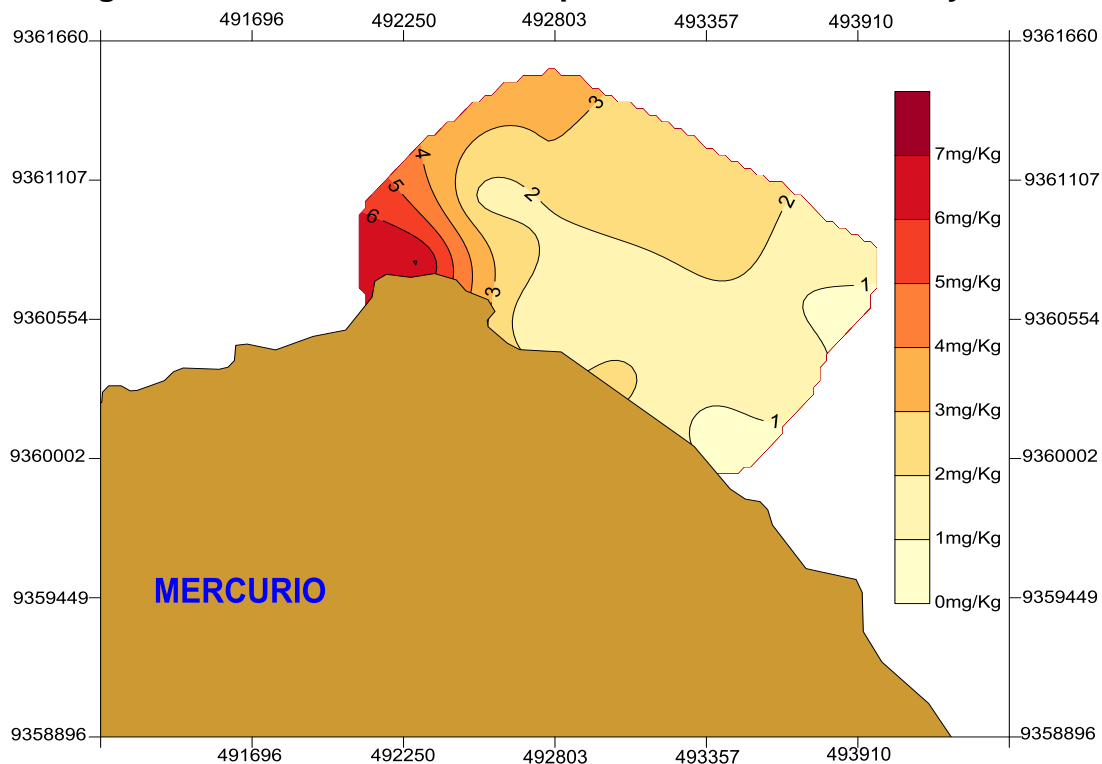
Los valores de mercurio en la zona de Bayóvar fluctuaron desde 0,86 mg/kg en la estación BA-12 hasta 7,09mg/kg en la estación BA-01. Comparando con los estándares canadienses se observa que todas las estaciones superan el valor de ISQG (0,13 mg/kg) y el valor PEL (0,7 mg/kg).

Figura 3.3.11-44. Valores del mercurio encontrados en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-45. Distribución espacial del mercurio en Bayóvar.

