



UNIVERSIDAD
DE PIURA

REPOSITORIO INSTITUCIONAL
PIRHUA

INTEGRACIÓN DE TÉCNICAS APLICABLES AL ESTUDIO DE CONTAMINACIÓN DE CAUCES POR MINERÍA METÁLICA

Ana María Chávez Sernaqué

Piura, 15 de Abril de 2009

FACULTAD DE INGENIERÍA

Maestría en Gestión y Auditorías Ambientales



Esta obra está bajo una [licencia](#)
[Creative Commons Atribución-](#)
[NoComercial-SinDerivadas 2.5 Perú](#)

Repositorio institucional PIRHUA – Universidad de Piura

UNIVERSIDAD DE PIURA
FACULTAD DE INGENIERIA



“Integración de técnicas aplicables al estudio de contaminación de cauces por minería metálica”

Tesis para optar el Grado de Máster en Gestión y Auditorías Ambientales

Ana María Chávez Sernaqué

Asesor: Dr. Jesús García Iglesias
Coasesora: Dra. Rosalba Guerrero Asella

Piura, marzo 2009

A mi esposo César, a mis hijas Ana Maria y Mirtha María, a mi padre Ambrosio, a la memoria de mi madre Amalia y a mi hermana Amalia, por todo su apoyo recibido para concluir este reto profesional.

Prólogo

Es muy conocido que la tierra, ha sido frecuentemente explotada sin considerar el carácter irreversible de las alteraciones producidas por las diferentes actividades que fueron iniciadas en busca de una mejora del nivel de vida, sin considerar el impacto ambiental y la posible incidencia en la calidad de vida de la población presente y futura. Entre los diversos tipos de perturbaciones producidas, merecen especial atención aquellas relacionadas con la extracción de los recursos minerales.

Un claro ejemplo de esta situación se presenta en el Distrito Minero de Hualgayoc, ubicado en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca y perteneciente a la cuenca del Río Llaucano. En las cabeceras de las cuencas de los ríos Tingo Maigasbamba y Arascorgue se viene desarrollando, desde la época de la Colonia, una intensa actividad de exploración y explotación minero-metalúrgica. Como resultado de esta actividad, actualmente, se pueden observar significativos pasivos ambientales dejados por las explotaciones realizadas sin ningún control ambiental, con una legislación y geografía favorable para ello. Esta situación hace difícil la fiscalización ambiental de las actividades mineras actualmente en operación y que conviven con estos pasivos ambientales, dificultando tanto la asignación como la aceptación de su responsabilidad en los eventos de contaminación de ríos y suelos y como consecuencia de la flora, la fauna y de la población asentada en el área de influencia de estas actividades.

Análisis químicos, que incluyeron metales pesados, realizados en el año 2000 a muestras de agua tomadas durante el estudio “Evaluación de la contaminación de aguas, relacionadas con la actividad minera, en los ríos Llaucano y Tingo-Maigasbamba” desarrollado en el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de nuestra universidad, reflejaron evidencias de contaminación, presumiblemente ligada a actividades mineras, que debía ser estudiada con mayor profundidad para evaluar el estado de contaminación y su grado de evolución, y esclarecer las fuentes o focos causantes de esa contaminación.

El aporte del presente estudio se centra en integrar a la información obtenida durante el primer estudio de aguas, los resultados obtenidos del análisis químico y mineralógico de sedimentos tomados en los cauces de los ríos Tingo-Maigasbamba, Arascorgue y Llaucano. Asimismo, realizar el tratamiento de la abundante información generada, mediante técnicas estadísticas univariantes, bivariantes y multivariantes, que integradas a la evaluación química y microscópica ha permitido establecer afinidades y correlaciones entre las muestras, e identificar las posibles fuentes o causas de la contaminación existente.

Deseo expresar mi especial agradecimiento al Dr. Ing. Jesús García Iglesias de la Universidad de Oviedo, España, por el brillante asesoramiento y dirección del presente trabajo de tesis de maestría y al Departamento de Prospección y Exploración de Minas de la Universidad de Oviedo, por su apoyo en la realización de los ensayos de metales pesados en sedimentos realizados en el Laboratorio ACME de Vancouver (Canadá) y de los ensayos mineralógicos realizados en la Universidad de Oviedo.

Asimismo, mi agradecimiento a la Dra. Ing. Rosalba Guerrero por su asesoramiento codirigido; al Dr. Ing. Nicolai Ezerskii quien dirigió el estudio “Evaluación de la contaminación de aguas, relacionadas con la actividad minera, en los ríos Llaucano y Tingo-Maigasbamba”, en el que también participó la graduanda, y del cual se tomó la información relacionada con la composición química de las aguas superficiales que fueron complementadas, en el presente trabajo de tesis, con los ensayos químicos y mineralógicos en sedimentos y con las técnicas estadísticas utilizadas.

Resumen

Normalmente para conocer el grado de contaminación de un río o cauce, se suele recurrir a la toma de muestras de agua y a los correspondientes análisis químicos. Esta es una información básica e importante, pero nos da una información muy limitada para realizar un estudio más profundo de la contaminación. Además, ignora la contaminación ligada a los sedimentos, tanto la debida a la carga metálica incorporada a éstos por intercambio catiónico, como la debida a partículas de minerales metálicos provenientes de la actividad minera, e ignora también la contaminación de las riberas y de los perfiles de los suelos mojados.

El estudio de estos sedimentos implica incluir en la investigación, la correspondiente toma de muestras, y posteriormente aplicarles no sólo técnicas de análisis químico clásico, sino también técnicas de análisis mineralógico. Además cuando se trata de un estudio que implica un volumen de muestras abundante, como es el caso del presente estudio, el tratamiento de los resultados de análisis químico mediante técnicas estadísticas es una herramienta útil para establecer afinidades y correlaciones entre las muestras, para el esclarecimiento de las posibles fuentes o causas de la contaminación.

En el caso que nos ocupa, una parte de la carga contaminante del cauce está constituida por partículas minerales, provenientes tanto de las explotaciones como de las plantas de tratamiento, así como de las canchas de relaves no restauradas. Por tanto, resultan muy útiles las técnicas mineralógicas de estudio, en especial las técnicas de microscopía binocular y de reflexión.

La aplicación de estas nos ha permitido identificar las especies minerales contaminantes, así como las asociaciones minerales presentes. También nos ha permitido establecer distancias relativas recorridas desde la fuente así como el tiempo relativo de permanencia en el cauce. Adicionalmente, se ha obtenido información muy útil para determinar las fuentes de contaminación de los sedimentos de los cauces. La aplicación de técnicas de análisis estadístico multivariante a los datos de análisis químico, tanto de aguas como de sedimentos, nos ha permitido establecer relaciones entre las cargas metálicas y sacar conclusiones que contribuyen a establecer si el origen de las cargas metálicas contaminantes es de origen natural o antrópico.

En conclusión, se pretende ofrecer un aporte a la gestión ambiental, mostrando la utilidad y, por tanto, la conveniencia de complementar de forma rutinaria, las técnicas tradicionales de análisis químico en aguas con las que aquí se mencionan. Para lo que nos basamos en el estudio de un caso práctico de contaminación de cauces, debida a actividades mineras.

Índice

	Pág.
Introducción	1
Capítulo 1. Generalidades	3
1.1 Planteamiento del problema	3
1.2 Objetivos	7
1.3 Hipótesis	8
1.4 Antecedentes bibliográficos	8
1.5 Justificación de la investigación	10
Capítulo 2. Materiales y métodos	11
2.1 Descripción de técnicas	11
2.1.1 Técnicas de análisis físico-químico y/o químico	11
2.1.1.1 Aplicables a aguas	11
2.1.1.2 Aplicables a sedimentos	18
2.1.2 Técnicas de análisis mineralógico aplicadas a sedimentos	19
2.1.2.1 Análisis mineralógico utilizando microscopio binocular	19
2.1.2.2 Análisis mineralógico utilizando microscopio de reflexión	22
2.1.3 Técnicas de análisis estadístico: univariante, bivariante y multi- variante	24
2.1.3.1 Técnicas aplicables a aguas	25
2.1.3.2 Técnicas aplicables a sedimentos	27
Capítulo 3. Resultados	29
3.1 Aplicación de técnicas	29
3.1.1 Características del marco de aplicación	29
3.1.1.1 Cuenca hidrográfica del Río Llaucano	29
3.1.1.2 Características hidrológicas	29
3.1.1.3 Historia de la minería de la provincia	31
3.1.1.4 La nueva minería del oro	37
3.1.1.5 Aspectos socio-económicos	38
3.1.1.6 Los recursos agrícolas en la cuenca	39
3.1.1.7 Uso agrícola del agua	40
3.2 Presentación general de resultados	42
3.2.1 Estudio de aguas	42
3.2.1.1 Estudio químico	42
3.2.1.2 Estudio estadístico	53
3.2.2 Estudio de sedimentos	93
3.2.2.1 Estudio químico	93
3.2.2.2 Estudio mineralógico	101
3.2.2.3 Estudio estadístico	104

Índice (continuación)

	Pág.
Capítulo 4. Discusión	123
4.1 Análisis crítico de resultados	123
4.2. Discusión de los resultados del estudio	124
4.2.1 Análisis químico de aguas	124
4.2.2 Análisis estadístico de aguas	128
4.2.2.1 Análisis estadístico univariante	128
4.2.2.2 Análisis estadístico bivariante	135
4.2.2.3 Análisis estadístico multivariante	137
4.2.3 Análisis químicos de sedimentos	140
4.2.4 Análisis mineralógico de sedimentos	141
4.2.4.1 Estudio binocular	141
4.2.4.2 Estudio microscopio	142
4.2.4.3 Estudio estadístico	145
4.3 Discusión de las técnicas utilizadas	149
Conclusiones y Recomendaciones	151
Anexos	
Anexo 3.1. Informes de ensayo.	
Anexo 3.2. Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (ENCA).	
Anexo 3.3. Planos.	
Anexo 3.4. Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicado a aguas .	
Anexo 3.5. Análisis Factorial (AF) aplicado a aguas.	
Anexo 3.6. Análisis de Cluster o conglomerados aplicado a aguas.	
Anexo 3.7. Resultados del análisis microscópico (microfotografías) aplicado a sedimentos.	
Anexo 3.8. Resultados del análisis descriptivo aplicado a sedimentos.	
Anexo 3.9. Resultados del Análisis de Componentes Principales (ACP) aplicado a sedimentos.	
Anexo 3.10. Análisis de Factores (AF) aplicado a sedimentos.	
Anexo 3.11. Análisis de Cluster o conglomerados aplicado a sedimentos.	

Introducción

Actualmente, los estudios de contaminación de cauces contaminados se han enfocado en los análisis físico-químicos y químicos de sus aguas. Sin embargo, se observa que esta información no es suficiente para conocer aspectos importantes como el origen de la contaminación, que contribuya a la adecuada gestión ambiental del área contaminada.

El presente estudio de tesis, tiene como objetivo promover la aplicación de técnicas complementarias que al ser integradas a las convencionales, se constituyen en herramientas valiosas de manejo ambiental. Entre estas técnicas propuestas, se encuentran los análisis químicos y mineralógicos de sedimentos y las técnicas estadísticas univariantes, bivariantes y multivariantes para el procesamiento de la información química generada.

El estudio ha sido estructurado en cuatro capítulos que se describen a continuación.

En el Capítulo 1 “Generalidades” se hace una descripción de la problemática de contaminación generada en el distrito minero de Hualgayoc, como resultado de una intensa actividad minera desarrollada y en la que se basó el estudio “Evaluación de la contaminación de aguas relacionadas con la actividad minera”, desarrollado por el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, en el que la tesista tuvo una activa participación y del que se tomó la información de calidad química de aguas obtenida. Adicionalmente se plantean los objetivos y la hipótesis del estudio; se mencionan algunos antecedentes bibliográficos considerados importantes y se presenta la justificación de la investigación a desarrollar.

En el Capítulo 2 “Materiales y métodos” se describen las técnicas de análisis físico-químico y químicos aplicadas a las muestras de aguas y sedimentos; también se describen las técnicas de análisis mineralógico aplicadas a los sedimentos tomados en el cauce de ríos y correspondientes a las muestras de aguas recolectadas. Adicionalmente, se realiza una descripción de las técnicas de análisis estadístico univariante, bivariante y multivariante aplicadas en el procesamiento de la información química generada en los análisis de aguas y de sedimentos.

En el Capítulo 3 “Resultados” se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de cada una de las técnicas propuestas a un caso práctico de contaminación de cauces, debida a actividades mineras, como la desarrollada en las subcuencas del Río Tingo-Maigasbamba y Arascorgue de la cuenca hidrográfica del Río Llaucano, la cual se describe previamente.

En el Capítulo 4 “Discusión” se presenta el análisis crítico de los resultados obtenidos, así como una discusión sobre los resultados obtenidos y sobre las técnicas utilizadas.

Finalmente, se plantean las conclusiones del estudio realizado, entre las que se destaca la conveniencia de complementar de forma rutinaria, las técnicas tradicionales de análisis químico en aguas con las que se mencionan en el presente trabajo de tesis.

Capítulo 1

Generalidades

1.1 Planteamiento del problema

Los efluentes con altos contenidos en metales, procedentes de minas abandonadas, representan uno de los mayores problemas ambientales de la minería metálica, sobre todo porque su persistencia en el medio puede extenderse durante décadas, incluso después de haber cesado la actividad extractiva. Este es el caso de varios distritos mineros existentes en el mundo y particularmente en el Perú.

Efectivamente, en el Perú esta situación se presenta en la ciudad de Hualgayoc ubicada en el Distrito Minero del mismo nombre y ubicado a 3 508 m.s.n.m. y a 92 km al norte de la ciudad de Cajamarca, en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca. Ver Figura 1.1.

El Distrito Minero de Hualgayoc está considerado como un típico distrito metálico de plomo (Pb), zinc (Zn), plata (Ag) y cobre (Cu). Este distrito minero fue descubierto por los españoles en 1771 y ha sido históricamente uno de los más importantes distritos mineros de plata del Perú, habiendo producido un estimado de 1'500,000 Kg. de este metal¹.

¹ Andrew W. Macfarlane/Ulrich Petersen. (1990). "Pb Isotopes of the Hualgayoc Area, Northern Peru: Implications for Metal Provenance and Genesis of a Cordilleran Polymetallic Mining District". Department of Earth and Planetary Sciences. Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138. Economic Geology. Vol. 85.

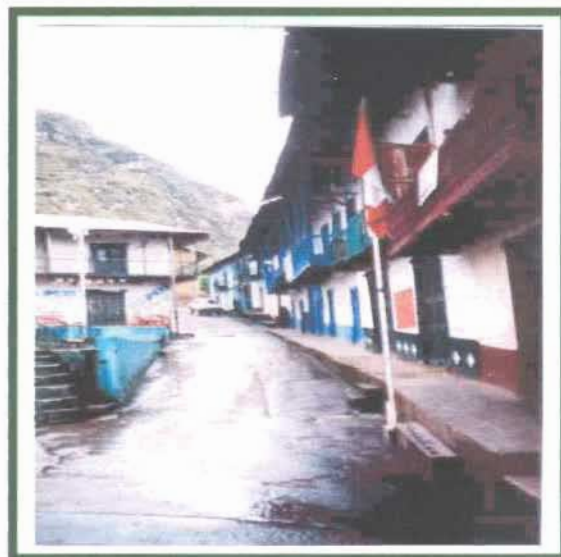
Figura 1.1. Ubicación del área de estudio. Distrito de Hualgayoc. Departamento de Cajamarca.



Los habitantes de la ciudad de Hualgayoc (Figura 1.2) están dedicados principalmente a la actividad minero-metalúrgica, por estar ubicados dentro del Distrito Minero del mismo nombre, zona de gran riqueza mineral donde se han asentado un considerable número de compañías y minería artesanal dedicadas a la explotación de mineral.

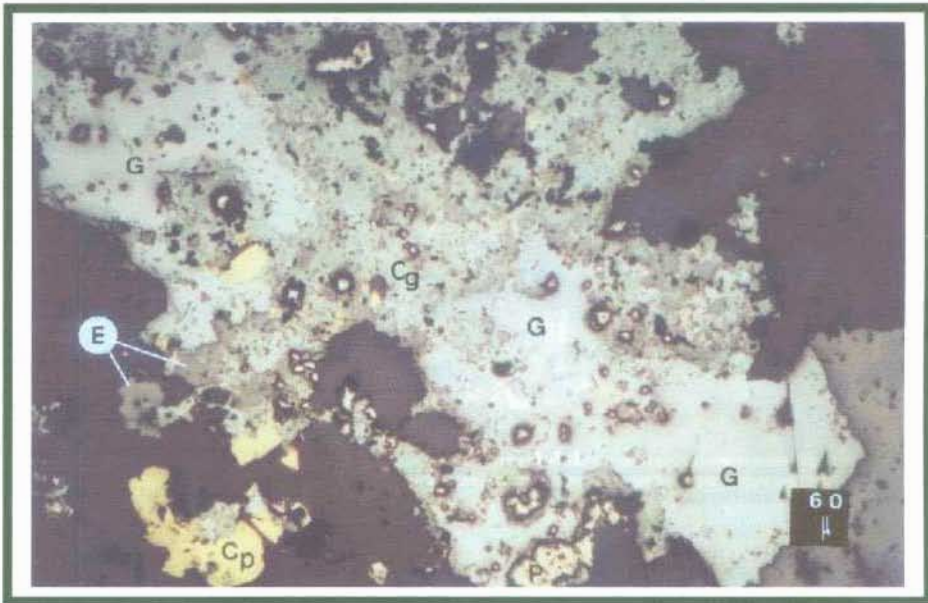
El Distrito Minero de Hualgayoc está considerado como un típico distrito metálico de plomo (Pb), zinc (Zn), plata (Ag) y cobre (Cu). Fue descubierto por los españoles en 1771 y ha sido históricamente uno de los más importantes distritos mineros de plata del Perú, habiendo producido un estimado de 1'500,000 Kg. de este metal¹.

Figura 1.2. Ciudad de Hualgayoc.



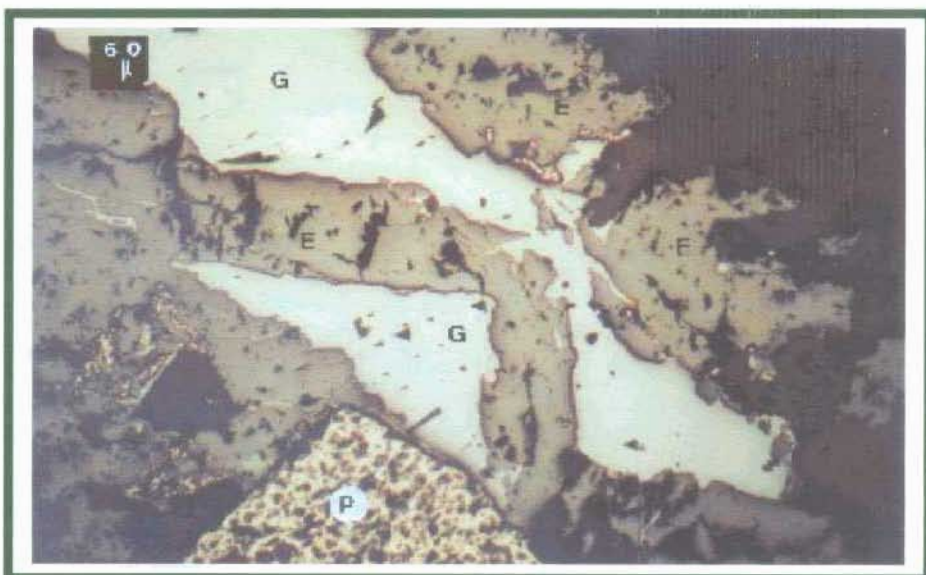
La zona mineralizada de Hualgayoc, presenta dos tipos de mineralización, la que corresponde a la quebrada Hualgayoc, que es polimetálica con especial presencia de sulfuros de plomo y zinc (ver Fotos 1.1 y 1.2), y la correspondiente al Río Tingo-Maigabamba que es cuprífera y argentífera (ver Fotos 1.3 y 1.4).

Foto 1.1. **Quebrada Hualgayoc: Mina Carolina. Muestra de yacimiento en cuya paragénesis se tiene minerales de Cu-Zn-Pb. Hay restos de pirita (P), cuarzo, y los sulfuros esfalerita (E), cobre gris (Cg), calcopirita (Cp) y galena (G). La calcopirita es un mineral de Cu menos abundante que el “cobre gris”.**



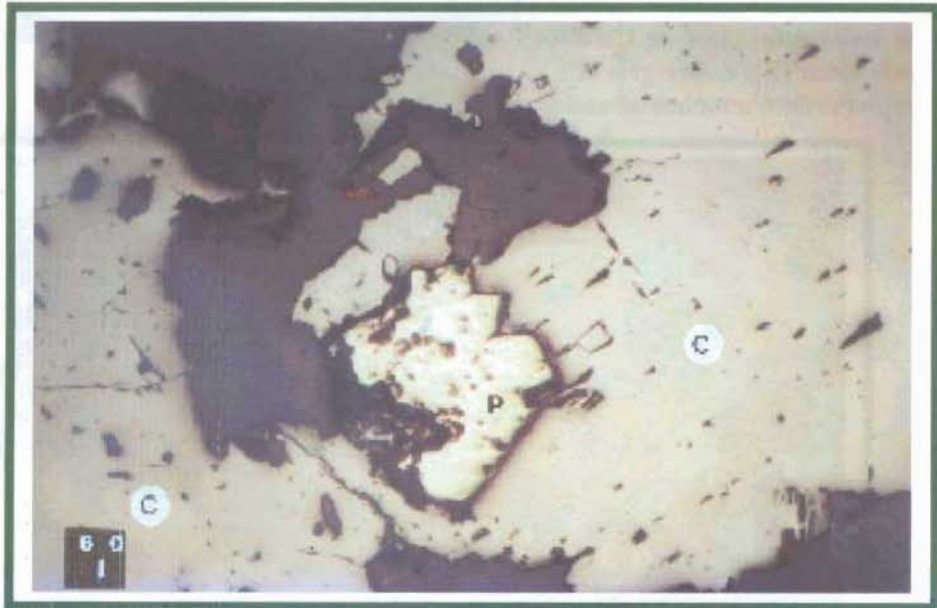
Fuente: Laboratorio de Prospección y Exploración de Minas. Universidad de Oviedo. España.

Foto 1.2. **Mineralización en Hualgayoc. La sucesión mineral es: Cuarzo-pirita (P)-esfalerita (E)- galena (G). Existen dos etapas de fracturación: una anterior a esfalerita y otra anterior a galena. La pirita muestra abundantes inclusiones y oquedades**



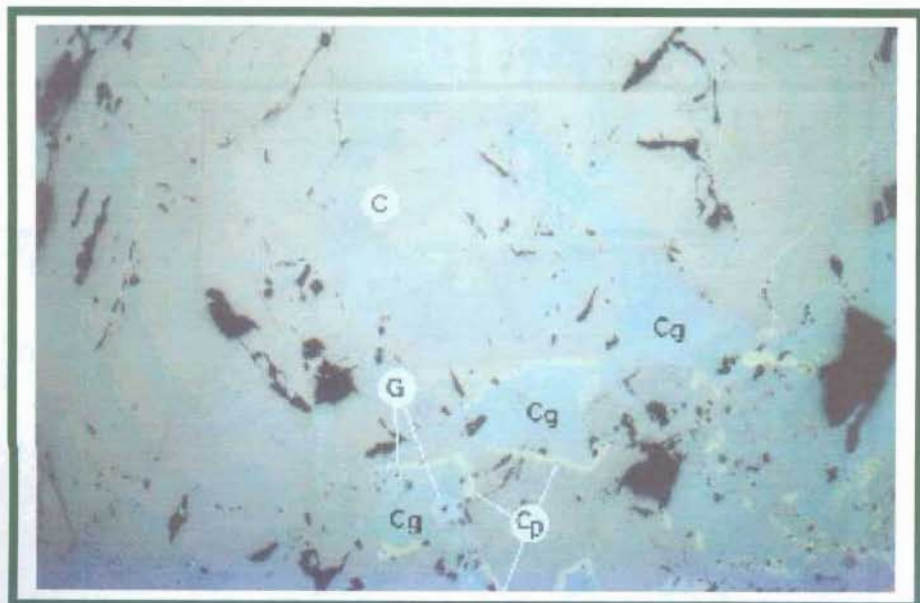
Fuente: Laboratorio de Prospección y Exploración de Minas. Universidad de Oviedo. España.

Foto 1.3. **Quebrada del Tingo-Maigabamba. Mina San Nicolás.** Se observa piritita, cuarzo y enargita (C). Los sulfuros no presentan alteración alguna y son representativos de los sulfuros inalterados que salen de la planta de concentración.



Fuente: Laboratorio de Prospección y Exploración de Minas. Universidad de Oviedo. España.

Foto 1.4. **Mineralización en Cuenca del Tingo.** Se observa enargita (C), pleocroica y de tono ligeramente rosado, que muestra ya maclas paralelas. Sufre reemplazamiento por Cu gris (azulado) (Cg), calcopirita (Cp) y galena (G).



Fuente: Laboratorio de Prospección y Exploración de Minas. Universidad de Oviedo. España.

La industria minero-metalúrgica, ubicada en las cabeceras de cuenca de ambos ríos es muy activa y las exploraciones y explotaciones mineras datan de la época de la Colonia, lo cual es un claro indicador de la existencia de actividades en abandono que han dejado un evidente pasivo ambiental con el que conviven las empresas mineras en operación actual que han instalado un número importante de plantas de concentración en donde se recuperan minerales de cobre, plomo, zinc y plata; y las respectivas canchas de relaves, donde disponen sus residuos sólidos, resultantes del proceso de concentración de minerales. Dándose por lo tanto, la coexistencia de la minería antigua y la minería actual, con pasivos ambientales importantes, de los que una parte significativa quedaría fuera de la responsabilidad de las compañías mineras en actividad.

Esta situación ha venido produciendo impactos sobre el suelo, la fauna y la flora existentes, además de condicionar la utilización de las aguas de aquellas áreas para usos diversos (consumo humano, agrícola, ganadero, etc.).

Análisis químicos, que incluyeron metales pesados, realizados en el año 2000, a muestras de agua tomadas durante el estudio "Evaluación de la contaminación de aguas, relacionadas con la actividad minera, en los ríos Llaucano y Tingo-Maigasbamba" desarrollado en el Instituto de Hidráulica, Hidrología e Ingeniería Sanitaria de nuestra universidad, reflejaron evidencias de contaminación, presumiblemente ligada a actividades mineras, que debía ser estudiada con mayor profundidad para evaluar el estado de contaminación y su grado de evolución, que permita esclarecer las fuentes o focos causantes de esa contaminación. Entre las técnicas propuestas y aplicadas en el presente estudio, tenemos el estudio químico y mineralógico de sedimentos, como complemento al estudio de aguas, y el tratamiento estadístico aplicado a los resultados correspondientes a los elementos analizados mediante la aplicación de un análisis univariante y otro multivariante, para lo cual se utilizó el paquete informático MINITAB 15 bajo entorno de Windows.

La integración de estas técnicas nos ha permitido establecer afinidades y correlaciones entre las muestras analizadas y contribuir a identificar posibles fuentes de la contaminación producida.

1.2 Objetivos

El objetivo general del presente trabajo de Tesis de Maestría es la integración de técnicas aplicables al estudio de contaminación de cauces afectados por la minería metálica.

Para el logro del objetivo general se establecieron los siguientes objetivos específicos:

1. Identificar niveles de contaminación de aguas, mediante técnicas de análisis químicos.
2. Identificar niveles de contaminación de sedimentos, mediante técnicas de análisis químicos.

3. Identificar especies minerales contaminantes y su posible fuente u origen, así como la distancia relativa de la misma y el tiempo relativo de permanencia en los cauces, mediante técnicas microscópicas, para el caso de sedimentos, y técnicas de análisis estadístico univariantes, bivariantes y multivariantes para el caso de aguas y sedimentos.
4. Establecer correlaciones entre contaminaciones, así como entre contaminaciones y fuentes.

1.3 Hipótesis

Los ensayos químicos de aguas superficiales, complementados con los ensayos químicos de los sedimentos correspondientes y con los ensayos mineralógicos, como microscopía binocular y de reflexión, e integrados con técnicas estadísticas contribuyen a identificar correlaciones entre contaminaciones existentes y fuentes de contaminación.

1.4 Antecedentes bibliográficos

- Andrew W. Macfarlane/Ulrich Petersen. (1990). "Pb Isotopes of the Hualgayoc Area, Northern Peru: Implications for Metal Provenance and Genesis of a Cordilleran Polymetallic Mining District". Department of Earth and Planetary Sciences. Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138. *Economic Geology*. Vol. 85. Define al distrito de Hualgayoc, como un típico distrito metálico de plomo (Pb), zinc (Zn), plata (Ag) y cobre (Cu). La zona mineralizada de Hualgayoc, presenta dos tipos de mineralización, la que corresponde a la quebrada Hualgayoc, que es polimetálica con especial presencia de sulfuros de plomo y zinc, y la correspondiente a la Quebrada Tingo que es cuprífera y argentífera. La industria minero-metalúrgica, ubicada en la cabecera de la sub-cuenca del Río Arascorgue es muy activa, y las exploraciones y explotaciones mineras datan de la época de la Colonia, lo cual demuestra la importancia de las reservas mineras de la zona. Actualmente, el distrito produce cantidades modestas de plomo, zinc, plata, cobre y oro, en menor cantidad, desde depósitos tipo veta y manto. Adicionalmente, las exploraciones mineras se han extendido hasta la sub-cuenca vecina del Río Tingo-Maigasbamba, en donde existen importantes yacimientos de cobre y plata.
- Cabri, L. J. & D.J. Vaughan (Eds.). (1998). "Modern approaches to Ore and Environmental Mineralogy. Mineral. Assoc. Canada". Manual de mineralogía de menas metálicas con enfoque ambiental.
- Gilles, A. Tremblay. (2000). "Proceedings from the Fifth International Conference on Acid Rock Drainage". Society for Mining Metallurgy, and Explotation. ICARD 2000. España. Define la prevención como la mejor estrategia, puesto que una vez que los minerales de sulfuro empiezan a reaccionar y producir un drenaje contaminado, la contaminación es muy difícil de contener.
- Hudson-Edwards, K.A. C. Schell and M.G. Macklin. (1999). "Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining en the Río Tinto area,

mineralógico de la contaminación de un cauce, ocasionado en la cuenca de un río con minería antigua y reciente.

- Instituto Tecnológico Geominero de España. (1995). "Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. Madrid. Señala que los problemas de toxicidad en escombreras y presas de residuos se deben principalmente a la presencia de metales pesados (cobre, zinc, plomo y níquel) y otros metales (aluminio, manganeso) que quedan como residuos de las plantas de concentración, o por ir como acompañantes del mineral extraído y ser abandonados –in situ-.
- Mackin, M.G. and K. Kimek. (1992). "Dispersal, storage and transformation of metal-contaminated alluvium in the upper Vistula basin, southwest Poland". *Applied Geography*, 12: 7-30. Se describe un estudio sobre la evolución de la contaminación de metales en aluviones de la cuenca del río Vístula (Polonia).
- Macklin, M.G. Hudson-Edwards and E.J. Dawson. (1997). "The significance of pollution from historic metal mining in the Pennine orefields on river sediment contaminant fluxes to the North Sea". *The Science of the Total Environment*, 194/195: 391-397. Describe un caso de estudio de contaminación de un distrito histórico, utilizando los sedimentos
- Shepherd, T./Millones, E./Mogrovejo, J./Calzado, I. (1995). "Guía para elaborar Programas de Adecuación y Manejo Ambiental". Sub-Sector Minería. Ministerio de Energía y Minas. Lima-Perú. Sostiene que el desarrollo minero puede afectar toda la economía de la región en la cual se desenvuelve y que los impactos económicos pueden ser tanto positivos como negativos y principalmente suceden porque el proyecto afecta los cambios en los valores de la tierra, el empleo y los ingresos económicos.
- Summers, Linda/BONELLI, Julio. (1995). "Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas". Dirección de Asuntos Ambientales. Sub-Sector Minería. Ministerio de Energía y Minas. Lima-Perú. Sostiene que la generación de ácido es originada por la oxidación de los minerales sulfurosos cuando son expuestos al aire y agua, lo cual da por resultado la producción de acidez, sulfatos y la disolución de metales. Además se sostiene que no todos los minerales sulfurosos son igualmente reactivos, ni la acidez se produce en igual proporción. Asimismo, que no todos los minerales sulfurosos o rocas con contenido de sulfuro son potencialmente generadores de ácido.
- Universidad de Piura. (2000). Evaluación de la contaminación de aguas, relacionadas con la actividad minera, en los ríos Llaucano y Tingo-Maigasbamba". Estudio desarrollado a solicitud de la Municipalidad de Bambamarca, con la finalidad de evaluar los niveles de contaminación existentes en los ríos Tingo-Maigasbamba, Arascorgue y Llaucano. El estudio se sustentó en el análisis físico-químico y químico de metales pesados de muestras de aguas superficiales tomadas en los cauces de los ríos Llaucano, Tingo-Maigasbamba y Arascorgue, afectados por la actividad minera.

1.5 Justificación de la investigación

Normalmente para conocer el grado de contaminación de un río o cauce, se suele recurrir a la toma de muestras de agua y a los correspondientes análisis químicos. Es una información básica e importante, pero nos da una información muy limitada para realizar un estudio más profundo de la contaminación. Además, ignora en qué medida la contaminación está ligada a los sedimentos, tanto la debida a la carga metálica incorporada a éstos por intercambio catiónico, como la debida a partículas de minerales metálicos provenientes de la actividad minera.

El estudio de estos sedimentos requiere incluir en la investigación, la correspondiente toma de muestras, y posteriormente aplicarles no sólo técnicas de análisis químico clásico, sino también técnicas de análisis mineralógico. Además cuando se trata de un estudio que implica un volumen de muestras abundante, como en el presente caso, el tratamiento de los resultados de análisis químico mediante técnicas estadísticas univariantes, bivariantes y multivariantes es indudable que puede ser también una herramienta útil para establecer afinidades y correlaciones entre las muestras, para el esclarecimiento de las posibles fuentes o causas de la contaminación.

En el caso que nos ocupa, una parte de la carga contaminante del cauce está constituida por partículas minerales, provenientes tanto de las explotaciones como de las plantas de tratamiento, así como de las canchas de relaves no restauradas. Por tanto, resultan muy útiles las técnicas mineralógicas de estudio, en especial las técnicas de microscopía binocular y de reflexión. Con éstas es posible identificar las especies minerales contaminantes, así como las asociaciones minerales presentes, las texturas características de estos minerales, etc. Nos permitirán también establecer distancias relativas recorridas desde la fuente, tiempo relativo de permanencia en el cauce, etc. De esta manera obtendremos información muy útil para poder determinar las fuentes de la contaminación de los sedimentos de los cauces.

La aplicación de técnicas de análisis estadístico univariante, bivariantes y multivariante a los datos de análisis químico, tanto de aguas como de sedimentos, permitirán sacar conclusiones que también servirán de ayuda en el establecimiento de las cargas metálicas que, dentro de la contaminación, sean debidas a origen natural o a origen antrópico. Y también nos servirán como ayuda en la correlación entre contaminaciones y fuentes.

En conclusión, se pretende mostrar la utilidad y, por tanto, la conveniencia de complementar de forma rutinaria, las técnicas tradicionales de análisis químico en aguas con las que aquí se mencionan. Para lo que nos basamos en el estudio de un caso práctico de contaminación de cauces, debida a actividades mineras.

Capítulo 2

Materiales y métodos

2.1 Descripción de técnicas

2.1.1 Técnicas de análisis físico-químico y/o químico

2.1.1.1 Aplicables a aguas

a. Importancia del estudio de aguas superficiales

El estudio de aguas superficiales, realizado a solicitud de la Municipalidad de Bambamarca, permitió conocer el estado de estas aguas, en relación a su calidad físico-química y química (contenido de metales pesados) que es alterada por las actividades mineras desarrolladas a la fecha de estudio (año 2000), así como por los efectos del pasivo ambiental minero existente en la zona de estudio.

b. Toma de muestras

Se realizó un muestreo preliminar, entre el 27 y el 29 de abril del año 2000. Se recolectaron 20 muestras de agua en las subcuencas del Río Tingo-Maigasbamba y Arascorgue hasta sus confluencias con el Río Llaucano. Se escogieron estas subcuencas porque en ellas se encuentran concentradas las actividades mineras, tanto abandonadas como en operación actual, que a su vez causan y/o conviven con el pasivo ambiental existente.

El muestreo preliminar se realizó con la finalidad de realizar una evaluación previa que nos permitiría seleccionar las zonas críticas, cuyo estudio posterior nos llevaría a una evaluación más profunda de la contaminación de las aguas de la cuenca del Río Llaucano.

Posteriormente, se realizó una segunda campaña de muestreo que contribuyó a complementar la campaña preliminar. Se recolectaron un total de 45 muestras de aguas, correspondientes a:

- Muestras de agua tomadas en las cabeceras de cuenca o aguas arriba de las fuentes potenciales de contaminación minera.
- Muestras de agua tomadas aguas abajo de las fuentes potenciales de contaminantes.
- Muestras tomadas aguas arriba y aguas abajo de la confluencia de corrientes contaminadas con cursos naturales como el río Tingo-Maigabamba, Arascorgue y Llaucano,
- Muestras tomadas en las fuentes de contaminación, que para el presente estudio lo constituyen las operaciones mineras en estado de abandono y en actividad.

Foto 2.1. Toma de muestra de agua en canal de drenaje de Mina Culquirrumi.



Fuente: Propia.

Las muestras fueron recolectadas en botellas plásticas de 1 litro, las que fueron debidamente rotuladas y selladas para su transporte desde la ciudad de Bambamarca hasta el Laboratorio de Ingeniería Sanitaria de la Universidad de Piura, en la ciudad de Piura, desde el cual fueron enviadas las muestras correspondientes a un Laboratorio de Canadá.

Para el desarrollo del presente estudio, se han seleccionado un total de 34 muestras de agua. En la Tabla 2.1 se presenta la descripción de muestras de agua y de sedimentos recolectados y que han sido consideradas en el presente estudio.

En las Figuras 2.1, 2.2 y 2.3 se presentan los diagramas de flujo seguidos durante la recolección de muestras de aguas y de sedimentos considerados en el presente estudio, los cuales han sido organizados por sub-cuenca: del Río Tingo-Maigabamba, del Río Arascorgue y del Río Llaucano.

Tabla 2.1. Descripción de muestras de agua (M) y sedimentos (S) seleccionados para evaluación en las Sub cuencas de los Ríos Tingo Maigashbamba, Arascorgue y Llaucano.

Muestras de Agua (M) y Sedimentos (S)*	Descripción	pH (agua)	C _E μS/cm (agua)
Sub-cuenca del Río Tingo-Maigashbamba			
M31/S31	Agua/sedimento tomados en arroyo de cabecera de cuenca del Río Tingo-Maigashbamba.	6,9	352
M32/S32	Agua/sedimento de arroyo posiblemente proveniente de Planta de Flotación de Mina Carolina.	7,6	582
M34/S34	Agua/sedimento de Quebrada El Aguila, aguas arriba de posible efluente de cancha de relaves de La Jaica (Mina Carolina)	8,1	180
M36	Agua tomada de cancha de relaves de Mina Carolina, antes de Estación de Bombeo.	7,7	1 651
M37/S37	Agua/Sedimento tomados en Río Tingo-Maigashbamba después de Estación de Bombeo.	7,6	496
M38/S38	Agua/Sedimento tomados en Quebrada Tres Amigos, aproximadamente 200 m antes de su confluencia con el Río Tingo-Maigashbamba.	7,5	418
M43/S43	Agua/Sedimento tomados en Quebrada Sinchao, aproximadamente 1 km de cancha de relaves.	2,6	3 130
M44/S44	Agua/Sedimento tomados en Quebrada Tres Amigos, aguas arriba de pilas de lixiviación.	6,2	357
M46/S46	Agua/Sedimento tomadas en pilas de lixiviación de Mina San Nicolás.	6,7	2 580
M48	Agua tomada en Quebrada Tres Amigos, después de la confluencia de los efluentes de las pilas de lixiviación y la Quebrada Sinchao.	6,8	442
M40/S40	Agua/Sedimento tomado en Río Tingo-Maigashbamba, aproximadamente 30 m aguas abajo de la afluencia de la Quebrada Tres Amigos.	5,7	543
M59/S59	Agua/Sedimento de Río Tingo Maigashbamba, aproximadamente 6 km aguas debajo de M40/S40.	7,9	390
M58/S58	Agua/Sedimento tomados en Río Pucpe, aproximadamente 50 m aguas arriba de su confluencia con el Río Tingo-Maigashbamba.	8,5	200
M14	Agua de Río Tingo-Maigashbamba, aguas abajo de la afluencia del Río Miches.	8,0	218
M61/S61	Agua/Sedimento tomado en el Río Tingo-Maigashbamba, in la misma zona de Tres Chorros.	8,3	198
M63/S63	Agua/Sedimento tomados en el Río Tingo-Maigashbamba, antes de su confluencia con el Río Llaucano.	8,2	185
R1	Residuo tomado en cancha de relaves de Banco Minero.		
Sub-Cuenca del Río Arascorgue			
M25/S25	Agua/Sedimento tomadas en Quebrada Mesa de Plata, aguas arriba de quebrada que viene de Mina Carolina.	6,7	891
M24/S24	Agua/Sedimento de Quebrada que viene de Mina Carolina (canchas de material estéril).	3,2	1363
M26/S26	Agua/Sedimento tomado en efluente de galerías y relaves mineros de Mina Carolina.	6,4	1228
M22/S22	Agua/Sedimento tomados en la Quebrada Mesa de Plata, afluente de la Quebrada Hualgayoc.	5,3	1108
M27/S27	Agua/Sedimento tomado en Quebrada El Dique, después de atravesar cancha de relaves.	3,3	1120
M28	Agua de galería que descarga en Quebrada El Dique.	3,1	4080
M29/S29	Agua/Sedimento de Río Arascorgue, aproximadamente a 2 km aguas abajo de la confluencia de una pequeña quebrada con la Quebrada Hualgayoc.	4,4	747
M13/S13	Agua/Sedimento tomados en Río Arascorgue, antes de su confluencia con el Río Llaucano.	7,6	500
Sub-Cuenca de Río Llaucano			
M65/S65	Agua/sedimento tomados en Quebrada Honda, antes de su confluencia con la Quebrada El Campanario.	8,4	212
M68/S68	Agua tomados en Quebrada "El Campanario", antes de su afluencia en Quebrada Honda.	8,4	212
M67/S67	Agua/sedimento tomados en Río Pachachaca.	8,4	220
M51/S51	Agua/sedimento tomados en Río Chanta, aproximadamente 50 m aguas arriba de la afluencia del Río Tambillo.	8,5	271
M55/S55	Agua/sedimento tomados en Río Llaucano aproximadamente 300 m aguas abajo de la confluencia de los Ríos Tambillo.	8,1	274
M56/S56	Agua/sedimento tomados en Río Llaucano, aproximadamente 100 m aguas arriba de la afluencia del Río Pomagón.	8,1	287
M7/S7	Agua/sedimento tomados en Río Pomagón, aguas arriba de su afluencia en el Río Llaucano.	8,4	215,7
M57/S57	Agua/sedimento tomados en Río Llaucano, aproximadamente 100 m aguas abajo de su confluencia con el Río Arascorgue.	7,9	326
M62/S62	Agua/sedimento tomados en Río Llaucano, aproximadamente 100 m aguas arriba de su confluencia con el Río Tingo-Maigashbamba.	8,3	282
M64/S64	Agua/sedimento tomada en Río Llaucano, aguas debajo de su confluencia con el Río Tingo-Maigashbamba.	8,2	220

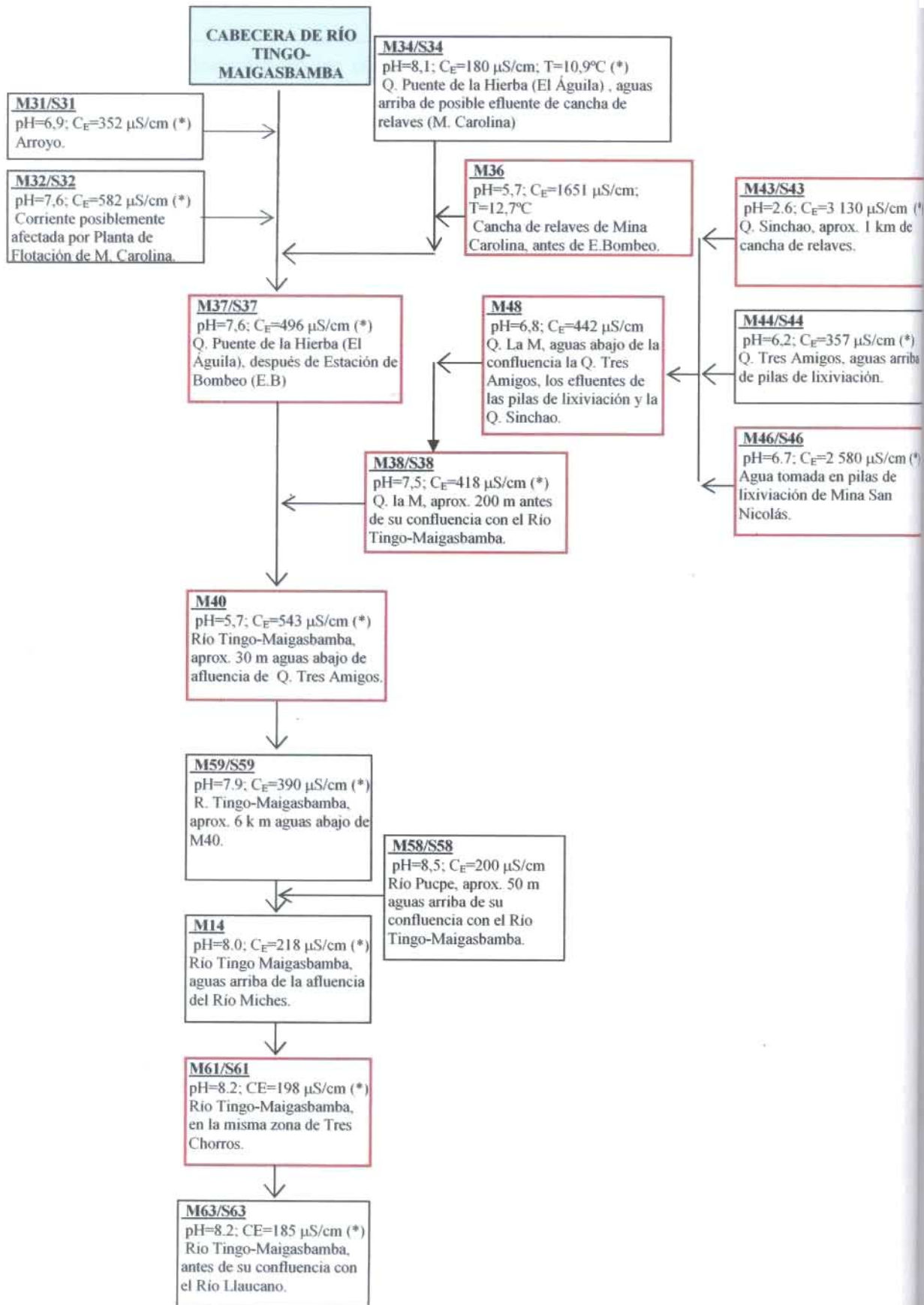
Fuente: Universidad de Piura. "Evaluación de la contaminación de aguas, relacionadas con la actividad minera, en los ríos Llaucano y Tingo-Maigashbamba". 2000.

Nota: *: En forma simultánea a la toma de muestra de agua, se realizó la toma de muestras de sedimentos en los cauces de los ríos y otras zonas representativas. Generalmente, los puntos de toma de muestra de sedimento coincidieron con los de la toma de muestras de agua. La metodología de muestreo de sedimentos se explica en el punto 2.1.1.2.b.

R1: Residuo tomado en cancha de relaves.

: Muestras de sedimentos utilizados en ensayo mineralógico binocular.