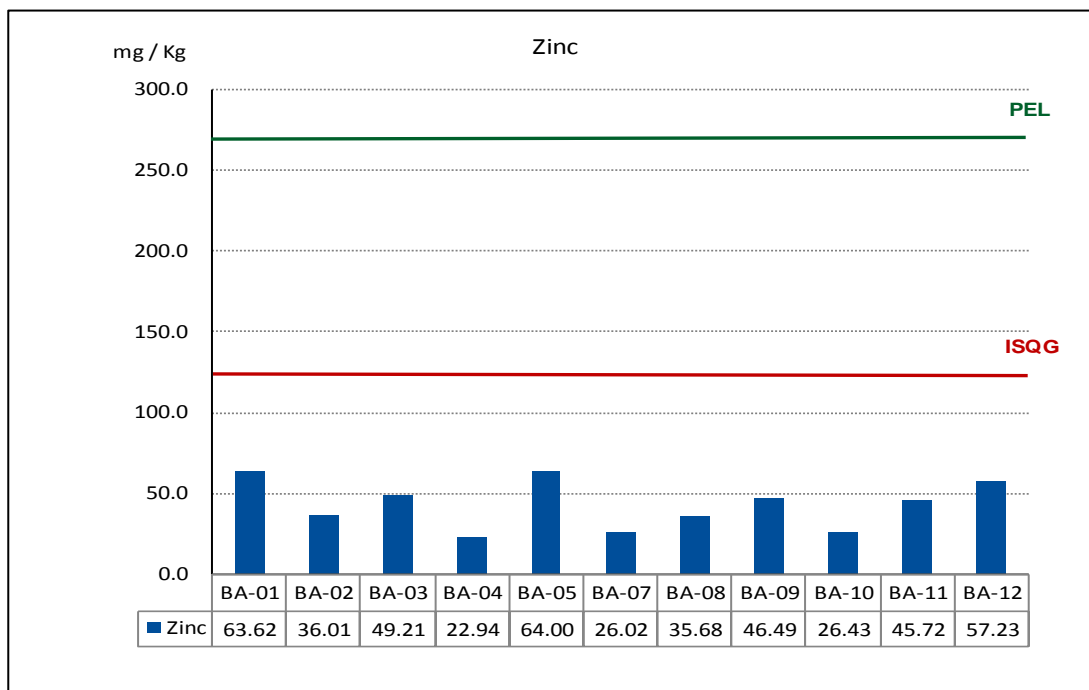


Fuente: BISA, 2012

Zinc (Zn)

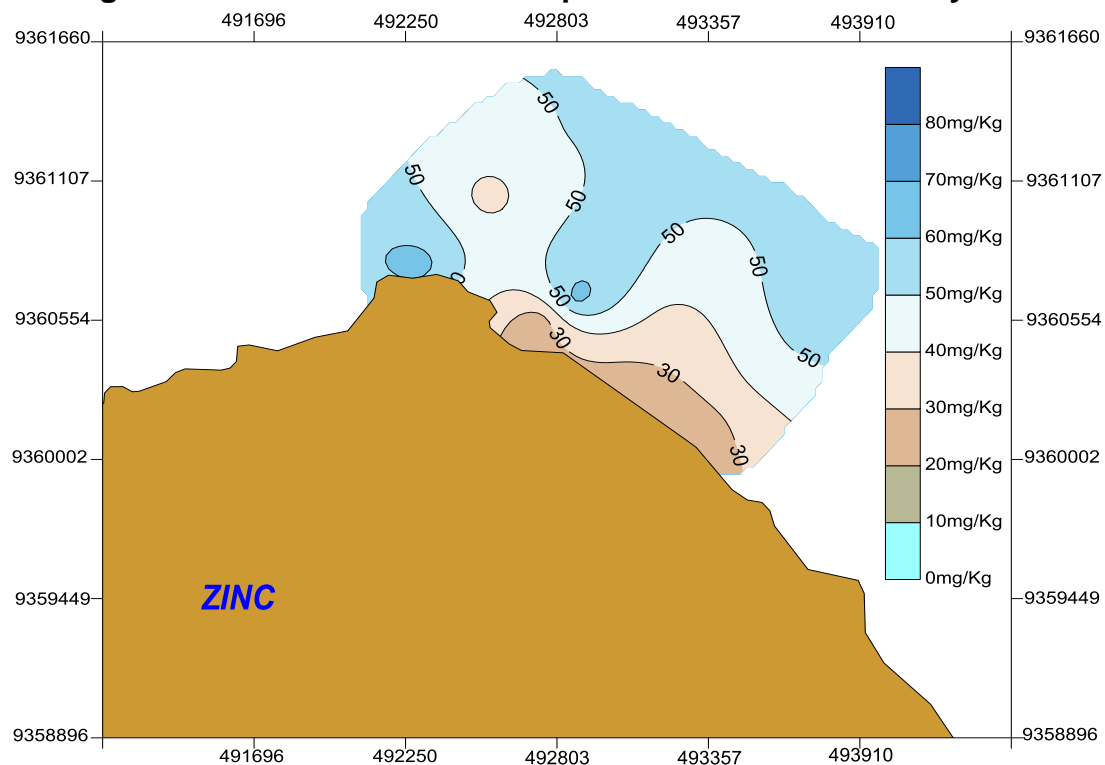
Los valores de zinc en el área de estudio fluctuaron desde 22.94 mg/kg en la estación BA-04 hasta 64 mg/kg en la estación BA-05. En ningún caso las concentraciones de zinc superan los valores de ISQG (124 mg/kg) ni el valor PEL (271mg/kg).

Figura 3.3.11-46. Valores del zinc encontrados en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-47. Distribución espacial del mercurio en Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Granulometría

El estudio granulométrico consiste en el análisis de la textura de los suelos, es decir el tamaño de las partículas. Las partículas de más gruesa a más finas son: arena, limo y arcilla. La proporción de este tipo de partículas van determinan el tipo de suelo.

De acuerdo a la escala granulométrica el tamaño de los granos (partículas) en sedimentos y rocas sedimentarias varía desde micras hasta metros, y la escala natural capaz de contemplar con el mismo detalle tamaños grandes y pequeños es de tipo geométrica o logarítmica. La escala más utilizada en geología es la de Uddem-Wentworth (1922).

Cuadro 3.3.11-10. Escala granulométrica de Uddem-Wentworth (1922).

mm	phi	Elemento		Sedimento		Roca sedimentaria			
		Bloque		Grava	gruesa	Rudita: Conglomerado Brecha			
256	-8	Canto			media				
128	-7	Guijarro			media				
64	-6								
322	-5								
16	-4	Gránulo		Gravilla	fina	Arenisca			
8	-3								
4	-2								
2	-1	Arena		Arena	muy gruesa	Lutita			
1	0				muy gruesa				
0,5	1				gruesa			gruesa	
0,25	2				media				media
0,125	3				fina				fina
0,062	4	muy fina	muy fina	Limonita					
0,031	5	grueso	Limo			grueso			
0,016	6	medio				medio			
0,008	7	fino				fino			
0,004	8	muy fino		muy fino					
0,002	9	Arcilla		Arcilla		Arcillita			
0,001	10								

Fuente: BISA, 2012

En la zona de Bayóvar se realizó la caracterización de los sedimentos superficiales en 11 estaciones ya que la estación BA-06 correspondió a sustrato duro.

Los sedimentos de Bayóvar se agrupan en tres tipos de sedimentos. El primer grupo formado por las estaciones BA-02 y BA-03 con concentraciones de arena superiores al 85.3% y pequeñas porciones de limo, estos sustratos son arenosos. El segundo grupo está ubicado en la estación BA-01 (cerca a la orilla) está compuesto de 57.0% de limo y 43.0% de arena, este sedimento se conoce como fango arenoso.

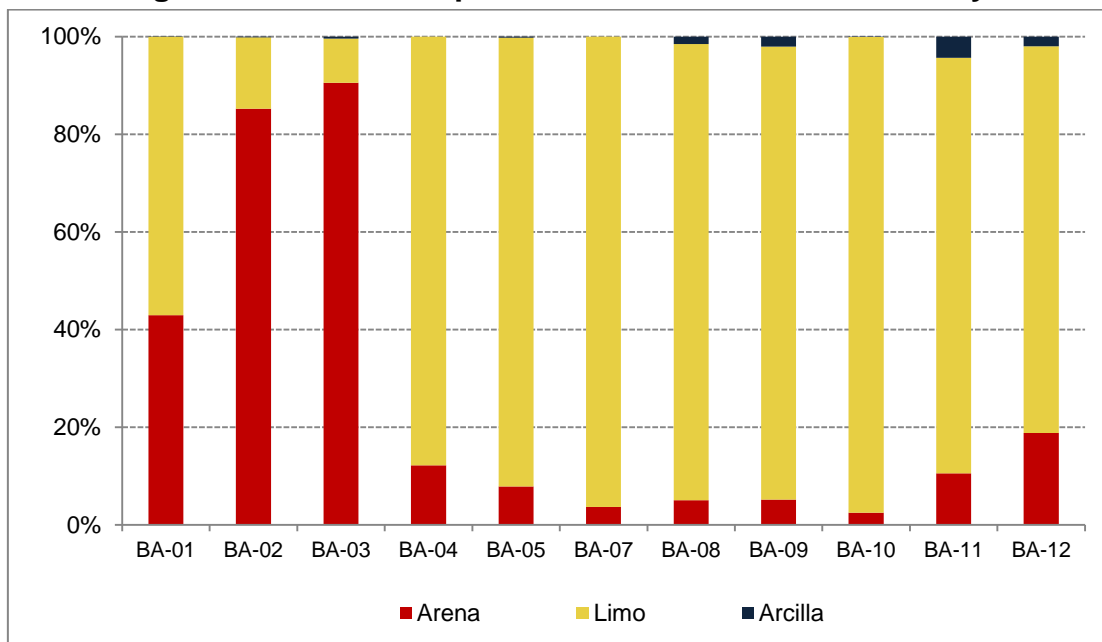
Cuadro 3.3.11-11. Resultados del análisis de sedimento marino de Bayóvar.