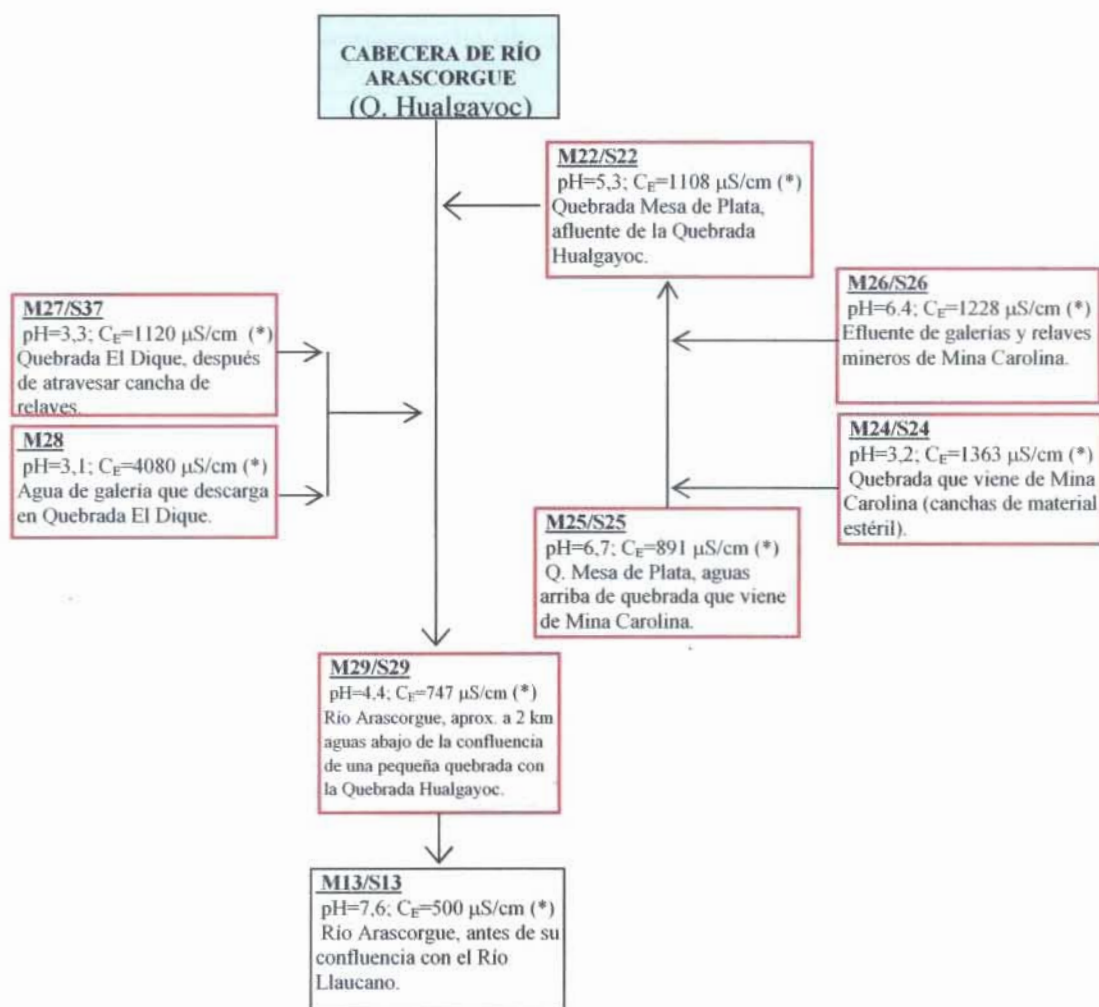
Figura 2.1. Diagrama de flujo de muestras de aguas (M) y sedimentos (S) tomados en Subcuenca del Río Tingo-Maigasbamba.



Fuente Propia.

Nota: (*): Datos de campo del agua.

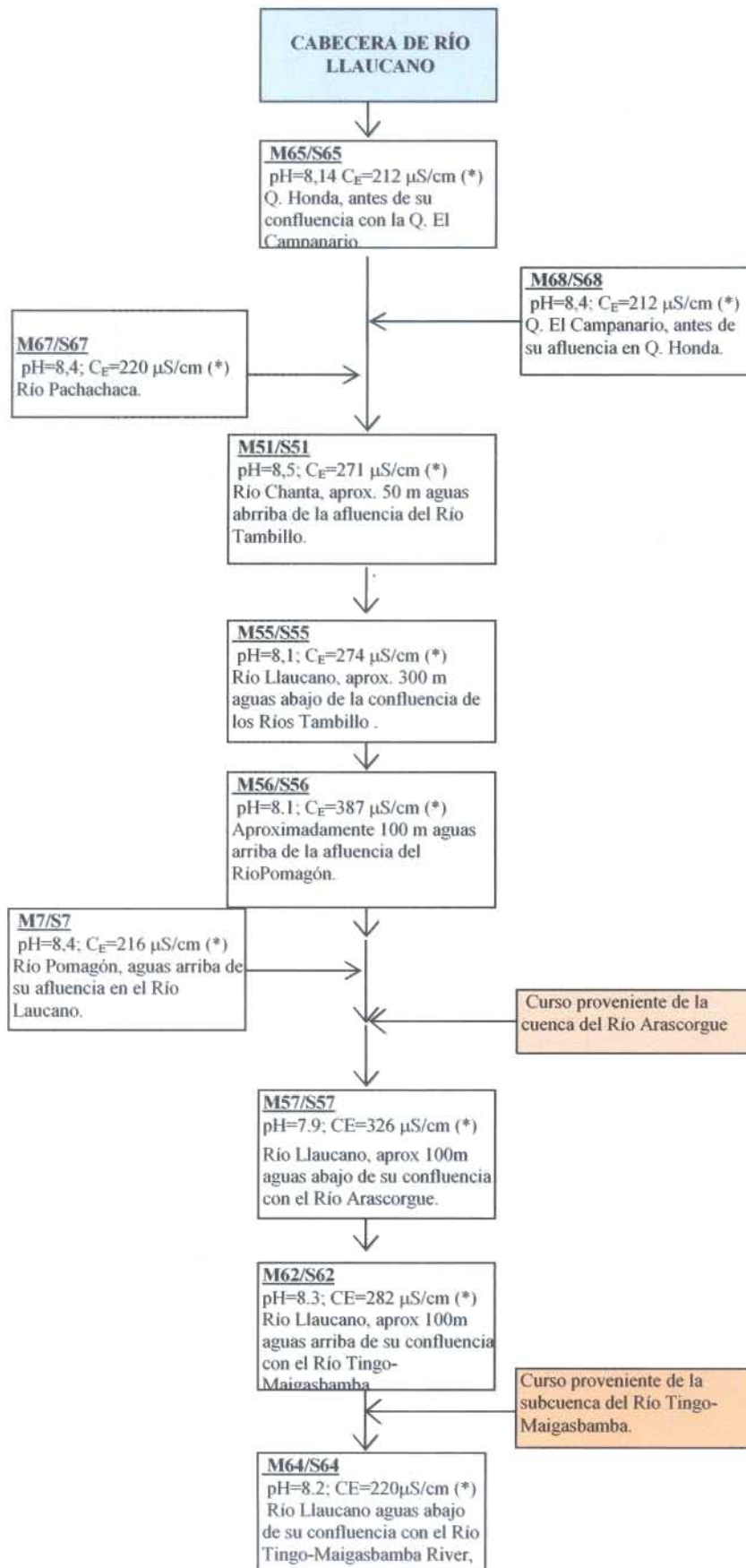
Figura 2.2. Diagrama de flujo de muestras de aguas (M) y sedimentos (S) tomados en la Subcuenca del Río Arascorgue.



Fuente Propia.

Nota: (*): Datos de campo del agua.

Figura 2.3. Diagrama de flujo de muestras de aguas (M) y sedimentos (S), tomados en Subcuenca del Río Llaucano.



Fuente Propia.

Nota: (*): Datos de campo del agua.

c. Análisis físico-químicos y químicos más representativos

El análisis físico-químico y/o químico realizado a las muestras de agua recolectadas en los cauces de los ríos, tuvo como objetivo determinar las características físico-químicas y/o químicas más representativas de las fuentes contaminantes más importantes, así como de los cursos principales de agua superficial de la cuenca del río Llaucano, a la fecha en que se llevó a cabo la investigación.

De acuerdo al presupuesto disponible, los análisis físico-químicos y químicos más representativos evaluados en las muestras recolectadas tanto durante el muestreo preliminar (primera campaña) como en la segunda campaña fueron: el potencial de hidrógeno (pH), la temperatura (T) y la conductividad eléctrica (C_E). Asimismo, se analizaron metales pesados totales y disueltos como Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plata (Ag), Plomo (Pb), Zinc (Zn), entre otros.

Las mediciones de pH, temperatura y conductividad eléctrica en las muestras recolectadas, fueron realizadas *in situ* utilizando el equipo multiparamétrico WTW F3, ver Figura 2.4.

Figura 2.4. Equipo multiparámetros utilizado en las mediciones *in situ*.



Fuente: Catálogo de equipo.

Los análisis de metales totales de Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Cromo (Cr), Hierro (Fe), Mercurio (Hg), Plata (Ag), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de las muestras tomadas durante la primera campaña de muestreo, fueron realizados en el Instituto Nacional Geológico, Mínero y Metalúrgico (INGEMMET), ubicado en la ciudad de Lima.

Los análisis de metales totales y disueltos de las muestras recolectadas durante la segunda campaña de muestreo fueron realizados en el Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd ubicado en la ciudad de Vancouver, Canadá. Las muestras de agua fueron debidamente rotuladas, selladas y preservadas con ácido nítrico (1 mL HNO_3/L de muestra) para su envío a Canadá, vía DHL Service.

2.1.1.2 Aplicables a sedimentos

a. Importancia del estudio de sedimentos

El *estudio de sedimentos*, recolectados en los cauces de los ríos Tingo-Maigasbamba, Arascorgue y Llaucano, ha permitido conocer la calidad química relacionada con el contenido de metales pesados así como de parámetros físico-químicos básicos como pH y sulfuros. Estos cauces son los receptores de los residuos sedimentables de los procesos mineros y son una clara evidencia del impacto de estos residuos sobre la calidad de vida de la población que viene desarrollando actividades domésticas, agrícolas y ganaderas, por lo general, en las cercanías de éstos.

b. Toma de muestras

Durante la segunda campaña de muestreo, se recolectaron 30 muestras de sedimentos (S) y una muestra de residuo de cancha de relaves (R1).

Las muestras de sedimento fueron recolectadas haciendo uso de una palana pequeña y una espátula, tratando de que el punto sea inmediato al de la toma de muestra de agua y que, al mismo tiempo, conserve la fracción fina (arcilla). Esto último fue posible, cuidando de que la muestra sea tomada en una zona donde el agua no tenga fuerte velocidad, ya que de lo contrario, el sedimento sería esencialmente de arena y con escasa fracción fina, que es donde se concentran las arcillas, principales portadoras de los contenidos catiónicos de sedimentos. Mientras que la fracción de arena daría escasa o nula información de los elementos metálicos transportados en solución por el agua. Es importante considerar este aspecto, especialmente cuando la contaminación es debida a metales provenientes de labores de la minería metálica (Zinc, Cobre, Plomo, etc.). Ver Foto 2.2.

Cada muestra de sedimento húmedo recolectada se almacenó en una bolsa plástica gruesa y se procedió a anudarla para evitar vertidos y contaminaciones posteriores. Posteriormente, se colocó otra bolsa con las mismas características como seguridad, previa rotulación, utilizando una etiqueta y un plumón de tinta indeleble. Finalmente, se procedió a pegar una cinta adhesiva especial sobre la etiqueta para evitar su deterioro y prevenir la pérdida de información, debido a la humedad.

En la Tabla 2.1 se presentó la descripción de las muestras de sedimentos y de aguas seleccionados para su evaluación en el presente estudio.

En las Figuras 2.1, 2.2 y 2.3 se presentaron los diagramas de flujo seguidos durante la recolección de muestras de sedimentos y de aguas considerados en el presente estudio.

Foto 2.2. Toma de muestra de sedimento en cauce de río Tingo-Maigashamba.



Fuente: Propia.

c. Análisis químicos más representativos

Para el estudio químico de sedimentos y de la muestra de relave, se analizó el pH, los sulfuros y metales pesados (Ag, Al, As, Ba, Ca, Cd, Co, Cr, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Mo, Na, Ni, P, Pb, S, Sb, Se, Sr, V, Zn) en las muestras recolectadas.

Al igual que en el caso de las muestras de agua, los ensayos de metales pesados de las muestras de sedimentos y suelo agrícola fueron realizados en el Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de la ciudad de Vancouver, Canadá.

2.1.2 Técnicas de análisis mineralógico aplicadas a sedimentos

2.1.2.1 Análisis mineralógico utilizando microscopio binocular

a. Importancia del estudio binocular

Se realizó el estudio binocular, basado en la observación directa, mediante microscopio binocular, de fracciones granulométricas de muestras de sedimentos de los cauces afectados por labores mineras, con la finalidad de:

- Verificar la mayor o menor presencia de sulfuros en los sedimentos tomadas en los cauces afectados por las labores mineras.
- Seleccionar las muestras más representativas para el posterior estudio con microscopio de reflexión.

b. Toma y preparación de muestras

Como ya se mencionó, con la finalidad de constatar la presencia de sulfuros, se muestrearon sedimentos aguas abajo de las labores mineras como plantas de flotación, correspondientes a cada cauce evaluado:

- Muestras S32, S40 y S59: recolectadas a lo largo del Río Tingo-Maigasbamba, desde la cabecera de cuenca hasta su afluencia en el Río Llaucano.
- Muestras S22, S26: recolectadas a lo largo del cauce del Río Arascorgue, desde la afluencia de la Quebrada Mesa de Plata hasta el Río Arascorgue (cabecera de cuenca), hasta su desembocadura en el Río Llaucano.

A continuación se presenta una descripción de las muestras recolectadas para el estudio binocular:

- S32: Sedimento de cauce presumiblemente afectado por drenajes de la Planta de Flotación de Mina Carolina (sub-cuenca de Río Tingo-Maigasbamba).
- S40: Sedimento de cauce de Río Tingo-Maigasbamba, tomado aguas abajo de la afluencia de la Quebrada Tres Amigos (sub-cuenca del Río Tingo-Maigasbamba).
- S59: Sedimento de cauce de Río Tingo-Maigasbamba, tomado aproximadamente 6 km aguas abajo de S40 (sub cuenca del Río Tingo-Maigasbamba).
- S26: Sedimento de efluente de galerías y relaves mineros de Mina Carolina, afluente de Q. Mesa de Plata, quien, a su vez, es afluente de Quebrada Hualgayoc (sub cuenca del Río Arascorgue).
- S22: Sedimento de cauce de Quebrada Mesa de Plata, tomado aguas arriba del punto de confluencia con la Quebrada Hualgayoc (sub-cuenca del Río Arascorgue).

Cada una de las muestras seleccionadas, fue sometida a separación granulométrica mediante tamizado en un equipo Tamizador Vibratorio Retsch, obteniéndose las fracciones granulométricas indicadas en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Fracciones granulométricas de cada muestra de sedimento, utilizadas en Ensayo Binocular.

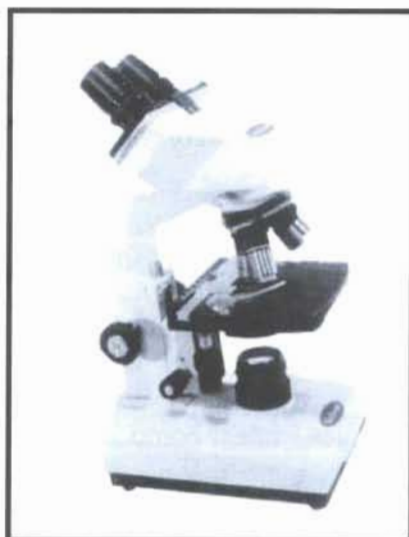
Muestra de sedimento	Fracción granulométrica (μm)			
	S40/S32/S59	>400	400 - 250	250 - 125
S26/S22				

Fuente: Propia.

c. Ensayo binocular

En cada fracción granulométrica de cada muestra de sedimento, se realizó la observación utilizando un microscopio binocular (ver Figura 2.5 y Foto 2.3).

Figura 2.5. **Microscopio binocular utilizado en el estudio binocular de muestras de sedimentos.**



Fuente: http://www.equipesca.com.mx/data/media/14/Microscopio_binocular.jpg.

En cada una de las fracciones granulométricas de las muestras de sedimentos evaluadas, se realizaron observaciones relacionadas con la mayor o menor presencia de fragmentos de roca, de feldspatos, de minerales fácilmente alterables y blandos, de granos de cuarzo y sulfuros, especialmente **piritas**. Ver Foto 2.3.

Foto 2.3. **Realizando estudio binocular de muestras de sedimentos en Laboratorio de Ingeniería Sanitaria y utilizando microscopio binocular de Laboratorio de Metalotecnia.**



Fuente: Propia.

2.1.2.2 Análisis mineralógico utilizando microscopio de reflexión

El análisis mineralógico utilizando microscopio de reflexión, se basa en la identificación al microscopio –de reflexión- de minerales presentes en superficies pulidas de muestras de sedimentos tomados tanto en los cauces de los ríos y cauces cercanos a yacimientos mineros, aprovechando las propiedades físicas y ópticas de estos minerales.

a. Importancia del estudio con microscopio de reflexión

El estudio microscópico de reflexión se realizó con la finalidad de obtener la siguiente información:

- Especies minerales presentes en el sedimento, especialmente sulfuros y otros minerales provenientes de labores mineras.
- Abundancia relativa de dichos minerales.
- Características de los minerales, tales como formas, granulometrías, grados de alteración, grado de redondeamiento, etc, que puedan indicar:
 - su fuente, la mayor o menor distancia recorrida, el tiempo de permanencia en el cauce, etc.
 - la mayor o menor facilidad para degradarse mecánica y químicamente, durante su desplazamiento dentro del cauce.

b. Toma y preparación de muestras de sedimentos y relaves

Las muestras estudiadas fueron tomadas en los siguientes cauces:

- Muestras S22, S26 y S32, tomadas cerca de yacimientos mineros como Mina Carolina.
- Muestra SP4 tomada en el yacimiento minero San Nicolás; y la muestra SP5 tomada en el yacimiento minero Sinchao; ambos ubicados en la sub-cuenca del Río Tingo-Maigasmaba.
- Muestras SP2, SP y SP3 tomadas en la Mina Carolina ubicada en la sub-cuenca del Río Arascorgue.
- Muestras S40 y S49, tomadas en el cauce del Río Tingo-Maigasbamba.
- Muestras tomadas en las canchas de relaves abandonadas como la del Banco Minero.

La preparación de las muestras de sedimentos y relaves, para el análisis microscópico se realizó en dos etapas:

- La preparación de la probeta.
- El pulimento de la probeta.

- **Preparación de la probeta**

De cada fracción granulométrica de sedimento y de relave, se tomó una pequeña porción de muestra; luego fue embutida en una resina de tipo fenólica y endurecida térmicamente.

- **Pulimento de la probeta**

A continuación, se realizó la preparación mecánica mediante esmerilado y pulido, que, para unas muestras, se realizó en una máquina pulidora (ver Figura 2.6) del Laboratorio de Metalotecnia de la Universidad de Piura en Piura; mientras que para otras, fue realizado en el Departamento de Prospección y Explotación de Minas de la Universidad de Oviedo en España.

Figura 2.6. Pulidora utilizada para pulir la briqueta.



Fuente: <http://mediateca.educa.madrid.org/imagen/imagenes/publicas/tam4/4e/4evzskj8nczpli4d.jpg>.

En total se prepararon 18 probetas pulidas.

c. Estudio microscópico de reflexión

Se basó en el estudio de 18 probetas pulidas, utilizando microscopio de reflexión y registrando todas las observaciones realizadas en cuanto a la presencia de minerales presentes en el sedimento, especialmente sulfuros y otros minerales provenientes de labores mineras; la abundancia relativa de los minerales presentes y las características de estos minerales como forma, granulometría, grado de redondamiento, etc.

Desde el punto de vista de contaminación, la evaluación se ha realizado en base a una información semi-cuantitativa, utilizando términos relativos como: *muy abundante*, *abundante*, *muy poco* e *indicios*.

El estudio se complementó con microfotografías de algunas muestras más representativas que han constituido una importante ayuda en la elaboración y fundamentación de las conclusiones del presente trabajo de tesis. Las microfotografías fueron preparadas por el Laboratorio de Prospección y Exploración de Minas de la Universidad de Oviedo, España.

2.1.3 Técnicas de análisis estadístico: univariante, bivariante y multivariante

• Importancia de las técnicas de análisis estadístico

La Estadística es una disciplina que utiliza recursos matemáticos para reunir, organizar, presentar, analizar, resumir e interpretar una gran cantidad de datos obtenidos de experimentos, con el fin de obtener unas determinadas conclusiones y tomar unas determinadas decisiones².

Por ello, la Estadística puede ser aplicada a cualquier ámbito de la realidad, como la química. En el presente estudio será aplicado en el procesamiento de los resultados obtenidos en los ensayos químicos de muestras de aguas y de sedimentos tomados en la zona de estudio.

La Estadística nos proporciona tres diferentes técnicas para el análisis de datos. A continuación se describen las técnicas utilizadas en el presente trabajo de tesis:

- o Técnicas de **análisis univariante**: estudian una población a través de la información recogida para una única variable. Bajo el nombre de **análisis univariante** se incluyen todas las técnicas que permiten el análisis de una sola variable como la estimación de **estadísticos descriptivos** tales como la *media aritmética*, la *mediana*, la *desviación estándar*, la *varianza*, el *coeficiente de varianza* utilizados en el presente estudio y que han permitido obtener información sobre la tendencia central y la dispersión de los datos. Asimismo, se han elaborado los *gráficos de líneas* para una mejor visualización de la variación de las concentraciones de metales pesados contenidos de la información obtenida.
- o Técnicas de **análisis bivariante**: estudian una población a través de la información recogida para dos variables. El **análisis bivariante** considera la clasificación cruzada de las variables como el cálculo de *coeficientes de correlación* aplicado al presente estudio y que nos ha permitido encontrar algunas asociaciones significativas entre elementos metálicos evaluados en las muestras de aguas y sedimentos tomados.
- o Técnicas de **análisis multivariante**: permiten estudiar una población a partir de la información recogida para tres o más variables. En otras palabras el **análisis multivariante** permite sintetizar grandes cantidades de datos por medio de un número relativamente pequeño de parámetros, característica que convierte a las técnicas

² D.A. Lind, R.D. Mason, W.G. Marchal. (2001). "Estadística para Administración y Economía." Ed. Irwin McGraw-Hill.F.

incluidas en esta categoría en herramientas poderosas para una oportuna y conveniente simplificación en el análisis e interpretación de la información disponible.

Es importante considerar que las técnicas de tipo *univariante y bivariante* dan origen al análisis *multivariante*. Entre las técnicas de *análisis multivariante* utilizadas en el presente estudio tenemos: el *análisis de componentes principales*, el *análisis factorial* y el *análisis de clúster*.

- ✓ El *Análisis de Componentes Principales (ACP)*, es una técnica estadística multivariante que permite definir una estructura de serie más pequeña de dimensiones mediante la optimización de la reducción de las variables, que en nuestro caso son los elementos metálicos analizados en las muestras de aguas y sedimentos tomadas. Las variables resultantes son agrupadas en una estructura según componentes. Es decir, ante un banco de datos con muchas variables, el objetivo será reducirlas a un menor número perdiendo la menor cantidad de información posible.
- ✓ El *Análisis de Factores*, es similar al análisis de componentes principales y consiste en seleccionar los factores de tal forma que el primero recoja la máxima variabilidad posible de la variabilidad original; el segundo factor debe recoger la máxima variabilidad posible no recogida por el primero; y así sucesivamente. Del total de factores se elegirán aquéllos que recojan el porcentaje de variabilidad que se considere suficiente.
- ✓ El *Análisis de Cluster*: sirve para clasificar o agrupar un conjunto de observaciones de una población (elementos metálicos), en un número dado de grupos homogéneos o clusters o conglomerados, según la similitud entre las observaciones (muestras). Los grupos formados pueden ser representados mediante **dendrogramas**, que son gráficos que nos permitirá visualizar esta agrupación mediante líneas que unen a las ramas de los diferentes grupos de elementos metálicos formados.

• Software utilizado

El paquete estadístico utilizado para realizar el análisis univariante, bivariante y multivariante es el Minitab versión 15, por ser un software versátil para este tipo de estudios. Es un programa de fácil manejo, tiene como soporte el entorno Windows y permite importar datos con diferentes formatos como el Excel.

2.1.3.1 Técnicas aplicables a aguas

➤ **Análisis univariante**

Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva a los resultados obtenidos en los análisis químicos de 22 elementos metálicos seleccionados, y realizados en las 34 muestras de agua tomadas en la cuenca del río Llaucano y seleccionadas para el presente estudio. Tanto las muestras como la información obtenida han sido clasificadas de la siguiente manera:

- ✓ Toda la Cuenca Hidrográfica del Río Llaucano (34 muestras).
- ✓ Cauces no afectados por la minería (5 muestras).
- ✓ Cauces afectados por la minería (29 muestras).

A su vez, cada una de éstas ha sido sub-dividida en:

- ✓ Metales totales
- ✓ Metales disueltos

➤ **Análisis bivariante**

Se aplicaron técnicas de análisis estadístico bivariante para conocer las relaciones entre los elementos químicos analizados en las 34 muestras de aguas, tomados dos a dos. Se desarrollaron las matrices de correlación y se determinaron los coeficientes de correlación correspondientes para cada uno de los cauces de ríos evaluados.

➤ **Análisis multivariante**

Se aplicó el análisis multivariante a los resultados de los ensayos de 22 elementos químicos realizados en 34 muestras de aguas superficiales evaluadas.

Es conocido que sólo los sulfuros de metales alcalinos (Li, Na, K, Rb, Cs y Fr) y alcalinotérreos (Be, Mg, Ca, Sr, Ba y Ra) son solubles en agua, además del aluminio (Al). Se consideró el ensayo de sulfuros para conocer su afinidad con estos metales.

En este estudio, el alto número de variables disponibles (21 elementos metálicos más sulfuros, en total 22 ensayos) frente al número de muestras de agua evaluadas (34), podrá obviarse el método estadístico de análisis factorial con rotación de factores, ya que en este método es necesario que el número de variables (elementos analizados) sea menor que el número de muestras para que la matriz de correlaciones se pueda diagonalizar y para lograr esto se acude al análisis de componentes principales. Por lo que, en estas condiciones ambos métodos coinciden.

En la metodología, se procedió en primer lugar, a realizar el análisis de componentes principales, a fin de realizar una primera selección de las variables de estudio, seguidamente se aplicó el análisis de factores y, finalmente, el análisis de conglomerados o de Cluster.

2.1.3.2 Aplicables a sedimentos

➤ **Análisis univariante**

Para el estudio y evaluación estadística de los resultados obtenidos en veintiún (21) análisis de elementos metálicos y de sulfuros, realizados en las treinta (30) muestras de sedimentos tomadas en la cuenca hidrográfica del Río Llaucano, tanto las muestras como la información obtenida han sido seleccionadas y clasificadas de la siguiente forma:

- ✓ Toda la Cuenca Hidrográfica del Río Llaucano.
- ✓ Cauces no afectados por la minería.
- ✓ Cauces afectados por la minería.

Esta evaluación permitió calcular los valores medios, extremos (máximo y mínimo), la desviación estándar, la varianza y el coeficiente de varianza del contenido de elementos metálicos y de sulfuros en las muestras de sedimentos tomados a lo largo de cada uno de los cauces estudiados.

➤ **Análisis bivariante**

Se aplicaron técnicas de análisis estadístico bivariante para conocer las relaciones entre los elementos químicos analizados en las 30 muestras de sedimentos, tomados dos a dos. Se desarrollaron las matrices de correlación y se determinaron los coeficientes de correlación correspondientes para cada uno de los cauces de ríos evaluados.

➤ **Análisis multivariante**

Se aplicó el análisis multivariante a los resultados de los veintidós (22) ensayos realizados en treinta (30) muestras de sedimentos evaluadas.

En este estudio, al igual que en el de aguas, el número de variables disponibles (22 elementos metálicos) es menor al número de muestras de agua evaluadas (30). Por lo que podría no considerarse la aplicación del método estadístico de análisis factorial con rotación de factores y bastaría con considerar el análisis de componentes principales.

Capítulo 3

Resultados

3.1 Aplicación de las técnicas

3.1.1 Características del marco de aplicación

3.1.1.1 Cuenca hidrográfica del Río Llaucano

La cuenca hidrográfica del río Llaucano se encuentra ubicada en la provincia de Hualgayoc, departamento de Cajamarca, al norte-este del Perú, y está definida geográficamente entre los paralelos 6°39'20" y 6°47'22" de latitud sur y los meridianos 78°30'45" y 78°41'06" de longitud oeste de Greenwich. Ver Plano 01 en Anexo 3.1.

El río Llaucano tiene sus nacientes en las lagunas de Munyu y Picota, a 4 000 m.s.n.m., y su primer tramo, conformado por una quebrada, recibe el nombre de Pachachaca Chico, para luego de un cierto recorrido cambiar a Pachachaca y Tambillo. A partir de su confluencia con el río Chanta toma el nombre de Llaucano, el cual conserva hasta su desembocadura en el río Marañón.

3.1.1.2 Características hidrológicas.

- **Cuenca del Río Llaucano.**

La zona de estudio es la cuenca hidrográfica del Río Llaucano, con caudal permanente y varios tributarios, como los ríos Tingo-Maigasbamba, Arascorgue, Pomagón, Chanta y otros. Dicha cuenca vierte sus aguas al Río Marañón y finalmente al Atlántico.

En el Plano 01 del Anexo 3.1 se puede observar la cuenca hidrográfica del río Llaucano y los numerosos tributarios que componen su red de drenaje.

La cuenca hidrográfica presenta 9 sub-cuencas: del Río Llaucano, del Río Tingo-Maigasbamba, del Río Arascorgue, del Río Cuzco, de la quebrada Honda, del Río Chanta, del Río El Tambillo, del Río Pomagón y de la quebrada Cuñacales.

De todas las sub-cuencas, las más desarrolladas económicamente son las del Río Llaucano, del Río Tingo-Maigasbamba y del Río Arascorgue, habiéndose concentrado en la parte alta de las dos últimas un número significativo de plantas concentradoras y de centros de explotación minera. Esta es la razón por la que el estudio se centra en estas tres subcuencas.

El drenaje natural de la región es el producto de la erosión progresiva de los ríos durante el levantamiento Andino. Los ríos discurren en las mismas direcciones en que predominan las estructuras geológicas.

El Río Llaucano tiene un área de drenaje de 614,4 Km², recorriendo su curso más largo una distancia -desde sus orígenes hasta Bambamarca- de 40,7 Km y presentando un promedio de pendiente de 3,9 %. Los afluentes principales por la margen derecha son el Río Pomagón y las quebradas Cuñacales y La Quinoa, y por la margen izquierda los ríos Tingo-Maigasbamba, Arascorgue y Chanta y las quebradas Quinamayo y de Los Vargas.

El Río Llaucano abandona las zonas altas con fuerte pendiente, fluyendo aguas arriba de Bambamarca a través de un amplio y fértil valle. En este valle se junta con el Río Pomagón, que confluye por la margen derecha, y continúa con fuerte pendiente a través de los encañonamientos para desaguar en el Río Marañón.

La cuenca del Río Llaucano hasta la estación Corellama tiene un área de 620 km² y altitudes entre los 3 000 m.s.n.m. y más de 4 000 m.s.n.m. La vegetación en la parte alta y plana es de tipo de puna y páramo muy húmedo, y en la parte baja del tipo bosque muy húmedo y húmedo. En la parte baja se produce un aumento de pendiente.

- **Sub-cuenca del Río Tingo-Maigasbamba**

La sub-cuenca superficial tiene parte de su origen en regiones kársticas, de tal manera que no es posible determinar exactamente la sub-cuenca hidrológica. Su origen más definido está en la Quebrada Puente de la Hierba, convirtiéndose posteriormente en Río Tingo; y aguas abajo es ya conocido como Tingo-Maigasbamba. Sus afluentes están todos en la margen izquierda, siendo los principales los ríos Challagón, Miches y Pucpe y la Quebrada Machaypungo. Es un tributario del Río Llaucano, teniendo su punto de entrega al norte de la localidad de Bambamarca. Su área de drenaje es de 127,8 km² y recorre una longitud total de 25,7 km, con pendiente promedio de 5,5 %.

La sub-cuenca del río Tingo-Maigasbamba tiene un área de 750 km², la mayor parte de la cual alcanza una altura de 4 000 m.s.n.m., presentando como vegetación principal el páramo muy húmedo.

- **Sub-cuenca del Río Arascorgue**

Su origen está en la Quebrada Hualgayoc, convirtiéndose en Río Arascorgue aguas abajo de la confluencia de otra quebrada sin nombre, que confluye por la margen derecha. Es un tributario del Río Llaucano, teniendo su punto de entrega aproximadamente 4 km. aguas arriba de la localidad de Bambamarca. Su área de drenaje es de 57 km² y recorre una longitud total de 14 km, con pendiente promedio de 8,3 %¹.

3.1.1.3 Historia de la minería de la provincia

El distrito de Hualgayoc fue descubierto por los españoles en 1771 y ha sido históricamente uno de los más importantes distritos mineros de plata del Perú, habiendo producido un estimado de 1 500 000 kg de este metal.

La industria minero-metalúrgica, ubicada en la cabecera de la sub-cuenca del río Arascorgue, es muy activa, y las exploraciones y explotaciones mineras datan de la época de la Colonia, lo cual demuestra la importancia de las reservas mineras de la zona.

La producción durante los tiempos de la colonia fue principalmente a partir de vetas oxidadas, que se extendían desde la superficie hasta unas decenas o cientos de metros de profundidad. Posteriormente, la producción cambió a sulfuros primarios de plata y cobre en vetas. Actualmente, el distrito produce cantidades modestas de plomo, zinc, plata, cobre y oro (en menor cantidad) desde depósitos tipo veta y manto.

Posteriormente, las exploraciones mineras se extendieron hasta la sub-cuenca vecina del Río Tingo-Maigabamba, en donde se han encontrado importantes yacimientos de cobre y plata.

Toda esta conjunción de factores ha llevado a que en la zona se haya instalado un considerable número de plantas de concentración, en donde se recuperan minerales de cobre, plomo, zinc y plata, contando cada una de ellas con sus propias canchas de relaves, donde disponen los residuos sólidos resultantes del proceso de concentración de minerales.

- **Distrito de Hualgayoc: Minería antigua**

Subcuenca del Río Arascorgue

En la sub-cuenca del Río Arascorgue (ver Plano 02 del Anexo 3.1), antiguamente conocido como Río Hualgayoc, se ha instalado el mayor tonelaje de plantas de concentración, en **estado de abandono** a la fecha del estudio, y que describimos a continuación:

- ✓ **Negociación Minera Emilio Montoya Zambrano**

El inicio de sus operaciones data de 1975. La planta tenía capacidad para 120 tm/día y concentraba, principalmente, minerales de plomo y zinc, con bajas concentraciones de plata, habiendo producido durante el año 1982, 660 toneladas de plomo y 900 toneladas de

zinc. El agua procedente de la cancha de relaves, a la fecha del estudio, se vertía directamente en el río Arascorgue.

✓ **Los Mantos S.A.**

Está ubicada a un kilómetro de la ciudad de Hualgayoc. Con capacidad de 180 tm/día, se dedicaba a la concentración de mineral de plomo y zinc, habiendo extraído 2 800 toneladas de plomo y 6 880 toneladas de zinc durante el año 1 982.

La planta comenzó a operar en el año 1 972 y construyó su primera cancha de relaves frente a sus instalaciones al pie del acantilado, la que se saturó al poco tiempo, después de ocupar totalmente los terrenos disponibles. Posteriormente, los relaves eran conducidos hasta la cabecera del valle, en donde existen terrenos planos que facilitaron la construcción de una nueva cancha de relaves diferente. A la fecha del estudio se encontraba inoperativa y sus instalaciones han sido inventariadas como pasivos ambientales.

✓ **Ex Banco Minero (Unidad Hualgayoc)**

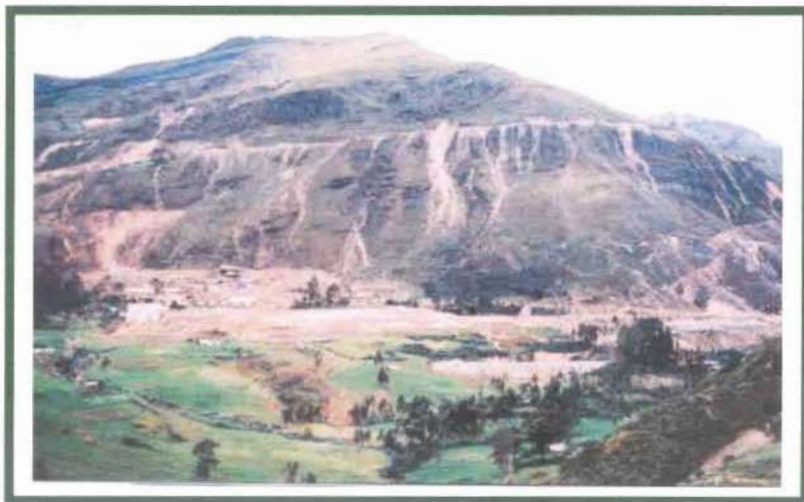
Localizada adyacente a la concentradora de la compañía minera “Los Mantos S.A”, margen derecha de la Quebrada Hualgayoc, entre la Mina Culquirrumi y Los Mantos. Su capacidad de procesamiento era de 100 tm/día.

La instalación contaba con capacidad para flotar minerales de plomo, cobre, zinc y plata y producir bulk de plomo y zinc. Fue puesta en operación en el año 1 950 con el fin de incentivar a la explotación minera del lugar y para concentrar el material que extraían los pequeños empresarios.

La forma inicial de disposición de relaves fue similar a la de “Los Mantos S.A.”, es decir, a un lado de los barrancos, cuya saturación originó que se construyera un nuevo depósito en la cabecera del valle, en donde se ubicaban las canchas de relaves de las compañías mineras vecinas (ver Foto 3.1).

A la fecha del estudio se encontraba inoperativa.

Foto 3.1. **Planta de procesamiento de mineral, perteneciente al Ex Banco Minero, en estado de abandono, con las canchas de relaves expuestas.**



✓ **Cía Minera Colquirrumi S.A.**

Es la concentradora de mayor capacidad instalada en la zona y trata 270 tm/día de mineral de cabeza y está ubicada en la ladera de la margen derecha del Río Hualgayoc. Dedicada a la concentración de minerales de plomo y zinc. En el año 1 982 obtuvo 3 618 toneladas de plomo y 11 495 toneladas de zinc.

Por estar ubicadas las instalaciones en la cabecera del valle, con sus tres canchas de relaves próximas a la planta de procesamiento, los lixiviados ácidos, con contenido de metales pesados que se generan, descargan sin tratamiento alguno en el cauce del Río Arascorgue (ver Foto. 3.2).

Foto 3.2. **Vista de instalaciones de Mina Colquirrumi, en estado de abandono, con cancha de relaves en primer plano.**



Fuente: Propia.

Subcuenca del Río Tingo-Maigabamba

En la sub-cuenca del río Tingo-Maigabamba (ver Plano 03 del Anexo 3.1), se encuentran otras instalaciones correspondientes a la minería antigua, en estado **de abandono** a la fecha del estudio, las cuales generan vertidos contaminantes. Un ejemplo significativo es la que a continuación se describe:

✓ **Mina Sinchao**

Se encuentra ubicada en la naciente de la quebrada del mismo nombre, aguas arriba de la Mina "San Nicolás" (área de planta de beneficio). En esta zona se ha vertido una gran cantidad de sulfuros, predominantemente pirita, que permanecen desparramados y expuestos al aire en las inmediaciones de los socavones, originando aguas muy ácidas. Esta zona constituye una cabecera de cuenca en la que el agua ya arranca en condiciones de alta contaminación (ver Fotos 3.3 y 3.4).

Fotos 3.3. **Vista de labores y relaves antiguos de la Mina Sinchao (Sinchao).**



Fuente: Propia.

✓ **Cía. Minera San Nicolás S.A.**

Labores de explotación subterránea y a cielo abierto de la Mina “San Nicolás” en estado de abandono, se encuentran ubicadas en la margen derecha del Río Tingo-Maigasbamba (Foto 3.5).

• **El Distrito de Hualgayoc: Minería en activo**

La sub-cuenca del río Tingo-Maigasbamba posee una fisiografía menos escarpada que la del río Arascorgue, lo que ha favorecido que las plantas concentradoras, ubicadas en dicha área puedan disponer de espacio suficiente para la instalación de canchas de relaves en zonas próximas a sus industrias.

✓ **Cía. Minera San Nicolás S.A (área planta de beneficio)**

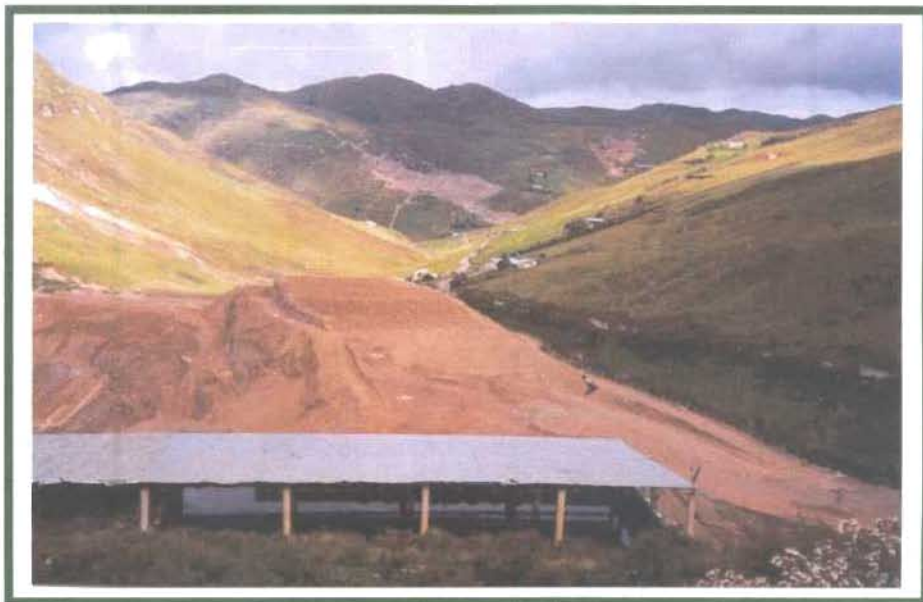
Está ubicada en la Quebrada Sinchao, y sus instalaciones tienen capacidad para tratar 200 tm/día de mineral de plomo, cobre, zinc y plata.

Los socavones semi-derrumbados y canchas de relaves se encuentran asentadas aguas abajo de la Quebrada Sinchao, para lo cual han derivado las aguas superficiales por medio de un canal que corre más alto y paralelo al cauce normal, regresando a ella luego de cruzar el total de la instalación (ver Fotos 3.4 y 3.6).

En el año 1980 se produjo la rotura de los diques de las canchas de relaves, causando la contaminación total de las aguas del río Tingo-Maigasbamba y del Sistema de Abastecimiento de Agua Potable de Bambamarca.

En consecuencia, la compañía minera procedió a construir diques de contención, aguas abajo de los depósitos de relaves, con el fin de prever cualquier accidente futuro.

Foto 3.4. **Vista de pilas de lixiviación de mina San Nicolás**



Fuente: Propia.

Foto 3.5. **Vista de socavón inferior de mina San Nicolás.**



Fuente: Propia.

Foto 3.6. Vista panorámica de labores mineras de la compañía minera san nicolás en la sub-cuenca del río Tingo-Maigasbamba. A la izquierda: cancha de relaves. a la derecha: planta de flotación.



Fuente: Propia.

- **Sociedad Minera Carolina S.A.**

Está situada a escasos metros de la carretera de Cajamarca a Chugur. Tiene capacidad instalada de 50 tm/día, que se utilizó para recuperar concentrados de plata y producir bulk de cobre, plomo, zinc y plata.

Esta concentradora, viene operando desde el año 1 981, pero en el mes de febrero de 1 983 cambió de razón social por motivos económicos, y la nueva empresa ha construido una nueva cancha de relaves, abandonando el depósito perteneciente a la antigua compañía minera.

Los residuos líquidos, provenientes de la cancha de relaves, son recirculados durante el tiempo de sequía (ver Fotos 3.7 y 3.8).

Foto 3.7. Vista de canal con agua proveniente de la cancha de relaves de mina Carolina (antes de estación de bombeo) de abandono.



Fuente: Propia.

3.1.1.4 La nueva minería del oro

En la zona norte de Cajamarca y en las proximidades de la cabecera de la cuenca del río Llaucano, se encuentra el distrito minero de Yanacocha cuya explotación está a cargo de la Compañía Minera Yanacocha, desde 1993.

La explotaciones mineras están ubicadas a 4 200 m.s.n.m. y a 45 km. de la ciudad de Cajamarca, en el distrito La Encañada, provincia y departamento de Cajamarca (ver Figura 3.1). El oro extraído de Yanacocha, ha ubicado al Perú en el octavo lugar de la jerarquía mundial de países productores de oro, y en Sudamérica es el número uno.

Si bien la existencia de recursos minerales en dicha área era conocida desde el período prehistórico, la exploración del terreno en busca de yacimientos mineros se realizó a mediados de los años setenta, siendo puesta en valor en 1992, cuando se constituyó la Empresa Minera Yanacocha, dentro del marco de la Ley de Promoción de Inversiones del sector minero.

Figura 3.1. Ubicación del Distrito Minero Yanacocha en el departamento de Cajamarca.



Fuente: <http://www.olca.cl/oca/peru/yanacocha06.gif>.

El distrito minero de Yanacocha cuenta con reservas estimadas que superan los 27 millones de onzas de oro. A la fecha de estudio, la explotación se realizaba a través de cuatro áreas en operación: *San José*, *Maqui Maqui*, *Carachugo* y *Yanacocha Norte y Sur*. A las que se suman las actividades de explotación de la nueva zona mineralizada denominada *La Quínu*a, en actual operación.

La operación en estas zonas se realiza a tajo abierto, ya que el oro se encuentra diseminado superficialmente en toda el área que ha sido denunciada por la empresa. Una especial particularidad del oro de Yanacocha es la porosidad del mineral que lo contiene. Ello ha permitido eliminar el proceso de chancado, tratando el mineral directamente en “pads” de cianuración, y obteniendo finalmente las denominadas barras “dore”. Los minerales de más rápida lixiviación son los de San José y Carachugo, que demoran entre 25 y 35 días, mientras que Maqui Maqui y Yanacocha Norte y Sur están en el orden de 55 a 60 días para completar su lixiviación.

3.1.1.5 Aspectos socio-económicos

Las ciudades más importantes asentadas en el área de estudio son:

- **Hualgayoc**

Capital de la provincia del mismo nombre, situada a 3 508 m.s.n.m. y a 92 km. al norte de la ciudad de Cajamarca. Sus habitantes están dedicados principalmente a la actividad minera-metalúrgica, por estar ubicados dentro del distrito minero del mismo nombre, zona de gran riqueza mineral donde se han asentado un buen número de compañías dedicadas a

la explotación de mineral. En menor grado, la población de Hualgayoc, se dedica a la agricultura y a la elaboración de quesos y jamones. Las compañías mineras, asentadas en los alrededores de la ciudad, extraen plomo, cobre, zinc y plata y son luego transportados a la plantas de fundición. El río Arascorgue o Hualgayoc tiene sus orígenes en la parte alta de esta población, a partir de la cual recibe las aguas contaminadas por la minería de la Quebrada Mesa de Plata.

- **Bambamarca.**

Es la capital del distrito del mismo nombre y está situada a 124 km. de la ciudad de Cajamarca y a 32 km. de Hualgayoc. La población del área de estudio se concentra principalmente en la ciudad de Bambamarca. La mayor parte de la población está representada principalmente por propietarios de ganado y campesinos, que utilizan el área aledaña para las actividades de agricultura, pastoreo y crianza de ganado (Foto 3.8).

Foto 3.8. **Ciudad de Bambamarca.**



Fuente: Propia.

3.1.1.6 Los recursos agrícolas en la cuenca

La actividad agrícola en la zona se desarrolla para obtener alimentos destinados preferentemente al autoconsumo, para provisión de semillas para cubrir las necesidades de siembra de campañas futuras y para el trueque de los excedentes en los centros urbanos.

Por su extensión, la mayoría de las unidades de producción son minifundios, los que consumen un mínimo de insumos debido principalmente al desconocimiento de las técnicas modernas. Los cultivos que predominan son el maíz, la papa, las hortalizas y los cereales.