Estación	Arena	Limo	Arcilla	Total
BA-01	43,0%	57,0%	0,0%	BA-01
BA-02	85,3%	14,6%	0,2%	BA-02
BA-03	90,6%	9,1%	0,4%	BA-03
BA-04	12,2%	87,8%	0,0%	BA-04
BA-05	7,9%	92,0%	0,2%	BA-05
BA-07	3,6%	96,4%	0,0%	BA-07
BA-08	5,1%	93,4%	1,5%	BA-08
BA-09	5,2%	92,8%	2,0%	BA-09
BA-10	2,5%	97,4%	0,1%	BA-10
BA-11	10,5%	85,1%	4,3%	BA-11
BA-12	18,8%	79,2%	2,0%	BA-12

Fuente: BISA, 2012

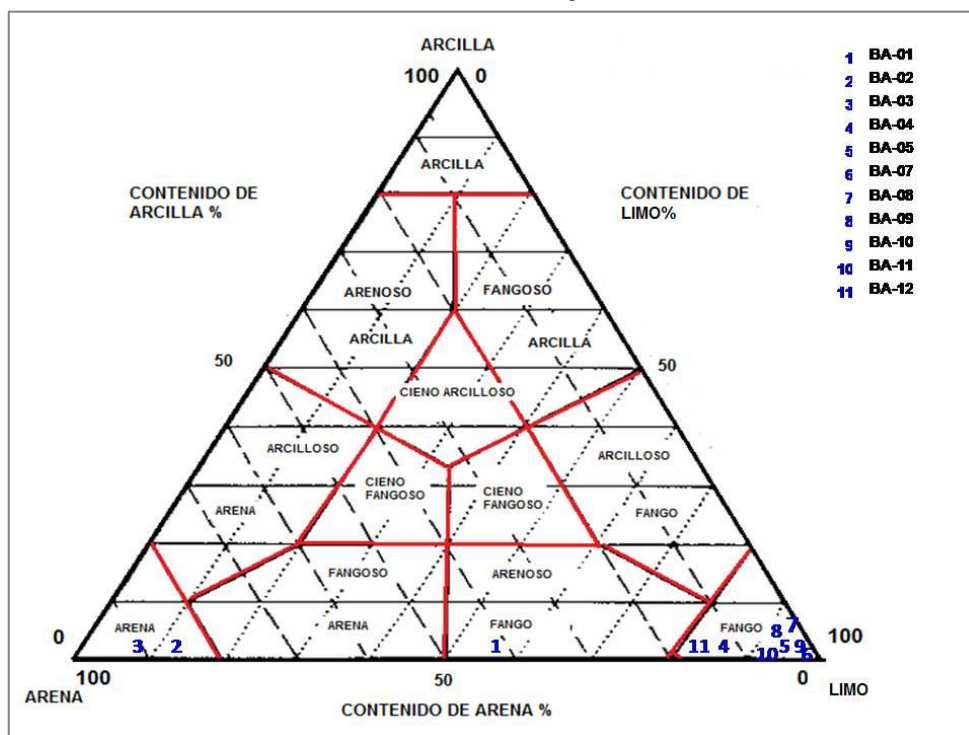
El tercer grupo incluye las estaciones BA-04, BA-05, BA-07, BA-08, BA-09, BA-10, BA-11, BA-12, estos sedimentos se caracterizan por concentraciones de limo superiores al 79.2%, estos sedimentos se conocen como sedimentos fangosos. Los detalles se pueden observar en el diagrama de Shepard.