El ingreso per-cápita se deriva principalmente de la producción agrícola que incluye lácteos, papas, maíz y granos. La leche y sus derivados (quesos fundamentalmente) es el principal producto de exportación, en tanto que otros productos se utilizan para la venta local y el sustento diario.

3.1.1.7 Uso agrícola del agua

En los años 80 se construyeron canales de riego, de corta longitud, en la cuenca del río Arascorgue, zona de Hualgayoc, que utilizan las aguas de sus tributarios. Dichos canales situados en la margen derecha, conducen las aguas a pequeñas zonas de cultivos, ya que por las condiciones fisiográficas no se dispone de grandes áreas agrícolas (ver Fotos 3.9 y 3.10).

Foto 3.9. Áreas agrícolas ubicadas a ambas márgenes de la Quebrada Hualgayoc, subcuenca del río Arascorgue.



Fuente: Propia.

En la parte baja de la cuenca del río Tingo-Maigasbamba, se dispone de mayor cantidad de agua, así como de terreno de cultivos en áreas planas más amplias, lo que ha dado lugar a la construcción de un amplio sistema de canales de riego que cubren una extensa zona, incluyendo los alrededores de Bambamarca (Foto 3.11).

Las aguas del río Llaucano son empleadas en forma limitada en el riego de terrenos de cultivo, tanto en la parte alta, como en la media y baja, debido a lo reducido de los terrenos agrícolas y a los cortos períodos de explotación de las mismas. La mayor parte de las áreas cultivables son de secano, es decir, que son regadas con aguas de lluvia o de manantiales, y en muy poca escala se emplea agua superficial, siendo por consiguiente su uso de tipo

complementario, originando de este modo que un gran porcentaje de las aguas del río Llaucano se viertan al Marañón sin ningún uso.

Foto 3.10. **Zona de pastizales, ubicada en la margen izquierda de La Quebrada Las Minas, sub-cuenca del río Arascorgue.**



Fuente: Propia.

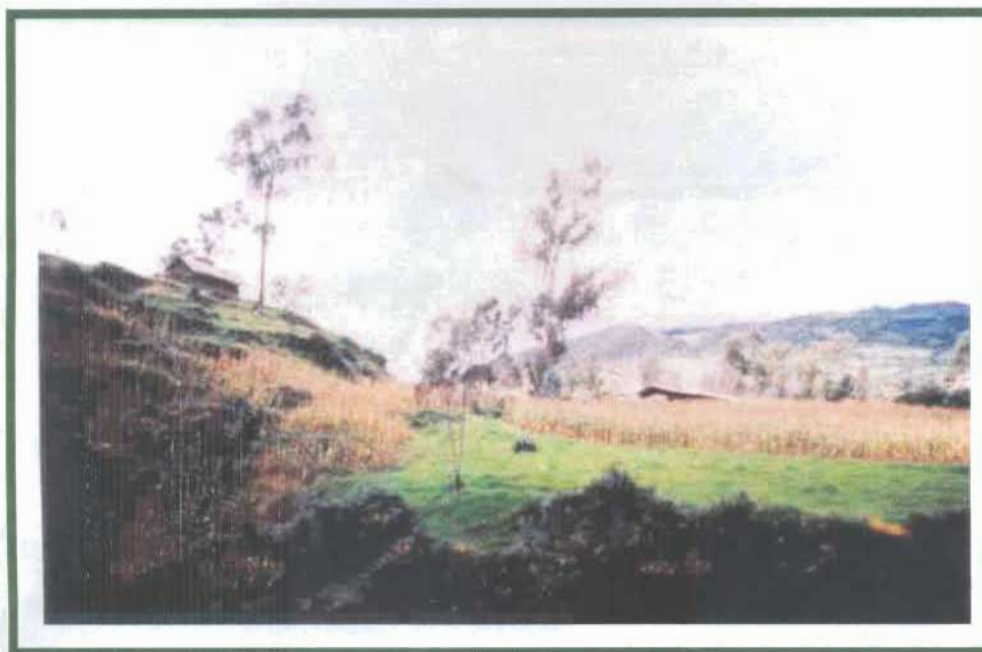
Foto 3.11. **Áreas de cultivo de ubicadas en la parte baja del río Tingo-Maigasbamba, en los alrededores de la ciudad de Bambamarca.**



Fuente: Propia.

Asimismo, en los alrededores de la sub-cuenca del río Chanta se encuentra un valle agrícola, destacando la siembra de maíz (ver Foto 3.12).

Foto 3.12. **Zona de maizales, ubicada en la margen derecha de la sub-cuenca del río Chanta.**



Fuente: Propia.

3.2 Presentación general de resultados

3.2.1 Estudio de aguas

3.2.1.1 Estudio químico

Los resultados de las mediciones físico-químicos de aguas realizados *in situ* (pH y Conductividad eléctrica) han sido presentados en la Tabla 2.1 y en las Figuras 2.1, 2.2 y 2.3 del presente trabajo de tesis.

Los Informes de Ensayo originales que contienen los resultados de los análisis de elementos metálicos totales y disueltos realizados en las muestras de aguas superficiales y ejecutados por el Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd. de Vancouver, Canadá (Acme # A9003544 (a) y (b), # A002043, # A003545), se presentan en el Anexo 3.1.

En las Tablas 3.1 y 3.2 se presentan resúmenes de los elemento químicos totales y disueltos, respectivamente, analizados en las 34 muestras de aguas de aguas superficiales tomadas en la cuenca del Río Llaucano y que fueron seleccionadas para el presente estudio.

Tabla 3.1. Metales totales en aguas tomadas en cauces de toda la cuenca del Río Llaucano.

	Ag ppb	Al ppb	As ppb	Au ppb	Ba ppb	Ca ppb	Cd ppb	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	Hg ppb	K ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Ni ppb	Pb ppb	Sb ppb	Se ppb	Sr ppb	Zn ppb	S ppm
M7	<0,05	361	<1	<0,05	31,8	76351	<0,05	<0,5	1,3	245	<0,1	1124	4744	57,6	3381	<0,2	<2	<0,05	0,50	202	4,8	4,0
M13	<0,05	4871	7,0	<0,05	30,9	94926	67,8	1,5	625	19286	<0,1	1132	7016	4584	1805	4,90	52,0	0,42	0,70	221	7292	73,0
M14	0,25	1006	143	0,12	30,7	100718	7,6	1,1	942	11860	<0,1	923	6435	4483	3355	1,40	238	12,0	<0,5	232	2123	57,0
M22	<0,05	3645	174	<0,05	21,0	175568	186	2,7	529	27455	<0,1	867	29101	59600	1387	13,3	103	6,7	<0,5	295	53245	269
M24	0,97	20626	12,0	<0,05	20,2	150802	172	5,6	1538	54410	<0,1	877	11468	19500	2381	11,2	301	4,3	0,70	184	24934	263
M25	0,19	951	59,0	<0,05	46,8	165801	161	2,2	233	15137	0,20	2238	15955	37849	4071	14,5	19	10,8	<0,5	426	36200	188
M26	0,08	3892	220	<0,05	26,8	206233	196	3,1	470	33947	<0,1	1412	31581	72100	2405	16,7	374	13,3	<0,5	369	61430	300
M27	<0,05	25216	528	<0,05	18,5	60130	88,0	10,7	2682	86174	<0,1	2139	4875	15127	2935	12,6	230	1,4	0,90	119	12392	216
M28	0,28	43304	1379	<0,05	13,0	397949	967	9,4	2002	370880	<0,1	2427	93903	145000	2316	39,6	257	11,3	<0,5	494	248513	1258
M29	0,19	31477	184	0,49	46,4	131941	232	3,0	1079	48778	<0,1	3017	11225	24300	31800	14,2	153	6,2	<0,5	242	32048	177
M31	0,11	2168	<1	<0,05	37,9	83653	6,1	1,5	77,2	1661	<0,1	629	7740	1435	4229	<0,2	7,00	0,32	1,9	312	1157	15,0
M32	5,76	1112	950	<0,05	142	276016	72	15,1	731	68123	0,10	2892	11762	64401	2350	7,30	13462	300	3,7	587	7041	90,6
M34	0,85	189	1,0	<0,05	38,5	44281	1,1	0,6	9,2	70,0	0,10	781	2397	71,3	4539	1,2	4,0	0,62	0,70	222	19,1	27
M36	<0,05	202	147	0,16	28,8	444056	3,1	0,9	23,8	11339	0,20	8601	9518	8658	12399	<0,2	397	12,0	4,2	1628	493	410
M37	<0,05	7164	49,0	0,21	47,8	129433	18,8	4,2	245	5353	<0,1	2333	6646	6107	13919	2,2	561	15,3	2,2	386	2932	103
M38	0,14	2845	227	0,32	14,6	88174	9,0	2,4	1666	22694	0,10	715	5253	2583	5749	5,0	300	4,21	2,1	225	1547	79,0
M40	0,29	2943	685	<0,05	47,4	112984	28,3	8,3	2494	35330	0,10	1141	7200	9329	3918	5,9	675	29,3	1,8	354	4033	114
M43	0,13	64799	5290	<0,05	7,8	274379	109	15,1	41274	615838	<0,1	616	18417	27600	2019	81,9	81,0	42,3	4,2	605	32186	975
M44	0,08	275	24,0	<0,05	6,3	80375	0,84	<0,5	161	3768	<0,1	608	3350	483	1950	<0,2	7,0	1,4	1,0	172	190,20	36,0
M46	701	3,0	<1	79,7	31,5	254815	6,2	17,2	4762	50,0	70,7	24808	9689	13400	458000	176	<2	30,7	29,7	890	370	410
M48	4,13	2955	256	0,53	9,52	93674	7,8	2,5	1937	24152	0,90	741	4918	2183	3944	5,7	10,0	2,6	1,5	224	1564	104
M51	0,76	135	<1	0,83	32,2	54193	0,19	0,5	22,0	74,0	0,30	1608	3266	25,9	9615	<0,2	6,0	0,60	3,5	193	34,9	20,0
M55	0,27	118	<1	0,63	29,6	56431	0,11	<0,5	12,7	<50	0,20	1409	3132	24,9	7625	<0,2	3,0	0,54	2,3	173	26	15,0
M56	0,15	211	<1	0,57	33,8	62758	<0,05	<0,5	14,0	<50	0,10	1412	3935	43,4	6752	<0,2	3,0	0,47	2,8	199	17	13,0
M57	0,11	980	8,0	0,40	33,9	68074	12,3	<0,5	84,1	3202	0,20	1610	4484	1835	6204	<0,2	9,0	0,79	1,0	215	1555	24,0
M58	0,07	130	<1	<0,05	18,6	98160	0,10	<0,5	2,5	<50	0,10	1629	4601	28,7	2646	<0,2	<2	0,16	0,70	212	2,8	8,0
M60	0,22	1715	179	0,46	44,3	130416	17,0	2,3	1542	16803	0,20	2090	9208	6871	8106	3,5	285	16,1	1,2	360	2741	89,0
M61	2,89	1166	125	0,64	37,5	121542	8,5	1,4	1455	10729	0,30	1774	8932	4637	8821	3,3	250	11,9	0,90	347	1956	76,0
M62	0,24	987	9,0	1,6	36,5	68741	11,7	<0,5	86,8	2996	<0,1	1609	4907	1789	8657	<0,2	11,0	0,88	1,1	224	1571	21,0
M63	1,56	1198	114	0,58	39,2	118671	6,9	1,2	1533	9506	0,2	1730	8462	3708	12328	2,6	184	9,0	<0,5	339	1742	61,0
M64	0,22	1059	29,0	1,4	36,4	74451	10,3	0,5	399	4104	<0,1	1632	5642	2185	11462	<0,2	48,0	2,9	1,1	210	1609	27,0
M65	0,13	339	1,0	6,46	49,0	60334	0,38	<0,5	38,1	169	0,1	3262	1195	55,5	21726	<0,2	12,0	1,9	13,6	163	118	22,0
M67	<0,05	116	<1	<0,05	34,8	47047	0,22	<0,5	3,5	95,0	<0,1	804	2770	40,2	4205	<0,2	2,0	0,10	0,50	166	8,1	5,0
M68	<0,05	130	<1	<0,05	20,3	5257	0,11	<0,5	18,0	179	<0,1	848	560	26,6	3777	<0,2	2,0	0,05	<0,5	69,0	8,1	0,5

■ : Cuenca del Río Tingo-Maigasbamba.

■ : Cuenca del Río Arascorgue.

■ : Cuenca del río Llaucano.

Fuente: ACME Analytical Laboratories Ltd.

Tabla 3.2. Metales disueltos en aguas tomadas en cauces de toda la cuenca del Río Llaucano.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm
M7	<0,05	9,00	<1	<0,05	29,5	67946	<0,05	<0,5	0,60	<50	<0,1	1099	4705	1,68	3252	<0,2	<2	<	<0,5	170	0,70	3,0
M13	<0,05	92,0	<1	<0,05	13,4	89634	7,67	<0,5	3,7	<50	<0,1	1125	6975	53,2	1648	<0,2	<2	0,25	<0,5	180	418	68,0
M14	<0,05	28,0	<1	<0,05	20,3	90270	1,08	<0,5	14,5	<50	<0,1	802	5799	4028	3147	<0,2	<2	3,59	<0,5	173	89,0	53,0
M22	<0,05	1613	<1	<0,05	20,9	174614	163	<0,5	418	<50	<0,1	861	27332	57357	1099	<0,2	37,0	0,23	<0,5	249	50413	255
M24	<0,05	20372	<1	<0,05	15,8	148705	150	3,9	1518	11357	<0,1	877	10922	17425	809	10,1	259	0,10	<0,5	170	24151	250
M25	0,13	7,0	<1	<0,05	21,2	157251	140	<0,5	11,5	50,0	<0,1	2198	14326	22469	3875	14,3	<2	0,32	<0,5	419	24771	182
M26	<0,05	66,0	<1	<0,05	24,2	197084	186	<0,5	139	<50	<0,1	1330	28436	66650	1723	15,3	9,0	0,79	<0,5	356	58786	282
M27	<0,05	25118	<1	<0,05	16,6	58287	87,6	6,7	2422	43466	<0,1	1354	3531	13800	652	12,4	229	<	<0,5	88,1	8728	196
M28	<0,05	46852	111	<0,05	11,3	396821	956	8,6	1898	251134	<0,1	1984	92462	144240	1174	38,3	246	0,41	<0,5	461	248513	1186
M29	<0,05	15334	27,0	<0,05	25,5	127521	182	2,7	1052	12386	<0,1	1773	8727	23467	2075	13,9	71,0	1,05	<0,5	208	30549	167
M31	<0,05	161	<1	<0,05	36,5	83573	0,64	1,4	4,3	122	<0,1	504	6477	79,03	952	<0,2	4,0	0,25	<0,5	282	43,0	4,0
M32	0,63	981	267	<0,05	123	235124	69,1	14,1	715	32831	0,10	921	10046	59201	2287	6,4	12477	226	1,60	552	6315	80,3
M34	0,52	73,0	<1	<0,05	35,5	43410	0,57	<0,5	5,5	<50	0,10	731	2227	17,6	4495	0,7	2,0	0,51	<0,5	208	9,0	25,5
M36	<0,05	126	25,0	<0,05	26,9	424222	0,82	<0,5	17,8	611	<0,1	7752	9363	8541	12008	<0,2	67,0	4,00	2,70	1290	263	391
M37	<0,05	7164	9,0	0,21	40,6	124825	2,30	0,90	43,3	3298	<0,1	1808	4177	5225	4358	<2,2	20,0	5,85	1,00	353	422	87,0
M38	<0,05	401	<1	0,08	13,6	83332	5,92	1,5	45,9	159	<0,1	657	4980	2306	5749	4,6	2,0	1,37	2,10	198	908	72,0
M40	<0,05	6,0	<1	<0,05	29,0	109623	19,4	2,3	32,7	<50	<0,1	1134	6566	9038	3686	5,3	<2	1,87	1,50	296	2943	107
M43	<0,05	64673	2982	<0,05	5,3	270589	106	13,2	40300	524266	<0,1	577	18229	22000	1038	72,0	73,0	9,04	2,80	457	30578	933
M44	<0,05	68,0	<1	<0,05	4,2	78839	<0,05	<0,5	26,00	296	<0,1	573	3055	27,6	1722	<0,2	<2	0,85	<0,5	130	26,8	34,0
M46	488	<1	<1	62,52	30,5	170941	<0,05	13,4	2748	<50	61,10	24786	8312	475	420000	54,6	<2	23,81	25,50	574	7,0	384
M48	2,73	15,0	<1	0,14	9,5	92664	4,83	2,2	71,2	<50	0,50	703	4514	2061	3777	4,1	<2	0,40	1,00	171	630	97,0
M51	0,55	58,0	<1	0,73	31,4	53076	0,07	<0,5	21,6	<50	0,20	1555	3161	14,6	8504	<0,2	<2	0,55	1,80	171	17,4	16,0
M55	0,21	36,0	<1	0,56	29,2	55231	0,09	<0,5	11,2	<50	0,10	1253	3126	2,8	6820	<0,2	<2	0,46	1,00	150	8,6	13,0
M56	0,13	33,0	<1	0,36	27,5	57651	<0,05	<0,5	8,1	<50	0,10	1188	3453	1,7	6496	<0,2	<2	0,46	0,50	153	7,5	11,0
M57	0,06	26,0	<1	0,19	29,3	66096	5,29	<0,5	13,4	<50	0,10	1418	4142	1134	5764	<0,2	<2	0,38	0,90	173	289	21,0
M58	0,06	5,0	<1	<0,05	17,0	94564	<0,05	<0,5	0,90	<50	0,10	1435	4516	1,67	2493	<0,2	<2	0,13	<0,5	166	1,1	7,0
M60	0,08	13,0	<1	0,06	25,1	123730	4,36	1,2	41,5	<50	<0,1	1661	8079	3629	7076	<0,2	<2	4,84	1,20	259	487	86,0
M61	<0,05	16,0	<1	0,27	25,1	112489	2,90	<0,5	60,6	<50	<0,1	1457	7825	1467	7590	<0,2	<2	4,86	0,60	265	305	68,0
M62	<0,05	29,0	<1	0,37	29,0	66862	4,39	<0,5	12,9	<50	<0,1	1365	4373	737	6201	<0,2	<2	0,50	0,80	179	311	19,0
M63	<0,05	19,0	<1	0,24	26,9	113339	1,25	<0,5	65,9	<50	<0,1	1578	7792	527	9107	<0,2	<2	4,67	<0,5	284	141	57,0
M64	0,06	22,0	<1	0,75	30,1	74451	3,78	<0,5	21,7	<50	<0,1	1534	5577	775	6518	<0,2	<2	1,18	0,70	189	281	26,0
M65	0,07	96,0	<1	3,29	43,7	56955	0,27	<0,5	19,4	<50	0,10	2626	1097	48,0	19577	<0,2	<2	1,94	10,20	127	65,4	21,0
M67	<0,05	13,0	<1	<0,05	31,9	45640	<0,05	<0,5	2,5	<50	<0,1	640	2502	0,31	3974	<0,2	<2	0,09	<0,5	144	4,4	4,0
M68	<0,05	15,0	<1	<0,05	19,0	5059	0,07	<0,5	1,0	58,0	<0,1	842	510	4,50	3532	<0,2	<2	<	<0,5	59,3	6,9	0,2

: Cuenca del Río Tingo-Maigashamba.

: Cuenca del Río Arascorgue.

: Cuenca del río Llaucano.

Fuente: ACME Analytical Laboratories Ltd.

De los elementos analizados químicamente se han desestimado para el análisis estadístico siete elementos metálicos totales (Ag, As, Au, Cr, Hg, Ni y Se) y nueve elementos metálicos disueltos (Ag, As, Cu, Fe, Cr, Hg, Ni, Pb y Se), cuyas concentraciones en más de seis muestras se encuentran por debajo del rango de medida del equipo utilizado. Para el caso del Cd, Cu, Pb y Sb totales y/o disueltos que presentaron concentraciones, por debajo del rango de medida del equipo, en un máximo de 6 muestras, sin embargo presentaron concentraciones significativas en las demás muestras, se consideró el valor del límite de detección como concentración medida.

La información de los análisis químicos resultantes para los elementos metálicos totales y disueltos evaluados en las 34 muestras de agua tomadas en la cuenca hidrográfica del Río Llaucano, fue organizada bajo los siguientes criterios:

1. Según la exposición de cauces a la actividad minera de la zona:

- Toda la cuenca hidrográfica del Río Llaucano (Tablas 3.3 y 3.4)
- Cauces no afectados por la minería (Tablas 3.5 y 3.6)
- Cauces afectados por la minería (Tablas 3.7 y 3.8).

A su vez, cada una de éstas ha sido subdividida en:

- Metales totales.
- Metales disueltos.

De esta información se seleccionaron elementos metálicos, totales y disueltos, para su evaluación y comparación con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para Agua (D.S. No. 002-2005-MINAM. (Anexo 3.2). Las tablas correspondientes a esta evaluación, incluyen los resultados de la aplicación de las técnicas estadísticas univariantes como la estadística descriptiva (mediana, valor mínimo, valor máximo y varianza), por lo que se presentan en el apartado correspondiente. Ver Tablas 3. 17 a 3.22.

2. Selección de cursos de aguas superficiales afectados por la actividad minera

- a. Quebrada Mesa de Plata - Río Arascorgue hasta su desembocadura en el Río Llaucano – Río Llaucano hasta su paso por la ciudad de Bambamarca (Tablas 3.9 y 3.10).
- b. Quebrada El Águila - Río Tingo-Maigasbamba - Río Llaucano, inmediatamente aguas abajo de la confluencia del Río Tingo (Tablas 3.11 y 3.12).
- c. Quebrada Tres Amigos – Río Tingo-Maigasbamba – Río Llaucano, inmediatamente aguas abajo de la confluencia del Río Tingo (Tablas 3.13 y 3.14).
- d. Río Llaucano, desde la afluencia del Río El Tambillo hasta aguas abajo de la afluencia del Río Tingo-Maigasbamba, luego de atravesar la ciudad de Bambamarca (Tablas 3.15 y 3.16).

A esta información se le aplicará las técnicas de evaluación estadística que a continuación se describen.

Tabla 3.3. Elementos químicos totales de aguas de cauces de toda la cuenca del Río Llaucano, seleccionados para el análisis estadístico descriptivo.

	Al ppb	Ba ppb	Ca ppb	Cd ppb	Cu ppb	Fe ppb	K ppb	Mg ppb	Mn ppb	Na ppb	Pb ppb	Sb ppb	Sr ppb	Zn ppb	S ppm
M7	361	31,8	76351	0,05	1,3	245	1124	4744	57,6	3381	2	0,05	202	4,8	4,0
M13	4871	30,9	94926	67,8	625	19286	1132	7016	4584	1805	52,0	0,42	221	7292	73,0
M14	1006	30,7	100718	7,6	942	11860	923	6435	4483	3355	238	12,0	232	2123	57,0
M22	3645	21,0	175568	186	529	27455	867	29101	59600	1387	103	6,7	295	53245	269
M24	20626	20,2	150802	172	1538	54410	877	11468	19500	2381	301	4,3	184	24934	263
M25	951	46,8	165801	161	233	15137	2238	15955	37849	4071	19	10,8	426	36200	188
M26	3892	26,8	206233	196	470	33947	1412	31581	72100	2405	374	13,3	369	61430	300
M27	25216	18,5	60130	88,0	2682	86174	2139	4875	15127	2935	230	1,4	119	12392	216
M28	43304	13,0	397949	967	2002	370880	2427	93903	145000	2316	257	11,3	494	248513	1258
M29	31477	46,4	131941	232	1079	48778	3017	11225	24300	31800	153	6,2	242	32048	177
M31	2168	37,9	83653	6,1	77,2	1661	629	7740	1435	4229	7,00	0,32	312	1157	15,0
M32	1112	142	276016	72	731	68123	2892	11762	64401	2350	13462	300	587	7041	90,6
M34	189	38,5	44281	1,1	9,2	70,0	781	2397	71,3	4539	4,0	0,62	222	19,1	27
M36	202	28,8	444056	3,1	23,8	11339	8601	9518	8658	12399	397	12,0	1628	493	410
M37	7164	47,8	129433	18,8	245	5353	2333	6646	6107	13919	561	15,3	386	2932	103
M38	2845	14,6	88174	9,0	1666	22694	715	5253	2583	5749	300	4,21	225	1547	79,0
M40	2943	47,4	112984	28,3	2494	35330	1141	7200	9329	3918	675	29,3	354	4033	114
M43	64799	7,8	274379	109	41274	615838	616	18417	27600	2019	81,0	42,3	605	32186	975
M44	275	6,3	80375	0,84	161	3768	608	3350	483	1950	7,0	1,4	172	190,20	36,0
M46	3,0	31,5	254815	6,2	4762	50,0	24808	9689	13400	458000	2	30,7	890	370	410
M48	2955	9,52	93674	7,8	1937	24152	741	4918	2183	3944	10,0	2,6	224	1564	104
M51	135	32,2	54193	0,19	22,0	74,0	1608	3266	25,9	9615	6,0	0,60	193	34,9	20,0
M55	118	29,6	56431	0,11	12,7	50	1409	3132	24,9	7625	3,0	0,54	173	26	15,0
M56	211	33,8	62758	0,05	14,0	50	1412	3935	43,4	6752	3,0	0,47	199	17	13,0
M57	980	33,9	68074	12,3	84,1	3202	1610	4484	1835	6204	9,0	0,79	215	1555	24,0
M58	130	18,6	98160	0,10	2,5	50	1629	4601	28,7	2646	2	0,16	212	2,8	8,0
M60	1715	44,3	130416	17,0	1542	16803	2090	9208	6871	8106	285	16,1	360	2741	89,0
M61	1166	37,5	121542	8,5	1455	10729	1774	8932	4637	8821	250	11,9	347	1956	76,0
M62	987	36,5	68741	11,7	86,8	2996	1609	4907	1789	8657	11,0	0,88	224	1571	21,0
M63	1198	39,2	118671	6,9	1533	9506	1730	8462	3708	12328	184	9,0	339	1742	61,0
M64	1059	36,4	74451	10,3	399	4104	1632	5642	2185	11462	48,0	2,9	210	1609	27,0
M65	339	49,0	60334	0,38	38,1	169	3262	1195	55,5	21726	12,0	1,9	163	118	22,0
M67	116	34,8	47047	0,22	3,5	95,0	804	2770	40,2	4205	2,0	0,10	166	8,1	5,0
M68	130	20,3	5257	0,11	18,0	179	848	560	26,6	3777	2,0	0,05	69,0	8,1	0,5

■ :Cuenca del Río Tingo-Maigasbamba.

■ : Cuenca del río Llaucano

■ : Cuenca del Río Arascorgue.

Fuente: ACME Analytical Laboratories Ltd.

Tabla 3.4. Elementos químicos disueltos en aguas tomadas en cauces de toda la cuenca del Río Llaucano, seleccionados para el análisis estadístico descriptivo.

	Al	Ba	Ca	Cd	Cu	K	Mg	Mn	Na	Sb	Sr	Zn	S
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm
M7	9,00	29,5	67946	0,05	0,60	1099	4705	1,68	3252	<0,05	170	0,70	3,0
M13	92,0	13,4	89634	7,67	3,7	1125	6975	53,2	1648	0,25	180	418	68,0
M14	28,0	20,3	90270	1,08	14,5	802	5799	4028	3147	3,59	173	89,0	53,0
M22	1613	20,9	174614	163	418	861	27332	57357	1099	0,23	249	50413	255
M24	20372	15,8	148705	150	1518	877	10922	17425	809	0,10	170	24151	250
M25	7,0	21,2	157251	140	11,5	2198	14326	22469	3875	0,32	419	24771	182
M26	66,0	24,2	197084	186	139	1330	28436	66650	1723	0,79	356	58786	282
M27	25118	16,6	58287	87,6	2422	1354	3531	13800	652	<0,05	88,1	8728	196
M28	40852	11,3	396821	956	1898	1984	92462	144240	1174	0,41	461	248513	1186
M29	15334	25,5	127521	182	1052	1773	8727	23467	2075	1,05	208	30549	167
M31	161	36,5	83573	0,64	4,3	504	6477	79,03	952	0,25	282	43,0	4,0
M32	981	123	235124	69,1	715	921	10046	59201	2287	226	552	6315	80,3
M34	73,0	35,5	43410	0,57	5,5	731	2227	17,6	4495	0,51	208	9,0	25,5
M36	126	26,9	424222	0,82	17,8	7752	9363	8541	12008	4,00	1290	263	391
M37	7164	40,6	124825	2,30	43,3	1808	4177	5225	4358	5,85	353	422	87,0
M38	401	13,6	83332	5,92	45,9	657	4980	2306	5749	1,37	198	908	72,0
M40	6,0	29,0	109623	19,4	32,7	1134	6566	9038	3686	1,87	296	2943	107
M43	64673	5,3	270589	106	40300	577	18229	22000	1038	9,04	457	30578	933
M44	68,0	4,2	78839	0,05	26,00	573	3055	27,6	1722	0,85	130	26,8	34,0
M46	<1	30,5	170941	0,05	2748	24786	8312	475	420000	23,81	574	7,0	384
M48	15,0	9,5	92664	4,83	71,2	703	4514	2061	3777	0,40	171	630	97,0
M51	58,0	31,4	53076	0,07	21,6	1555	3161	14,6	8504	0,55	171	17,4	16,0
M55	36,0	29,2	55231	0,09	11,2	1253	3126	2,8	6820	0,46	150	8,6	13,0
M56	33,0	27,5	57651	0,05	8,1	1188	3453	1,7	6496	0,46	153	7,5	11,0
M57	26,0	29,3	66096	5,29	13,4	1418	4142	1134	5764	0,38	173	289	21,0
M58	5,0	17,0	94564	0,05	0,90	1435	4516	1,67	2493	0,13	166	1,1	7,0
M60	13,0	25,1	123730	4,36	41,5	1661	8079	3629	7076	4,84	259	487	86,0
M61	16,0	25,1	112489	2,90	60,6	1457	7825	1467	7590	4,86	265	305	68,0
M62	29,0	29,0	66862	4,39	12,9	1365	4373	737	6201	0,50	179	311	19,0
M63	19,0	26,9	113339	1,25	65,9	1578	7792	527	9107	4,67	284	141	57,0
M64	22,0	30,1	74451	3,78	21,7	1534	5577	775	6518	1,18	189	281	26,0
M65	96,0	43,7	56955	0,27	19,4	2626	1097	48,0	19577	1,94	127	65,4	21,0
M67	13,0	31,9	45640	0,05	2,5	640	2502	0,31	3974	0,09	144	4,4	4,0
M68	15,0	19,0	5059	0,07	1,0	842	510	4,50	3532	<0,05	59,3	6,9	0,2

■ : Cuenca del Río Tingo-Maigasbamba.


■ : Cuenca del río Llaucano.


■ : Cuenca del Río Arascorgue.


Fuente : ACME Analytical Laboratories Ltd

Tabla 3.5. Metales totales en aguas tomadas en cauces no afectados por actividades mineras de la cuenca del Río Llaucano.

	Al	Ba	Ca	Cd	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Sb	Sr	Zn	S
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm
M7	361	31,8	76351	0,05	1,3	245	1124	4744	57,6	3381	0,05	202	4,8	4,0
M31	2168	37,9	83653	6,1	77,2	1661	629	7740	1435	4229	0,32	312	1157	15,0
M58	130	18,6	98160	0,10	2,5	50	1629	4601	28,7	2646	0,16	212	2,8	8,0
M67	116	34,8	47047	0,22	3,5	95,0	804	2770	40,2	4205	0,10	166	8,1	5,0
M68	130	20,3	5257	0,11	18,0	179	848	560	26,6	3777	0,05	69,0	8,1	0,5

 : Cuenca del Río Tingo-Maigabamba.


 : Cuenca del río Llaucano.


 : Cuenca del Río Arascorgue.


Fuente: ACME Analytical Laboratories Ltd. Vancouver.

Tabla 3.6. Metales disueltos en aguas tomadas en cauces no afectados por actividades mineras de la cuenca del Río Llaucano.

	Al	Ba	Ca	Cu	K	Mg	Mn	Na	Sb	Sr	Zn	S
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm
M7	9,0	29,5	67946	0,6	1099	4705	1,7	3381	<0,05	170	0,7	3,0
M31	161	37,9	83573	77,2	609	7740	1435	4229	0,32	312	1157	15
M58	5,0	17,0	94564	0,9	1435	4316	1,7	2493	0,16	166	1,1	7,0
M67	13,0	31,9	45640	2,5	640	2502	0,31	4205	0,10	144	4,4	4,0
M68	15,0	19,0	5059	1,0	842	510	4,5	3532	<0,05	59,3	8,1	0,2

 : Cuenca del Río Tingo-Maigabamba.

 : Cuenca del río Llaucano


 : Cuenca del Río Arascorgue.


Fuente : ACME Analytical Laboratories Ltd. Vancouver.

Tabla 3.7. Metales totales en aguas tomadas en cauces afectados por actividades mineras de la cuenca del Río Llaucano.

	Al	As	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	K	Mg	Mn	Na	Pb	Sb	Sr	Zn	S
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm
M13	4871	7	30,9	94926	67,8	1,5	625	19286	1132	7016	4584	1805	52,0	0,42	221	7292	73,0
M14	1006	143	30,7	100718	7,6	1,1	942	11860	923	6435	4483	3355	238	12,0	232	2123	57,0
M22	3645	174	21,0	175568	186	2,7	529	27455	867	29101	59600	1387	103	6,7	295	53245	269
M24	20626	12,0	20,2	150802	172	5,6	1538	54410	877	11468	19500	2381	301	4,3	184	24934	263
M25	951	59,0	46,8	165801	161	2,2	233	15137	2238	15955	37849	4071	19,4	10,8	426	36200	188
M26	3892	220	26,8	206233	196	3,1	470	33947	1412	31581	72100	2405	374	13,3	369	61430	300
M27	25216	528	18,5	60130	88,0	10,7	2682	86174	2139	4875	15127	2935	230	1,41	119	12392	216
M28	43304	1379	13,0	397949	967	9,4	2002	370880	2427	93903	145000	2316	257	11,3	494	248513	1258
M29	31477	184	46,4	131941	232	3,0	1079	48778	3017	11225	24300	31800	153	6,2	242	32048	177
M32	1112	950	142	276016	71,9	15,1	731	68123	2892	11762	64401	2287	1346,2	300	587	7941	90,6
M34	189	1,0	38,5	43410	1,1	0,6	9	70	781	2397	71,3	4539	4,0	0,62	222	19,1	26,6
M36	202	147	28,8	444056	3,1	0,9	24	11339	8601	9518	8658	12399	397	12,0	1628	493	410
M37	7164	49,0	47,8	129433	18,8	4,2	245	5353	2333	6646	6107	13919	561	15,3	386	2932	103
M38	2845	227	14,6	88174	9,0	2,4	1666	22694	715	5253	2583	5749	300	4,21	225	1547	79,0
M40	2943	685	47,4	112984	28,3	8,3	2494	35330	1141	7200	9329	3918	675	29,3	354	4033	114
M43	64799	5290	7,8	274379	109	15,1	41274	615838	616	18417	27600	2019	81,00	42,3	605	32186	975
M44	275	24,0	6,3	80375	0,8	0,5	161	3768	608	3350	483	1950	7,0	1,4	172	190	36,0
M46	3,0	1	31,5	254815	6,2	17,2	4762	50	24808	9689	13400	458000	2	30,7	890	370	410
M48	2955	256	9,5	93674	7,8	2,5	1937	24152	741	4918	2183	3944	10,0	2,6	224	1564	104
M51	135	1	32,2	54193	0,2	0,5	22	74	1608	3266	25,9	9615	6,0	0,60	193	34,9	20,0
M55	118	1	29,6	56431	0,1	0,5	13	50	1409	3132	24,9	7625	3,0	0,54	173	26,1	15,0
M56	211	1	33,8	62758	0,05	0,5	14	50	1412	3935	43,4	6752	3,0	0,47	199	17,0	13,0
M57	980	8,0	33,9	68074	12,3	0,5	84	3202	1610	4484	1835	6204	9,0	0,79	215	1555	24,0
M60	1715	179	44,3	130416	17,0	2,3	1542	16803	2090	9208	6871	8106	285	16,1	360	2741	89,0
M61	1166	125	37,5	121542	8,5	1,2	1455	10729	1774	8932	4637	8821	250	11,9	347	1956	76,0
M62	987	9,0	36,5	68741	11,7	0,5	87	2996	1609	4907	1789	8657	11,0	0,88	224	1571	21,0
M63	1198	114	39,2	118671	6,9	1,2	1533	9506	1730	8462	3708	12328	184	9,0	339	1742	61,0
M64	1059	29,0	36,4	74451	10,3	0,5	399	4104	1632	5642	2185	11462	48,0	2,9	210	1609	27,0
M65	339	1,0	49,0	60334	0,4	0,5	38	169	3262	1195	55,5	21726	12,0	1,9	163	118	22,0

: Cuenca del Río Tingo-Maigasbamba.

: Cuenca del río Llaucano


: Cuenca del Río Arascorgue.


Fuente: ACME Analytical Laboratories Ltd. Vancouver.

Tabla 3.8. Metales disueltos en aguas tomadas en cauces afectados por actividades mineras de la cuenca del Río Llaucano.

	Al	Ba	Ca	Cd	Cu	K	Mg	Mn	Na	Sb	Sr	Zn	S
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm
M13	92	13,4	89634	7,7	3,7	1132	6975	53,2	1805	0,3	180	418	68,0
M14	28	20,3	90270	1,1	14,5	802	5799	4028,1	3355	3,59	173	89,0	53,0
M22	1613	21,0	174614	163	418	861	27332	57357	1367	0,23	249	50413	255
M24	20372	15,8	148705	150	1518	877	11468	17425	2381	0,1	170	24151	250
M25	7	21,2	157251	140	11,5	2198	14326	22469	3875	0,32	419	24771	182
M26	66	24,2	206233	186	139	1412	28436	66650	2405	0,79	356	61430	282
M27	25118	16,6	60130	87,6	2682	2139	4875	15128	2935	0,05	119	12392	196
M28	40852	11,3	396821	956	2002	2427	92462	144240	2316	0,41	494	248692	1186
M29	15334	46,4	131941	182	1052	3017	11225	23467	31800	1,05	242	30549	177
M32	981	123	235124	69,1	715	921	10046	59201	2350	226	552	6315	80,3
M34	73,0	35,5	44281	0,57	5,5	731	2227	17,6	4495	0,51	208	9,0	25,5
M36	126	26,9	424222	0,82	17,8	7752	9363	8541	12008	4	1290	263	391
M37	7164	40,6	124825	2,3	43,3	2333	6646	6107	13919	5,9	353	2932	103
M38	401	13,6	83332	5,9	45,9	715	5253	2583	5749	1,37	198	908	72,0
M40	6,0	29,0	109623	19,4	32,7	1134	7200	9038	3918	1,87	296	2943	107
M43	64799	7,8	270589	106	40300	616	18417	22000	2019	9,0	457	32186	933
M44	68,0	4,2	78839	0,05	26	573	3055	27,56	1722	0,85	130	26,8	34,0
M46	1,0	31,5	170941	0,05	2748	24786	8312	475	420000	23,8	574	7,0	384
M48	15,0	9,5	92664	4,8	71,2	703	4514	2061	3777	0,4	171	630	97,0
M51	58,0	31,4	53076	0,07	21,6	1555	3161	14,6	9615	0,6	171	17,4	16,0
M55	36,0	29,2	55231	0,09	11,2	1263	3132	2,8	7625	0,54	150	8,6	13,0
M56	33,0	27,5	57651	0,05	14,0	1188	3453	1,71	6496	0,46	153	7,5	11,0
M57	26,0	29,3	66096	5,3	13,4	1418	4142	1134	6204	0,38	173	289	21,0
M60	13,0	25,1	123730	4,4	41,5	1661	8079	3629	7076	4,8	259	487	86,0
M61	16,0	25,1	112489	2,9	60,6	1457	7825	1467	7590	4,9	265	305	68,0
M62	29,0	29,0	66862	4,4	12,9	1365	4373	737	8657	0,5	179	311	19,0
M63	19,0	26,9	113339	1,3	65,9	1578	7792	527	12328	4,7	284	141	57,0
M64	22,0	30,1	76327	3,8	21,7	1534	5577	775	11462	1,2	189	281	26,0
M65	96,0	43,74	56955	0,38	19,4	2626	1097	48,0	19577	1,9	127	65,4	21,0

 : Cuenca del Río Tingo-Maigasbamba.

 : Cuenca del río Llaucano

 : Cuenca del Río Arascorgue.

Fuente : ACME Analytical Laboratories Ltd. Vancouver.

Tabla 3.9. Metales totales en aguas tomadas en el cauce de la Quebrada Mesa de Plata-Río Arascorgue – Río Llaucano

	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Pb	S	Sb	Zn
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb
M25	59,0	46,8	161	2,2	233	15137	0,20	19,4	188	10,8	36200
M26	220	26,8	196	3,1	470	33947	0,1	374	300	13,3	61430
M22	174	21,0	186	2,7	529	27455	0,10	103	269	6,7	53245
M29	184	13,0	232	3,0	1079	48778	0,10	153	167	6,2	32048
M13	7,0	30,9	67,8	1,5	625	19286	0,10	52,0	73,0	0,40	7292
M57	8,0	33,9	12,3	0,50	84,1	3202	0,20	9,0	24,0	0,79	1555

Fuente: ACME Analytical Laboratories Ltd . Vancouver, Canadá. 2000.

Tabla 3.10. Metales disueltos en aguas tomadas en el cauce de la Quebrada Mesa de Plata- Río Arascorgue – Río Llaucano.

	As ppb	Ba ppb	Cd ppb	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	Hg ppb	Pb ppb	S ppm	Sb ppb	Zn ppb
M25	1,0	21,2	16,3	0,50	11,5	50,0	0,1	2,0	182	0,3	24771
M26	1,0	24,2	186	0,50	139	50,0	0,1	9,0	282	0,79	58786
M22	1,0	20,9	140	0,50	418	50,0	0,1	37,0	255	0,2	504130
M29	27,0	25,5	182	2,7	1052	12386	0,1	71,0	177	1,1	30549
M13	1,0	13,4	7,7	0,50	3,7	50,0	0,1	2,0	68,0	0,3	418
M57	1,0	29,3	5,3	0,50	13,4	50,0	0,1	2,0	21,0	0,4	289

Fuente: ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver, Canadá. 2000.

Tabla 3.11. Metales totales en aguas tomadas en el cauce de la Quebrada El Águila - Río Tingo Maigasbamba – Río Llaucano.

	As ppb	Ba ppb	Cd ppb	Cu ppb	Cr ppb	Fe ppb	Hg ppb	Pb ppb	S ppm	Sb ppb	Zn ppb
M34	1,0	38,5	1,1	9,2	0,60	70,0	0,10	4,0	26,6	0,62	19,1
M37	49,0	47,8	18,8	245	4,2	5353	0,10	561	87,0	15,3	4217
M40	685	47,4	28,3	2494	8,3	35330	0,10	675	114	29,3	4033
M60	179	44,3	17,0	1542	2,3	16803	0,20	385	89,0	16,1	2741
M61	125	37,5	8,5	1455	1,4	10729	0,30	250	76,0	11,9	1956
M63	114	39,2	6,9	1533	1,2	9506	0,20	184	61,0	9,0	1742
M64	29,0	36,4	10,3	399	0,50	4104	0,10	48,0	27,0	2,9	1609

Fuente: Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver, Canadá.2000.

Tabla 3.12. Metales disueltos en aguas tomadas en el cauce de la Quebrada El Águila - Río Tingo Maigasbamba – Río Llaucano.

	As ppb	Ba ppb	Cd ppb	Cr ppb	Cu Ppb	Fe ppb	Hg ppb	Pb ppb	S ppm	Sb ppb	Zn ppb
M34	1,0	35,5	0,6	0,50	5,5	50,0	0,1	2,0	25,5	0,5	9,0
M37	9,0	40,6	8,3	0,90	43,3	3298,0	0,1	20,0	103,0	5,9	2932,1
M40	1,0	29	19,4	2,3	32,7	50,0	0,1	2,0	107,0	1,9	2942,5
M60	1,0	25,1	4,4	1,20	41,5	50,0	0,1	2,0	86,0	4,8	486,5
M61	1,0	25,1	2,9	0,50	60,6	50,0	0,1	2,0	68,0	4,9	304,8
M63	1,0	26,9	1,3	0,50	65,9	50,0	0,1	2,0	57,0	4,7	140,5
M64	1,0	30,1	3,8	0,50	21,7	50,0	0,1	2,0	26,0	1,2	281,0

Fuente: Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver, Canadá. 2000.

Tabla 3.13. Metales totales en aguas tomadas en el cauce de la Quebrada Tres Amigos – Río Tingo-Maigasbamba - Río Llaucano.

	As ppb	Ba ppb	Cd ppb	Cr ppb	Cu ppb	Fe ppb	Hg ppb	Pb ppb	S ppm	Sb ppb	Zn ppb
M44	24.0	6.30	0.84	0.50	161	3768	0.1	7.0	36.0	1.4	190
M48	2.6	9.52	7.80	2.50	1937	24152	0.9	10.0	104.0	2.6	1564
M38	227	14.6	9.0	2.4	1666	22694	0.1	10.0	79.0	4.2	1547
M60	179	44.3	17.0	2.3	1542	16803	0.2	385	89.0	16.1	2741
M61	125	37.5	8.5	1.4	1455	10729	0.3	250	76.0	11.9	1956
M63	114	39.2	6.9	1.2	1533	9506	0.2	184	61.0	9.0	1742
M64	29.0	36.4	10.3	0.50	399	4104	0.1	48.0	27.0	2.9	1609

Fuente: Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver, Canadá. 2000.

Tabla 3.14. Metales disueltos en aguas tomadas en el cauce de la Quebrada Tres Amigos – Río Tingo-Maigasbamba - Río Llaucano.

	As ppb	Ba ppb	Cd ppb	Cr ppb	Cu Ppb	Fe ppb	Hg ppb	Pb ppb	S ppm	Sb ppb	Zn ppb
M44	1,0	4,2	0,05	0,50	26,0	296	0,10	2,0	34,0	0,7	26,8
M48	1,0	9,5	4,83	2,2	71,2	50	0,50	2,0	97,0	0,4	630
M38	1,0	13,6	5,92	1,5	45,9	159	0,10	2,0	72,0	1,4	908
M60	1,0	25,1	4,4	1,2	41,5	50,0	0,10	2,0	86,0	4,8	487
M61	1,0	25,1	2,9	0,50	60,6	50,0	0,10	2,0	68,0	4,9	305
M63	1,0	26,9	1,3	0,50	65,9	50,0	0,10	2,0	57,0	4,7	141
M64	1,0	30,1	3,8	0,50	21,7	50,0	0,10	2,0	26,0	1,2	281

Fuente: Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver, Canadá. 2000.

Tabla 3.15. Metales totales en aguas tomadas en el cauce del Río Llaucano.

	As ppb	Ba ppb	Cd ppb	Cr Ppb	Cu ppb	Fe ppb	Hg ppb	Pb ppb	S ppm	Sb ppb	Zn ppb
M55	1,0	29,6	0,11	0,50	12,7	50,0	0,20	3,0	15,0	0,46	26,1
M56	1,0	33,8	0,05	0,50	8,1	50,0	0,10	3,0	13,0	0,47	17,0
M57	8,0	33,9	12,3	0,50	84,1	3202	0,20	385	89,0	16,1	2741
M62	9,0	36,5	11,7	0,50	86,8	2996	0,10	11,0	21,0	0,88	1571
M64	29,0	36,4	10,3	0,50	399	4104	0,10	48,0	27,0	2,9	1609

Fuente: Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver, Canadá. 2000.

Tabla 3.16. Metales disueltos en aguas tomadas en el cauce del Río Llaucano.

	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	Pb	S	Sb	Zn
	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppb	ppm	ppb	ppb
M55	1,0	29,2	0,09	0,50	11,2	50,0	0,1	2,0	13,0	0,54	8,6
M56	1,0	27,5	0,05	0,50	14,0	50,0	0,1	2,0	11,0	0,46	7,5
M57	1,0	29,3	5,29	0,50	13,4	50,0	0,1	2,0	21,0	0,38	288,9
M62	1,0	29,0	4,39	0,50	12,9	50,0	0,1	2,0	19,0	0,50	310,9
M64	1,0	30,1	3,78	0,50	21,7	50,0	0,1	2,0	26,0	1,18	281,0

Fuente: Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver. Canadá. 2000.

3.2.1.2 Estudio estadístico

➤ Técnicas estadísticas univariantes

Se aplicaron técnicas de estadística descriptiva a los resultados obtenidos en los análisis de los 22 elementos químicos evaluados en las muestras de agua seleccionadas, tomadas en la cuenca hidrográfica del río Llaucano, tanto las muestras como la información obtenida han sido clasificadas de la siguiente forma:

- Toda la Cuenca Hidrográfica del río Llaucano (34 muestras).
- Cauces no afectados por la minería (5 muestras).
- Cauces afectados por la minería (29 muestras).

A su vez, cada una de éstas ha sido subdividida en Metales totales y Metales disueltos.

La información de las Tablas 3.17 a 3.22 ha sido obtenida al aplicar el software estadístico Minitab 15, que permitió aplicar:

- Estadística descriptiva a los resultados de los análisis químicos obtenidos en las 34 muestras de agua evaluadas y presentados en las Tablas 3.1 a 3.6. Se calcularon medidas de tendencia central como la media aritmética y la mediana y medidas de dispersión como la desviación estándar, la varianza y el Coeficiente de Varianza para cada variable o elemento químico evaluado.

En cada tabla se incluye la evaluación de los valores de tendencia central con los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua, D.S. No. 002-2005-MINAM. (Anexo 3.2).

En las Tablas 3.17 a 3.22 se han resaltado en amarillo los valores que superan los ECAs correspondientes, para su evaluación y comparación con los Estándares de Calidad Ambiental para el Agua, correspondientes a las Categoría A2 y 3 (D.S. No. 002-2005-MINAM) y en algunos casos, cuando éstos no están determinados, con los Valores Guía establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS, 1999/2004).

Tabla 3.17. Estadística descriptiva del contenido de elementos químicos totales en la cuenca del Río Llaucano.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)							Estándar de Calidad Ambiental para el agua (ppb)	
		Media aritmética (M)	Mediana (Md)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza (Var)	Coefficiente de Varianza (CoefVar)	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo
Al	34	6 714	1 086	3,0	64 799	14 291	204 229 023	213	200	500
Ba	34	33,6	32,00	6,3	142	22,5	508	87,0	700	No determinado
Ca	34	129 657	96 543	5257	444 056	98 135	9 630 382 656	76,0	No determinado	No determinado
Cd	34	70,8	8,7	0,05	967	172	29 650	243	3	10
Cu	34	2 020	435	1,0	41 274	7 016	49 223 634	347	2000	500
Fe	34	44 252	10 118	50,0	615 838	119 763	14 343 283 991	271	1000	1000
K	34	2 395	1 510	608	24 808	4 204	17 676 346	176	No determinado	No determinado
Mg	34	10 714	6 541	560	93 903	16 212	262 827 108	151	No determinado	150 000
Mn	34	15 886	4 096	25,0	145 000	29 779	886 791 110	188	400	200
Na	34	20 023	4 217	1387	458 000	77 640	6 028 025 109	388	200(*)	No determinado
Pb	34	531	50,0	2,0	13 462	2 292	5 251 483	432	50,0	50,0
Sb	34	16,2	3,6	0,05	301	51,1	2 621	316	20,0(**)	No determinado
Sr	34	331	225	69,0	1 628	280	78 528	51	No determinado	No determinado
Zn	34	15 915	1 590	3,0	248 513	44 061	1 941 361 282	277	5000	24000
S'	34	163	74,5	0,50	1 258	269	72 382	165	***	50

(*): Valor Guía (OMS, 1993). (**): Valor Guía (OMS, 2004). (***): Parámetro no relevante. Fuente: Propia.

Tabla 3.18. Estadística descriptiva del contenido de elementos químicos disueltos en la cuenca del Río Llaucano.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)							Estándar de Calidad Ambiental para el agua (ppb)	
		Media aritmética (M)	Mediana (Md)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza (Var)	Coficiente de Varianza (Var)	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo
Al	34	5 222	47	1,0	64 673	13 774	189 715 027	264	200	500
Ba	34	27,0	26,2	4,2	123	19,4	375	71,7	700	No determinado
Ca	34	122 071	91 467	5 059	424 222	92 447	8 546 360 478	75,7	No determinado	No determinado
Cd	34	61,8	3,3	0,05	956	169	28 586	273	3	10
Cu	34	1 523	24,0	1,3	40 300	6 890	47 468 305	45,2	2000	500
K	34	2 121	1 292	504	24 786	4 187	17 531 257	197	No determinado	No determinado
Mg	34	9 921	5 688	510	92 462	15 900	252 796 962	160	No determinado	150 000
Mn	34	13 730	1 301	0,31	144 240	29 073	845 228 031	212	400	200
Na	34	16 858	3 826	652	420 000	71 335	5 088 619 170	42,3	200(*)	No determinado
Sb	34	8,9	0,53	0,05	226	38,7	1 494	43,6	20,0(**)	No determinado
Sr	34	331	193	69,0	1 628	280	48 127	8,1	No determinado	No determinado
Zn	34	15 915	297	3,0	248 513	44 061	1 935 517 493	30,5	5000	24000
S	34	163	68,0	0,50	1 258	269	65 269	167	***	50

(*): Valor Guía (OMS, 1993). (**): Valor Guía (OMS, 2004). (***): Parámetro no relevante. Fuente: propia.

Tabla 3.19. Estadística descriptiva del contenido de elementos químicos totales en cauces no afectados por actividades mineras en la cuenca del Río Llaucano.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)							Estándar de Calidad Ambiental para el agua (ppb)	
		Media aritmética (M)	Mediana (Md)	Mínimo (Mlo)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza (Var)	Coefficiente de Varianza (Var)	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo
Al	5	581	130	116	2 168	893	797 499	154	200	500
Ba	5	28,7	31,8	18,6	37,9	8,7	76,2	30,4	700	No determinado
Ca	5	62 094	76 351	5 257	98 160	36 830	1 356 416 416	59,3	No determinado	No determinado
Cd	5	1,3	0,11	0,05	6,07	2,7	7,1	203	3	10
Cu	5	20,5	3,5	1,3	77,2	32,4	1 051	158	2000	500
Fe	5	446	179	50	1 661	683	466 983	153	1000	1000
K	5	1 007	848	629	1 629	390	152 487	38,8	No determinado	No determinado
Mg	5	4 063	4 601	560	7 740	2 656	7 053 598	65,1	No determinado	150 000
Mn	5	318	40	27	1 435	625	390 262	197	400	200
Na	5	3 648	3 777	2 646	4 229	659	434 936	18,1	200(*)	No determinado
Sb	5	0,14	0,10	0,05	0,32	0,11	0,0126	82,6	20,0(**)	No determinado
Sr	5	192	202	69	312	87,5	7 664	45,6	No determinado	No determinado
Zn	5	236	8,0	2,8	1 157	515	264 942	218	5000	24000
S	5	6,5	5,0	0,50	15,0	5,5	29,75	84,0	***	50

(*): Valor Guía (OMS, 1993). (**): Valor Guía (OMS, 2004). (***): Parámetro no relevante. Fuente: propia.

Tabla 3.20. Estadística descriptiva del contenido de elementos químicos disueltos en cauces no afectados por actividades mineras en la Cuenca del Río Llaucano.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)							Estándar de Calidad Ambiental para el agua (ppb)	
		Media aritmética (M)	Mediana (Md)	Mínimo (Mín)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza (Var)	Coficiente de Varianza (Var)	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo
Al	5	40,6	13,0	5	161	67,4	4 545	166	200	500
Ba	5	27,1	29,5	17,0	37,9	8,9	78,3	33,7	700	No determinado
Ca	5	59 356	67 946	5 059	94 564	35 483	1 259 036 829	59,8	No determinado	No determinado
Cu	5	16,4	1,0	0,60	77,2	34,0	1 154	207	2000	500
K	5	925	842	609	1 435	346	119 587	37,4	No determinado	No determinado
Mg	5	3 995	4 516	510	7 740	2 701	7 293 710	67,6	No determinado	150 000
Mn	5	289	2,0	0,31	1 435	641	410 608	322	400	200
Na	5	3 568	3 532	2 493	4 229	713	508 645	30,6	200(*)	No determinado
Sb	5	0,14	0,10	0,05	0,32	0,11	0,013	82,6	20,0(**)	No determinado
Sr	5	170	166	59,3	312	90,8	8 250	53,4	No determinado	No determinado
Zn	5	234	4,0	0,70	1 157	516	266 041	220	5000	24000
S	5	5,7	40	0,20	15,0	5,7	32,1	97,1	***	50

(*): Valor Guía (OMS, 1993). (**): Valor Guía (OMS, 2004). (***) : Parámetro no relevante. Fuente: Propia.

Tabla 3.21. Estadística descriptiva del contenido de elementos químicos totales en cauces afectados por actividades mineras de la cuenca del Río Llaucano.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)							Estándar de Calidad Ambiental para el agua (ppb)	
		Media aritmética (M)	Mediana (Md)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza (Var)	Coefficiente de Varianza (Var)	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo
Al	29	7.772	1.166	3,0	64.799	15.255	232.708.870	196	200	500
As	29	372	114	1,0	5.289	997	997.842	268	10	100
Ba	29	34,5	32,2	6,3	142	24,1	5823	70,1	700	No determinado
Ca	29	141.276	112.984	43.410	444.056	101.028	10.206.698.428	71,3	No determinado	No determinado
Cd	29	82,8	11,7	0,10	967	184	33.933	223	3	10
Cr	29	3,9	1,5	0,50	17,2	4,9	24,3	125	50	1000
Cu	29	2.365	625	9,0	41.274	7.561	57.176.148	320	2000	500
Fe	29	51.804	11.860	50,0	615.838	128.463	16.502.770.037	248	1000	1000
K	29	2.635	1.609	608	24.808	4.518	20.408.166	172	No determinado	No determinado
Mg	29	11.858	7.016	1.195	93.903	17.307	299.546.390	146	No determinado	150.000
Mn	29	18.570	4.637	25,0	145.000	33.533	994.347.771	170	400	200
Na	29	22.844	5.749	1.387	458.000	83.954	7.048.349.052	368	200(*)	No determinado
Ni	29	14,65	3,5	0,20	176	35,1	1.228	239	200	200
Pb	29	622	103	2,0	13.462	2.476	6.130.862	398	50,0	50,0
Sb	29	19,0	6,2	0,40	301	55,1	3.035	290	20,0(**)	No determinado
Sr	29	355	232	119	1.628	296	87.406	83,1	No determinado	No determinado
Zn	29	18.618	1.956	17,0	248.513	47.292	2.236.530.551	254	5000	24000
S	29	190	89,0	13,0	1.258	283	80.161	149	***	50

(*): Valor Guía (OMS, 1993). (**): Valor Guía (OMS, 2004). (***): Parámetro no relevante. Fuente: Propia.

Tabla 3.22. Estadística descriptiva del contenido de elementos químicos disueltos en cauces afectados por actividades mineras en la cuenca del Río Llaucano.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)							Estándar de Calidad Ambiental para el agua (ppb)	
		Media aritmética (M)	Mediana (Md)	Mínimo (Mín)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza (Var)	Coefficiente de Varianza (Var)	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo.
Al	29	6 119	66,0	1,0	64 799	14 782	218 499 419	196	200	500
Ba	29	27,9	26,9	4,2	123	21,0	441	70,3	700	No determinado
Cu	29	133 510	109 623	44 281	424 222	95 340	9 089 794 054	71,5	No determinado	No determinado
Cd	29	72,5	4,4	0,10	956	181	32 894	223	3	10
Cu	29	1 798	42,0	3,7	40 300	7 448	55 475 184	320	2000	500
K	29	2 440	1 412	573	24 786	4 501	20 260 306	172	No determinado	No determinado
Mg	29	11 261	6 975	1 097	92 462	16 944	287 106 643	146	No determinado	150 000
Mn	29	16 179	2 583	2,0	144 240	30 915	955 707 839	170	400	200
Na	29	21 339	5 749	1 367	420 000	76 945	5 920 604 626	368	200(*)	No determinado
Sb	29	10,4	0,85	0,05	226	41,8	1 744	290	20,0(**)	No determinado
Sr	29	295,9	208	119	1 290	231	53 156	83	No determinado	No determinado
Zn	29	17 277	418	7,00	248 692	47 391	2 245 909 683	254	5000	24000
S	29	180	80,3	11,0	1 186	269	75 144	149	***	50

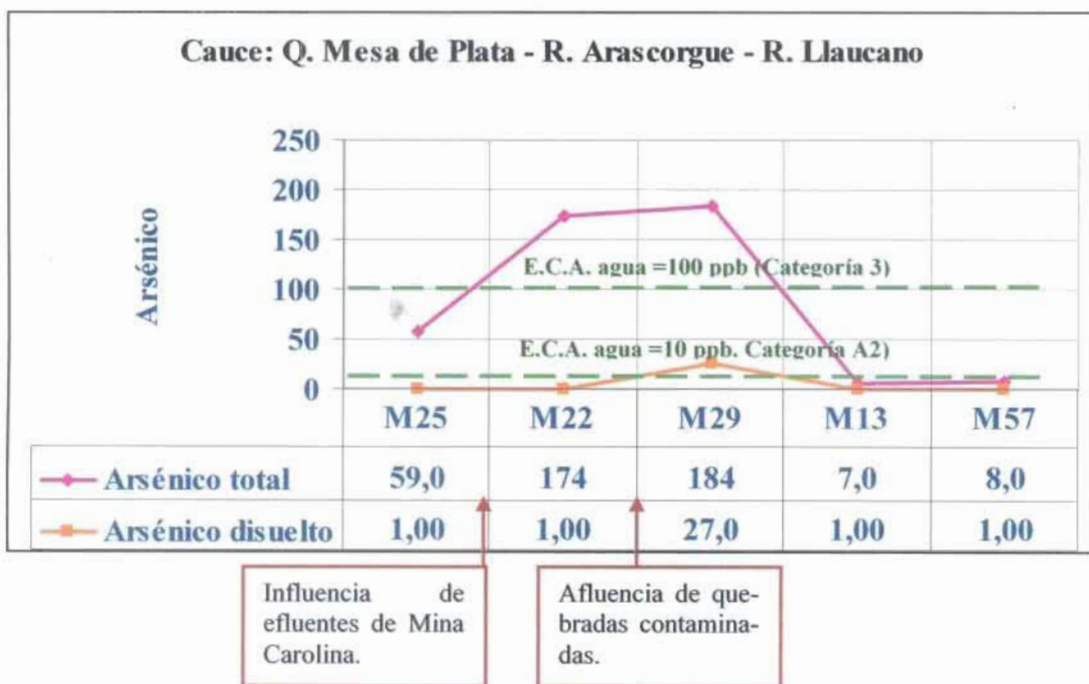
(*): Valor Guía (OMS, 1993). (**): Valor Guía (OMS, 2004). (***): Parámetro no relevante. Fuente: Propia.

2. Representación mediante gráficos de líneas de los elementos metálicos seleccionados, tales como Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc por constituir un riesgo ambiental significativo en la zona de estudio,

La representación gráfica de la evaluación realizada se describe a continuación:

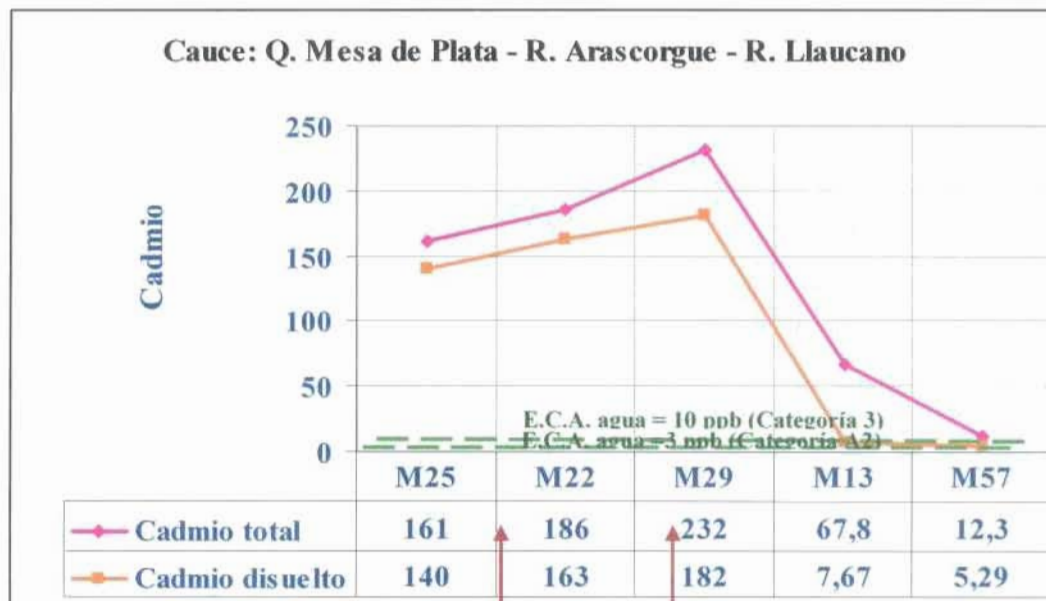
- a. Representación gráfica de la concentración de elementos metálicos seleccionados presentes en las aguas tomadas en el cauce de la Quebrada Mesa de Plata – Río Arascorgue – Río Llaucano. (ver Figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6).
- b. Representación gráfica de la concentración de elementos metálicos seleccionados, totales y disueltos, presentes en las aguas tomadas en el cauce de la Quebrada El Águila – Río Tingo-Maigasbamba – Río Llaucano (ver Figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11).

Figura 3.2. **Concentración de Arsénico total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Mesa de Plata – R. Arascorgue – R. Llaucano.**



Fuente: Propia.

Figura 3.3. Concentración de Cadmio total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Mesa de Plata – R. Arascorgue – R. Llaucano.

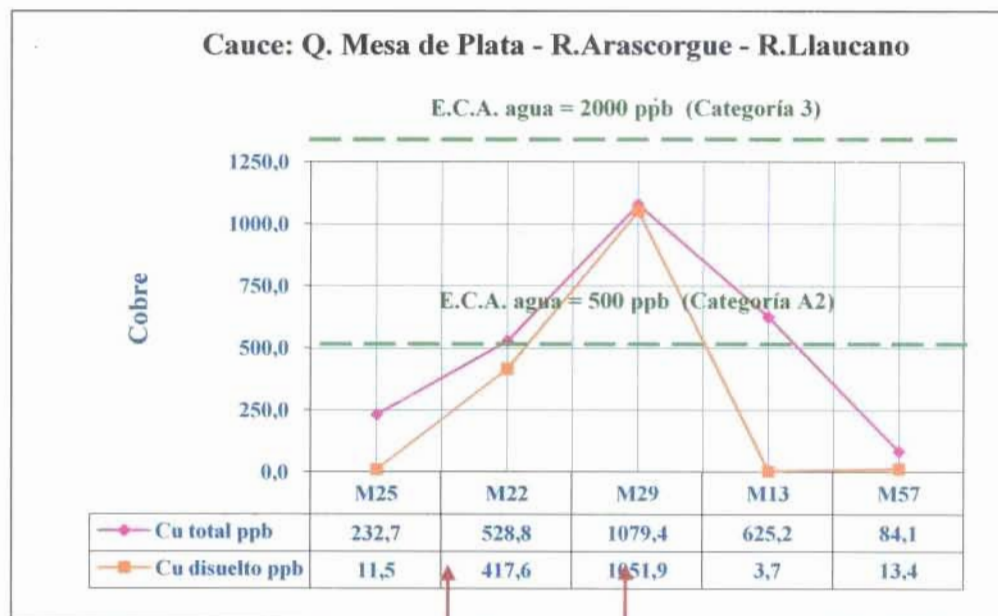


Fuente: Propia.

Influencia de efluentes de Mina Carolina

Afluencia de quebradas contaminadas.

Figura 3.4. Concentración de Cobre total y disuelto en aguas tomadas en el cauce de Q. Mesa de Plata – R. Arascorgue – R. Llaucano.



Fuente: Propia.

Influencia de efluentes de Mina Carolina

Afluente a Quebrada El Dique, afectada por quebradas contaminadas.

Figura 3.5. Concentración de Plomo total y disuelto presente en aguas tomadas en el cauce Q. Mesa de Plata – R. Arascorgue – R. Llaucano

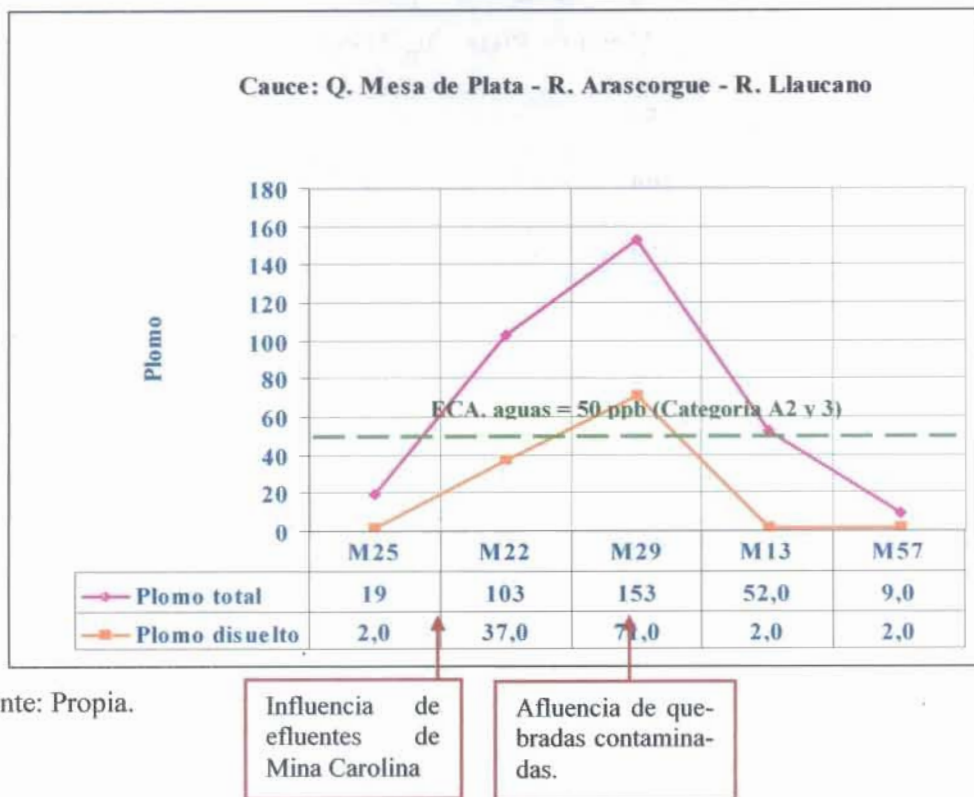


Figura 3.6. Concentración de Zinc total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Mesa de Plata – R. Arascorgue – R. Llaucano.

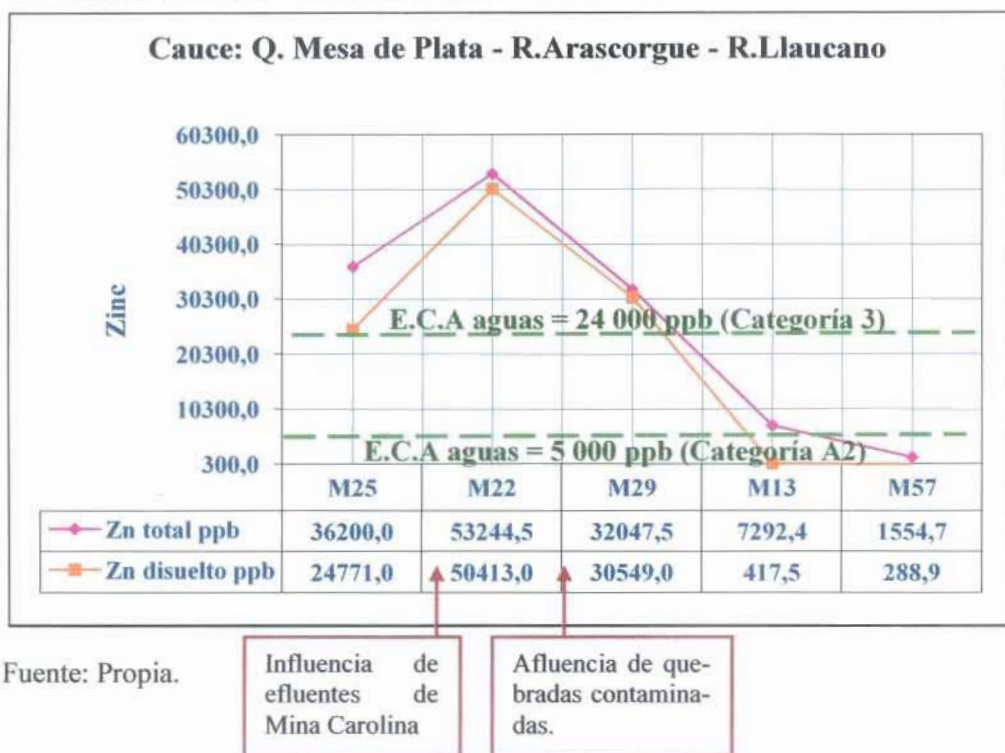


Figura 3.7. Concentración de Arsénico total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Águila – R. Tingo-Maigasbamba – R. Llaucano.

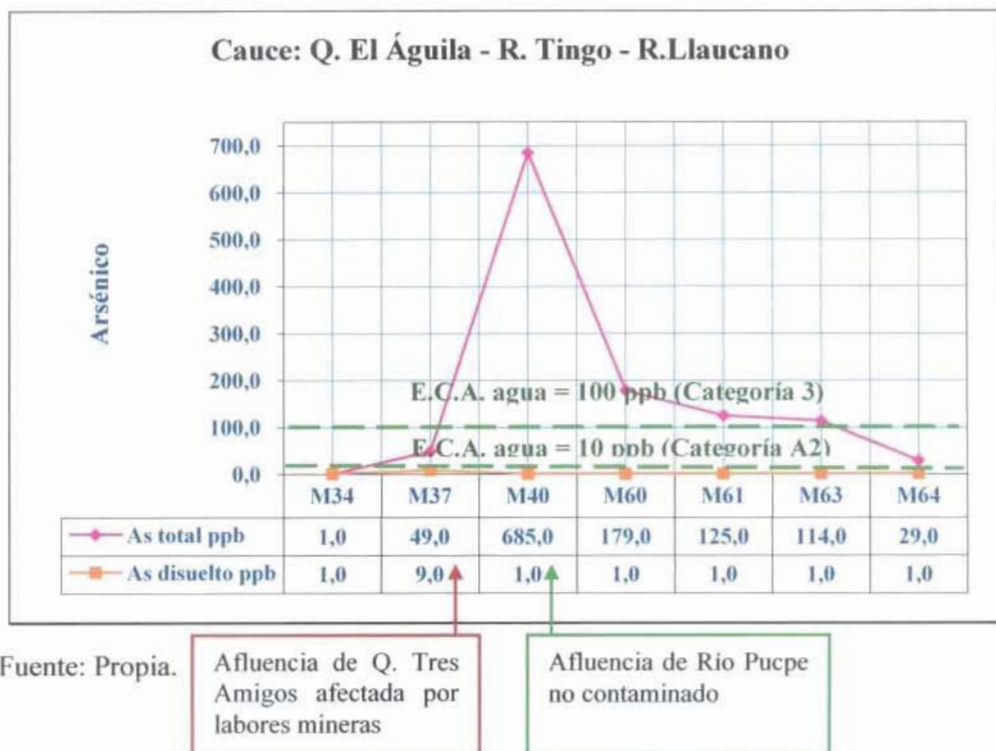


Figura 3.8. Concentración de Cadmio total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. El Águila – R. Tingo-Maigasbamba – R. Llaucano.

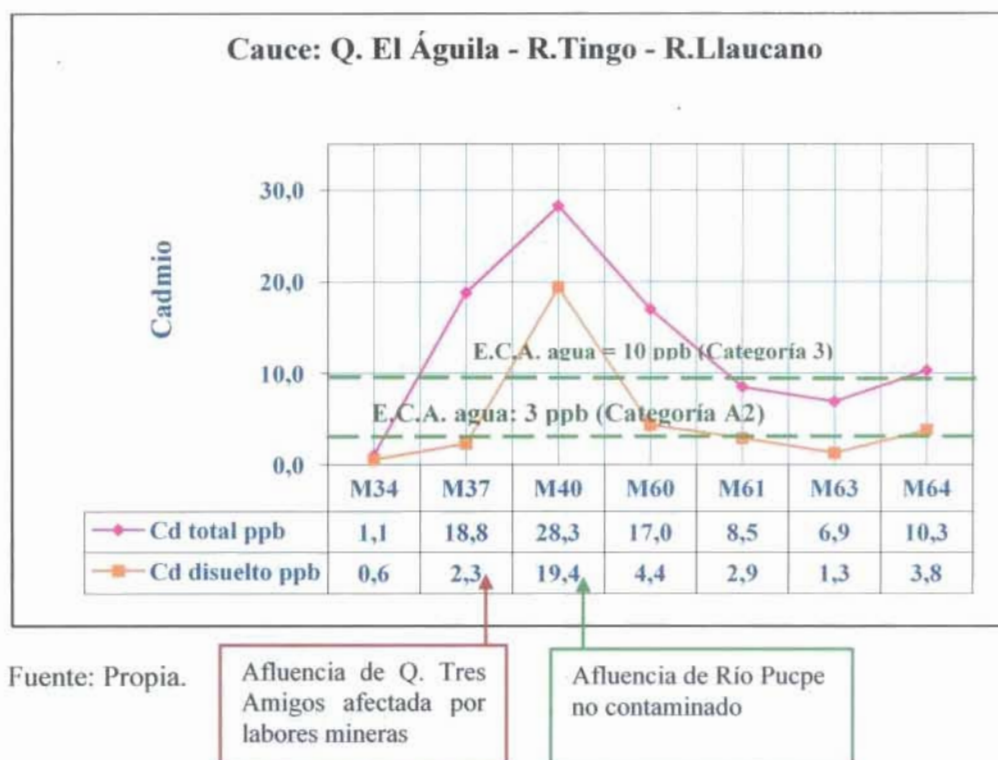
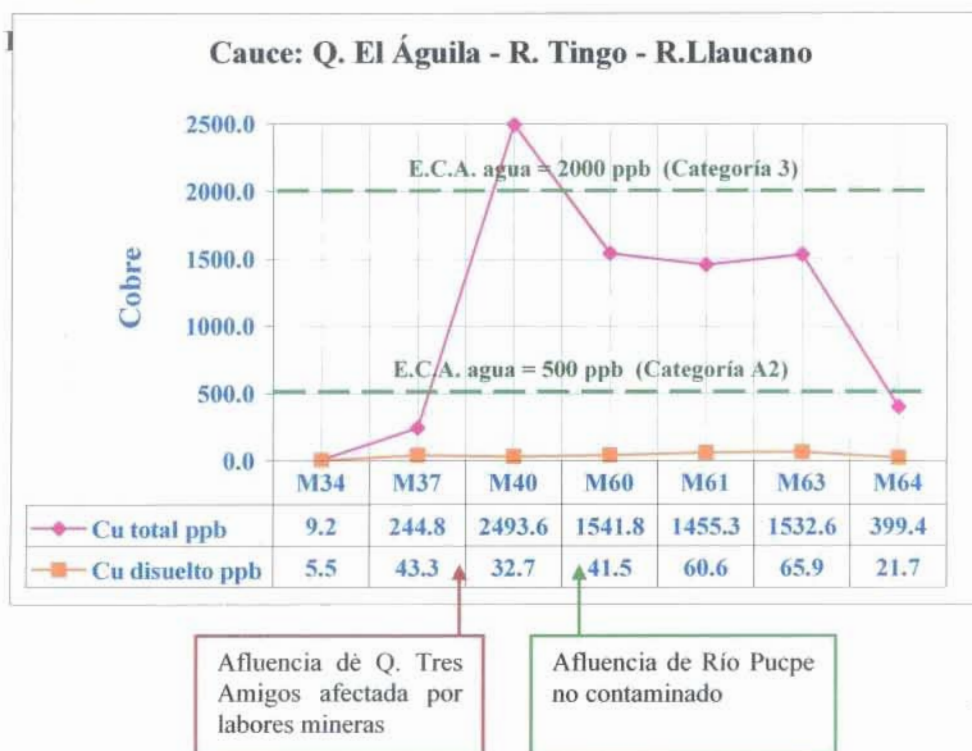
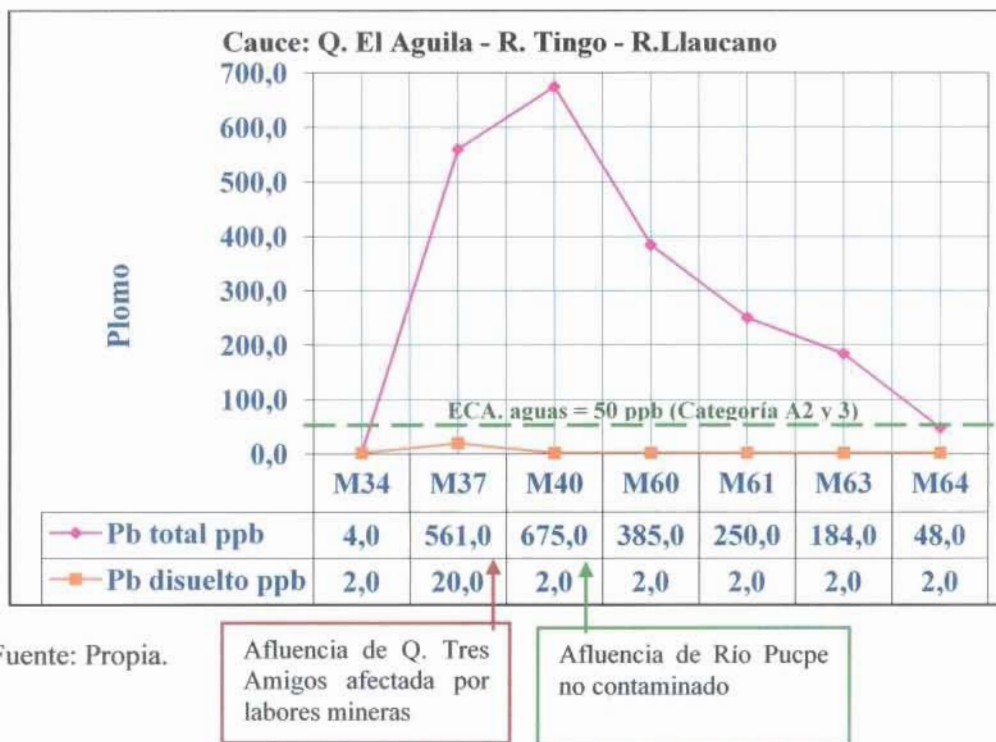


Figura 3.9. Concentración de Cobre total y disuelto en aguas tomadas en el Cauce Q. El Águila – R. Tingo-Maigasbamba – R. Llaucano.



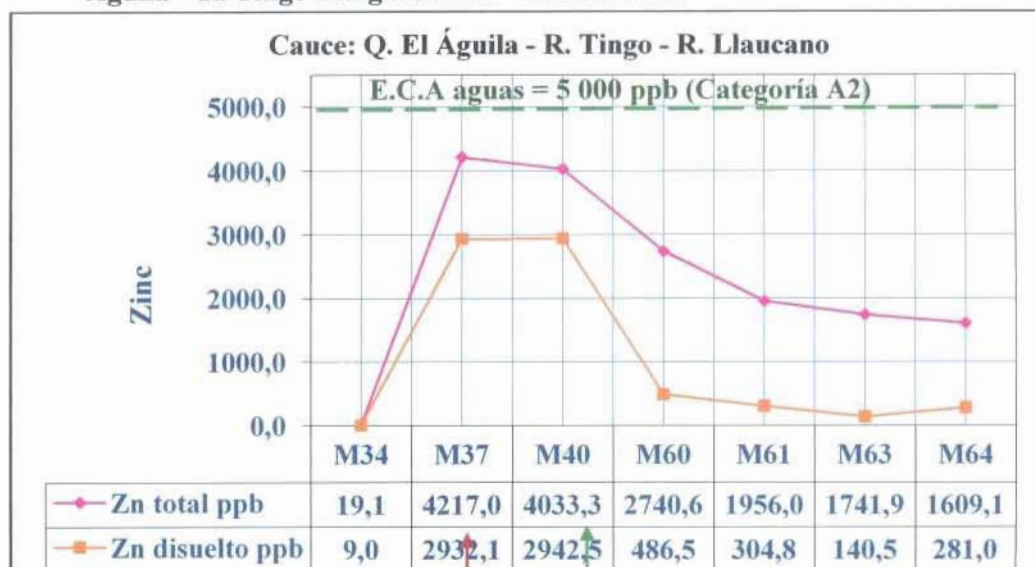
Fuente: Propia.

Figura 3.10. Concentración de Plomo total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. El Águila – R. Tingo-Maigasbamba – R. Llaucano.



Fuente: Propia.

Figura 3.11. Concentración de Zinc total y disuelto en aguas tomadas en el cauce: Q. El Águila – R. Tingo-Maigasbamba – R. Llaucano.



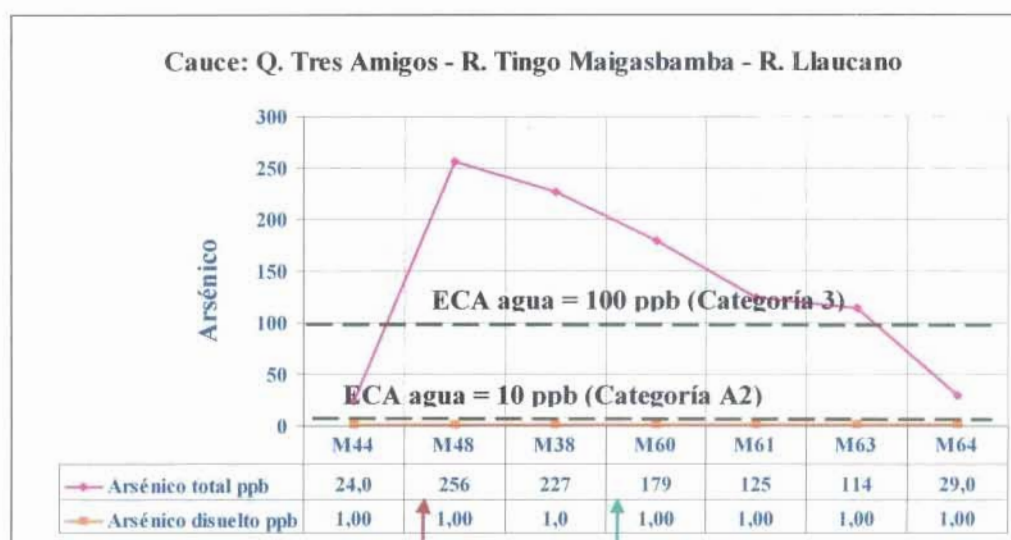
Fuente: Propia

Afluencia de Q. Tres Amigos afectada por labores mineras

Afluencia de Río Pucpe no contaminado

- c. Representación gráfica de la concentración de elementos metálicos seleccionados, totales y disueltos, presentes en las aguas tomadas en el cauce de la Quebrada Tres Amigos – Río Tingo-Maigasbamba – Río.Llaucano (ver Figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16).

Figura 3.12. Concentración de Arsénico total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Tres Amigos – R. Tingo Maigasbamba - R. Llaucano.



Fuente: Propia

Afluencia de Q. Sinchao, afectada por labores mineras

Afluencia del R. Pucpe, no afectado por labores mineras

Figura 3.13. Concentración de Cadmio total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Tres Amigos – R. Tingo – R. Llaucano

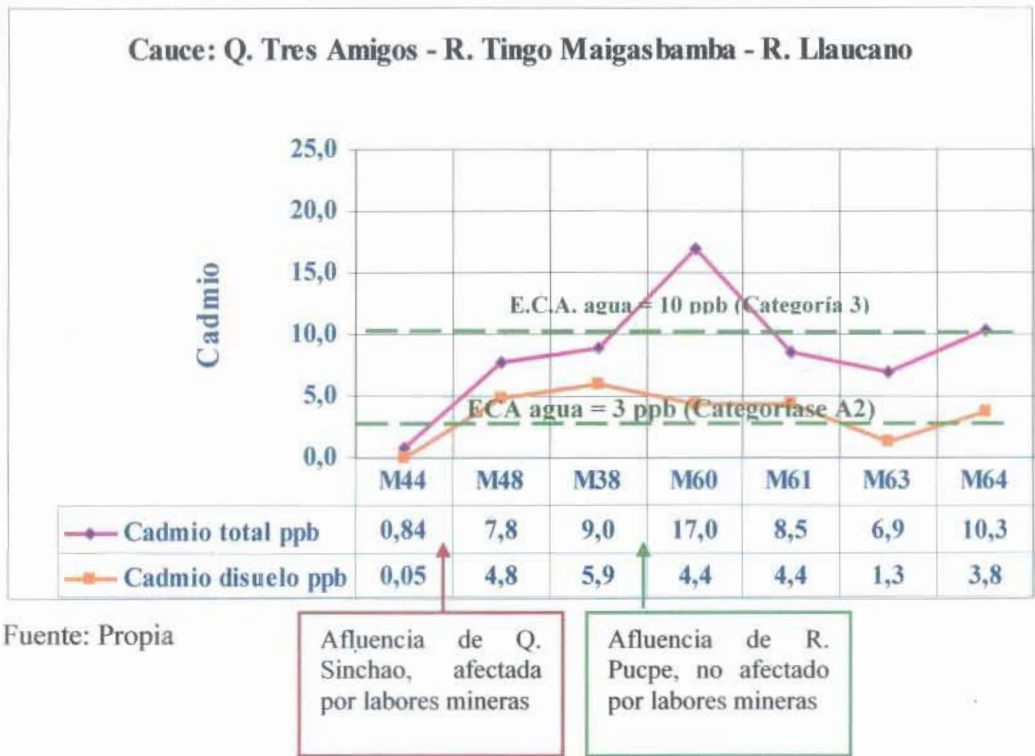


Figura 3.14. Concentración de Cobre total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Tres Amigos – R. Tingo – R. Llaucano.

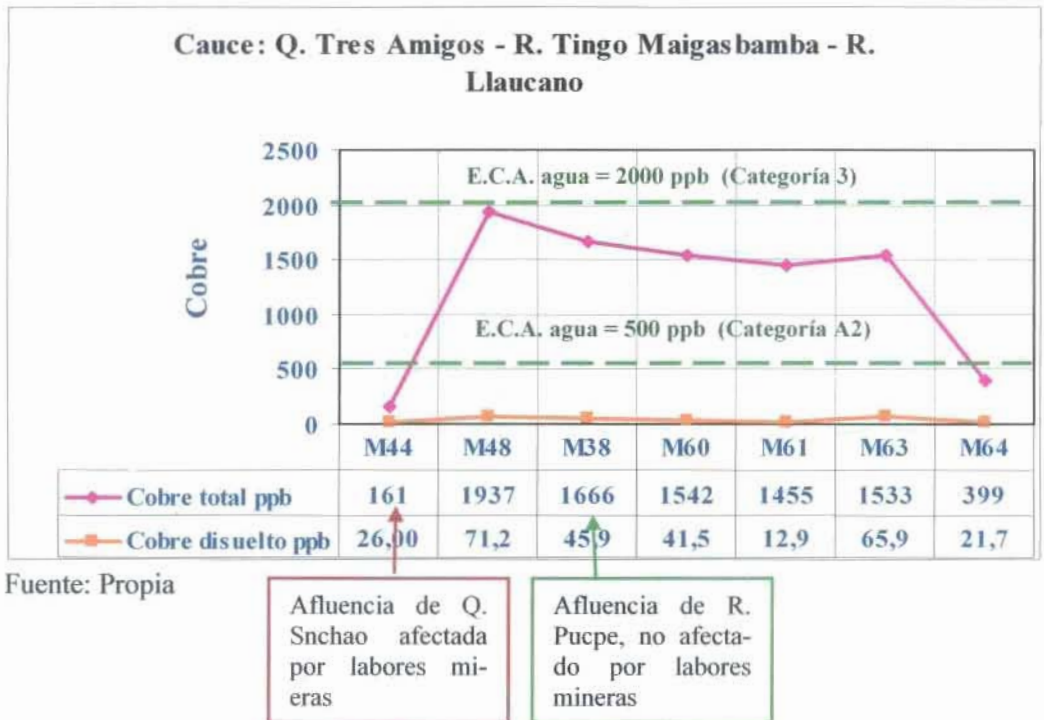
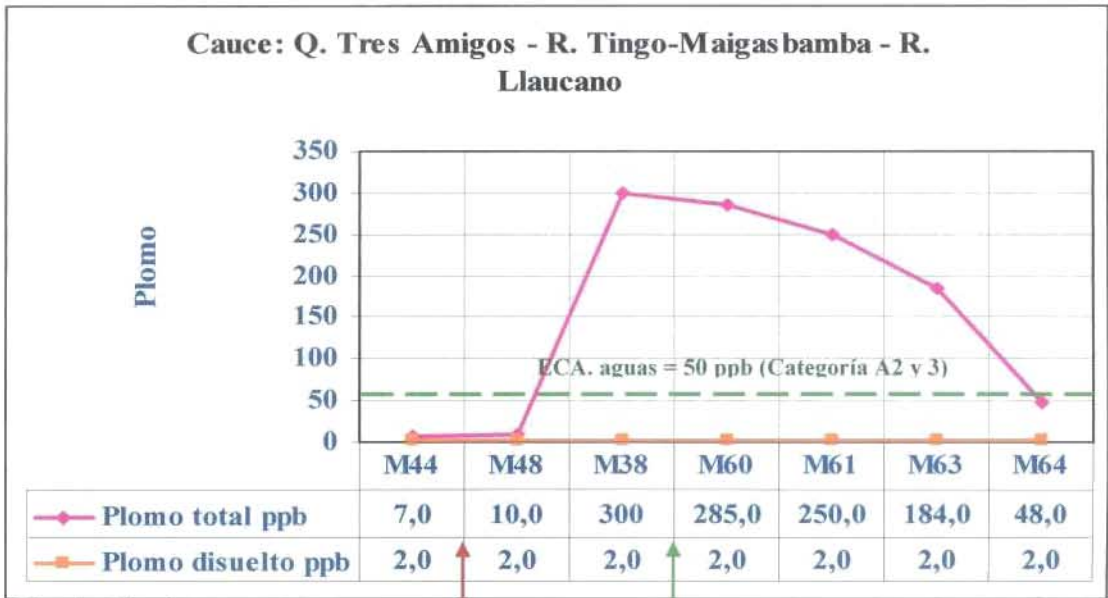


Figura 3.15. Concentración de Plomo total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Tres Amigos – R. Tingo – R. Llaucano.

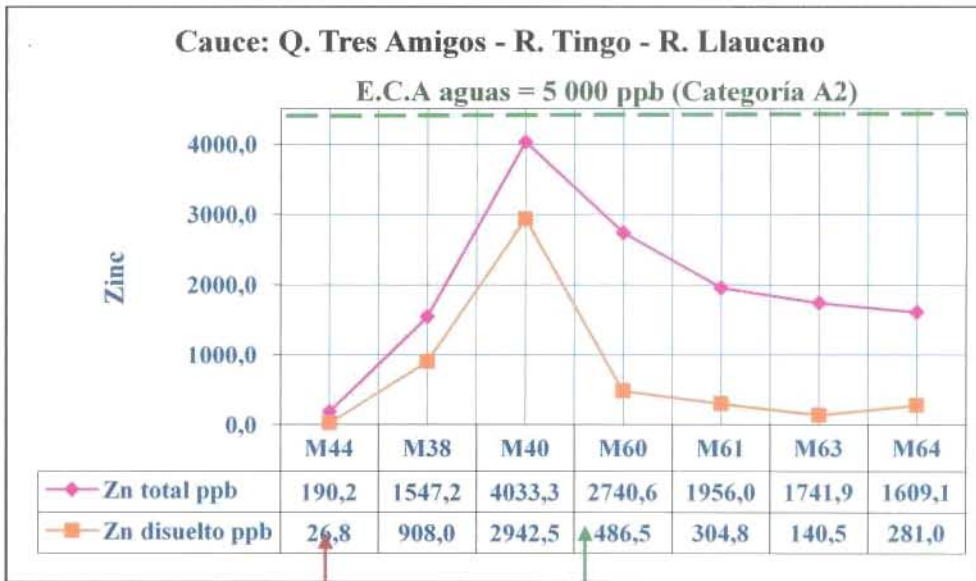


Fuente: Propia

Afluencia de Q. Sinchao, afectada por labores mineras

Afluencia de R. Pucpe no afectado por labores mineras

Figura 3.16. Concentración de Zinc total y disuelto en aguas tomadas en el cauce Q. Tres Amigos - R. Tingo – R. Llaucano



Fuente: Propia

Afluencia de Q. Sinchao, afectada por labores mineras

Afluencia del R. Pucpe, no afectado por labores mineras

- d. Representación gráfica de la concentración de elementos metálicos seleccionados, totales y disueltos, presentes en las aguas tomadas en el cauce del Río Llaucano con la finalidad de evaluar el comportamiento de los elementos metálicos seleccionados a lo largo de su cauce, desde aguas arriba de la afluencia de los Ríos Tingo-Maigasbamba y Arascorgue afectados por las labores mineras en estado de abandono y en activo presentes, hasta aguas abajo de la ciudad de Bambamarca (ver Figuras 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21).