Figura 3.3.11-48. Composición de los sedimentos de Bayóvar.



Fuente: BISA, 2012

Figura 3.3.11-49. Grupos texturales en Bayóvar identificados de acuerdo al criterio de Shepard.



Fuente: BISA, 2012

Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP)

Bajo este término se incluye una mixtura de hidrocarburos que se encuentran en el petróleo que no son prácticos medirlos de manera independiente, de modo que se mide el total de hidrocarburos en un lugar determinado.

Los resultados en Bayóvar muestran que en todas las estaciones la concentración de hidrocarburos estuvo por debajo del límite de cuantificación del laboratorio (6,0 mg/kg).

3.3.11.2.5 Conclusiones

- La materia orgánica en Bayóvar se concentró en las estaciones más profundas ubicadas al este (BA-12, BA-11 y BA-09).
- El arsénico presenta valores superiores al ISQG en las estaciones BA-09 y BA-12.
- Los valores de cadmio superan el valor de ISQG en 7 estaciones: BA-02, BA-03, BA-05, BA-08, además en las estaciones BA-09, BA-11 y BA-12 las concentraciones superan el valor del PEL.
- Los valores de cromo, cobre, plomo y zinc no superan valores de ISQG y menos el valor PEL.
- El mercurio supera en todas las estaciones los valores de ISQG, e incluso el valor PEL, siendo esta concentración peligrosa para la biota acuática.
- Los sedimentos de Bayóvar se agrupan en tres grupos. El primer grupo formado por las estaciones BA-02 y BA-03 con sustratos son arenosos. El segundo grupo formado por la estación BA-01 corresponde a un sustrato fango arenoso. Mientras que tercer grupo formado por las estaciones BA-04, BA-05, BA-07, BA-08, BA-09, BA-10, BA-11, BA-12, presentan sedimentos fangosos.
- La concentración de Hidrocarburos Totales de Petróleo (HTP) en los sedimentos de Bayóvar se encuentran por debajo del límite de detección analítica.

3.3.11.2.6 Bibliografía

- Buccolieri, A.; G. Buccolieri; N. Cardellicchio; A. Dell'Atti; A. Di Leo and A. Maci, 2006. Heavy metals in marine sediments of Taranto Gulf (Ionian Sea, Southern Italy). *Mar. Chem.* 99: 227-235.
- Canadian Council of Ministers of the Environment (CCME) 2002. Canadian Environmental Quality Guidelines EQGs Summary of existing Canadian Environmental Quality Guidelines.
- Grousset FE, Jouanneau JM, Castaing P, Lavaux G, Latouche C (1999) A 70 year record of contamination from industrial activity along the Garonne River and its tributaries (SW France). *Estuar Coast Shelf Sci* 48:401–414.
- Moron,O., Velazco,F. & L.Beltran 2007 Características hidrográficas y sedimentológicas de la Ensenada de Sechura. 2007. *Revista peruana de Biología*.
- OPS, OMS. Criterios de Salud ambiental-Mercurio.Washington,D.C: Las organizaciones, 1971. 148 p.
- Oyarzun, R., Lillo, J., Higuera, P., Oyarzún, J., Maturana, H., 2004. Strong arsenic enrichment in sediments from the Elqui watershed, northern Chile: industrial (gold mining at El Indio-Tambo district) versus geologic processes. *J. Geochem. Explor.* In press.
- OSPAR Commission. (2000) Quality Status Report 2000. Chapter 4 (Chemistry).
- USPHS (1990). Toxicological profile for polycyclic aromatic hydrocarbons. Agency for Toxic Substances and Disease Registry, U.S. Public Health Service, 231p.
- SHEPARD, F.P. *Jour. Sediment. Petrol Nomenclature based on sand-silt-clay ratios.* 1954. 151-158.24 (3).
- Stordal, MC, Gill GA, Wen LS y P.H. Santschi. 1996. Mercury phase speciation in the surface waters of three Texas estuaries:Importance of colloidal forms. *Limnol. Oceanogr.* 41(1):52–61.