Figura 3.17. Arsénico total y disuelto en aguas tomadas en el cauce del Río Llaucano.

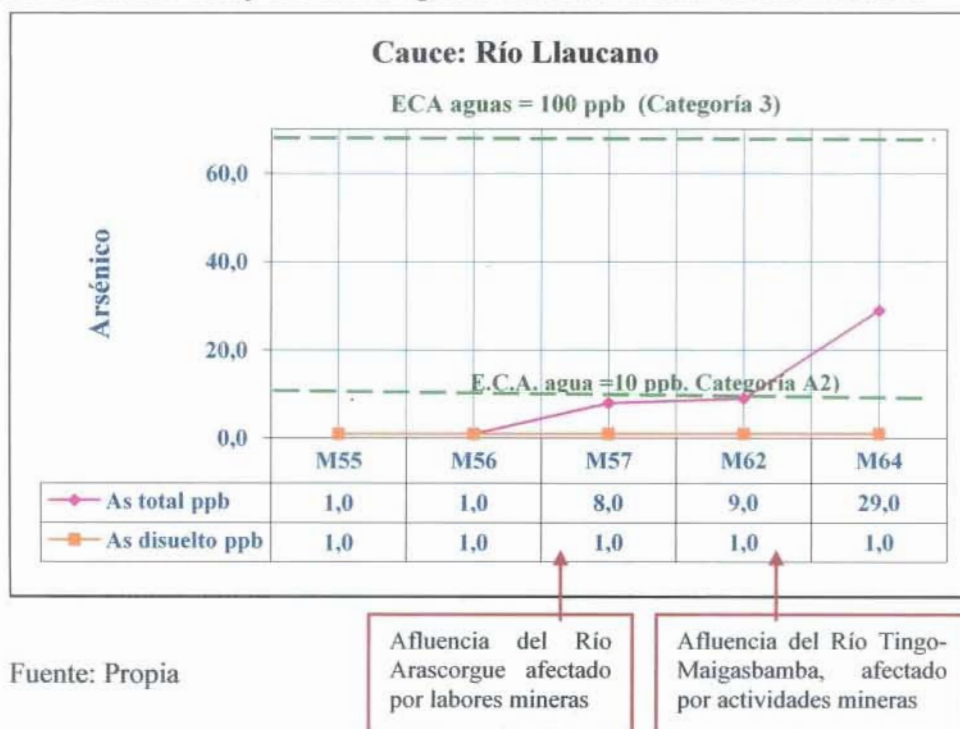


Figura 3.18. Concentración de Cadmio total y disuelto en aguas tomadas en el cauce del Río Llaucano.

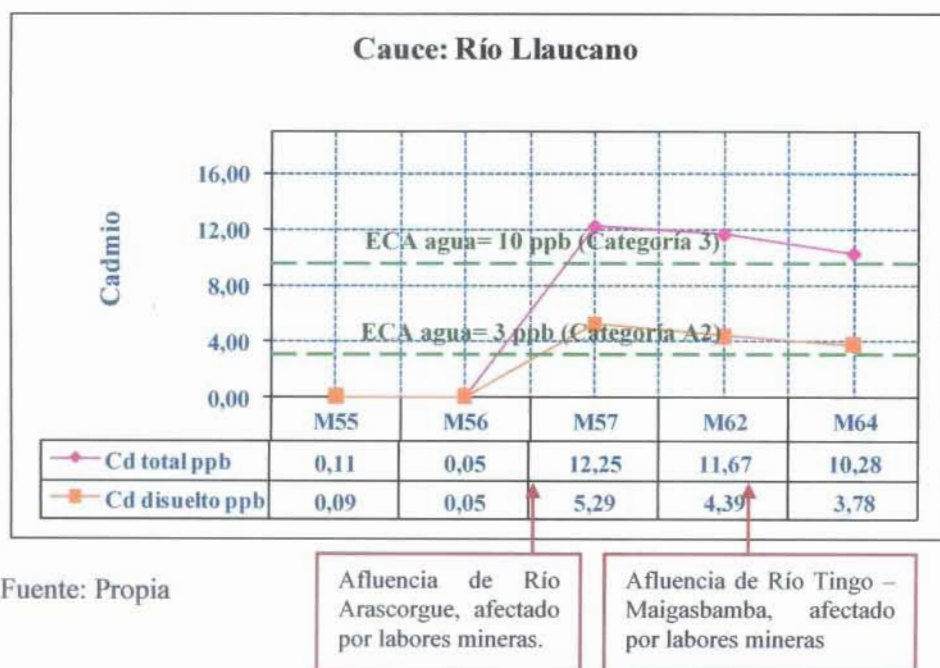


Figura 3.19. Concentración de Cobre total y disuelto en aguas tomadas en el cauce del Río Llaucano.

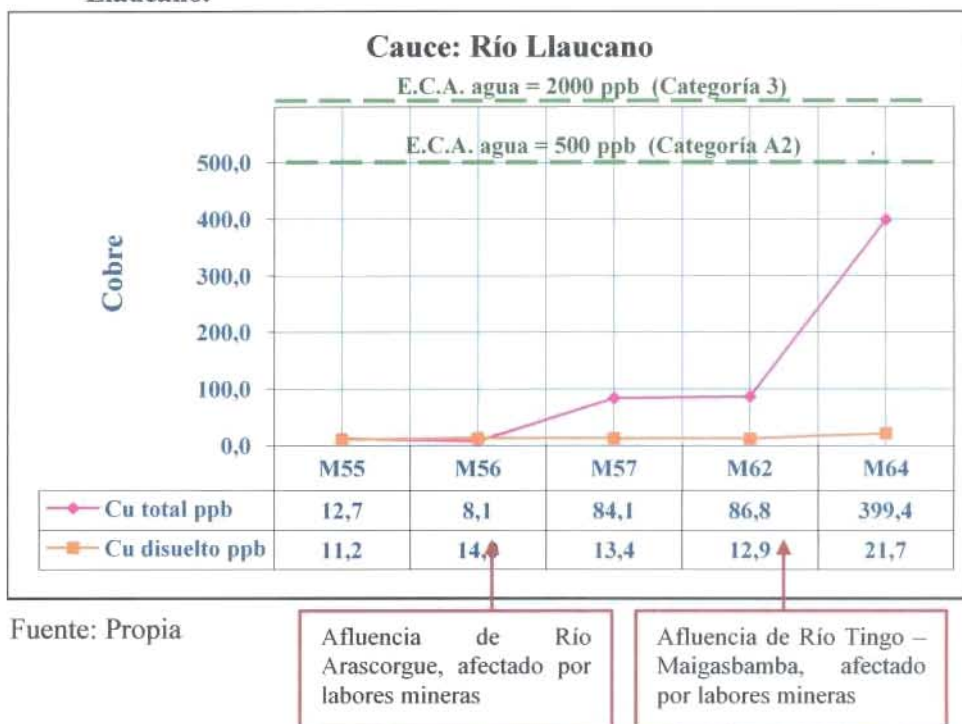


Figura 3.20. Concentración de Plomo total y disuelto en aguas tomadas en el cauce del Río Llaucano.

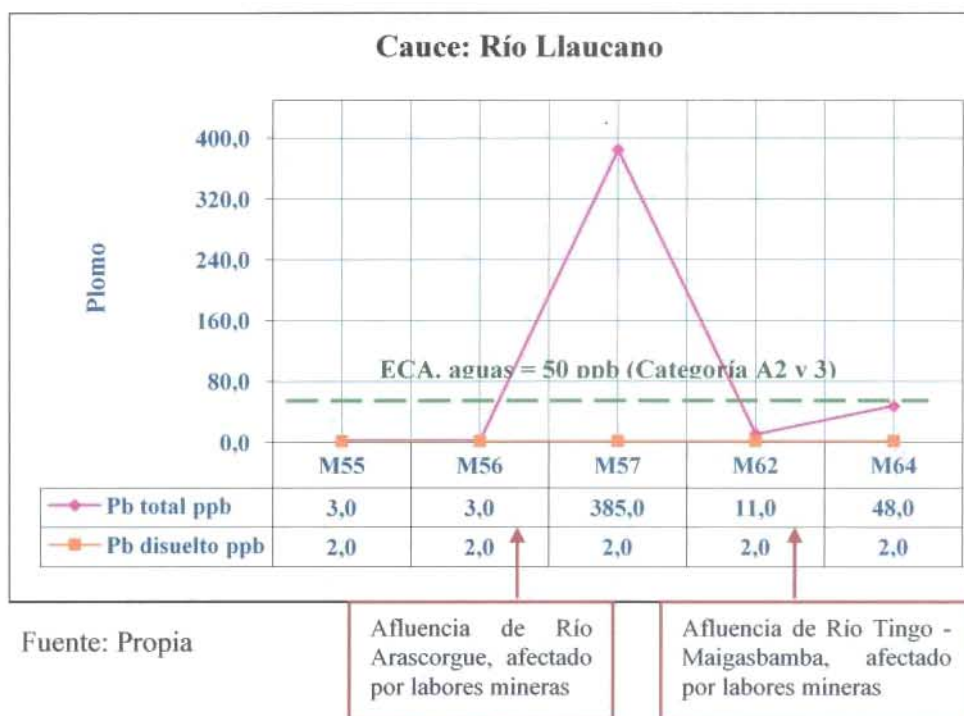
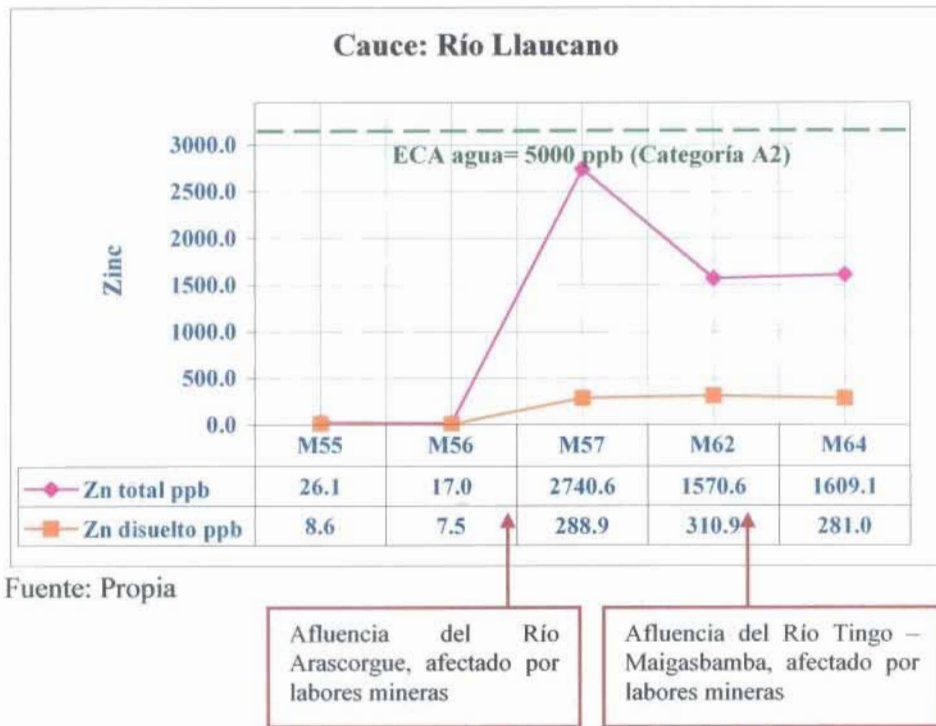


Figura 3.21. Concentración de Zinc total y disuelto en aguas tomadas en la cuenca del Río Llaucano.



➤ Técnicas estadísticas bivariantes

Con la finalidad de conocer las relaciones entre los elementos químicos analizados, tomados de dos a dos, se realizó un tratamiento estadístico bivalente a los resultados de del análisis de veintisiete (27) elementos metálicos realizados en las treinta y cuatro (34) muestras de aguas superficiales evaluadas.

La información obtenida se clasificó de la siguiente manera:

- Toda la Cuenca Hidrográfica del río Llaucano.
- Cauces no afectados por la minería.
- Cauces afectados por la minería.

El software utilizado fue el Minitab 15. En las Tablas 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 2.25 y 3.26 se presentan las matrices de correlación y los coeficientes de correlación obtenidos.

Tabla 3.21. Matriz de correlación de elementos metálicos totales presentes en las aguas superficiales de la Cuenca del Río Llaucano (toda la cuenca).

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Ag	1,000																						
Al	-0,064	1,000																					
As	-0,060	0,813	1,000																				
Au	0,997	-0,094	-0,070	1,000																			
Ba	-0,011	-0,257	-0,102	-0,007	1,000																		
Ca	0,227	0,423	0,423	0,208	0,114	1,000																	
Cd	-0,067	0,593	0,269	-0,078	-0,127	0,553	1,000																
Cr	0,520	0,541	0,577	0,501	0,253	0,549	0,305	1,000															
Cu	0,069	0,711	0,955	0,062	-0,213	0,301	0,071	0,531	1,000														
Fe	-0,065	0,911	0,945	-0,076	-0,207	0,509	0,543	0,574	0,851	1,000													
Hg	1,000	-0,088	-0,061	0,997	-0,018	0,225	-0,068	0,516	0,069	-0,066	1,000												
K	0,942	-0,086	-0,083	0,944	0,067	0,416	-0,033	0,503	0,016	-0,080	0,942	1,000											
Mg	-0,012	0,523	0,311	-0,025	-0,137	0,644	0,958	0,332	0,116	0,559	-0,012	0,020	1,000										
Mn	-0,013	0,480	0,317	-0,030	0,111	0,670	0,897	0,451	0,099	0,513	-0,016	0,026	0,933	1,000									
Na	0,997	-0,081	-0,075	0,997	-0,002	0,220	-0,072	0,500	0,057	-0,090	0,997	0,951	-0,026	-0,031	1,000								
Ni	0,883	0,350	0,384	0,874	-0,118	0,438	0,182	0,731	0,473	0,395	0,893	0,818	0,240	0,235	0,974	1,000							
Pb	-0,033	-0,060	0,126	-0,048	0,857	0,293	0,017	0,451	-0,034	0,041	-0,042	0,019	0,031	0,308	-0,050	-0,034	1,000						
Sb	0,057	0,023	0,247	0,042	0,833	0,365	0,028	0,556	0,102	0,147	0,049	0,101	0,058	0,330	0,039	0,102	0,986	1,000					
Se	0,897	-0,073	0,015	0,924	0,085	0,233	-0,132	0,488	0,131	0,020	0,891	0,887	-0,080	-0,067	0,908	0,890	0,024	0,114	1,000				
Sr	0,353	0,097	0,225	0,340	0,138	0,845	0,098	0,371	0,202	0,202	0,353	0,591	0,210	0,221	0,357	0,408	0,187	0,257	0,387	1,000			
Zn	-0,063	0,559	0,289	-0,073	-0,179	0,560	0,987	0,281	0,093	0,558	-0,064	-0,038	0,985	0,909	-0,074	0,191	-0,020	-0,004	-0,122	0,111	1,000		
S	0,261	0,800	0,694	0,148	-0,261	0,770	0,784	0,597	0,581	0,854	0,161	0,215	0,823	0,711	0,149	0,536	-0,030	0,066	0,148	0,452	0,801	1,000	

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

Tabla 3.22. Matriz de correlación de elementos metálicos disueltos presentes en las aguas superficiales de la Cuenca del Río Llaucano (toda la cuenca).

Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Ag	1,000																					
Al	-0,068	1,000																				
As	-0,035	0,731	1,000																			
Au	0,999	-0,074	-0,038	1,000																		
Ba	0,032	-0,271	-0,126	0,041	1,000																	
Ca	0,093	0,477	0,327	0,082	0,059	1,000																
Cd	-0,065	0,563	0,081	-0,071	-0,148	0,603	1,000															
Cr	0,491	0,604	0,537	0,482	0,322	0,487	0,339	1,000														
Cu	0,031	0,808	0,592	0,027	-0,199	0,316	0,095	0,551	1,000													
Fe	-0,047	0,921	0,912	-0,052	-0,203	0,495	0,458	0,607	0,915	1,000												
Hg	1,000	-0,068	-0,035	0,999	0,031	0,093	-0,065	0,490	0,031	-0,047	1,000											
K	0,956	-0,085	-0,068	0,958	0,040	0,258	-0,045	0,438	-0,006	-0,069	0,956	1,000										
Mg	-0,018	0,516	0,126	-0,026	-0,152	0,682	0,964	0,334	0,133	0,481	-0,018	0,008	1,000									
Mn	-0,081	0,464	0,104	-0,089	0,101	0,678	0,911	0,415	0,093	0,411	-0,081	-0,064	0,931	1,000								
Na	0,999	-0,085	-0,044	0,999	0,040	0,089	-0,081	0,474	0,021	-0,060	0,999	0,963	-0,033	-0,099	1,000							
Ni	0,512	0,764	0,711	0,505	-0,178	0,512	0,433	0,791	0,738	0,784	0,512	0,471	0,451	0,391	0,496	1,000						
Pb	-0,032	-0,032	0,061	-0,036	0,870	0,231	0,829	0,535	-0,015	0,025	-0,033	-0,052	0,019	0,294	-0,039	-0,081	1,000					
Sb	0,069	-0,039	0,088	0,065	0,875	0,244	-0,005	0,583	0,018	0,036	0,068	0,047	-0,001	0,263	0,063	0,058	0,993	1,000				
Se	0,925	-0,045	0,032	0,942	0,101	0,106	-0,102	0,473	0,088	0,001	0,925	0,919	-0,061	-0,112	0,939	0,496	-0,015	0,084	1,000			
Sr	0,241	0,126	0,179	0,233	0,212	0,844	0,169	0,337	0,162	0,201	0,241	0,460	0,266	0,272	0,250	0,315	0,228	0,268	0,265	1,000		
Zn	-0,058	0,542	0,097	-0,064	-0,178	0,608	0,989	0,305	0,108	0,470	-0,058	-0,041	0,985	0,920	-0,073	0,429	-0,013	-0,043	-0,092	0,173	1,000	
S	0,159	0,821	0,562	0,151	-0,263	0,771	0,788	0,612	0,590	0,608	0,159	0,208	0,822	0,732	0,146	0,805	-0,030	-0,017	0,160	0,464	0,781	1,000

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

Tabla 3.23. Matriz de correlación de elementos metálicos totales presentes en las aguas superficiales de las sub-cuencas del Río Tingo-Maigabamba, del Río Arascorgue y del Río Llaucano no afectadas por actividad minera (cuencas limpias).

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Ag	1,000																						
Al	0,925	1,000																					
As	*	*	1,000																				
Au	*	*	*	1,000																			
Ba	0,387	0,625	*	*	1,000																		
Ca	0,524	0,361	*	*	0,203	1,000																	
Cd	0,942	0,991	*	*	0,599	0,320	1,000																
Cr	0,943	0,993	*	*	0,592	0,327	1,000	1,000															
Cu	0,900	0,962	*	*	0,498	0,146	0,978	0,978	1,000														
Fe	0,912	0,997	*	*	0,616	0,293	0,992	0,994	0,976	1,000													
Hg	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,000												
K	-0,251	-0,531	*	*	-0,685	0,487	-0,550	-0,541	-0,613	-0,577	*	1,000											
Mg	0,822	0,804	*	*	0,561	0,838	0,733	0,733	0,629	0,733	*	-0,838	1,000										
Mn	0,940	0,995	*	*	0,604	0,333	0,999	1,000	0,975	0,995	*	-0,543	0,733	1,000									
Na	0,216	0,474	*	*	0,733	-0,444	0,506	0,493	0,542	0,514	*	-0,978	0,035	0,495	1,000								
Ni	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,000							
Pb	0,943	0,993	*	*	0,592	0,327	1,000	1,000	0,978	0,994	*	-0,541	0,733	1,000	0,493	*	1,000						
Sb	0,983	0,866	*	*	0,430	0,546	0,917	0,913	0,958	0,963	*	-0,249	0,920	0,912	0,252	*	0,915	1,000					
Se	0,981	0,978	*	*	0,513	0,416	0,989	0,990	0,958	0,973	*	-0,425	0,801	0,988	0,381	*	0,990	0,957	1,000				
Sr	0,830	0,733	*	*	0,588	0,841	0,760	0,763	0,615	0,741	*	-0,048	0,992	0,733	0,049	*	0,733	0,843	0,802	1,000			
Zn	0,942	0,993	*	*	0,593	0,323	1,000	1,000	0,978	0,994	*	-0,544	0,733	1,000	0,496	*	1,000	0,914	0,989	0,733	1,000		
S	0,949	0,861	*	*	0,507	0,734	0,972	0,971	0,768	0,823	*	-0,154	0,920	0,871	0,173	*	0,871	0,923	0,917	0,943	0,870	1,000	

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $9,00 > r \geq 8,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 > r \geq 7,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 > r \geq 5,00$

Fuente: Propia.

Tabla 3.24. Matriz de correlación de elementos metálicos disueltos presentes en las aguas superficiales de las sub-cuencas del Río Tingo Maigashbamba, del Río Arascorgue y del Río Llaucano no afectadas por actividad minera (cuencas limpias).

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Ag	1,000																						
Al	-0,295	1,000																					
As	*	*	1,000																				
Au	*	*	*	1,000																			
Ba	-0,637	0,698	*	*	1,000																		
Ca	0,555	0,330	*	*	0,237	1,000																	
Cd	-0,253	0,998	*	*	0,683	0,374	1,000																
Cr	-0,250	0,998	*	*	0,686	0,382	1,000	1,000															
Cu	-0,256	0,999	*	*	0,694	0,377	1,000	1,000	1,000														
Fe	-0,252	0,999	*	*	0,684	0,378	1,000	1,000	1,000	1,000													
Hg	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,000												
K	0,824	-0,555	*	*	-0,324	0,412	-0,513	-0,511	-0,524	-0,512	*	1,000											
Mg	0,108	0,731	*	*	0,606	0,847	0,771	0,775	0,775	0,775	*	-0,021	1,000										
Mn	-0,250	0,998	*	*	0,688	0,380	1,000	1,000	1,000	1,000	*	-0,511	0,771	1,000									
Na	-0,844	0,557	*	*	0,823	-0,299	0,519	0,518	0,531	0,519	*	-0,981	0,124	0,518	1,000								
Ni	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	1,000							
Pb	-0,250	0,998	*	*	0,686	0,382	1,000	1,000	1,000	1,000	*	-0,511	0,775	1,000	0,518	*	1,000						
Sb	0,119	0,998	*	*	0,519	0,610	0,913	0,915	0,917	0,914	*	-0,280	0,711	0,915	0,287	*	0,915	1,000					
Se	-0,250	0,998	*	*	0,686	0,382	1,000	1,000	1,000	1,000	*	-0,511	0,775	1,000	0,518	*	1,000	0,915	1,000				
Sr	-0,027	0,847	*	*	0,723	0,731	0,866	0,871	0,870	0,868	*	-0,242	0,971	0,870	0,331	*	0,971	0,982	0,871	1,000			
Zn	-0,253	0,999	*	*	0,685	0,376	1,000	1,000	1,000	1,000	*	-0,514	0,772	1,000	0,521	*	1,000	0,914	1,000	0,968	1,000		
S	0,114	0,681	*	*	0,584	0,770	0,900	0,903	0,904	0,902	*	-0,230	0,903	0,903	0,270	*	0,903	0,985	0,903	0,954	0,902	1,000	

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

Tabla 3.25. Matriz de correlación de elementos metálicos totales presentes en las aguas superficiales de las sub-cuencas del Río Tingo Maigasbamba, del Río Arascorgue y del Río Llaucano afectadas por actividad minera.

Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Ag	1,000																					
Al	-0,099	1,000																				
As	-0,071	0,805	1,000																			
Au	0,997	-0,112	-0,084	1,000																		
Ba	-0,018	-0,284	-0,118	-0,015	1,000																	
Ca	0,217	0,396	0,406	0,194	0,089	1,000																
Cd	-0,081	0,580	0,250	-0,094	-0,147	0,539	1,000															
Cr	0,520	0,520	0,565	0,497	0,238	0,518	0,275	1,000														
Cu	0,060	0,411	0,954	0,052	-0,229	0,282	0,052	0,521	1,000													
Fe	-0,078	0,908	0,944	-0,091	-0,227	0,495	0,531	0,580	0,857	1,000												
Hg	1,000	-0,100	-0,073	0,997	-0,026	0,215	-0,082	0,515	0,060	-0,079	1,000											
K	0,944	-0,114	-0,105	0,945	0,058	0,398	-0,058	0,489	-0,001	-0,104	0,944	1,000										
Mg	-0,025	0,508	0,394	-0,041	-0,162	0,630	0,958	0,302	0,098	0,548	-0,026	-0,004	1,000									
Mn	-0,031	0,459	0,296	-0,050	0,093	0,655	0,895	0,419	0,075	0,497	-0,034	-0,005	0,933	1,000								
Na	0,997	-0,099	-0,089	0,997	-0,010	0,206	-0,089	0,496	0,047	-0,095	0,997	0,952	-0,042	-0,052	1,000							
Ni	0,885	0,331	0,369	0,875	-0,136	0,419	0,160	0,733	0,463	0,380	0,885	0,813	0,219	0,207	0,874	1,000						
Pb	-0,041	-0,079	0,113	-0,056	0,864	0,281	0,001	0,443	-0,046	0,026	-0,049	0,006	0,014	0,295	-0,060	-0,050	1,000					
Sb	0,048	-0,001	0,333	0,031	0,839	0,347	0,006	0,545	0,087	0,130	0,040	0,084	0,036	0,311	0,028	0,082	0,986	1,000				
Se	0,889	-0,103	-0,005	0,925	0,071	0,203	-0,160	0,471	0,116	0,043	0,899	0,897	-0,110	-0,102	0,909	0,733	0,010	0,097	1,000			
Sr	0,348	0,060	0,203	0,333	0,114	0,733	0,065	0,336	0,183	0,177	0,348	0,584	0,175	0,184	0,350	0,391	0,173	0,238	0,359	1,000		
Zn	-0,075	0,547	0,274	-0,087	-0,199	0,551	0,986	0,254	0,076	0,547	-0,076	-0,061	0,986	0,908	-0,088	0,171	-0,035	-0,024	-0,147	0,082	1,000	
S	0,148	0,733	0,687	0,131	-0,297	0,733	0,733	0,571	0,573	0,853	0,148	0,188	0,813	0,733	0,132	0,520	-0,055	0,035	0,118	0,424	0,733	1,000

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

Tabla 3.26. Matriz de correlación de elementos metálicos disueltos presentes en las aguas superficiales de las sub-cuencas del Río Tingo Maigasbamba, del Río Arascorgue y del Río Llaucano afectadas por actividad minera.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Ag	1,000																						
Al	-0,080	1,000																					
As	-0,041		1,000																				
Au	0,999	-0,087	-0,046	1,000																			
Ba	0,033	-0,237	-0,111	0,042	1,000																		
Ca	0,075	0,460	0,319	0,061	0,061	1,000																	
Cd	-0,077	0,551	0,070	-0,094	-0,130	0,598	1,000																
Cr	0,487	0,593	0,533	0,478	0,338	0,462	0,319	1,000															
Cu	0,024	0,808	0,992	0,020	-0,183	0,305	0,084	0,548	1,000														
Fe	-0,056	0,921	0,911	-0,061	-0,192	0,489	0,449	0,601	0,915	1,000													
Hg	1,000	-0,080	-0,041	0,999	0,032	0,075	-0,077	0,487	0,024	-0,055	1,000												
K	0,954	-0,083	-0,082	0,956	0,050	0,240	-0,043	0,437	-0,018	-0,077	0,955	1,000											
Mg	-0,034	0,515	0,114	-0,044	-0,158	0,675	0,965	0,315	0,122	0,473	-0,034	-0,002	1,000										
Mn	-0,098	0,449	0,089	-0,108	0,111	0,672	0,910	0,394	0,078	0,399	-0,098	-0,075	0,932	1,000									
Na	0,998	-0,089	-0,054	0,997	0,054	0,066	-0,088	0,468	0,011	-0,072	0,996	0,963	-0,051	-0,117	1,000								
Ni	0,506			0,497	-0,162	0,504	0,427				0,506	0,462	0,464	0,403	0,490	1,000							
Pb	-0,038	-0,045	0,055	-0,043	0,361	0,219	0,018	0,532	-0,022	0,017	-0,039	-0,066	0,005	0,286	-0,051	-0,021	1,000						
Sb	0,063	-0,055	0,080	0,058	0,872	0,228	-0,020	0,578	0,006	0,026	0,062	0,031	-0,021	0,250	0,050	0,034	0,993	1,000					
Se	0,921	-0,076	0,015	0,937	0,099	0,098	-0,137	0,447	0,069	-0,023	0,921	0,922	-0,097	-0,194	0,930	0,463	-0,032	0,068	1,000				
Sr	0,231	0,118	0,166	0,220	0,194	0,888	0,172	0,321	0,147	0,195	0,231	0,449	0,257	0,264	0,234	0,296	0,218	0,254	0,288	1,000			
Zn	-0,071	0,539	0,091	-0,077	0,171	0,608	0,989	0,291	0,104	0,486	-0,071	-0,042	0,989	0,921	-0,084	0,439	-0,024	-0,058	-0,125	0,175	1,000		
S	0,146	0,819	0,561	0,135	-0,248	0,134	0,134	0,594	0,589	0,011	0,146	0,198	0,820		0,128	0,811	-0,051	-0,043	0,133	0,458	0,133	1,000	

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

➤ Técnicas estadísticas multivariantes

Como ya se ha mencionado, el análisis multivariante está formado por un conjunto de métodos estadísticos que sirven para realizar el tratamiento conjunto de datos relativos a diversas variables.

En el caso que presentamos, el tratamiento estadístico multivariable se ha basado en el análisis de componentes principales (ACP), en el análisis de factores (AF) y en el análisis de Cluster.

Matrices de datos

Las técnicas estadísticas utilizan datos de conjuntos de varias variables medidas en múltiples individuos y estos datos se escriben en forma de tabla o matriz, siendo procesados por medio de programas estadísticos de ordenador leyendo dicha matriz y operando en ella.

En nuestro caso particular el análisis multivariante ha sido aplicado tanto a los parámetros químicos, que serán las variables de la matriz de datos, como a las muestras de agua, que serán las observaciones o individuos, correspondiente a los muestreos realizados.

Por lo tanto, se utilizará una Matriz $n \times p$ de individuos por variables, cuyas filas (individuos) pertenecen a un solo grupo (muestras de agua). Cada fila de la tabla representa un individuo (muestra MI por ejemplo), proporcionando sus datos, y cada columna corresponde a una variable (cadmio por ejemplo). Es decir, el elemento x_{ij} de la tabla, que ocupa la fila i y la columna j , es el valor de la variable j para el individuo i .

Para establecer esta matriz inicial de datos y aplicar adecuadamente las técnicas estadísticas multivariante se considerarán los resultados del análisis bivariante realizado y las Tablas 3.1, 3.2, 3.5 y 3.6 y los resultados de análisis bivariante realizado que contienen la siguiente información.

- Tabla 3.1: Concentración de elementos químicos totales (variables) analizados en 34 muestras de aguas superficiales (individuos u observaciones) tomadas en cauces de toda la cuenca del río Llaucano.
- Tabla 3.2: Concentración de elementos químicos disueltos (variables) analizados en 34 muestras de aguas superficiales tomadas en cauces de toda la cuenca del río Llaucano.
- Tabla 3.5: Concentración de elementos químicos totales (variables) analizados en 29 muestras de aguas superficiales tomadas en cauces afectados por actividades mineras.
- Tabla 3.6: Concentración de elementos químicos disueltos (variables) analizados en 29 muestras de aguas superficiales tomadas en cauces no afectados por actividades mineras.

- **Análisis de Componentes Principales (ACP)**

El Análisis de Componentes Principales (ACP) ha sido utilizado frecuentemente en estudios geoquímicos (Pulido et al., 1988; Deverel, 1989; Navarro, 1991; Arrate et al., 1992; Melloul and Collin, 1992; Olias and Cruz, 1992).

El aspecto más notable del ACP es su capacidad de reducir el número de datos. Esta técnica se ha utilizado para poner de manifiesto semejanzas entre los elementos químicos (variables) evaluados en las muestras de aguas superficiales (individuos u observaciones) muestreadas.

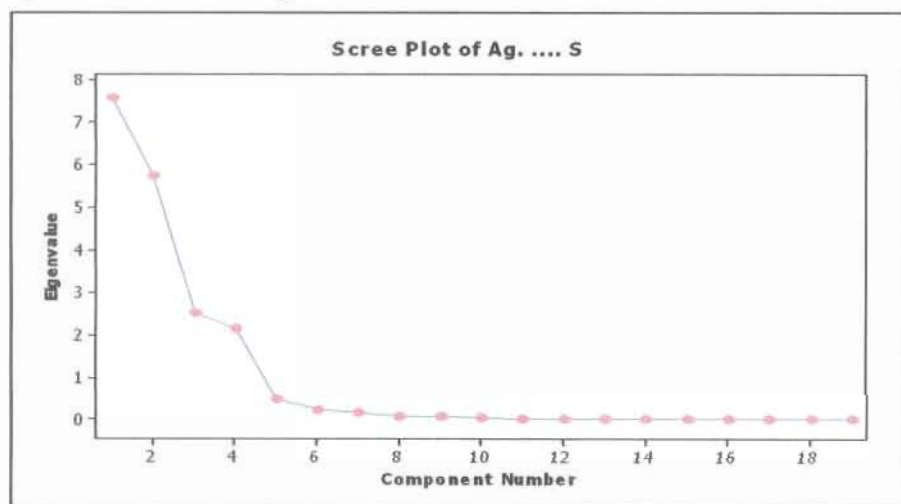
Para el Análisis de Componentes Principales (ACP), las Tablas 3.1 y 3.2 se convierten en matrices de 19 variables (Ag, Al, As, Au, Ba, Ca, Cd, Sr, Cu, Fe Hg, K, Mg, Mn, Na, Ni, Pb, Zn y S) por 34 individuos (muestras de agua). Mientras que las Tablas 3.5 y 3.6 en matrices de 19 variables por 29 individuos (muestras de agua).

El Análisis de Componentes Principales (ACP) se realizó con el paquete estadístico Minitab 15, para observar en una primera aproximación, qué elementos estaban correlacionados entre sí con un peso alto y poder, además, eliminar aquellas variables (elementos metálicos) que no explicasen significativamente el comportamiento de las muestras. En el Anexo 3.4 se presenta los resultados obtenidos del ACP, aplicando el software Minitab.

- **Muestras de agua tomadas en cauce de cuenca de río Llaucano: Elementos químicos totales.**

En la Figura 3.22, se presenta el Gráfico de Sedimentación, en el que se observa que existen cuatro componentes por encima del valor 1.

Figura 3.22. **Gráfico de sedimentación de Análisis de Componentes Principales. Elementos químicos totales en aguas tomadas en toda la cuenca del Río Llaucano.**



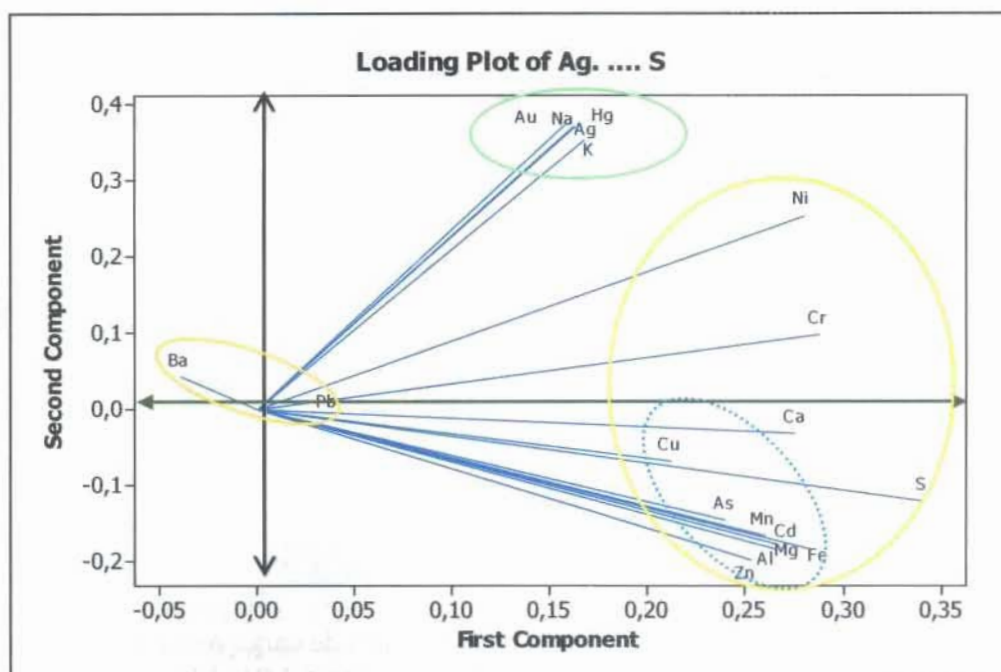
En la Tabla 3.27 se presentan los cuatro primeros componentes que explican el 94,6% de la varianza. El componente 1, explica el 39,8%, el componente 2 el 30,2%, el componente 3 el 13,3% y el componente 4 el 11,3% (ver Anexo 3.4).

Tabla 3.27. Pesos de componentes principales para matriz de elementos químicos totales ensayados en 34 muestras de aguas de la cuenca del Río Llaucano.

Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
S	0,340	Au	0,373
Cr	0,287	Na	0,373
Fe	0,284	Ag	0,370
Ni	0,279	Hg	0,370
Ca	0,275	K	0,353
Mg	0,266	Ni	0,253
Al	0,266	Cr	0,097
Mn	0,259	Ba	0,043
Zn	0,252	Pb	-0,013
Cd	0,250	Ca	-0,033
As	0,239	Cu	-0,068
Cu	-0,211	S	-0,120
K	0,166	As	-0,145
Ag	0,162	Mn	-0,168
Hg	0,161	Mg	-0,179
Na	0,157	Al	-0,185
Au	0,156	Fe	-0,185
Pb	0,036	Cd	-0,197
Ba	-0,040	Zn	-0,198
		Cu	0,481
		As	0,375
		Fe	0,261
		Al	0,238
		Ni	0,104
		Cr	0,057
		S	0,012
		Hg	-0,025
		Au	-0,025
		Ag	-0,027
		Na	-0,027
		K	-0,084
		Ca	-0,161
		Ba	-0,239
		Pb	-0,264
		Zn	-0,279
		Cd	-0,288
		Mg	-0,289
		Mn	-0,332
		Pb	0,624
		Ba	0,590
		Cr	0,301
		As	0,180
		Ca	0,120
		Cu	0,117
		Fe	0,057
		Mn	0,034
		Al	-0,013
		K	-0,018
		Ni	-0,031
		Ag	-0,055
		Na	-0,060
		Hg	-0,060
		Au	-0,060
		S	-0,089
		Mg	-0,0152
		Cd	-0,161
		Zn	-0,189

En la Figura 3.23 se presenta el Gráfico de componentes de carga rotados, correspondiente a los elementos metálicos totales evaluados en la cuenca del Río Llaucano.

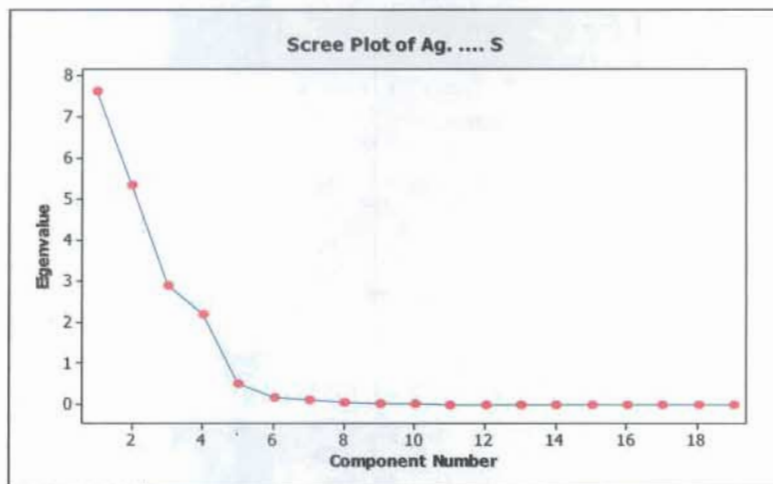
Figura 3.23. Análisis de Componentes Principales: Gráfico de componentes de carga rotados 1 y 2, para elementos químicos totales en aguas tomadas en toda la cuenca del Río Llaucano.



- **Muestras de agua tomadas en cauce de cuenca de río Llaucano: Elementos químicos disueltos.**

En la Figura 3.24 se presenta el Gráfico de Sedimentación correspondiente, en el que se observa que existen 4 componentes por encima del valor 1.

Figura 3.24. **Gráfico de sedimentación de Análisis de Componentes Principales. Elementos químicos disueltos en aguas tomadas en toda la cuenca del Río Llaucano.**



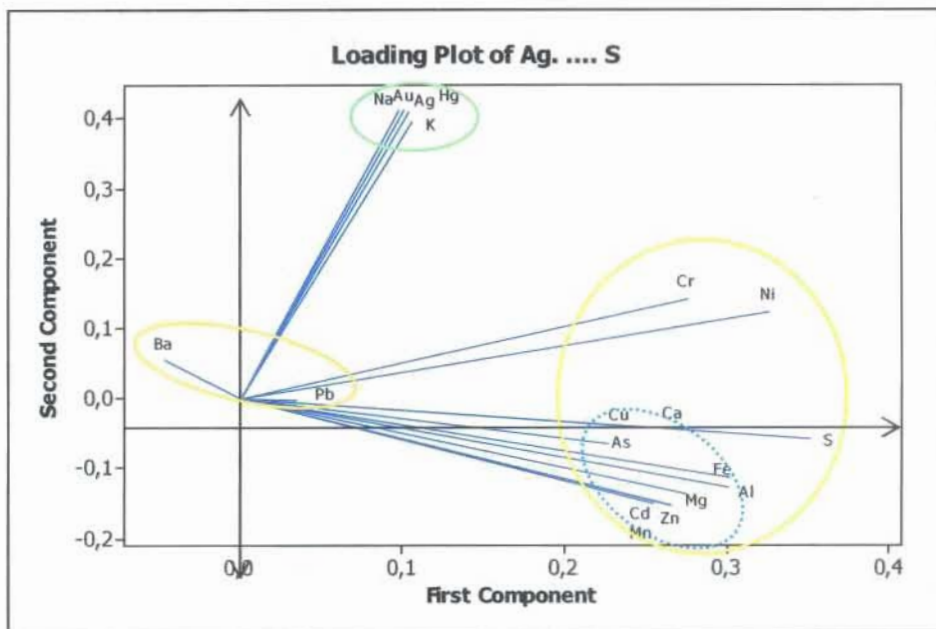
En la Tabla 3.28 se presentan los cuatro primeros componentes que explican el 95,1% de la varianza. La componente 1, explica el 40,2%, la componente 2 el 28,1%, el componente 3 el 15,2% y el componente 4 el 11,5%.

Tabla 3.28. **Pesos de componentes principales para matriz de elementos químicos disueltos ensayados en 34 muestras de aguas de la cuenca del Río Llaucano.**

Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
S 0,351	Na 0,413	Mn 0,334	Pb 0,651
Ni 0,326	Au 0,411	Cd 0,313	Ba 0,622
Fe 0,302	Ag 0,410	Mg 0,012	Cr 0,323
Al 0,301	Hg 0,410	Zn 0,312	Ca 0,095
Cr 0,276	K 0,396	Ca 0,154	As 0,092
Mg 0,274	Cr 0,142	Ba 0,130	Mn 0,086
Ca 0,267	Ni 0,123	Pb 0,102	Cu 0,039
Zn 0,265	Ba 0,055	K 0,084	Fe 0,018
Cd 0,264	Pb -0,003	Hg 0,050	Ni -0,029
Mn 0,255	Cu -0,041	Na 0,050	Al -0,035
Cu 0,236	Ca -0,045	Ag 0,050	Au -0,049
As 0,126	S -0,057	Au 0,049	Ag -0,050
K 0,106	As -0,065	S 0,036	Hg -0,050
Ag 0,104	Fe -0,113	Cr -0,064	Na -0,050
Hg 0,104	Al -0,128	Ni -0,160	K -0,057
Au 0,101	Mg -0,136	Al -0,021	S -0,090
Na 0,098	Mn -0,150	Fe -0,272	Cd -0,098
Pb 0,035	Cd -0,153	As -0,434	Mg -0,102
Ba -0,047	Zn -0,153	Cu -0,437	Zn -0,124

En la Figura 3.25 se presenta el Gráfico de componentes de carga rotados, correspondiente a los elementos metálicos disueltos evaluados en la cuenca del Río Llaucano.

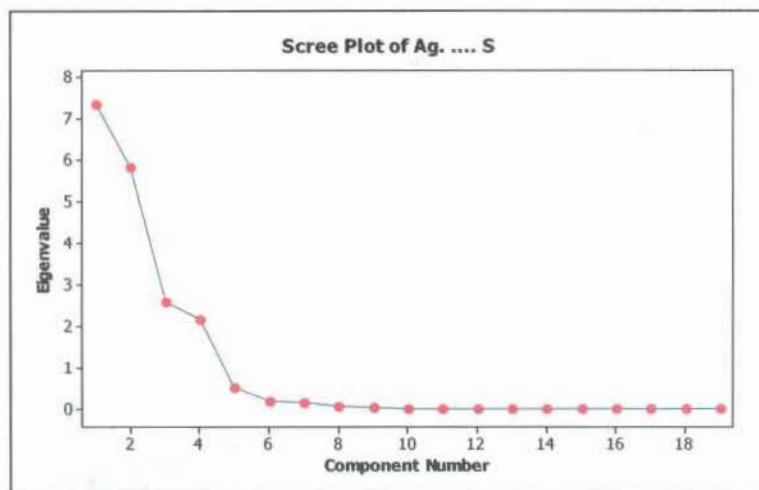
Figura 3.25. **Análisis de Componentes Principales: Gráfico de componentes de carga rotados 1 y 2 para elementos químicos disueltos en aguas tomadas en toda la cuenca del Río Llaucano.**



- **Muestras de agua tomadas en cauces afectados por la actividad minera: Elementos químicos totales.**

En la Figura 3.26. se presenta el Gráfico de Sedimentación correspondiente, en el que se observa que existen 4 componentes por encima del valor 1.

Figura 3.26. **Gráfico de sedimentación de Análisis de Componentes Principales. Elementos químicos totales en aguas tomadas en cauces contaminados.**



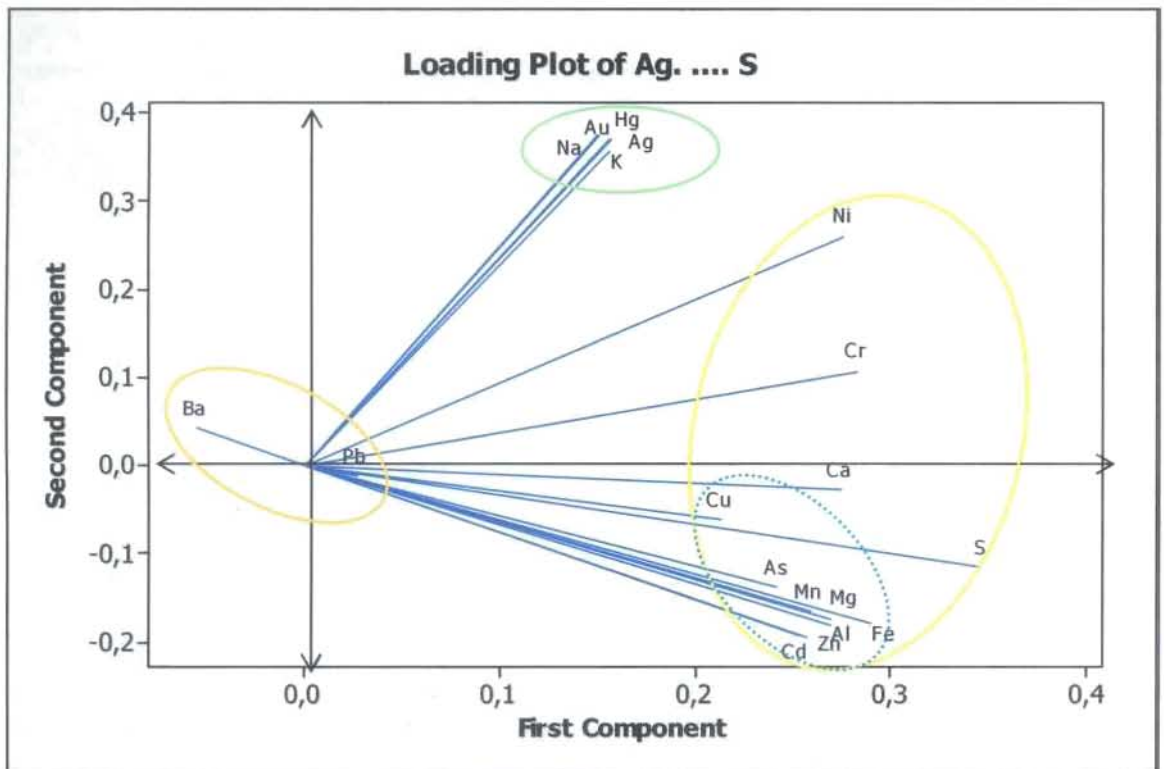
En la Tabla 3.29 se presentan los cuatro primeros componentes que explican el 94,5% de la varianza. La componente 1, explica el 38,8%, la componente 2 el 30,7%, el componente 3 el 13,6% y el componente 4 el 11,4%.

Tabla 3.29. Pesos de componentes principales para matriz de elementos químicos totales ensayados en 29 muestras de aguas de la cuenca contaminada.

Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
S 0,346	Au 0,374	Cu 0,482	Pb 0,634
Fe 0,289	Na 0,374	As 0,380	Ba 0,596
Cr 0,282	Hg 0,372	Fe 0,261	Cr 0,307
Ni 0,275	Ag 0,372	Al 0,239	Ca 0,167
Ca 0,274	K 0,357	Ni 0,099	As 0,131
Al 0,269	Ni 0,261	Cr 0,071	Mn 0,097
Mg 0,269	Cr 0,107	S 0,007	Cu 0,055
Mn 0,259	Ba 0,043	Au -0,030	Fe 0,053
Zn 0,257	Pb -0,011	Hg -0,031	Ni -0,015
Cd 0,252	Ca -0,028	Na -0,032	Al -0,021
As 0,241	Cu -0,062	Ag -0,033	Au -0,033
Cu 0,212	S -0,115	K -0,086	Ag -0,052
Ag 0,156	As -0,139	Ca -0,160	Hg -0,057
Hg 0,156	Mn -0,165	Pb -0,175	Na -0,058
K 0,156	Mg -0,175	Ba -0,210	K -0,058
Na 0,150	Fe -0,179	Zn -0,288	S -0,087
Au 0,149	Al -0,180	Cd -0,295	Cd -0,133
Pb 0,026	Cd -0,193	Mg -0,297	Mg -0,142
Ba -0,056	Zn -0,194	Mn -0,334	Zn -0,168

En la Figura 3.27 se presenta el Gráfico de componentes de carga rotados, correspondiente a los elementos metálicos totales evaluados en cauces afectados por actividades mineras.

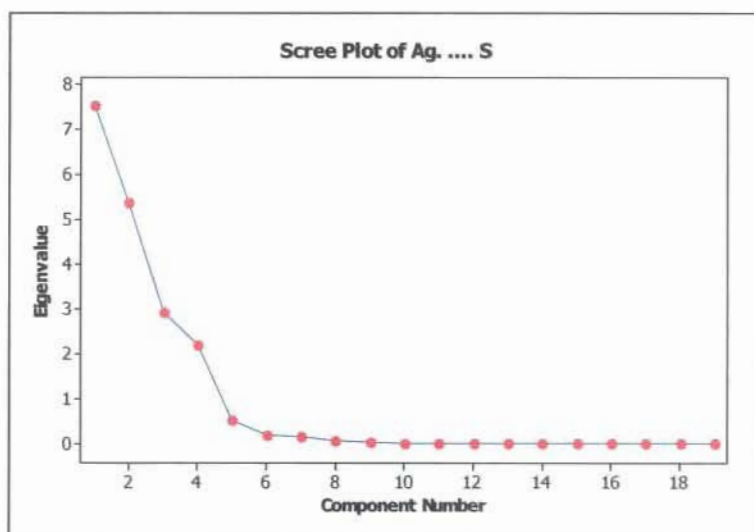
Figura 3.27. Análisis de Componentes Principales: Gráfico de componentes de carga rotados 1 y 2 para elementos químicos totales en aguas tomadas en cauces afectados por actividades mineras.



- **Muestras de agua tomadas en cauces afectados por la actividad minera: Elementos químicos disueltos.**

En la Figura 3.28 se presenta el Gráfico de Sedimentación correspondiente, en el que se observa que existen 4 componentes por encima del valor 1.

Figura 3.28. **Gráfico de sedimentación de Análisis de Componentes Principales. Elementos químicos disueltos en aguas tomadas en cauces contaminados.**



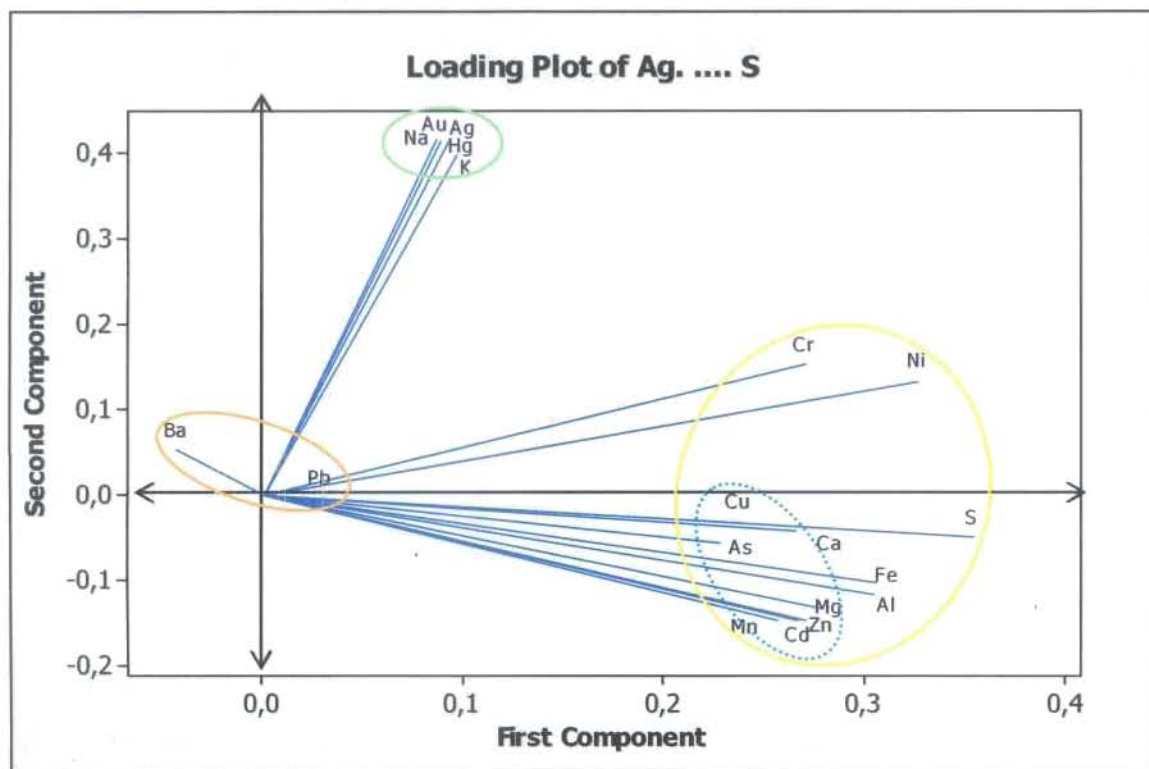
En la Tabla 3.30 se presentan los cuatro primeros componentes que explican el 94,9% de la varianza. La componente 1, explica el 39,7%, la componente 2 el 28,3%, el componente 3 el 15,3% y el componente 4 el 11,6%.

Tabla 3.30. **Pesos de componentes principales para matriz de elementos químicos disueltos ensayados en muestras de aguas de cauces afectados por actividad minera.**

Componente 1	Componente 2	Componente 3	Componente 4
S 0,354	Na 0,415	Mn 0,333	Pb 0,653
Ni 0,326	Au 0,414	Cd 0,317	Ba 0,623
Fe 0,306	Ag 0,413	Mg 0,313	Cr 0,327
Al 0,304	Hg 0,413	Zn 0,312	Mn 0,098
Mg 0,278	K 0,397	Ca 0,152	Ca 0,097
Cr 0,270	Cr 0,153	Ba 0,110	As 0,080
Zn 0,270	Ni 0,132	K 0,092	Cu 0,026
Cd 0,267	Ba 0,052	Pb 0,084	Fe 0,010
Ca 0,266	Pb -0,005	Na 0,054	Al 0,036
Mn 0,256	Cu -0,032	Ag 0,053	Ni -0,036
Cu 0,237	Ca -0,042	Hg 0,053	Ag -0,047
As 0,227	S -0,049	Au 0,052	Au -0,047
K 0,096	As -0,056	S 0,036	Na -0,047
Ag 0,092	Fe -0,102	Cr -0,074	Hg -0,048
Hg 0,092	Al -0,117	Ni -0,150	K -0,055
Au 0,089	Mg -0,132	Al -0,211	Cd -0,084
Na 0,086	Cd -0,146	Fe -0,274	S -0,093
Pb 0,029	Mn -0,146	As -0,436	Mg -0,097
Ba -0,044	Zn -0,146	Cu -0,438	Zn -0,113

En la Figura 3.29 se presenta el Gráfico de componentes de carga rotados, correspondiente a los elementos metálicos totales evaluados en cauces afectados por actividades mineras.

Figura 3.29. Gráfico de componentes de carga rotados: Elementos metálicos disueltos en cauces afectados por actividades mineras.



- **Análisis de Factores o Factorial (AF)**

El Análisis Factorial fue sugerido por Francis Galton y Charles Spearman, así como otros autores, al principio de siglo y se origina principalmente en los esfuerzos de los psicólogos en tener un mejor conocimiento de la inteligencia.

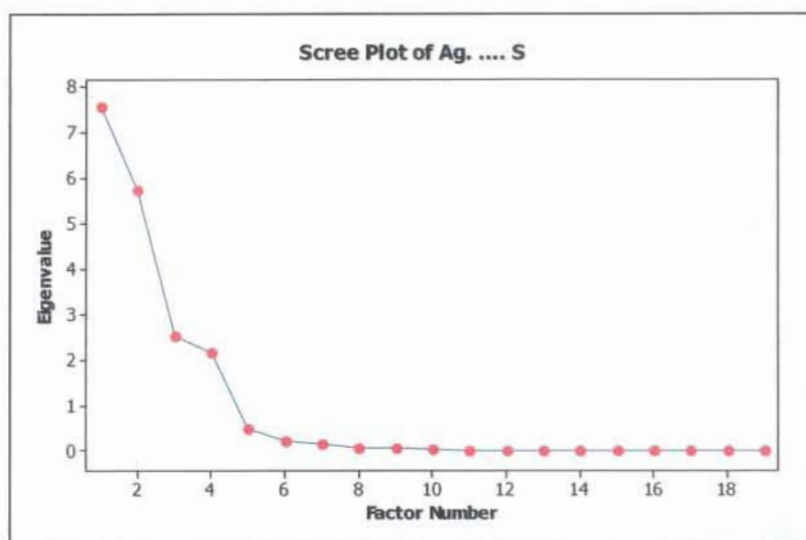
El Análisis Factorial tiene muchos puntos en común con el Análisis de Componentes Principales (ACP) y busca esencialmente nuevas variables o factores que expliquen los datos.

Utilizando el software Minitab 15, se ha aplicado el método de Análisis Factorial (AF), para la matriz de datos de elementos químicos utilizada para el Análisis de Componentes Principales. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 3.5.

- **Muestras de agua tomadas en cauce de cuenca de Río Llaucano: Elementos químicos totales.**

En la Figura 3.30, se presenta el Gráfico de Sedimentación, en el que se observa que existen cuatro factores por encima del valor 1.

Figura 3.30. Gráfico de sedimentación de Análisis Factorial para elementos químicos totales en aguas tomadas en toda la cuenca del Río Llaucano.



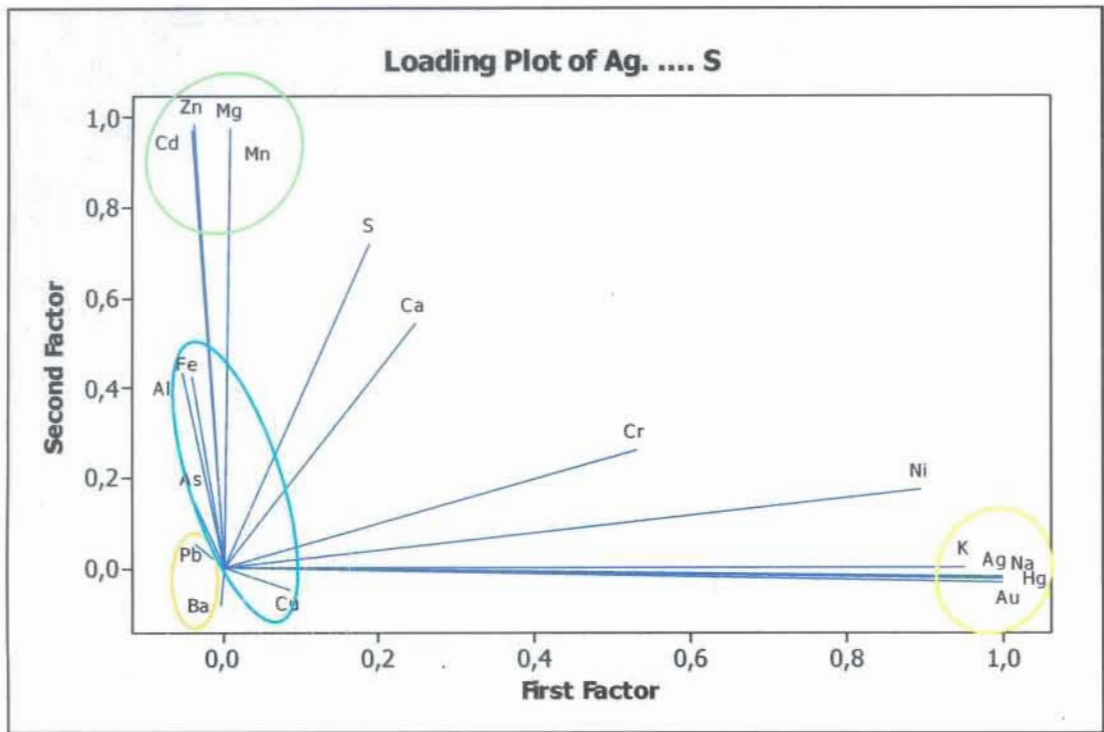
En la Tabla 3.31 se presentan los cuatro primeros Factores que explican el 92,9% de la varianza. El factor 1, explica el 32%, el factor 2 el 26,6%, el factor 3 el 23% y el factor 4 el 11,3%.

Tabla 3.31. Pesos de factores principales para matriz de elementos químicos totales ensayados en muestras tomadas en cauces de la cuenca del Río Llaucano.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Ag	0,998	Zn 0,984	Cu 0,986	Pb 0,964
Au	0,998	Mg 0,976	As 0,978	Ba 0,957
Hg	0,998	Cd 0,973	Fe 0,897	Cr 0,403
Na	0,998	Mn 0,932	Al 0,797	Mn 0,233
K	0,949	S 0,718	S 0,593	Ca 0,204
Ni	0,893	Ca 0,544	Cr 0,545	As 0,062
Cr	0,529	Al 0,435	Ni 0,402	K 0,048
Ca	0,244	Fe 0,427	Ca 0,289	Ag -0,005
S	0,187	Cr 0,262	Mg 0,153	Na -0,009
Cu	0,083	Ni 0,173	Mn 0,147	Au -0,01
Mg	0,008	As 0,156	Zn 0,143	Hg -0,013
Mn	0,007	Pb 0,054	Cd 0,132	Fe -0,034
Ba	-0,004	K 0,003	Pb 0,044	Cd -0,036
Pb	-0,035	Ag -0,021	Ag -0,018	Ni -0,038
Zn	-0,039	Hg -0,022	Hg -0,019	Mg -0,039
As	-0,041	Au -0,031	Au -0,024	Cu -0,077
Cd	-0,041	Na -0,032	Na -0,028	Zn -0,083
Fe	-0,041	Cu -0,048	K -0,065	Al -0,114
Al	-0,054	Ba -0,081	Ba -0,149	S -0,118

En la Figura 3.31 se presenta el Gráfico de factores de carga con rotación Varimax, correspondiente a los elementos metálicos totales evaluados en cauces de la cuenca del Río Llaucano.

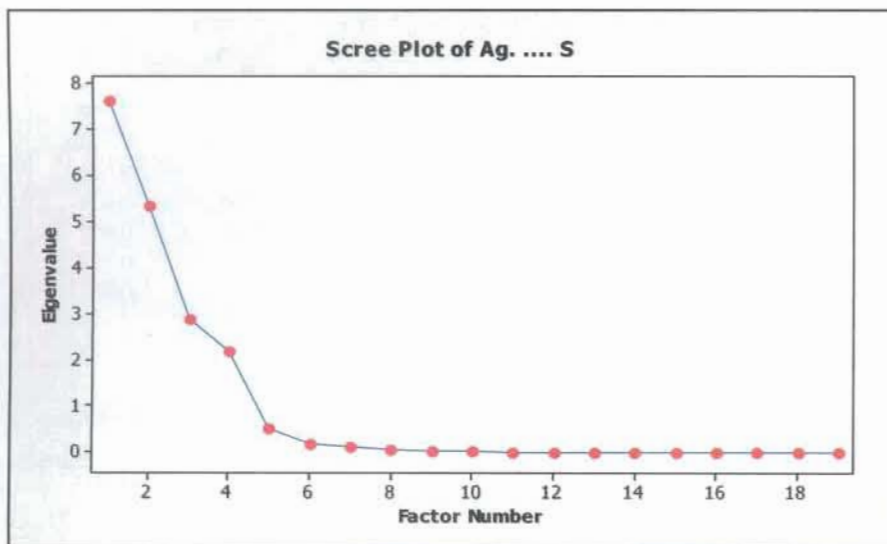
Figura 3.31. Gráfico de factores de carga con rotación Varimax: Elementos metálicos totales en muestras de aguas tomadas en cauces de la cuenca del Río Llaucano.



- Muestras de agua tomadas en cauce de cuenca de Río Llaucano: Elementos químicos disueltos.

En la Figura 3.32, se presenta el Gráfico de Sedimentación, en el que se observa que existen cuatro factores por encima del valor 1.

Figura 3.32. Gráfico de sedimentación de Análisis Factorial para elementos químicos disueltos en aguas tomadas en toda la cuenca del Río Llaucano.



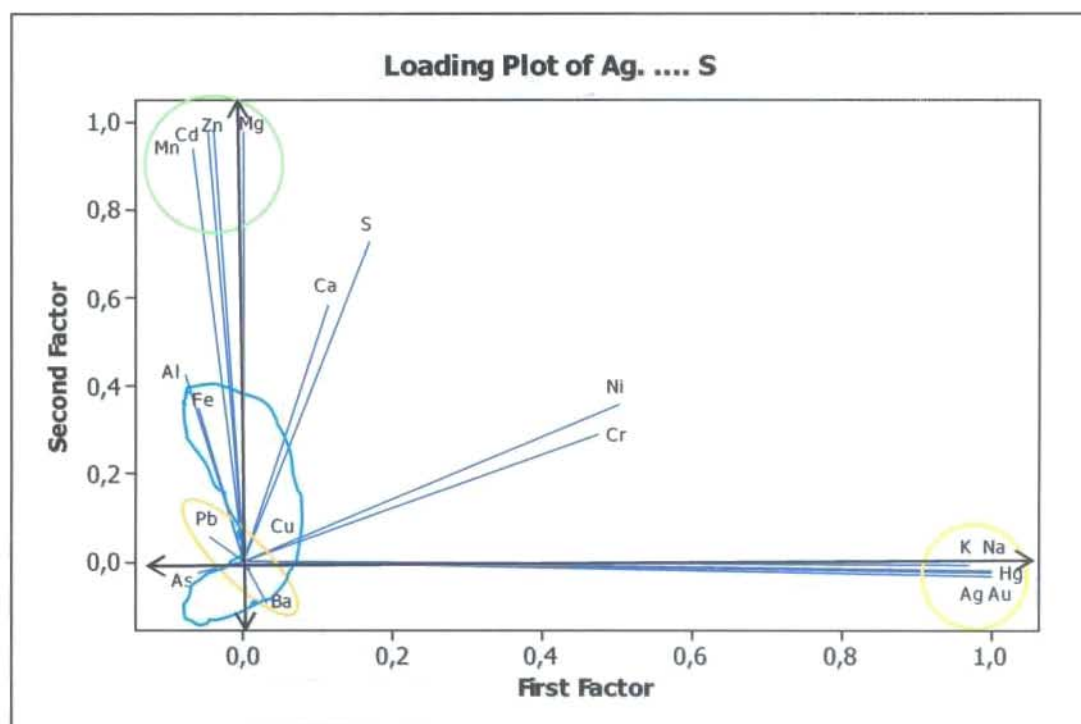
En la Tabla 3.32 se presentan los cuatro primeros Factores que explican el 93,6% de la varianza. El factor 1, explica el 28,7%, el factor 2 el 27,2%, el factor 3 el 26,1% y el factor 4 el 11,6%.

Tabla 3.32. Pesos de factores principales para matriz de elementos químicos disueltos ensayados en 34 muestras de aguas de la cuenca del Río Llaucano.

Factor 1		Factor 2		Factor 3		Factor 4	
Na	0,999	Zn	0,986	Ba	0,156	Pb	0,974
Ag	0,998	Cd	0,977	K	0,023	Ba	0,954
Au	0,998	Mg	0,977	Na	-0,015	Cr	0,498
Hg	0,998	Mn	0,941	Au	-0,023	Mn	0,226
K	0,968	S	0,727	Ag	-0,026	Ca	0,154
Ni	0,499	Ca	0,585	Hg	-0,026	As	0,025
Cr	0,472	Al	0,426	Pb	-0,032	Au	0,013
S	0,167	Ni	0,359	Mn	-0,107	Ag	0,011
Ca	0,112	Fe	0,348	Cd	-0,12	Hg	0,009
Ba	0,03	Cr	0,288	Zn	-0,126	Na	0,009
Cu	0,006	Pb	0,055	Mg	-0,14	K	-0,009
Mg	-0,001	Ag	0,02	Ca	-0,293	Fe	-0,028
Zn	-0,04	K	-0,007	S	-0,589	Ni	-0,033
Pb	-0,046	Cu	-0,018	Cr	-0,591	Cd	-0,034
Cd	-0,047	Hg	-0,02	Ni	-0,765	Mg	-0,045
As	-0,06	As	-0,026	Al	-0,828	Cu	-0,05
Fe	-0,061	Au	-0,026	Fe	-0,927	Zn	-0,073
Mn	-0,069	Na	-0,034	As	-0,989	S	-0,102
Al	-0,079	Ba	-0,092	Cu	-0,995	Al	-0,92

En la Figura 3.33 se presenta el Gráfico de factores de carga con rotación Varimax, correspondiente a los elementos metálicos evaluados en muestras de aguas tomadas en cauces de la cuenca del Río Llaucano.

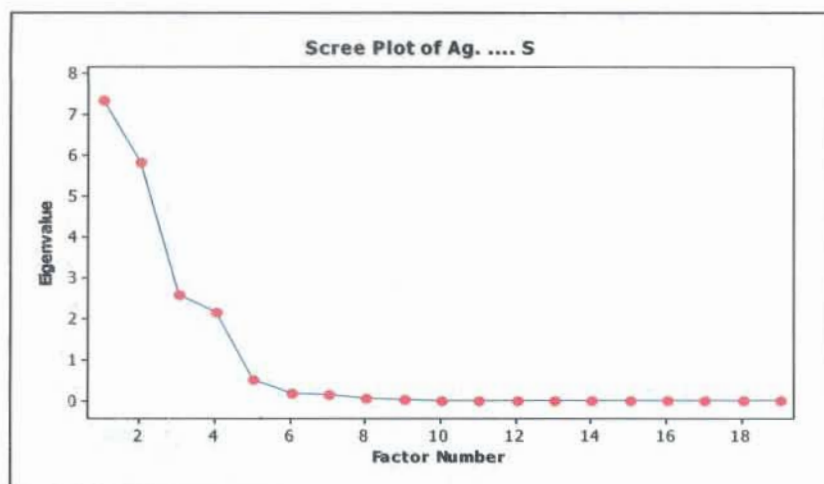
Figura 3.33. Gráfico de factores de carga con rotación Varimax. Elementos metálicos disueltos en cauces de Río Llaucano.



- **Muestras de agua tomadas en cauces afectados por actividades mineras: Elementos químicos totales.**

En la Figura 3.34, se presenta el Gráfico de Sedimentación, en el que se observa que existen cuatro factores por encima del valor 1.

Figura 3.34. Gráfico de sedimentación de Análisis Factorial para elementos químicos totales en aguas tomadas en cauces afectados por labores mineras.



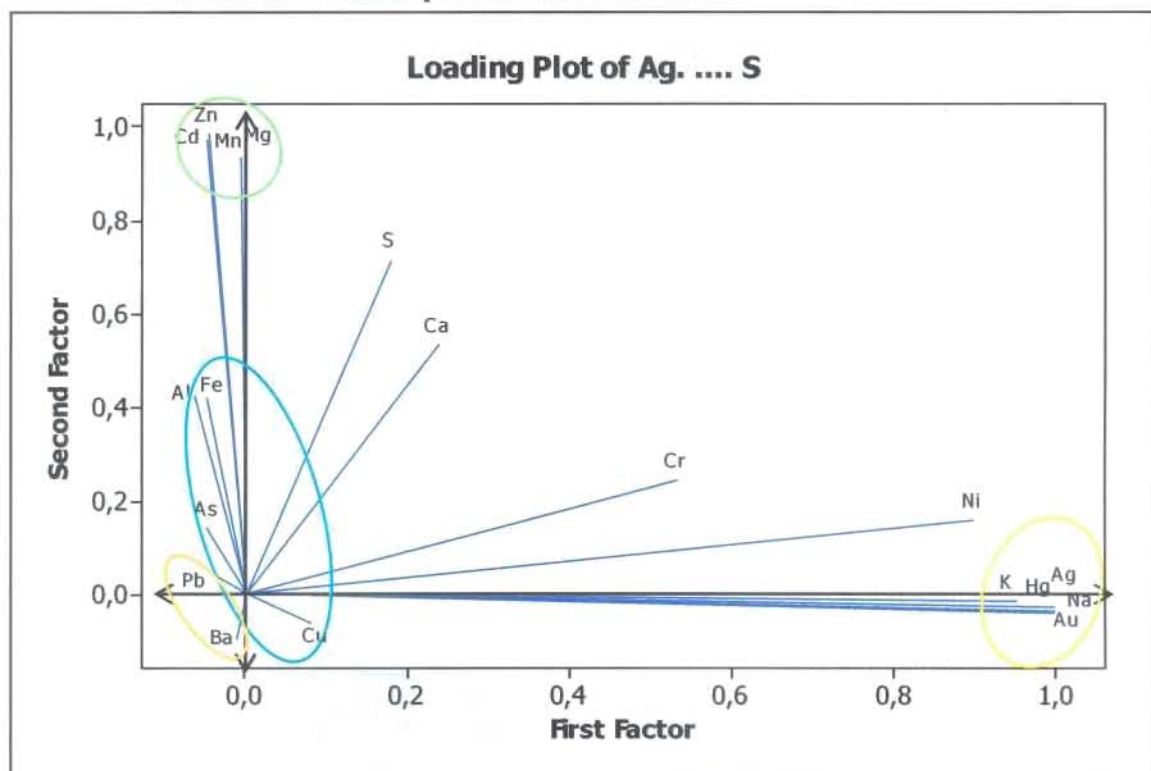
En la Tabla 3.33 se presentan los cuatro primeros Factores que explican el 92,9% de la varianza. El factor 1, explica el 32%, el factor 2 el 26,6%, el factor 3 el 23% y el factor 4 el 11,3%.

Tabla 3.33. Pesos de factores principales para matriz de elementos químicos totales ensayados en muestras de cauces afectados por actividades mineras.

Factor 1		Factor 2		Factor 3		Factor 4	
Ag	0,998	Zn	0,984	Cu	0,986	Pb	0,964
Au	0,998	Mg	0,976	As	0,978	Ba	0,957
Hg	0,998	Cd	0,973	Fe	0,897	Cr	0,403
Na	0,998	Mn	0,932	Al	0,797	Mn	0,233
K	0,949	S	0,718	S	0,593	Ca	0,204
Ni	0,893	Ca	0,544	Cr	0,545	As	0,062
Cr	0,529	Al	0,435	Ni	0,402	K	0,048
Ca	0,244	Fe	0,427	Ca	0,289	Ag	-0,005
S	0,187	Cr	0,262	Mg	0,153	Na	-0,009
Cu	0,083	Ni	0,173	Mn	0,147	Au	-0,01
Mg	0,008	As	0,156	Zn	0,143	Hg	-0,013
Mn	0,007	Pb	0,054	Cd	0,132	Fe	-0,034
Ba	-0,004	K	0,003	Pb	0,044	Cd	-0,036
Pb	-0,035	Ag	-0,021	Ag	-0,018	Ni	-0,038
Zn	-0,039	Hg	-0,022	Hg	-0,019	Mg	-0,039
As	-0,041	Au	-0,031	Au	-0,024	Cu	-0,077
Cd	-0,041	Na	-0,032	Na	-0,028	Zn	-0,083
Fe	-0,041	Cu	-0,048	K	-0,065	Al	-0,114
Al	-0,054	Ba	-0,081	Ba	-0,149	S	-0,118

En la Figura 3.35 se presenta el Gráfico de factores de carga con rotación Varimax, correspondiente a los elementos metálicos totales evaluados en cauces afectados por actividades mineras.

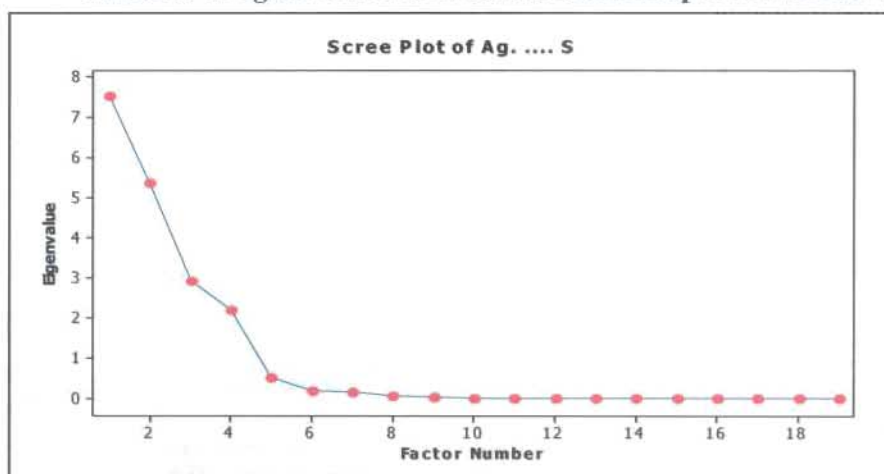
Figura 3.35. Gráfico de factores de carga con rotación Varimax: Elementos metálicos totales en cauces afectados por actividades mineras.



- Muestras de agua tomadas en cauces de cuenca afectados por actividades mineras: Elementos químicos disueltos.

En la Figura 3.36, se presenta el Gráfico de Sedimentación, en el que se observa que existen cuatro factores por encima del valor 1.

Figura 3.36. Gráfico de sedimentación de Análisis Factorial para elementos químicos disueltos en aguas tomadas en cauces afectados por actividades mineras.

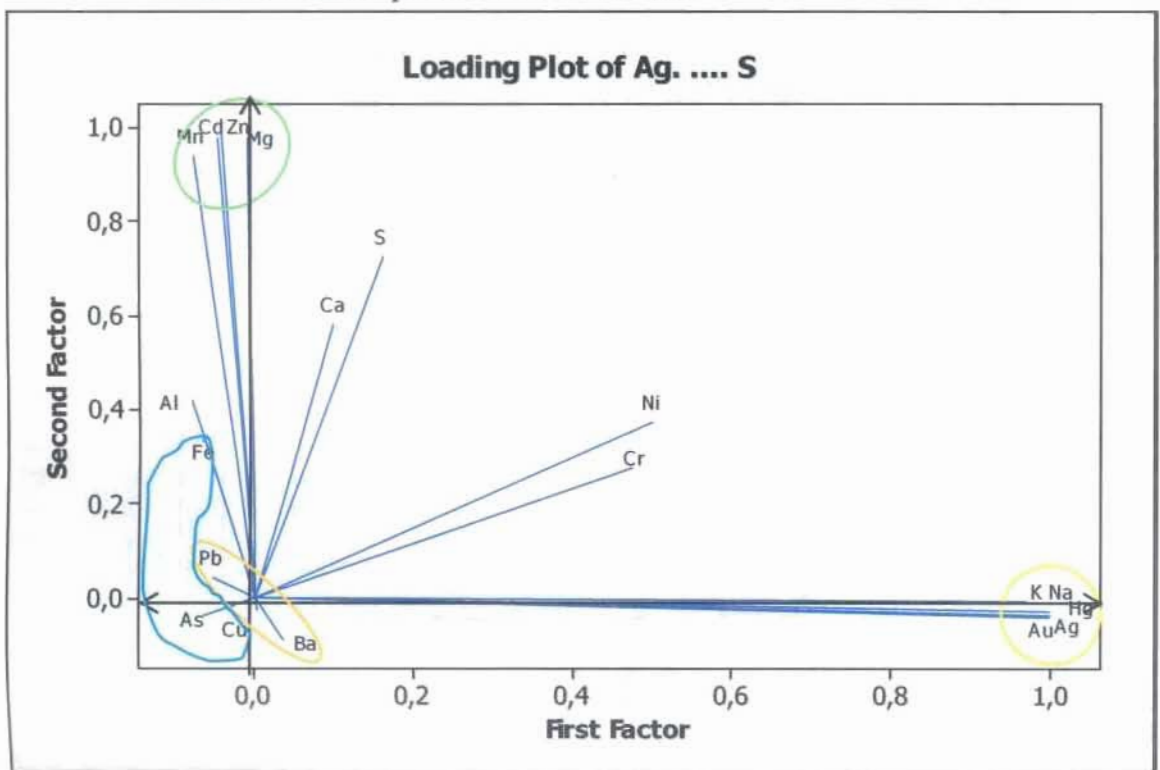


En la Tabla 3.34 se presentan los cuatro primeros Factores que explican el 93,6% de la varianza. El factor 1, explica el 28,7%, el factor 2 el 27,1%, el factor 3 el 26,1% y el factor 4 el 11,7%.

Tabla 3.34. Pesos de factores principales para matriz de elementos químicos disueltos ensayados en muestras de cauces afectados por actividades mineras.

	Factor 1	Factor 2	Factor 3	Factor 4
Ag	0,998	Zn 0,986	Ba 0,142	Pb 0,971
Au	0,998	Cd 0,979	K 0,028	Ba 0,954
Hg	0,998	Mg 0,979	Na -0,011	Cr 0,505
Na	0,998	Mn 0,941	Cd -0,0114	Mn 0,227
K	0,968	S 0,723	Au -0,019	Ca 0,149
Ni	0,498	Ca 0,579	Pb -0,021	Hg 0,08
Cr	0,473	Al 0,421	Ag -0,023	As 0,027
S	0,160	Ni 0,373	Hg -0,023	Au 0,011
Ca	0,098	Fe 0,342	Al -0,0832	Na 0,011
Ba	0,035	Cr 0,275	Mn -0,099	Ag 0,009
Cu	0,001	Pb 0,044	Zn -0,127	K -0,009
Mg	-0,01	K -0,005	Mg -0,138	Fe -0,027
Zn	-0,044	Cu -0,025	Ca -0,286	Cd -0,029
Cd	-0,049	Ag -0,027	Cr -0,588	Ni -0,036
Pb	-0,054	Hg -0,027	S -0,594	Cu -0,048
As	-0,065	Au -0,034	Ni -0,762	Mg -0,054
Fe	-0,065	As -0,035	Fe -0,928	Zn -0,073
Mn	-0,079	Na -0,041	As -0,988	Al -0,082
Al	-0,081	Ba -0,086	Cu -0,995	S -0,11

Figura 3.37. Gráfico de factores de carga con rotación Varimax. Elementos metálicos disueltos en cauces afectados por actividades mineras.



• Análisis de Conglomerados o Cluster

Como ya se ha mencionado, el Análisis de Conglomerados o Clúster, trata de identificar grupos naturales entre las observaciones según sus valores medidos por las variables. Se elige la opción de agrupar observaciones o variables.

En este caso de estudio, se ha utilizado la opción de agrupar por variables y como algoritmo de agregación se ha utilizado el método de Ward.

Los dendrogramas generados, permiten visualizar las agrupaciones de las variables, en este caso los elementos químicos, según su afinidad, que es representada por el coeficiente de distancia. El software utilizado fue Minitab 15.

El análisis de conglomerados ha sido aplicado a las matrices de elementos químicos totales y disueltos, obtenidos del Análisis de Factores, la cual se ha reducido a 15 variables o elementos químicos. Estos son: Ag, Al, As, Au, Ba, Cd, Cu, Fe, Hg, K, Mg, Mn, Na, Pb y Zn.

El análisis de Cluster ha sido aplicado a:

- Cauces de toda la cuenca del Río Llaucano.
- Cauces expuestos a la contaminación.

Los resultados del procesamiento estadístico realizado con el programa Minitab 15 se presentan en el Anexo 3.6.

En las Figuras 3.38, 3.39, 3.40 y 3.41 se presentan los dendrogramas obtenidos en cada caso.

Figura 3.38. **Dendrograma: Elementos químicos totales en cuenca Río Llaucano.**

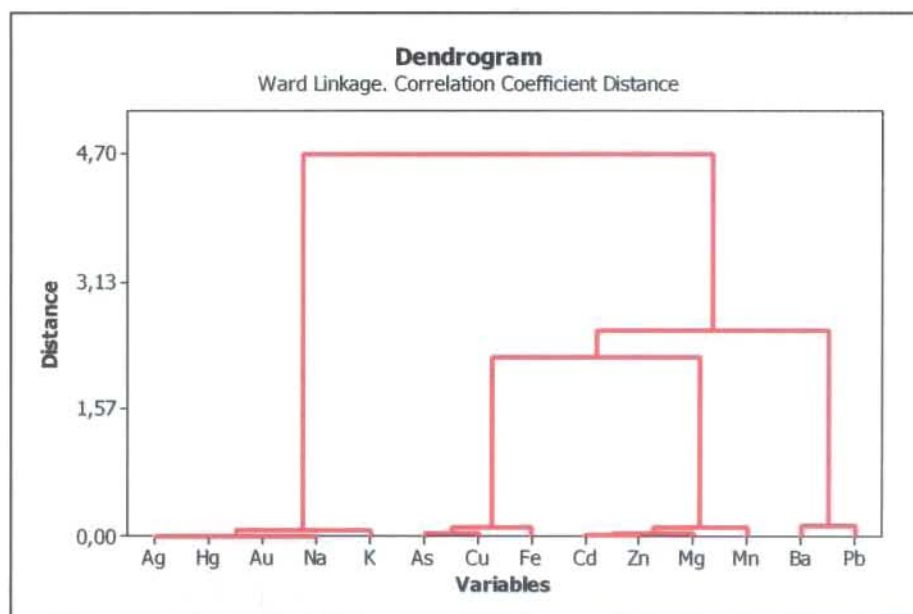


Figura 3.39. Dendrograma: Elementos químicos disueltos en cuenca Río Llaucano.

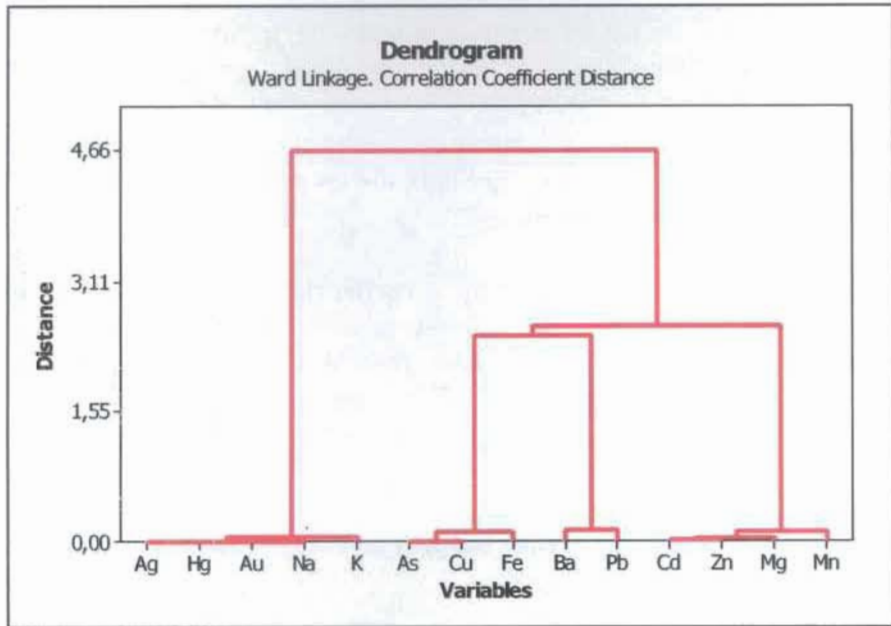


Figura 3.40. Dendrograma: Elementos químicos totales en cauces afectados por actividades mineras.

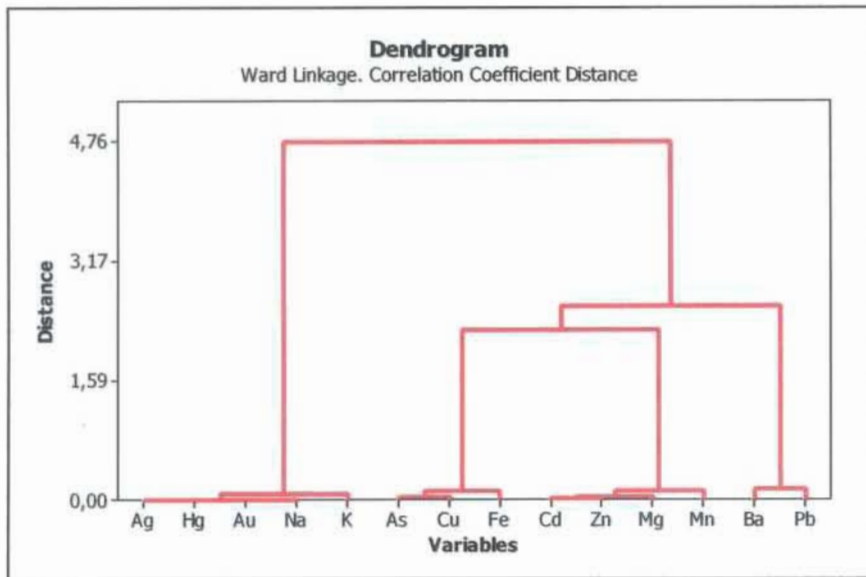
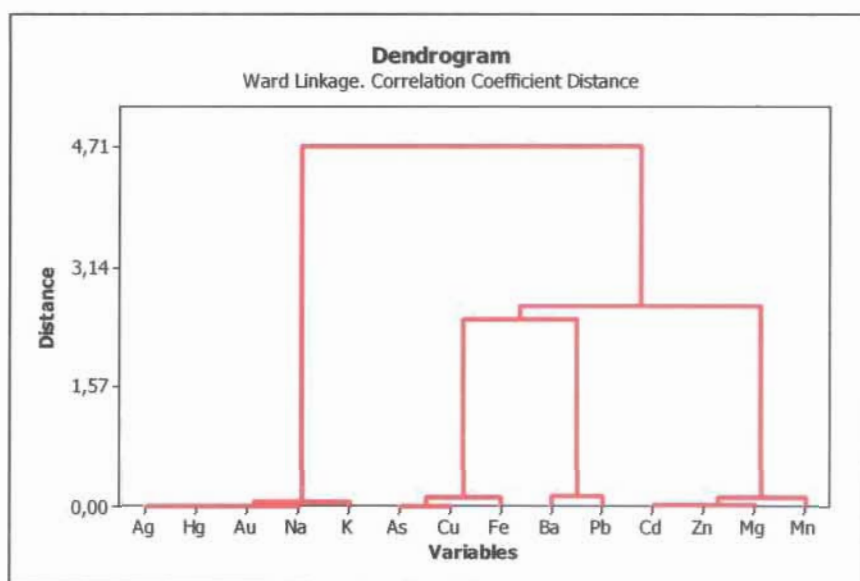


Figura 3.41. **Dendrograma: Elementos químicos disueltos en cauces afectados por actividades mineras.**



3.2.2 Estudio de sedimentos

3.2.2.1 Estudio químico

El Informe de Ensayo correspondiente a los resultados del análisis químico de elementos químicos en sedimentos, realizados en el Laboratorio ACME Analytical Laboratories Ltd de Vancouver, Canadá (Acme # A002043 y A003545), se presenta en el Anexo 3.1.

Para realizar el estudio y evaluación de la composición química (elementos metálicos) de los sedimentos fluviales tomados a lo largo del cauce de los ríos afectados y no afectados por la actividad minera, los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio fueron procesados bajo el siguiente procedimiento:

1. Selección de cauces afectados por la actividad minera:
 - a. Quebrada Mesa de Plata - Río Arascorgue hasta su desembocadura en el Río Llaucano – Río Llaucano hasta su paso por la ciudad de Bambamarca (ver Tabla 3.35).
 - b. Quebrada El Águila - Río Tingo - Río Llaucano (ver Tabla 3.36).
 - c. Quebrada Tres Amigos – Río Tingo-Maigasbamba – Río Llaucano (ver Tabla 3.37).

- d. Río Llaucano, desde la afluencia del Río Tambillo hasta aguas abajo de la afluencia del Río Tingo-Maigabamba, luego de atravesar la ciudad de Bambamarca (ver Tabla 3.38).
2. Selección de elementos metálicos representativos del riesgo ambiental en la zona de estudio. Estos son: Arsénico, Antimonio, Cadmio, Cobre, Hierro, Mercurio, Plomo, Plata y Zinc. La representación gráfica obtenida se presenta de la siguiente manera:
 - a. Representación gráfica de la concentración de elementos metálicos seleccionados presentes en los sedimentos tomados en el cauce de la Quebrada Mesa de Plata – Río Arascorgue – Río Llaucano (ver Figuras 3.41 y 3.42)
 - b. Representación gráfica de las concentraciones de elementos metálicos presentes en los sedimentos tomados en el cauce de la Quebrada Tres Amigos – Río Tingo-Maigabamba – Río Llaucano (ver Figuras 3.43 y 3.44).
 - c. Representación gráfica de las concentraciones de elementos metálicos presentes en los sedimentos tomados en el cauce de la Quebrada El Águila – Río Tingo-Maigabamba – Río Llaucano (ver Figuras 3.43).
 - d. Representación gráfica de las concentraciones de elementos metálicos en los sedimentos tomados en el cauce del Río Llaucano (ver Figuras 3.44).

Tabla 3.35. Elementos químicos en muestras de sedimentos tomadas en cauce: Quebrada Mesa de Plata – Río Arascorgue hasta su desembocadura en el Río Llaucano – Río Llaucano hasta su paso por la ciudad de Bambamarca.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	ppb	%	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppb	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
S13	22832	1,1	828	673	31,3	0,66	89,0	9,0	1340	15,1	7703	0,06	0,12	16137	0,003	18,7	1779	84,25	6,8	26,4	12629	8,1
S22	29433	0,93	408	288	77,6	4,5	87,8	4,6	1406	6,8	5468	0,07	0,36	16439	0,003	12,7	4218	131	4,8	88,3	19096	2,2
S25	23088	0,78	462	632	67,9	5,6	106	5,5	1218	6,7	5986	0,07	0,33	16860	0,004	11,1	4203	110	3,8	96,7	19603	2,2
S29	18265	0,89	534	344	18,2	0,94	45,4	4,1	984	11,4	7172	0,04	0,13	2822	0,003	10,8	1322	57,7	5,1	26,3	6738	9,4
S57	23310	0,61	591	334	32,7	1,8	46,5	4,7	694	11,8	6769	0,04	0,14	4683	0,008	13,3	1276	74,9	5,5	42,6	6655	10,0

Tabla 3.36. Elementos químicos en muestras de sedimentos tomados en cauce: Quebrada El Águila – Río Tingo – Río Llaucano.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	ppb	%	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppb	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
S34	2787	1,0	51,2	26,8	111	0,69	3,6	7,2	168	1,7	412	0,08	0,31	1080	0,006	5,9	273	9,5	0,8	24	603	0,25
S37	99999	0,15	1299	1149	15,8	5,4	162	4,0	813	13,6	27009	0,02	0,24	29071	0,002	12,4	7030	540	10,3	89,1	29743	11,8
S40	89585	0,85	856	368	44,9	3,7	84,9	8,6	1305	8,3	12808	0,04	0,34	12455	0,006	29,8	4383	308	8,9	90	16021	6,1
S60	65750	0,80	700	243	53,0	5,5	97,2	4,2	1272	6,1	12144	0,07	0,29	13504	0,005	19,6	3411	274	5,2	116,6	18869	4,1
S61	54077	0,91	662	176	68,4	7,0	81,0	6,3	1613	5,1	9997	0,08	0,29	13265	0,005	18,4	3161	234	3,5	139,1	16503	2,7
S63	17114	2,0	227	62,1	153	5,7	31,4	8,7	780	3,2	4115	0,16	0,31	6504	0,01	13,5	1065	66,2	1,2	119	6216	1,1
S64	7145	1,0	256	108	85,6	2,6	21,3	7,3	377	5,1	1966	0,08	0,21	2897	0,01	9,3	641	47,5	1,6	70,0	3298	2,1

Tabla 3.37. Elementos químicos en sedimentos tomados en cauce: Quebrada Tres Amigos – Río Tingo-Maigashamba – Río Llaucano

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	Ppb	%	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppb	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
S44	9181	1,6	575	51,9	47,3	1,2	8,1	14,5	1736	6,5	1371	0,05	0,6	1484	0,006	24,1	618	67,6	7,2	49,6	2145	3,0
S38	60615	0,81	1112	288	40,1	4,6	78,8	2,8	2351	8,0	10500	0,04	0,36	11573	0,005	19,0	4514	436	7,2	110	14927	5,0
S60	65750	0,80	700	243	53,0	5,5	97,2	4,2	1272	6,12	12144	0,07	0,29	13504	0,005	19,6	3411	274	5,2	116,6	18869	4,1
S61	54077	0,91	662	176	68,4	7,0	81,0	6,3	1613	5,1	9997	0,08	0,29	13265	0,005	18,4	3161	234	3,5	139	16503	2,7
S63	17114	2,0	227	62,1	153	5,7	31,4	8,7	780	3,2	4115	0,16	0,31	6504	0,010	13,5	1065	66,2	1,2	119	6216	1,1
S64	7145	1,0	256	108	85,6	2,6	21,3	7,3	377	5,1	1966	0,08	0,21	2897	0,010	9,3	641	47,5	1,6	70,0	3298	2,1

Tabla 3.38. Elementos químicos en sedimentos tomados en cauce: Río Llaucano, desde afluecia del Río Tambillo hasta aguas debajo de la afluecia del Río Tingo-Maigashamba, luego de atravesar la ciudad de Bambamarca.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	Ppb	%	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppb	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
S55	189	1,3	21	67,6	149	3,3	0,60	8,9	26,2	2,2	494	0,10	0,23	695	0,012	7,0	54,0	2,7	0,3	90,0	218	0,09
S56	196	1,1	20,3	53,5	125	3,3	0,46	6,2	18,8	2,0	676	0,10	0,20	655	0,012	6,1	52,1	3,3	0,2	79,7	147	0,11
S57	23310	0,61	591	334	32,7	1,8	46,5	4,7	694	11,8	6769	0,04	0,14	4683	0,008	13,3	1276	74,9	5,5	42,6	6655	10,0
S62	7136	0,93	250	158	83,2	2,4	23,2	8,4	369	5,7	2071	0,07	0,19	2595	0,01	9,4	619	46,4	1,7	65,2	3358	2,5
S64	7145	1,0	256	108	85,6	2,6	21,3	7,3	377	5,1	1966	0,08	0,21	2897	0,01	9,3	641	47,5	1,6	70,0	3298	2,1

Figura 3.41. Plomo, Zinc, Antimonio, Cadmio, Plata y Cobre en sedimentos tomados en cauce: Q. Mesa de Plata-R. Arascorgue-R.Llaucano. Sub-cuenca del Río Arascorgue.

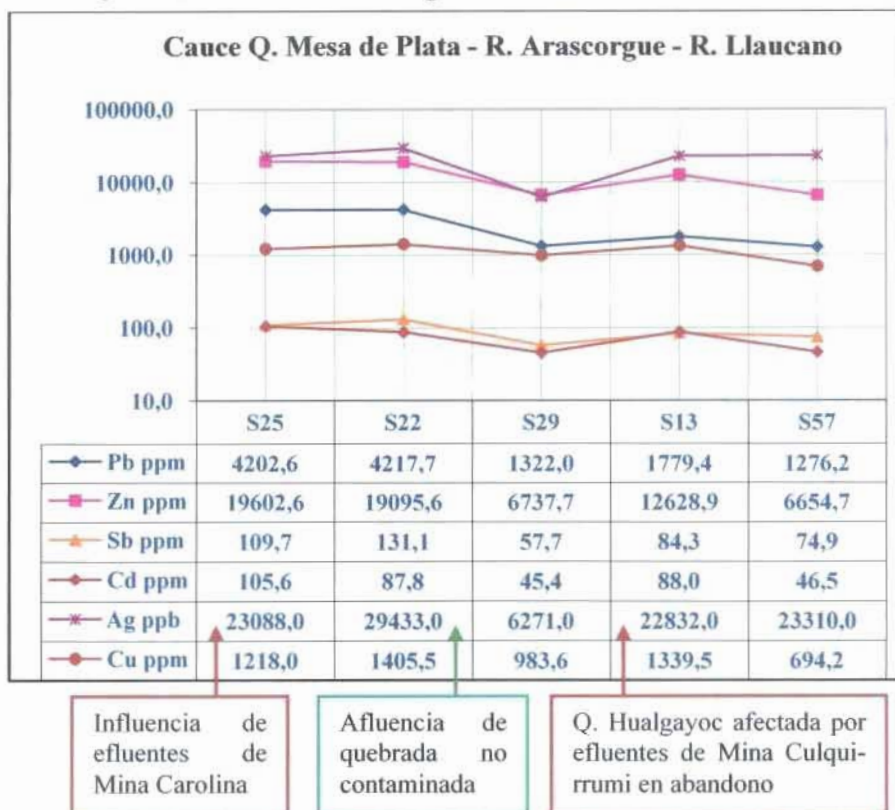


Figura 3.42. Arsénico, Hierro, Mercurio, Oro y Azufre en sedimentos tomados en cauce: Q. Mesa de Plata-R.Arascorgue-R.Llaucano. Sub-cuenca del Río Arascorgue

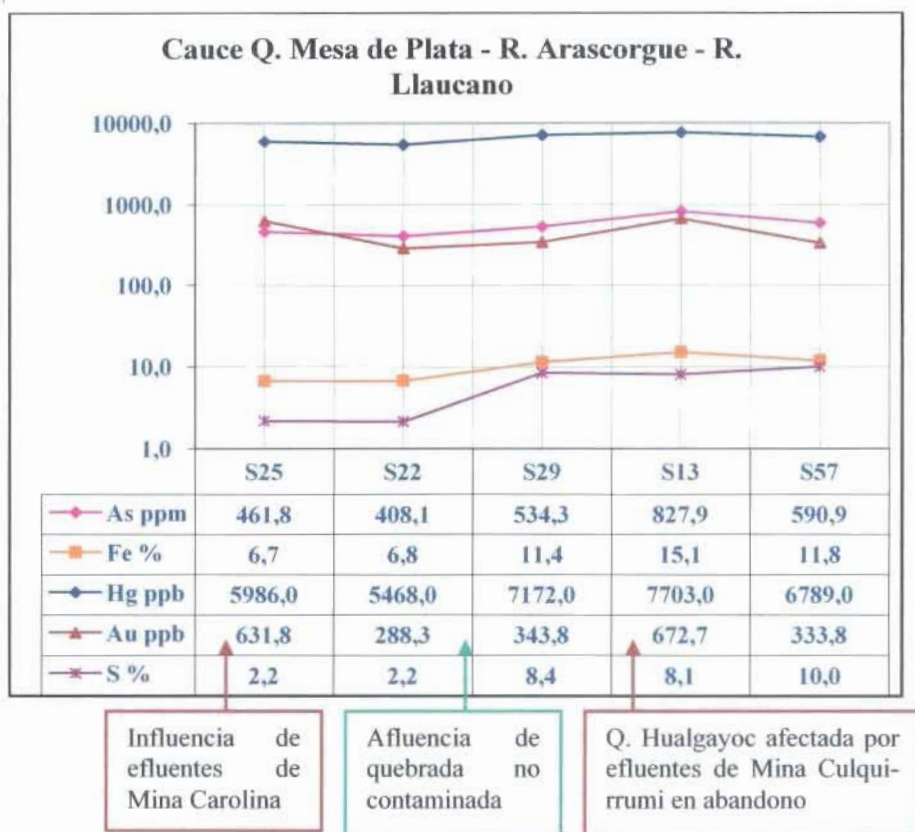


Figura 3.43. Cadmio, Zinc, Mercurio, Plata, Oro, Azufre, Plomo y Hierro en sedimentos tomados en cauce: Q.Tres Amigos-R.Tingo-R.Llaucano. Sub-cuenca: R. Tingo-Maigasbamba.

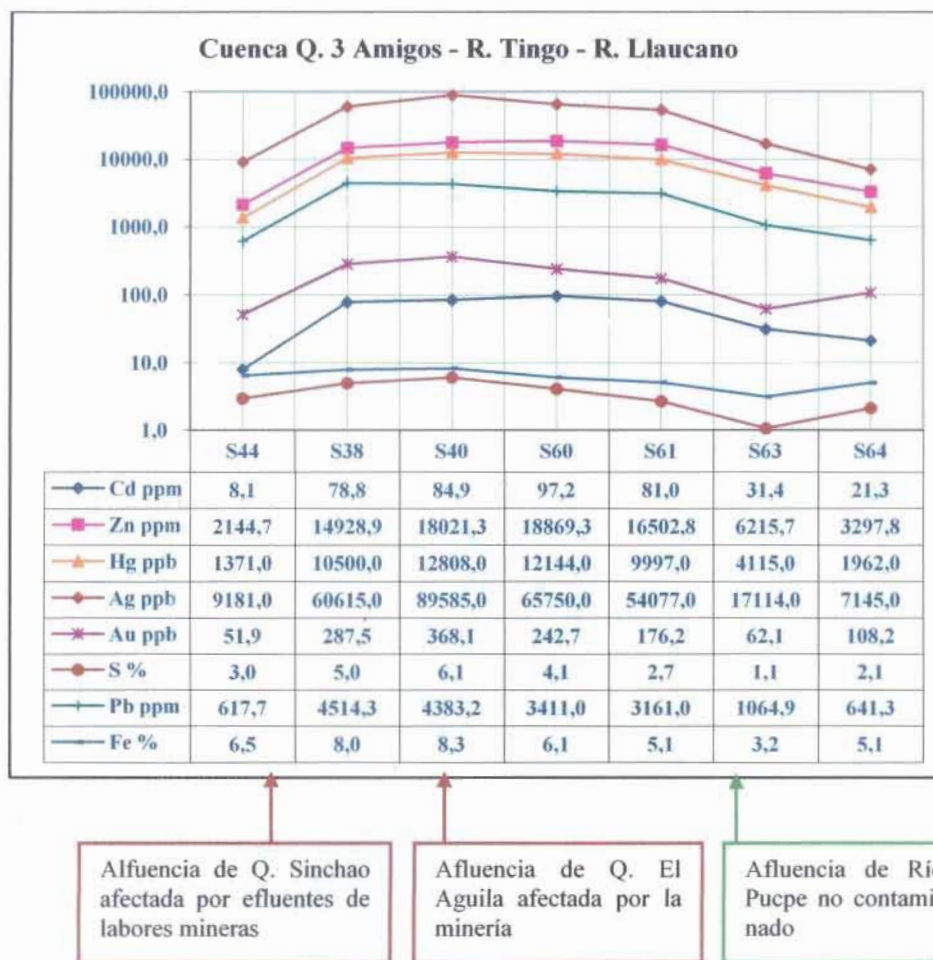


Figura 3.44. Arsénico, Antimonio y Cobre en sedimentos tomados en cauce: Q.Tres Amigos-R.Tingo-R.Llaucano. Sub-cuenca: R. Tingo-Maigasbamba

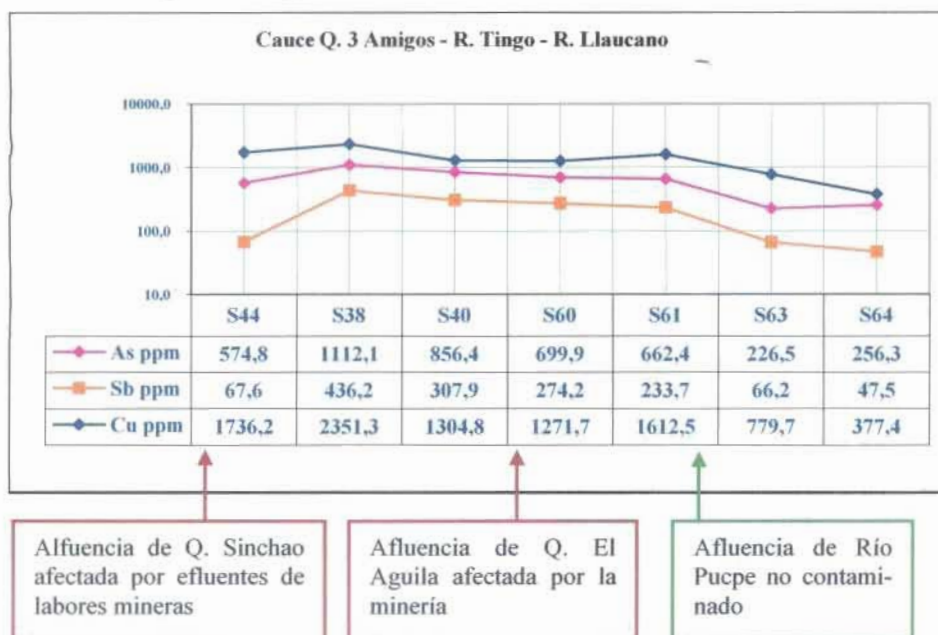
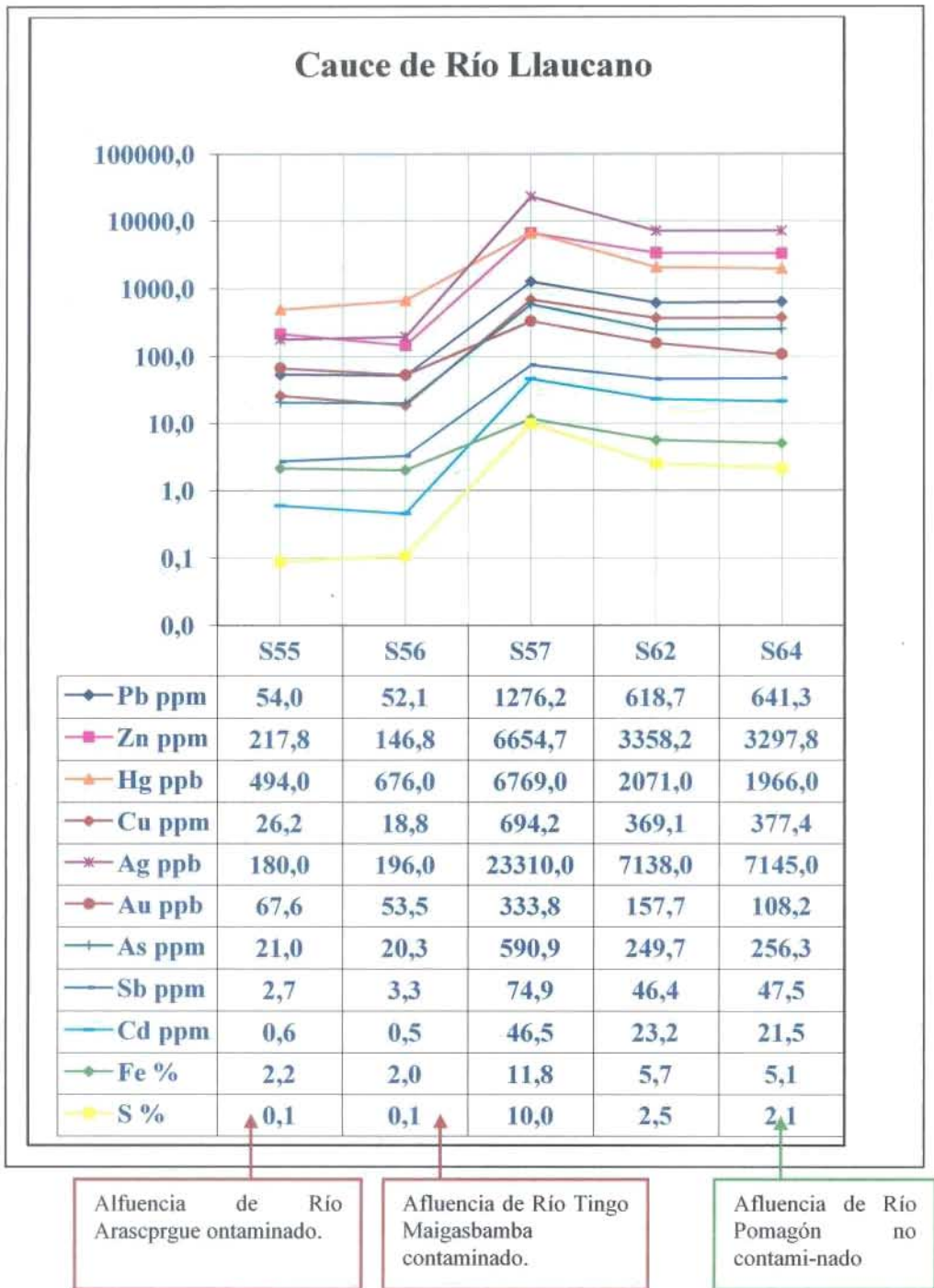


Figura 3.45. Plomo, Zinc, Mercurio, Arsénico, Antimonio, Cadmio, Plata, Oro, Azufre, Hierro y Cobre en sedimentos tomados en cauce: Q. El Águila-R.Tingo-R.Llaucano. Sub-cuenca: R. Tingo-Maigabamba.



Figura 3.46. Plomo, Zinc, Mercurio, Cobre, Plata, Oro, Arsénico, Antimonio, Cadmio, Hierro y Azufre en sedimentos tomados en el cauce del Río Llaucano.



3.2.2.2 Estudio mineralógico

➤ Estudio binocular

En la Tabla 3.39(a) y (b) se presentan los resultados del Estudio binocular realizado a muestras de sedimentos muestreados por debajo de labores mineras o plantas de flotación. Este estudio nos ayudó a constatar la presencia de sulfuros, por lo que se tomaron las siguientes muestras de sedimentos:

- S32: Sedimento de cauce presumiblemente afectado por drenajes de la Planta de Flotación de Mina Carolina (sub-cuenca de Río Tingo-Maigasbamba).
- S40: Sedimento de cauce de Río Tingo-Maigasbamba, tomado aguas abajo de la confluencia de la Quebrada El Águila (sub-cuenca del Río Tingo-Maigasbamba).
- S59: Sedimento de cauce de Río Tingo-Maigasbamba, tomado aproximadamente 6 km aguas abajo de S40 (sub cuenca del Río Tingo-Maigasbamba).
- S22: Sedimento de cauce de Quebrada Mesa de Plata, tomado aguas arriba de su confluencia en la Quebrada Hualgayoc (sub-cuenca del Río Arascorgue).
- S26: Sedimento de cauce de Río Arascorgue, afectado por drenajes de socavones y canchas de material estéril de Mina Carolina, tomado aguas arriba de S22 (sub cuenca del Río Arascorgue).

➤ Estudio de reflexión microscópica

Mediante este estudio, se logró identificar especies minerales presentes en los sedimentos, especialmente sulfuros y otros provenientes de labores mineras. También se evaluó la abundancia relativa de dichos minerales y se observaron las características de los mienrales, tales como formas, granulometrías, grados de alteración, grado de redondeamiento, entre otros, con el fin de identificar fuentes de contaminación, mayor o menor distancia recorrida y el tiempo de permanencia en el cauce.

Las muestras estudiadas fueron tomadas en los siguientes cauces:

- Muestras S22, S26 y S32, tomadas cerca de yacimientos mineros como Mina Carolina.
- Muestra SP4 tomada en el yacimiento minero San Nicolás; y la muestra SP5 tomada en el yacimiento minero Sinchao; ambos ubicados en la sub-cuenca del Río Tingo-Maygasmaba.
- Muestras SP2, SP y SP3 tomadas en la Mina Carolina ubicada en la sub-cuenca del Río Arascorgue.
- Muestras S40 y S49, tomadas en el cauce del Río Tingo-Maigasbamba.

Tabla 3.39 (a). **Resultados del Estudio Binocular. Muestras S32, S40 y S59 tomadas en la sub cuenca del Río Tingo-Maigasbamba.**

Muestra	Fracción (mm)	Observaciones
S32	> 400	Presencia de granos gruesos de sulfuros, especialmente piratas. Poca abundancia de sulfuros, aproximadamente en un 1%. Presencia de magnetita. Se observó algún grano de calcopirita y algún sulfuro gris-acero.
	400 – 250	Presencia de mixtos: fragmentos libres de sulfuros + cuarzos + micas + óxidos de Fe (presencia de magnetita). Sulfuros en proporción similar a la fracción anterior (aprox. 1%).
	250 – 1250	Mayor presencia de sulfuros que en la fracción anterior.
	< 125	Mayor presencia de sulfuros que en la fracción anterior.
S40	> 400	Presencia abundante de fragmentos mayores y planos (roca), con tamaños mayores a 1 mm. Abundantes granos de cuarzo, normalmente menores de 1 mm, así como feldespatos alterados de kaolín. Se ven algunos mixtos de cuarzo + sulfuro. También alguno libre. Presencia de óxidos de Fe muy abundantes. Presencia de granos de magnetita que fueron separados con el imán. La presencia de sulfuros es poca abundante.
	400 – 250	Similar a la anterior fracción pero sin fragmentos de roca gruesa, sino presencia de granos pequeños. Mayor abundancia de sulfuros libres que en la fracción anterior. Aún se observa, aunque en menor proporción, la presencia de mixtos: sulfuros + cuarzo + feldespatos alterados, óxidos de Fe. También se observó la presencia de magnetita.
	250 – 1250	Se observa mayor presencia de piratas, que se presentan como abundantes granos de cristales idiomorfos (cubos, piritredros, etc.)
	< 125	Predominio de la presencia de cuarzos y sulfuros. Ya no se observa presencia de feldespatos. Los sulfuros son bastante abundantes cuanto más fina es la granulometría. Abundancia dominante de la pirita, frecuentemente idiomorfa (cubos, dodecaedros, etc.)
S59	> 400	Presencia de fragmentos de diferentes rocas ígneas, sedimentarias (calizas, etc.) y cuarzo. Presencia de piratas, en mixtos, y también de granos casi exclusivamente formados por agregado de sulfuros (piratas). Presencia de micas.
	400 – 250	Presenta características análogas a la anterior fracción, en cuanto a componentes. Sin embargo, la presencia de cuarzo es mayor. Presencia predominante de sulfuros (piratas), pero aparecen otros sulfuros (grises-plomo), en un porcentaje mayor que en otras fracciones.
	250 – 1250	Mayor presencia de granos de cuarzos y de sulfuros. Entre los sulfuros, la pirita se ve mayoritaria, casi constituye aproximadamente el 90% de los sulfuros, presentando abundantes formas idiomorfas típicas (cubos, tetraedros, dodecaedros).
	< 125	Es una fracción con un porcentaje bastante alto de sulfuros, al igual que en la fracción < 125 mm. de la muestra M32. En esta fracción, cuanto más fina es su granulometría, el porcentaje de sulfuros aumenta notoriamente respecto al cuarzo.

Fuente: Dr. Jesús García Iglesias. Trabajo realizado en Laboratorio de Ingeniería Sanitaria. UDEP.

Tabla 3.39 (b). **Resultados del Estudio Binocular. Muestras S22 y S26 tomadas en la sub cuenca del Río Arascorgue.**

Muestra	Fracción (mm)	Observaciones
S22	> 400	Presencia de fragmentos de caliza, en poca proporción, abundante cuarzo, mica transparente, brillante y de tipo muscovita. Se observa presencia muy escasa de sulfuros libres (piritas principalmente). Presencia de fragmentos de rocas diversas como calizas y cuarzos.
	400 – 250	Presencia de óxidos de Fe, calizas en poca proporción. Presencia relativamente abundante de micas (biotita y muscovita). Presencia de sulfuros libres y mixtos, identificándose claramente la pirita. Presencia de algún carbonato de calcio de color verde típico (malaquita).
	250 – 1250	Presencia de sulfuros en menor proporción que en la S26. Presencia de piritas y otros minerales oscuros como óxidos de Fe de baja densidad aparente y magnetita claramente identificables.
	< 125	Presencia de sulfuros en menor proporción que en S26 para esta fracción.
S26	> 400	Presencia poco abundante de sulfuros libres. También presencia de éstos como granos no liberados (mixtos de ganga + sulfuro). Esto indica que los sulfuros libres están en las fracciones menores a 250 mm. en las sí se observan de forma abundante. Presencia de abundantes micas, con predominio de la mica negra (biotita).
	400 – 250	Mayor abundancia de opacos que en la fracción mayor de 400. Muchos de éstos serían óxidos de Fe. Se observan granos libres de sulfuros, poco abundantes, entre los que destaca la pirita. Como dato anecdótico se observó la presencia de algunos esferulitos de magnetita.
	250 – 1250	Presencia de minerales transparentes: abundantes granos de cuarzo y fragmentos de roca con otros minerales transparentes a translúcidos. Presencia de minerales opacos: óxidos de Fe ó Mn, de colores oscuros en algunos casos, casi negros; sulfuros ó granos de piritas desde cristales idiomorfos hasta fragmentos más o menos angulosos. Presencia de abundantes granos de un mineral más gris-plomo que podría ser sulfuros de Cu ó arseniuros de Cu. Presencia de abundante magnetita, que se identifica y separa con imán fácilmente (granos muy negros)
	< 125	Predomina la presencia de abundantes sulfuros y óxidos. Entre sulfuros se ve abundante pirita, identificable por sus formas cúbicas (cubos, piritoedros). Indican escasa rodadura debido a su carácter de cristales idiomorfos, poco o nada redondeados, o de fragmentos angulosos. Se observa abundante presencia de magnetita con algunas “esfarelitas” presentes. Se observan granos de cuarzos, fragmentos de silicatos, alguna mica es fácilmente identificable como muscovita. También se observan cristales de circón bien idiomorfos.

Fuente: Dr. Jesús García Iglesias. Trabajo realizado en Laboratorio de Ingeniería Sanitaria. UDEP.

○ **Muestras tomadas en las canchas de relaves abandonados como el Banco Minero.**

El estudio de reflexión microscópica fue complementado con microfotografías de algunas muestras más representativas.

Para la evaluación de las microfotografías obtenidas, se han considerado lo siguientes claves de interpretación:

- 63 x: Indica el número de aumentos del objetivo empleado en el microscopio de reflexión.
- N=: Indica que la observación al microscopio de reflexión se ha realizado con Nicoles paralelos. En este caso los colores de los minerales en las fotografías corresponden a sus colores de reflexión.
- N+ : Indica que la observación se ha realizado con Nicoles cruzados (N+) o ligeramente descruzados (N). Los colores que presentan los minerales son sus “colores de anisotropía”, también llamados “colores de polarización”, que no corresponden con los colores de reflexión.

En el Anexo 3.7 se presentan las microfotografías obtenidas, debidamente comentadas, las cuales han sido de importante ayuda para la adecuada integración de las técnicas aplicadas y su interpretación.

El estudio de microscopia de reflexión y las microfotografías fueron desarrollados en el Laboratorio de Prospección y Exploración de Minas de la Universidad de Oviedo, España.

3.2.2.3 Estudio estadístico

➤ Análisis univariante

Usando el software Minitab 15, se aplicó estadística descriptiva a los resultados de los ensayos químicos de metales pesados y sulfuros realizados en las muestras de sedimentos tomadas en:

- ✓ Toda la Cuenca Hidrográfica del Río Llaucano (Tabla 3.40).
- ✓ Cauces no afectados por la minería (Tabla 3.41).
- ✓ Cauces afectados por la minería (Tabla 3.42).

En las Tablas 3.43, 3.44 y 3.45 se presentan resúmenes de los resultados de la aplicación de la estadística descriptiva en cada caso. En el Anexo 3.8 se encuentran los resultados obtenidos desde el software Minitab 15.

Tabla 3.40. Elementos metálicos medidos en muestras de sedimentos tomadas en la cuenca del Río Llaucano.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	ppb	%	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppb	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
S7	17,0	1,4	4,5	0,8	150	4,0	0,10	10,4	10,2	2,0	27,0	0,12	0,34	653	0,018	9,2	11,6	0,17	0,30	139	39,9	0,14
S13	22832	1,1	828	673	31,3	0,66	89,0	9,0	1340	15,1	7703	0,06	0,12	10137	0,003	18,7	1779	84,3	6,8	26,4	12629	8,1
S22	29433	0,93	408	288	77,6	4,5	87,8	4,6	1406	6,8	5468	0,07	0,36	16439	0,003	12,7	4218	131	4,8	88,3	19096	2,2
S24	34301	1,4	669	176	47,2	4,3	64,1	13,7	1151	15,0	4664	0,08	0,32	6474	0,003	12,2	3140	208	7,3	89,9	10727	4,6
S25	23088	0,78	462	632	67,9	5,6	106	5,5	1218	6,7	5986	0,07	0,33	16860	0,004	11,1	4203	110	3,8	96,7	19603	2,2
S26	53180	0,59	666	345	40,5	4,7	167	2,6	1322	9,5	10364	0,05	0,33	24368	0,003	19,7	7711	213	7,7	91,2	32510	5,3
S27	6271	0,33	1499	84,6	62,1	0,10	4,8	11,3	311	29,4	1479	0,06	0,06	959	0,006	1,7	1340	38,1	1,7	9,9	813	2,6
S29	18265	0,89	534	344	18,2	0,94	45,4	4,1	984	11,4	7172	0,04	0,13	2822	0,003	10,8	1322	57,7	5,1	26,3	6738	9,4
S31	192	1,5	16,9	1,1	99,2	7,4	0,52	21,4	7,7	1,3	160	0,23	0,50	175	0,011	11,3	32,7	1,8	0,70	228	98,2	0,25
S32	99999	0,20	1666	1099	30,5	4,6	435	0,50	794	13,0	44988	0,03	0,22	30061	0,006	51,5	20380	808	9,9	90,6	68442	10,1
S34	2787	1,0	51,2	26,8	111	0,69	3,6	7,2	168	1,7	412	0,08	0,31	1080	0,006	5,9	273	9,5	0,80	24	603	0,25
S37	99999	0,15	1299	1149	15,8	5,4	162,5	4,0	813	13,6	27009	0,02	0,24	29071	0,002	12,4	7030	540	10,3	89,1	29743	11,8
S38	60615	0,81	1112	288	40,1	4,6	78,8	2,8	2351	8,0	10500	0,04	0,36	11573	0,005	19,0	4514	436	7,2	110	14927	5,0
S40	89585	0,85	856	368	44,9	3,7	84,9	8,6	1305	8,3	12808	0,04	0,34	12455	0,006	29,8	4383	308	8,9	90,0	16021	6,1
S43	6005	0,76	4715	66,9	41,5	1,0	1,5	11,7	1256	18,1	1186	0,08	0,32	411	0,006	7,8	361	170	10,2	46,1	453	3,0
S44	9181	1,6	575	51,9	47,3	1,2	8,1	14,5	1736	6,5	1371	0,05	0,60	1484	0,006	24,1	618	67,6	7,2	49,6	2145	3,0
S46	65367	0,48	1765	227	67,0	3,6	19,1	3,2	1821	7,1	20405	0,04	0,15	4679	0,023	11,6	3267	1247	11,3	130	3420	3,0
S51-A	217	1,2	21,7	148	146	3,6	0,65	6,0	27,4	2,5	523	0,09	0,24	774	0,014	7,5	63,8	2,58	0,50	95,2	215	0,13
S51-B	245	1,2	19,2	41,8	147	3,0	0,56	10,4	23,0	2,8	932	0,08	0,22	723	0,012	7,0	61,6	2,22	0,30	83,0	213	0,14
S55	189	1,3	21,0	67,6	149	3,3	0,60	8,9	26,2	2,2	494	0,10	0,23	695	0,012	7,0	54,0	2,72	0,30	90,0	218	0,09
S56	196	1,1	20,3	53,5	125	3,3	0,46	6,2	18,8	2,0	676	0,10	0,20	655	0,012	6,1	52,1	3,29	0,20	79,7	147	0,11
S57	23310	0,61	591	334	32,7	1,8	46,5	4,7	694	11,8	6769	0,04	0,14	4683	0,008	13,3	1276	74,9	5,5	42,6	6655	10,0
S58	143	1,1	7,3	3,2	55,4	5,1	0,2	9,9	8,7	1,3	704	0,12	0,18	595	0,004	6,9	22,4	0,89	0,30	85,6	51,6	0,08
S60	65750	0,80	700	243	53,0	5,5	97,2	4,2	1272	6,1	12144	0,07	0,29	13504	0,005	19,6	3411	274	5,2	117	18869	4,1
S61	54077	0,91	662	176	68,4	7,0	81,0	6,3	1613	5,1	9997	0,08	0,29	13265	0,005	18,4	3161	234	3,5	139	16503	2,7
S62	7136	0,93	250	158	83,2	2,4	23,2	8,4	369	5,7	2071	0,07	0,19	2595	0,010	9,4	619	46,4	1,7	65,2	3358	2,5
S63	17114	2,0	227	62,1	153	5,7	31,4	8,7	780	3,2	4115	0,16	0,31	6504	0,010	13,5	1065	66,2	1,2	119	6216	1,1
S64	7145	1,0	256	108	85,6	2,6	21,3	7,3	377	5,1	1966	0,08	0,21	2897	0,010	9,3	641	47,5	1,6	70,0	3298	2,1
S65	266	0,83	57,1	44,5	114	0,60	0,92	13,6	62,1	4,0	540	0,05	0,15	638	0,011	9,7	165	3,5	0,90	31,9	336	0,55
S67	52,0	1,2	10,1	4,3	192	1,0	0,20	5,1	31,7	2,4	347	0,09	0,21	842	0,016	3,8	23,7	0,51	0,40	48,9	61,9	0,15
S68	112	1,5	25,6	67,4	255	0,54	0,54	6,3	31,0	2,9	608	0,08	0,24	753	0,011	3,7	115	2,03	0,50	91,6	167	0,15

Tabla 3.41. Elementos metálicos en muestras de sedimentos tomadas en cauces no afectados por actividad minera.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	ppb	%	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppb	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
S7	17,0	1,4	4,5	0,8	150	4,0	0,10	10,4	10,2	2,0	27,0	0,12	0,34	653	0,02	9,2	11,6	0,17	0,30	139	39,9	0,14
S31	192	1,5	16,9	1,1	99,2	7,4	0,52	21,4	7,7	1,3	160	0,23	0,50	175	0,01	11,3	32,7	1,8	0,70	228	98,2	0,25
S58	143	1,1	7,3	3,2	55,4	5,1	0,2	9,9	8,7	1,3	704	0,12	0,18	595	0	6,9	22,4	0,89	0,30	85,6	51,6	0,08
S67	52,0	1,2	10,1	4,3	192	1,0	0,20	5,1	31,7	2,4	347	0,09	0,21	842	0,02	3,8	23,7	0,51	0,40	48,9	61,9	0,15
S68	112	1,5	25,6	67,4	255	0,54	0,54	6,3	31,0	2,9	608	0,08	0,24	753	0,01	3,7	115	2,03	0,50	91,6	167	0,15

Tabla 3.42. Elementos metálicos en muestras de sedimentos tomadas en cauces afectados por actividad minera.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S
	ppb	%	ppm	ppb	ppm	%	ppm	ppm	ppm	%	ppb	%	%	ppm	%	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%
S13	22832	1,1	828	673	31,3	0,66	89,0	9,0	1340	15,1	7703	0,06	0,12	10137	0,003	18,7	1779	84,25	6,8	26,4	12629	8,1
S22	29433	0,93	408	288	77,6	4,5	87,8	4,6	1406	6,8	5468	0,07	0,36	16439	0,003	12,7	4218	131,14	4,8	88,3	19096	2,2
S24	34301	1,4	669	176	47,2	4,3	64,1	13,7	1151	15,0	4664	0,08	0,32	6474	0,003	12,2	3140	207,91	7,3	89,9	10727	4,6
S25	23088	0,78	462	632	67,9	5,6	106	5,5	1218	6,7	5986	0,07	0,33	16860	0,004	11,1	4203	110	3,8	96,7	19603	2,2
S26	53180	0,59	666	345	40,5	4,7	167	2,6	1322	9,5	10364	0,05	0,33	24368	0,003	19,7	7711	213	7,7	91,2	32510	5,3
S27	6271	0,33	1499	84,6	62,1	0,10	4,8	11,3	311	29,4	1479	0,06	0,06	959	0,006	1,7	1340	38,1	1,7	9,9	813	2,6
S29	18265	0,89	534	344	18,2	0,94	45,4	4,1	984	11,4	7172	0,04	0,13	2822	0,003	10,8	1322	57,7	5,1	26,3	6738	9,4
S32	99999	0,20	1666	1099	30,5	4,6	435	0,50	794	13,0	44988	0,03	0,22	30061	0,006	51,5	20380	808	9,9	90,6	68442	10,1
S34	2787	1,0	51,2	26,8	111	0,69	3,6	7,2	168	1,7	412	0,08	0,31	1080	0,006	5,9	273	9,5	0,80	24	603	0,25
S37	99999	0,15	1299	1149	15,8	5,4	162,5	4,0	813	13,6	27009	0,02	0,24	29071	0,002	12,4	7030	540	10,3	89,1	29743	11,8
S38	60615	0,81	1112	288	40,1	4,6	78,8	2,8	2351	8,0	10500	0,04	0,36	11573	0,005	19,0	4514	436	7,2	110	14927	5,0
S40	89585	0,85	856	368	44,9	3,7	84,9	8,6	1305	8,3	12808	0,04	0,34	12455	0,006	29,8	4383	308	8,9	90,0	16021	6,1
S43	6005	0,76	4715	66,9	41,5	1,0	1,5	11,7	1256	18,1	1186	0,08	0,32	411	0,006	7,8	361	170	10,2	46,1	453	3,0
S44	9181	1,6	575	51,9	47,3	1,2	8,1	14,5	1736	6,5	1371	0,05	0,60	1484	0,006	24,1	618	67,6	7,2	49,6	2145	3,0
S46	65367	0,48	1765	227	67,0	3,6	19,1	3,2	1821	7,1	20405	0,04	0,15	4679	0,023	11,6	3267	1247	11,3	130	3420	3,0
S51-A	217	1,2	21,7	148	146	3,6	0,65	6,0	27,4	2,5	523	0,09	0,24	774	0,014	7,5	63,8	2,58	0,50	95,2	215	0,13
S51-B	245	1,2	19,2	41,8	147	3,0	0,56	10,4	23,0	2,8	932	0,08	0,22	723	0,012	7,0	61,6	2,22	0,30	83,0	213	0,14
S55	189	1,3	21,0	67,6	149	3,3	0,60	8,9	26,2	2,2	494	0,10	0,23	695	0,012	7,0	54,0	2,72	0,30	90,0	218	0,09
S56	196	1,1	20,3	53,5	125	3,3	0,46	6,2	18,8	2,0	676	0,10	0,20	655	0,012	6,1	52,1	3,29	0,20	79,7	147	0,11
S57	23310	0,61	591	334	32,7	1,8	46,5	4,7	694	11,8	6769	0,04	0,14	4683	0,008	13,3	1276	74,9	5,5	42,6	6655	10,0
S60	65750	0,80	700	243	53,0	5,5	97,2	4,2	1272	6,1	12144	0,07	0,29	13504	0,005	19,6	3411	274	5,2	117	18869	4,1
S61	54077	0,91	662	176	68,4	7,0	81,0	6,3	1613	5,1	9997	0,08	0,29	13265	0,005	18,4	3161	234	3,5	139	16503	2,7
S62	7136	0,93	250	158	83,2	2,4	23,2	8,4	369	5,7	2071	0,07	0,19	2595	0,010	9,4	619	46,4	1,7	65,2	3358	2,5
S63	17114	2,0	227	62,1	153	5,7	31,4	8,7	780	3,2	4115	0,16	0,31	6504	0,010	13,5	1065	66,2	1,2	119	6216	1,1
S64	7145	1,0	256	108	85,6	2,6	21,3	7,3	377	5,1	1966	0,08	0,21	2897	0,010	9,3	641	47,5	1,6	70,0	3298	2,1
S65	266	0,83	57,1	44,5	114	0,60	0,92	13,6	62,1	4,0	540	0,05	0,15	638	0,011	9,7	165	3,5	0,90	31,9	33,6	0,55

Tabla 3.43 Estadística descriptiva del contenido de metales y sulfuros totales en sedimentos tomados en cuenca del río Llaucano.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)					
		Media aritmética (M)	Mediana (Me)	Mínimo (Mín)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza
Ag	24	26561	13148	17	99999	31851	1014459481
Al	24	0,9727	0,9300	0,15	2,010	0,4147	0,1720
As	24	666	438	5	4715	924	854046
Au	24	241,2	132,9	0,8	1149,3	295,7	87448,0
Ba	24	83,5	67,5	15,8	254,9	56,3	3169,2
Ca	24	3,301	3,478	0,1	7,35	2,077	4,315
Cd	24	55,4	22,3	0,1	434,8	86,8	7529,6
Cr	24	7,763	7,250	0,5	21,4	4,352	18,938
Cu	24	777	787	8	2351	678	460137
Fe	24	7,59	6,31	1,25	29,35	6,24	38,90
Hg	24	6762	3093	27	44988	9657	93258285
K	24	0,07617	0,0700	0,02	0,23	0,04176	0,00174
Mg	24	0,2633	0,2400	0,06	0,60	0,1128	0,0127
Mn	24	7269	2860	175	30061	8752	76605043
Na	24	0,008033	0,006	0,002	0,023	0,005014	0,000025
Ni	24	13,25	11,20	1,70	51,50	9,59	92,03
Pb	24	2508	1171	12	20380	3998	15984847
Sb	24	172,9	66,9	0,20	1246,9	275,1	75680,5
Se	24	4,190	3,650	0,20	11,30	3,698	75680,5
Sr	24	83,15	89,10	9,90	228,20	44,32	1963,98
Zn	24	9803	3389	40	68442	14434	208353439
S ⁻	24	3,359	2,560	0,08	11,80	3,464	11,996

Tabla 3.44. Estadística descriptiva del contenido de metales y sulfuros totales en sedimentos tomados en cauces no afectados por actividades mineras.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)					
		Media aritmética (M)	Mediana (Me)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza
Ag	5	103,2	112,0	17	192	70,0	4899,7
Al	5	1,3360	1,40	1,06	1,52	0,2035	0,0414
As	5	12,88	10,10	4,5	25,6	8,47	71,76
Au	5	15,4	3,2	0,8	67,4	29,1	848,4
Ba	5	150,2	149,5	55,4	254,9	77,9	6074,5
Ca	5	3,60	4,04	0,54	7,35	2,85	8,15
Cd	5	0,312	0,20	0,10	0,54	0,2033	0,0413
Cr	5	10,62	9,90	5,10	21,4	6,44	41,48
Cu	5	17,85	10,18	7,72	31,73	12,35	152,4
Fe	5	1,984	1,99	1,250	2,94	0,718	0,515
Hg	5	369	347	27	704	287	82619
K	5	0,1280	0,12	0,08	0,23	0,0597	0,0036
Mg	5	0,2940	0,240	0,18	0,50	0,1299	0,0169
Mn	5	604	653	175	842	258	66342
Na	5	0,0120	0,011	0,004	0,018	0,00543	0,00003
Ni	5	6,98	6,90	3,70	11,30	3,33	11,12
Pb	5	41,0	23,7	11,6	114,5	41,8	1745,3
Sb	5	1,08	0,890	0,170	2,030	0,808	0,652
Se	5	0,440	0,40	0,30	0,700	0,1673	0,0280
Sr	5	118,6	91,6	48,9	228,20	69,1	4772,1
Zn	5	83,6	61,9	39,90	166,6	51,3	2626,7
S	5	0,154	0,150	0,080	0,250	0,0611	0,0037

Tabla 3.45. Estadística descriptiva del contenido de elementos químicos totales en sedimentos tomados en cauces afectados por actividades mineras.

Variable	No. muestras analizadas	Concentración (ppb)					
		Media aritmética (M)	Mediana (Me)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)	Desviación estándar (SD)	Varianza
Ag	29	31853	22832	189	99999	32416	1050797067
Al	29	0,900	0,8900	0,15	2,01	0,4098	0,1679
As	29	796	591	20	4715	962	925372
Au	29	286,4	176,4	26,8	1149,3	304,6	92770,3
Ba	29	70,18	62,10	15,8	153,3	41,30	1705,40
Cu	29	3,241	3,325	0,10	6,950	1,958	3,833
Cd	29	66,4	45,4	0,5	434,8	91,3	8339,7
Cr	29	7,192	7,20	0,5	14,5	3,732	13,930
Cu	29	928	984	19	2351	642	412010
Fe	29	8,72	6,76	1,72	29,35	6,25	39,04
Hg	29	8041	5468	412	44988	10122	102456299
K	29	0,0658	0,070	0,020	0,160	0,02900	0,00084
Mg	29	0,2572	0,240	0,060	0,600	0,1110	0,0123
Mn	29	8602	4683	411	30061	9025	81445870
Na	29	0,00724	0,006	0,002	0,023	0,004639	0,000022
Ni	29	14,50	12,20	1,70	51,50	0,98	99,52
Pb	29	3002	1340	52	20380	4218	17792843
Sb	29	207,3	84,3	2,4	1246,9	289,9	84066,4
Se	29	4,94	5,10	0,20	11,30	3,606	13,00
Sr	29	76,06	89,10	9,90	139,10	35,55	1263,92
Zn	29	11747	6655	147	68442	15104	228142052
S	29	4,000	2,950	0,090	11,80	3,454	11,927

➤ **Análisis bivariante**

Utilizando el software Minitab 15, se elaboraron las matrices de correlación para cada caso estudiado.

- Toda la Cuenca Hidrográfica del río Llaucano. Ver Tabla 3.46.
- Cauces no afectados por la minería. Ver Tabla 3.47.
- Cauces afectados por la minería. Ver Tabla 3.48.

➤ **Análisis multivariante**

- **Análisis de Componentes Principales (ACP)**

Al igual que las aguas, se procedió a aplicar el ACP a las muestras de sedimento tomadas en los cauces antes indicados.

En las Figuras 3.47, 3.48 y 3.49 se presentan los Gráficos de Sedimentación, en el que se observa que existen cuatro componentes por encima del valor 1.

En el Anexo 3.9 se presentan los resultados obtenidos desde el software Minitab15.

- **Muestras de sedimentos tomados en cuenca del Río Llaucano**

En la Tabla 3.49 se presentan los cuatro primeros componentes que explican el 82,7% de la varianza. El componente 1, explica el 54,7%; El componente 2, el 12,8%; el componente 3, el 7,9%; y el componente 4, el 7,2%.

Tabla 3.46. Matriz de correlación: Elementos químicos analizados en sedimentos tomados en cuenca del Río Llaucano.

Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	s	
Ag	1,000																					
Al	-0,599	1,000																				
As	0,330	-0,478	1,000																			
Au	0,704	-0,622	0,263	1,000																		
Ba	-0,559	0,607	-0,471	-0,537	1,000																	
Ca	0,441	0,036	-0,125	0,225	-0,173	1,000																
Cd	0,723	-0,540	0,235	0,835	-0,457	0,342	1,000															
Cr	-0,532	0,521	-0,080	-0,506	0,139	-0,055	-0,522	1,000														
Cu	0,606	-0,269	0,460	0,348	-0,619	0,224	0,336	-0,316	1,000													
Fe	0,290	-0,563	0,649	0,393	-0,573	-0,293	0,290	-0,044	0,331	1,000												
Hg	0,883	-0,637	0,343	0,840	-0,479	0,326	0,823	-0,564	0,398	0,294	1,000											
K	-0,532	0,695	-0,322	-0,536	0,466	0,371	-0,416	0,617	-0,473	-0,463	-0,495	1,000										
Mg	0,051	0,426	-0,024	-0,143	-0,008	0,404	0,001	0,364	0,309	-0,310	-0,105	0,328	1,000									
Mn	0,844	-0,563	0,203	0,837	-0,493	0,497	0,884	-0,567	0,479	0,261	0,910	-0,447	0,095	1,000								
Na	-0,309	0,258	-0,174	-0,440	0,612	-0,116	-0,405	0,089	-0,376	-0,434	-0,183	0,286	-0,139	-0,502	1,000							
Ni	0,704	-0,292	0,209	0,608	-0,480	0,306	0,840	-0,286	0,478	0,149	0,707	-0,341	0,255	0,672	-0,301	1,000						
Pb	0,784	-0,576	0,285	0,784	-0,437	0,340	0,981	-0,521	0,355	0,301	0,917	-0,432	0,018	0,857	-0,318	0,834	1,000					
Sb	0,704	-0,560	0,455	0,526	-0,397	0,277	0,538	-0,470	0,548	0,224	0,810	-0,446	-0,079	0,524	0,153	0,509	0,635	1,000				
Se	0,704	-0,555	0,697	0,629	-0,313	0,100	0,560	-0,324	0,532	0,695	-0,605	0,124	0,608	-0,318	0,593	0,594	0,744	1,000				
Sr	0,219	0,269	-0,160	-0,048	0,151	0,835	0,084	0,170	0,069	-0,441	0,141	0,581	0,489	0,160	0,270	0,155	0,115	0,246	-0,032	1,000		
Zn	0,704	-0,546	0,229	0,828	-0,467	0,396	0,993	-0,542	0,384	0,276	0,882	-0,423	0,051	0,927	-0,439	0,826	0,975	0,538	0,574	0,118	1,000	
s	0,698	-0,597	0,355	0,813	-0,330	0,016	0,654	-0,430	0,464	0,568	0,707	-0,624	-0,195	0,647	-0,503	0,563	0,601	0,446	0,733	-0,217	0,640	1,000

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

Tabla 3.47. Matriz de correlación: Elementos químicos analizados en sedimentos tomados en cauces no afectados por actividades mineras.

	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Al	-0,110																						
As	1,000	-0,100																					
Au	0,952	0,031	0,956	1,000																			
Ba	-0,436	0,494	-0,426	-0,202	1,000																		
Ca	-0,320	-0,390	-0,327	-0,454	-0,459	1,000																	
Cd	0,999	-0,091	1,000	0,958	-0,424	-0,320	1,000																
Cr	0,115	0,456	0,115	0,001	-0,494	0,291	0,126	1,000															
Cu	1,000	-0,103	1,000	0,954	-0,424	-0,336	0,999	0,108	1,000														
Fe	0,975	-0,093	0,976	0,973	-0,255	-0,379	0,976	-0,048	0,976	1,000													
Hg	0,995	-0,138	0,995	0,961	-0,433	-0,325	0,995	0,064	0,995	0,974	1,000												
K	-0,455	0,473	-0,455	0,540	-0,169	0,356	-0,446	0,820	-0,459	-0,592	-0,499	1,000											
Mg	0,199	0,673	0,201	0,126	-0,205	0,097	0,212	0,899	0,196	0,102	0,124	0,686	1,000										
Mn	0,887	-0,318	0,887	0,872	-0,150	-0,445	0,880	-0,391	0,871	0,928	0,882	-0,821	-0,244	1,000									
Na	-0,470	0,215	-0,471	-0,483	0,560	0,098	-0,477	-0,234	-0,467	-0,361	0,531	0,062	0,368	-0,269	1,000								
Ni	0,730	0,030	0,730	0,627	0,311	0,133	0,730	0,618	0,730	0,664	0,730	0,085	0,626	0,422	-0,354	1,000							
Pb	0,998	-0,076	0,999	0,970	-0,390	-0,351	0,999	0,099	0,998	0,982	0,995	-0,470	0,192	0,871	-0,480	0,730	1,000						
Sb	1,000	-0,104	1,000	0,953	-0,432	-0,326	0,999	0,116	1,000	0,975	0,995	-0,454	0,201	0,887	-0,471	0,730	0,999	1,000					
Se	0,998	-0,065	0,999	0,954	-0,423	-0,333	0,999	0,152	0,999	0,971	0,992	-0,418	0,240	0,847	-0,474	0,730	0,998	0,999	1,000				
Sr	-0,393	0,343	-0,394	-0,457	-0,177	0,721	-0,380	0,714	-0,404	-0,467	-0,439	0,714	0,657	-0,711	0,233	0,206	-0,405	-0,395	-0,371	1,000			
Zn	0,999	-0,087	0,999	0,964	-0,408	-0,331	1,000	0,111	0,999	0,990	0,995	-0,460	0,201	0,967	-0,475	0,730	1,000	0,999	0,999	-0,391	1,000		
S	0,998	-0,064	0,999	0,951	-0,423	-0,337	0,999	0,151	0,999	0,971	0,990	-0,419	0,244	0,848	-0,461	0,730	0,997	0,999	1,000	-0,372	0,998	1,000	

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
 : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

Tabla 3.48. Matriz de correlación: Elementos químicos analizados en sedimentos tomados en cauces afectados por actividades mineras.

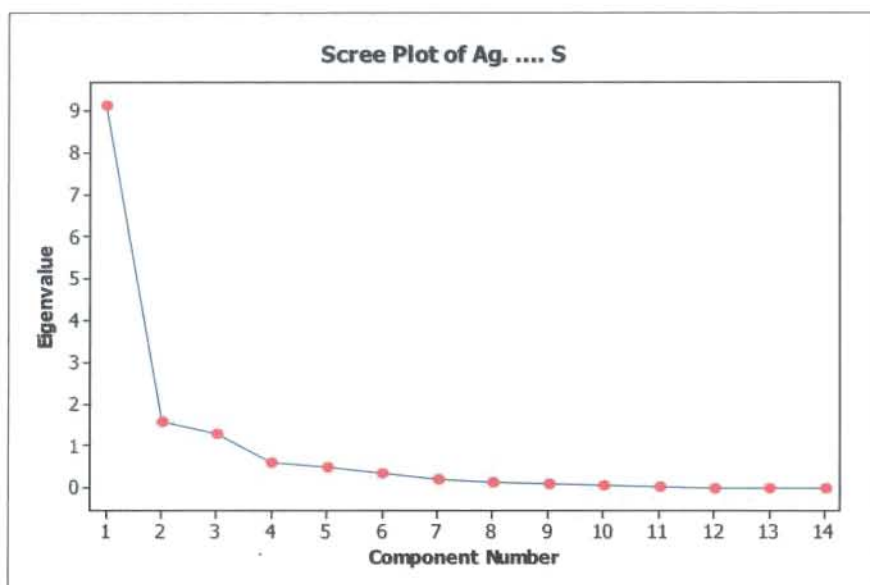
	Ag	Al	As	Au	Ba	Ca	Cd	Cr	Cu	Fe	Hg	K	Mg	Mn	Na	Ni	Pb	Sb	Se	Sr	Zn	S	
Ag	1,000																						
Al	-0,607	1,000																					
As	0,266	-0,414	1,000																				
Au	0,751	-0,620	0,204	1,000																			
Ba	-0,587	0,591	-0,468	-0,558	1,000																		
Ca	0,623	-0,128	-0,063	0,384	-0,199	1,000																	
Cd	0,676	-0,468	0,192	0,751	-0,445	0,447	1,000																
Cr	-0,569	0,469	-0,011	-0,544	0,291	-0,471	-0,575	1,000															
Cu	0,451	-0,093	0,402	0,207	-0,597	0,361	0,283	-0,246	1,000														
Fe	0,198	-0,488	0,619	0,915	-0,573	-0,231	0,232	0,099	0,219	1,000													
Hg	0,847	-0,615	0,298	0,824	-0,476	0,461	0,875	-0,625	0,308	0,227	1,000												
K	-0,608	0,751	-0,251	-0,606	0,642	0,059	-0,403	0,341	-0,292	-0,377	-0,554	1,000											
Mg	0,084	0,385	0,038	-0,117	-0,068	0,293	0,066	0,143	0,495	-0,276	-0,073	0,117	1,000										
Mn	0,853	-0,582	0,141	0,848	-0,520	0,658	0,751	-0,594	0,299	0,170	0,751	-0,505	0,113	1,000									
Na	-0,326	0,213	-0,119	-0,460	0,550	-0,183	-0,382	0,078	-0,275	-0,407	-0,147	0,290	-0,277	-0,542	1,000								
Ni	0,594	-0,193	0,171	0,521	-0,440	0,329	0,834	-0,339	0,469	0,091	0,751	-0,339	0,315	0,512	-0,242	1,000							
Pb	0,751	-0,525	0,246	0,751	-0,434	0,454	0,578	-0,580	0,295	0,246	0,907	-0,448	0,077	0,751	-0,296	0,817	1,000						
Sb	0,751	-0,507	0,426	0,482	-0,392	0,382	0,515	-0,515	0,507	0,161	0,751	-0,468	-0,032	0,450	0,250	0,485	0,617	1,000					
Se	0,677	-0,455	0,672	0,555	0,751	0,220	0,530	-0,295	0,751	0,464	0,656	-0,590	0,245	0,492	-0,245	0,578	0,567	0,751	1,000				
Sr	0,432	0,124	-0,069	0,090	0,147	0,531	0,259	-0,418	0,374	-0,416	0,337	0,212	0,319	0,326	0,230	0,269	0,296	0,479	0,180	1,000			
Zn	0,751	-0,471	0,183	0,751	-0,455	0,513	0,892	-0,596	0,331	0,211	0,961	-0,400	0,126	0,801	-0,418	0,520	0,973	0,514	0,542	0,316	1,000		
S	0,647	-0,542	0,303	0,751	0,751	0,134	0,627	-0,446	0,372	0,511	0,683	-0,674	-0,148	0,584	-0,499	0,527	0,575	0,409	0,694	-0,110	0,609	1,000	

- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $r \geq 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $8,00 \leq r < 9,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $7,00 \leq r < 8,00$
- : Coeficiente de correlación Pearson (r): $5,00 \leq r < 7,00$

Fuente: Propia.

En la Figura 3.47 presenta los Gráficos de Sedimentación, en el que se observa que existen cuatro componentes por encima del valor 1.

Figura 3.47. **Gráfico de sedimentación: Muestras de sedimentos tomados en cuenca del Río Llaucano.**



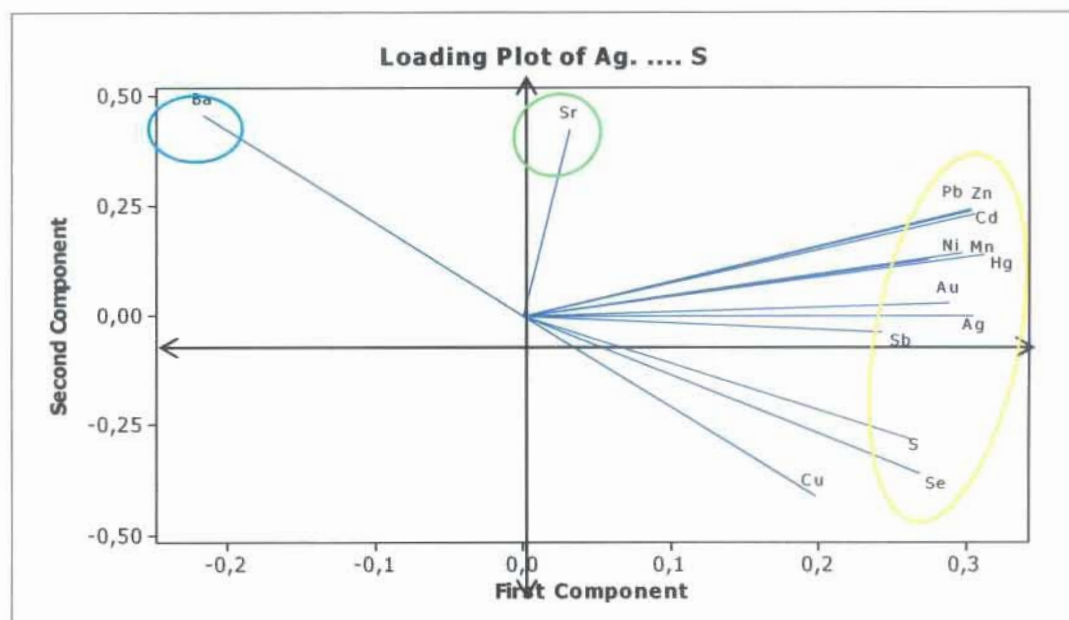
En la Tabla 3.49 se presentan los tres primeros componentes que explican el 85,6% de la varianza. El componente 1, explica el 65,3%; el componente 2, explica el 11,2%; el componente 3, explica el 9,1%.

Tabla 3.49. **Pesos de componentes principales para matriz de elementos químicos ensayados en muestras de sedimentos de la cuenca del Río Llaucano.**

Componente 1		Componente 2		Componente 3	
Hg	0,312	Ba	0,458	Sr	0,842
Zn	0,306	Sr	0,427	Sb	0,404
Ag	0,304	Pb	0,243	Cu	0,385
Cd	0,303	Cd	0,238	Se	0,193
Pb	0,303	Zn	0,232	Ag	0,181
Mn	0,297	Mn	0,145	Ba	0,041
Au	0,289	Hg	0,139	Ni	0,009
Ni	0,274	Ni	0,13	Hg	0,007
Se	0,268	Au	0,029	Mn	-0,072
S	0,262	Ag	-0,001	Pb	-0,104
Sb	0,243	Sb	-0,038	Zn	-0,15
Cu	0,197	S	-0,282	Cd	-0,19
Sr	0,032	Se	-0,361	S	-0,254
Ba	-0,217	Cu	-0,412	Au	-0,256

En la Figura 3.48 se presenta el Gráfico de componentes de carga rotados, para elementos químicos totales evaluados en sedimentos de cauces de la cuenca del Río Llaucano.

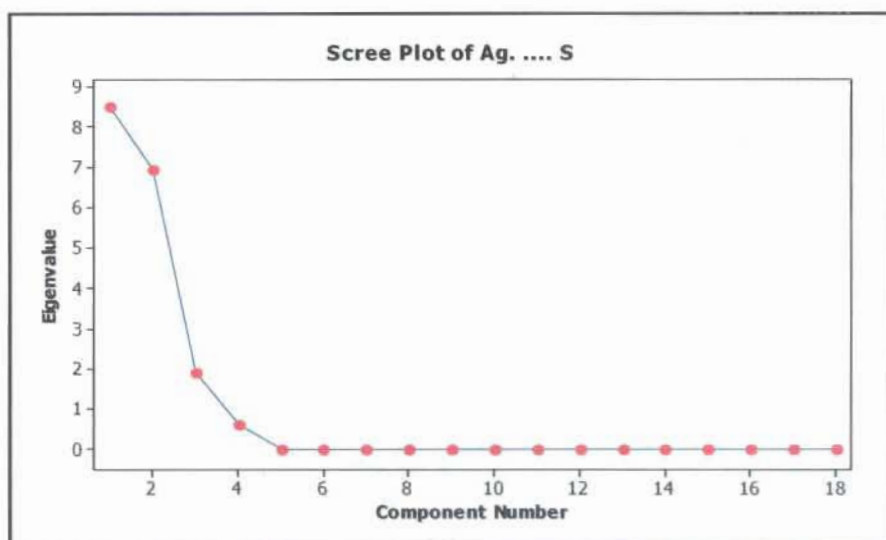
Figura 3.48. Análisis de Componentes Principales: Gráfico de componentes de carga rotados para elementos químicos analizados en sedimentos de cauces del Río Llaucano.



- Muestras de sedimentos tomados en cauces no afectados por actividad minera

En la Figura 3.49 se presenta el Gráfico de Sedimentación, en el que se observa que existen tres componentes por encima del valor 1

Figura 3.49. Gráfico de sedimentación: Muestras de sedimentos tomados en cauces no afectados por actividad minera.



En la Tabla 3.50 se presentan los tres primeros componentes que explican el 96,6% de la varianza. El componente 1, explica el 47,4%; el componente 2, explica el 38,5% y el componente 3, explica el 10,7%.

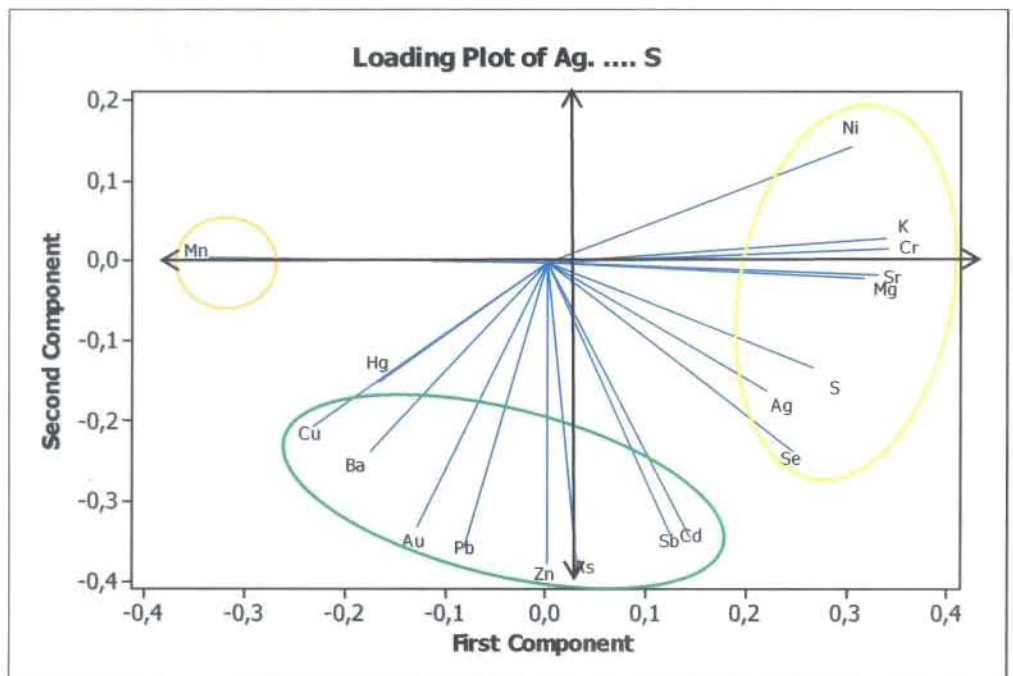
Tabla 3.50.

Pesos de componentes principales para matriz de metales pesados y sulfuros ensayados en muestras de sedimentos de cauces no afectados por la actividad minera.

Componente 1		Componente 2		Componente 3	
Cr	0,341	Ni	0,144	Ba	0,424
K	0,339	K	0,029	S	0,336
Sr	0,331	Cr	0,016	Mg	0,265
Mg	0,316	Mn	0,005	Cu	0,242
Ni	0,305	Sr	-0,016	Mn	0,129
S	0,265	Mg	-0,02	Se	0,107
Se	0,246	S	-0,133	Sr	0,095
Ag	0,219	Hg	-0,150	Ni	0,019
Cd	0,143	Ag	-0,162	Zn	0,014
Sb	0,125	Cu	-0,206	As	0,013
As	0,03	Ba	-0,236	Au	0,007
Zn	0,001	Se	-0,236	Pb	-0,019
Pb	-0,082	Au	-0,331	K	-0,038
Au	-0,129	Sb	-0,341	Cd	-0,049
Hg	-0,168	Cd	-0,344	Cr	-0,052
Ba	-0,176	Pb	-0,358	Sb	-0,175
Cu	-0,234	Zn	-0,377	Ag	-0,439
Mn	-0,337	As	-0,378	Hg	-0,557

En la Figura 3.50 se presenta el Gráfico de componentes de carga rotados, correspondiente a los elementos químicos analizados en sedimentos tomados en cauces no afectados por actividades mineras.

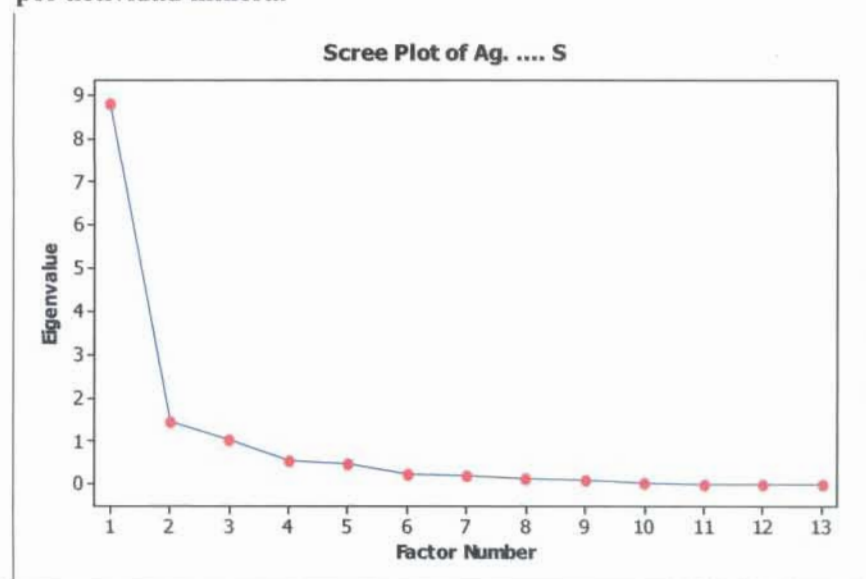
Figura 3.50. **Análisis de componentes principales: Gráfico de componentes de carga rotados para elementos químicos analizados en sedimentos de cauces no afectados por actividades mineras.**



○ **Muestras de sedimentos tomados en cauces afectados por actividad minera**

En la Figura 3.51 se presenta el Gráfico de Sedimentación, en el que se observa que existen tres componentes por encima del valor 1.

Figura 3.51. **Gráfico de sedimentación: Muestras de sedimentos tomados en cauces afectados por actividad minera.**



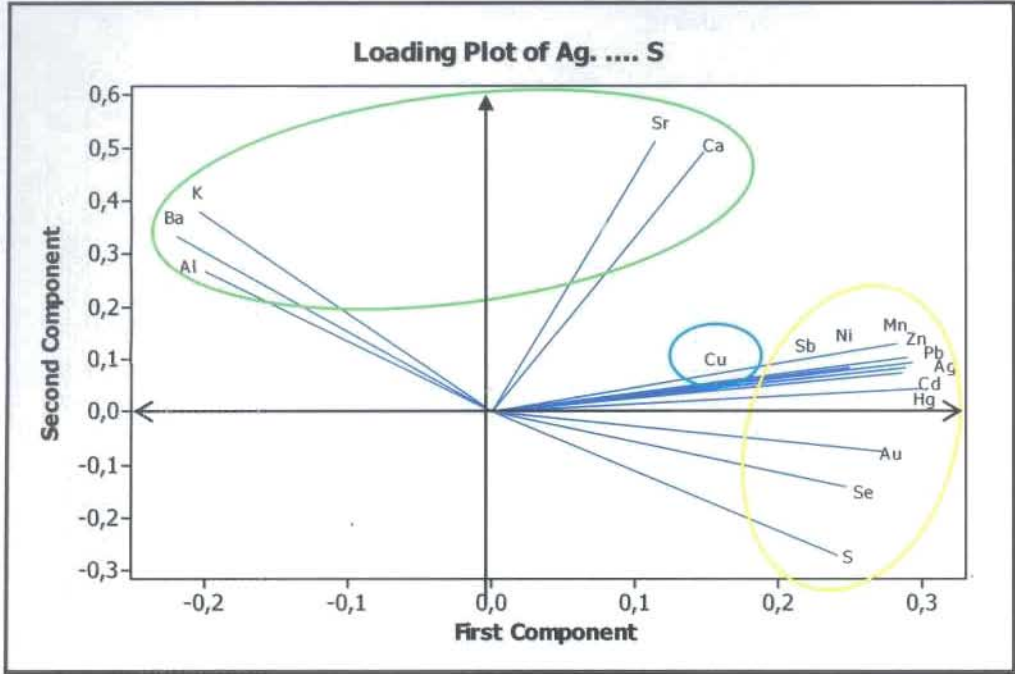
En la Tabla 3.51 se presentan los tres primeros componentes que explican el 67,6% de la varianza. El componente 1, explica el 42,1 %, el componente 2 el 17,1 % y el componente 3 el 8,4%.

Tabla 3.51. **Pesos de componentes principales para matriz de elementos químicos ensayados en muestras de sedimentos de cauces afectados por la actividad minera.**

Componente 1		Componente 2		Componente 3	
Hg	0,299	Sr	0,514	Cd	0,291
Ag	0,292	Ca	0,493	Zn	0,256
Zn	0,289	K	0,382	Pb	0,238
Pb	0,288	Ba	0,335	Ba	0,231
Cd	0,286	Al	0,270	Au	0,21
Mn	0,282	Mn	0,131	Mn	0,136
Au	0,272	Zn	0,103	Hg	0,102
Ni	0,249	Ag	0,094	K	0,101
Se	0,246	Ni	0,084	Ni	0,099
S	0,240	Pb	0,083	S	0,016
Sb	0,230	Cd	0,074	Al	-0,081
Cu	0,158	Sb	0,066	Ca	-0,084
Ca	0,147	Hg	0,044	Ag	-0,126
Sr	0,113	Cu	0,043	Sr	-0,249
Al	-0,201	Au	-0,074	Sb	-0,277
K	-0,204	Se	-0,142	Se	-0,369
Ba	-0,221	S	-0,27	Cu	-0,585

En la Figura 3.52 se presenta el Gráfico de componentes de carga rotados, correspondiente a los elementos metálicos evaluados en sedimentos de cauces afectados por actividades mineras.

Figura 3.52. **Gráfico de componentes de carga rotados: Elementos metálicos evaluados en sedimentos de cauces afectados por la actividad minera.**



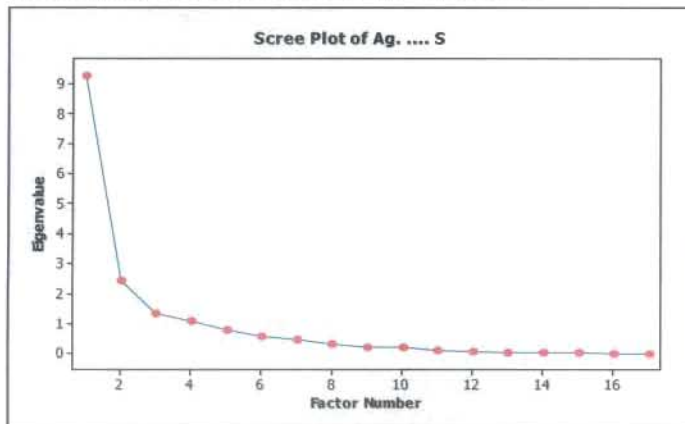
- **Análisis de Factores o Factorial (AF)**

Utilizando el software Minitab 15, se ha aplicado el método de Análisis Factorial (AF), para la misma matriz de datos de elementos químicos utilizada en el Análisis de Componentes Principales. Los resultados obtenidos se presentan en el Anexo 3.10.

- **Muestras de sedimentos tomados en cauce de cuenca de Río Llaucano**

En la Figura 3.53 se presenta el Gráfico de sedimentación, en el que se observan tres factores por encima del valor 1.

Figura 3.53. **Gráfico de sedimentación de Análisis Factorial para elementos químicos en sedimentos tomados en la cuenca del Río Llaucano.**



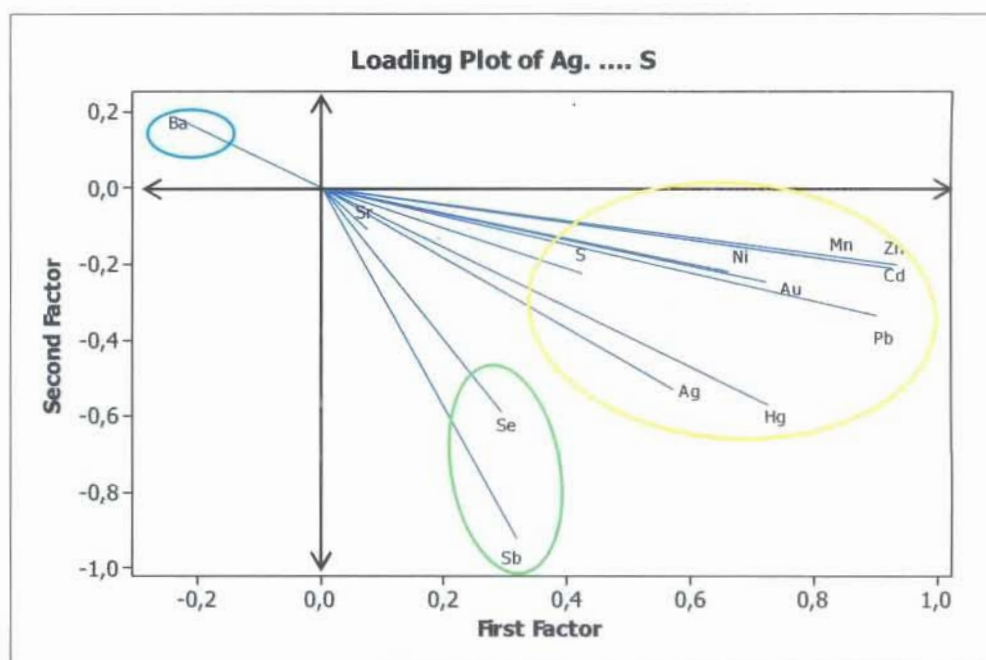
En la Tabla 3.52 se presentan los tres primeros Factores que explican el 71,2% de la varianza. El factor 1, explica el 42,2%; el factor 2, el 17,1%; y el factor 3, el 12,9%.

Tabla 3.52. Pesos de factores principales para matriz de elementos químicos ensayados en muestras de sedimentos tomadas en cauces de la cuenca del Río Llaucano.

Factor 1		Factor 2		Factor 3	
Zn	0,933	Ba	0,186	Ba	0,925
Cd	0,927	Sr	-0,108	Sr	0,09
Pb	0,902	Mn	-0,192	Pb	-0,143
Mn	0,845	Zn	-0,200	Hg	-0,153
Hg	0,723	Cd	-0,209	Sb	-0,154
Au	0,721	Ni	-0,218	Cd	-0,164
Ni	0,658	S	-0,221	Zn	-0,184
Ag	0,570	Au	-0,247	Ni	-0,226
S	0,423	Pb	-0,334	Mn	-0,236
Sb	0,315	Ag	-0,526	Au	-0,237
Se	0,291	Hg	-0,567	Ag	-0,278
Sr	0,073	Se	-0,588	S	-0,457
Ba	-0,236	Sb	-0,918	Se	-0,482

En la Figura 3.54 se presenta el Gráfico de factores de carga con rotación Varimax, correspondiente a los elementos metálicos evaluados en cauces de la cuenca del Río Llaucano.

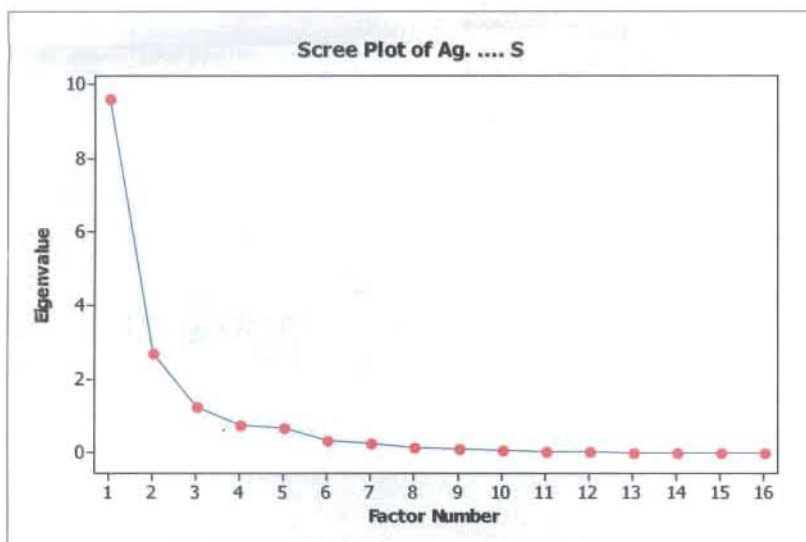
Figura 3.54. Gráfico de factores de carga con rotación Varimax: Elementos metálicos en sedimentos tomados en cauces de la cuenca del Río Llaucano.



- **Muestras de sedimentos tomados en cauces no afectados por actividad minera.**

En la Figura 3.55 se presenta el Gráfico de sedimentación, en el que se observan tres factores por encima del valor 1.

Figura 3.55. **Gráfico de sedimentación de Análisis Factorial para elementos químicos en muestras de sedimentos tomados en toda la cuenca del Río Llaucano.**



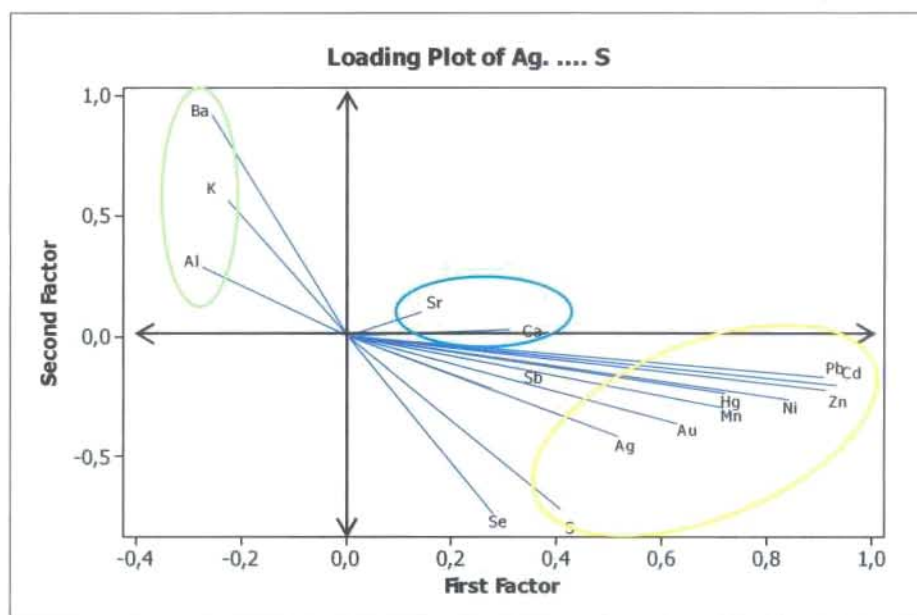
En la Tabla 3.53 se presentan los tres primeros Factores que explican el 68,7% de la varianza. El factor 1, explica el 34,5%; el factor 2, el 18,7%; y, el factor 3 el 15,5%..

Tabla 3.53. **Pesos de factores principales para matriz de elementos químicos ensayados en muestras de sedimentos tomados en cauces afectados por la actividad minera.**

	Factor 1		Factor 2		Factor 3
Cd	0,930	Ba	0,919	S	0,078
Zn	0,910	K	0,562	Al	-0,074
Pb	0,906	Al	0,285	Ba	-0,084
Ni	0,840	Sr	0,105	Au	-0,097
Hg	0,716	Ca	0,029	Se	-0,102
Mn	0,714	Pb	-0,166	Ni	-0,108
Au	0,626	Cd	-0,205	Cd	-0,160
Ag	0,515	Sb	-0,212	Pb	-0,169
S	0,406	Zn	-0,221	K	-0,200
Ca	0,307	Hg	-0,237	Hg	-0,204
Se	0,278	Ni	-0,264	Zn	-0,242
Sb	0,275	Mn	-0,297	Sb	-0,289
Sr	0,14	Au	-0,358	Mn	-0,424
K	-0,227	Ag	-0,416	Ag	-0,455
Ba	-0,257	S	-0,720	Sr	-0,935
Al	-0,274	Se	-0,737	Ca	-0,941

En la Figura 3.56 se presenta el Gráfico de factores de carga con rotación Varimax, correspondiente a los elementos químicos evaluados en muestras de sedimentos tomadas en cauces afectados por la actividad minera de la cuenca del Río Llaucano.

Figura 3.56. Gráfico de factores de carga con rotación Varimax. Elementos químicos en sedimentos tomados en cauces afectados por actividad minera.



• Análisis de Conglomerados o Cluster

El mismo procedimiento seguido para las muestras de aguas, se seguirá para el caso de las muestras de sedimentos.

Los dendrogramas generados, permiten visualizar las agrupaciones de los datos. El software utilizado fue Minitab 15.

El análisis de conglomerados ha sido aplicado a las matrices de elementos químicos totales y disueltos de sedimentos tomados en:

- Cauces de toda la cuenca del Río Llaucano.
- Cauces expuestos a la contaminación.

En las Figuras 3.57 y 3.58 se presentan los dendrogramas obtenidos en cada caso.

Figura 3.57. **Dendrograma: Elementos químicos en sedimentos tomados en cuenca Río Llaucano**

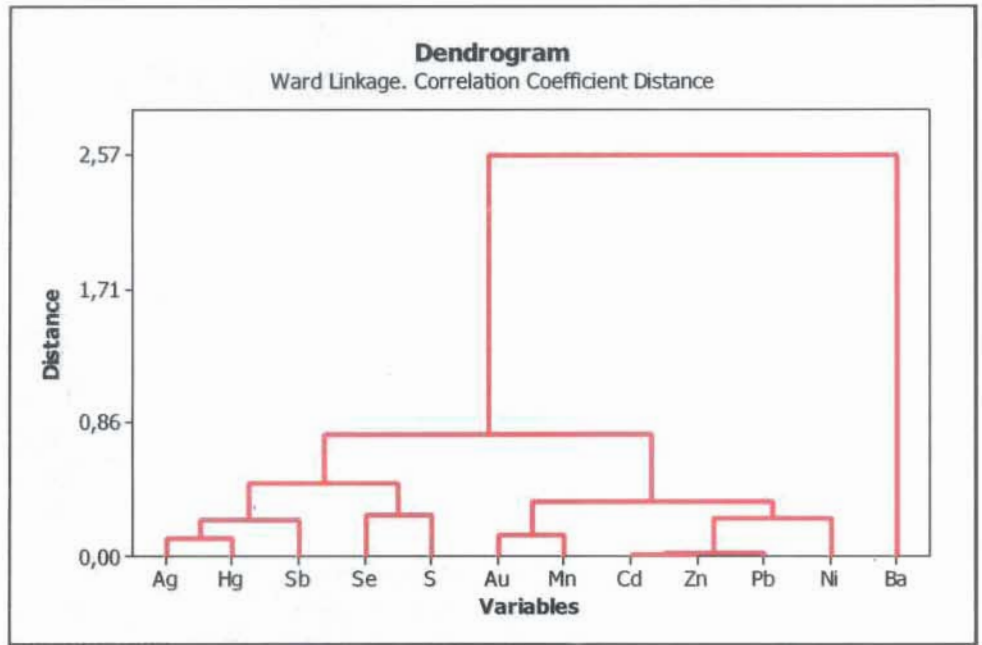
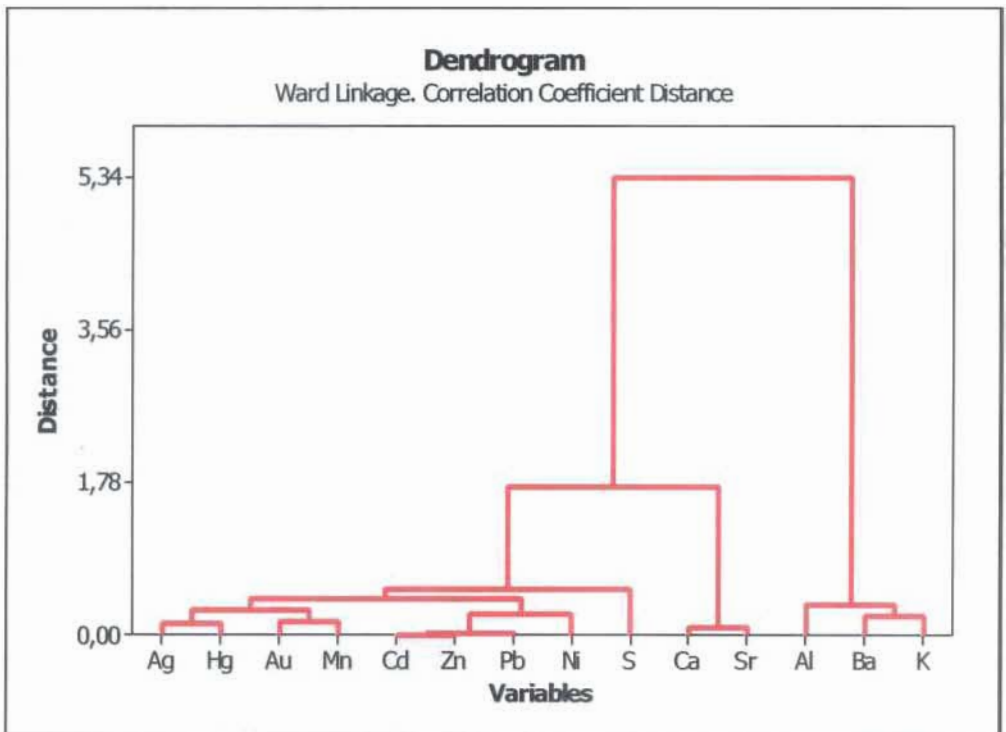


Figura 3.58. **Dendrograma: Elementos químicos en sedimentos de cauces afectados por actividades mineras.**



Capítulo 4

Discusión

4.1 Análisis crítico de resultados

- La precisión y exactitud de un resultado de ensayo depende de la buena toma de muestra. La autora del presente trabajo de tesis, participó en los trabajos de campo realizados y puede garantizar las buenas prácticas aplicadas durante las campañas de toma de muestras de aguas y sedimentos, a pesar de la topografía y de la geografía de la zona de estudio.
- La toma de muestras de sedimentos se realizó en los cauces correspondientes a los mismos puntos donde se recolectaron las muestras de agua de ríos y quebradas. Estos sedimentos fueron recolectados en el lecho vivo del cauce, después de realizar la toma de muestra de agua, con la finalidad de evitar el enturbiamiento de la muestra de agua al extraer el sedimento.
- Sobre la calidad de los resultados de análisis químicos en aguas y sedimentos, utilizados en el presente estudio, se puede decir lo siguiente:
 - La información de la campaña preliminar, fue complementada con una segunda campaña, con la cual se completó un total de 45 muestras. Por razones de presupuesto, se seleccionaron 34, consideradas como más representativas para los fines del presente estudio.
 - Se analizaron 38 elementos químicos. Posteriormente, de estos 38 elementos, se seleccionaron 22, para la aplicación de las diferentes técnicas de estudio de la contaminación presentadas en el presente trabajo de tesis.
 - El análisis químico de las muestras seleccionadas fue realizado en un laboratorio extranjero, ACME Analytical Laboratories de Vancouver, Canadá. El laboratorio realizó los análisis, utilizando la técnica de ICP-MS.

- La garantía de la calidad de la información analítica utilizada se sustenta en:
 - La certificación ISO 9000 con la que contaba el laboratorio, a la fecha de la ejecución de los ensayos.
 - El procedimiento de control de calidad aplicado, que consistió en repetir una muestra por cada lote de muestras. Se observa una baja variabilidad en los ensayos duplicados realizados, tanto para los lotes de muestras de aguas como para los de sedimentos.
- En el estudio de aguas, se han considerado los resultados de elementos metálicos, tanto disueltos como totales, con la finalidad de:
 - Evaluar si la carga metálica está presente en el material suspendido o en solución; y por tano, evaluar si podrían ser retirados por filtración.
 - Evaluar el nivel de contaminación en los ríos Llaucano, Tingo-Maigasbamba y Arascorgue y el riesgo que significaría su uso con fines de consumo humano o riego de cultivos.

4.2 Discusión de los resultados del estudio

4.2.1 Análisis químico de aguas

La discusión de los resultados de análisis químicos de aguas se basará en el cumplimiento de los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental para el agua, establecidos por el Ministerio del Ambiente, según D.S. No. 002-2008-MINAM (Anexo 3.2), clasificando los cursos superficiales evaluados en la siguientes categorías, según su uso:

- Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
 - Categoría 3: Aguas usadas en riego de vegetales y bebidas de animales. Parámetros para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.
- **Elementos químicos en cauce: Quebrada Mesa de Plata – Río Arascorgue – Río Llaucano (Figuras 3.2, 3.3, 3.4, 3.5 y 3.6)**

A partir de las representaciones gráficas de la concentración de elementos metálicos, seleccionados totales y disueltos, realizados en el cauce mencionado, se observa:

1. El contenido de Arsénico y Cadmio total (Figuras 3.2 y 3.3) a lo largo del cauce de la Quebrada Mesa de Plata es incrementado, sobre el ECA correspondiente a las Categorías A2 y 3 (10 y 100 ppb respectivamente). Esto es debido a la afluencia de efluentes mineros, presumiblemente de la Mina Carolina, actividad que se encontraba

en operación en la fecha del estudio y mantenía un pasivo ambiental debido a una antigua cancha de relaves en abandono.

2. Continuando aguas abajo, por la Quebrada Hualgayoc que alimenta al Río Arascorgue, se observa un incremento en la concentración de Arsénico y Cadmio total. Esto podría deberse a la afluencia de quebradas contaminadas por actividades mineras correspondientes a la Mina Colquirrumi. Siguiendo aguas abajo, por el Río Arascorgue hasta su afluencia al Río Llaucano, se observa una disminución significativa de Arsénico total y disuelto hasta niveles inferiores al ECA del agua correspondiente a la categoría A2 y 3; mientras que el Cadmio total mantiene niveles superiores al ECA del agua para las categorías A2 (3 ppb) y 3 (10 ppb) y el Cadmio disuelto supera sólo el ECA del agua para la Categoría A2, manteniéndose en niveles de concentración inferiores al ECA del agua para la Categoría 3.
3. Es importante resaltar que el contenido de Arsénico total, ya desde la Quebrada Mesa de Plata (zona de cabecera de cuenca), es superior al ECA del agua para la Categoría A2. Mientras que el contenido de Cadmio, tanto total y disuelto, es superior al ECA del agua para las categorías A2 y 3. Esto puede deberse a la presencia de labores mineras en activo como la Mina Carolina dedicada a la recuperación de concentrados de plata y a la producción de bulk de cobre, plomo, zinc y plata. Además, esta actividad mantiene un pasivo ambiental constituido por la antigua cancha de relaves que fue abandonada.
4. Los niveles de Arsénico disuelto, a lo largo del cauce, superan el ECA del agua para la categoría A2 sólo en la zona de M29, correspondiente a la Q. Hualgayoc, debido a la afluencia de quebradas contaminadas, presumiblemente provenientes de los pasivos ambientales de la Mina Colquirrumi y de la cancha de relaves antigua que fue abandonada por esta compañía.
5. El contenido de Cobre y Plomo total y disuelto (Figuras 3.4 y 3.5), en la zona de Quebrada Mesa de Plata mantiene niveles por debajo del ECA del agua Categoría A2 (500 ppb para el Cobre y 50 ppm para el Plomo); sin embargo, su concentración aumenta al recibir efluentes mineros, presumiblemente de Mina Carolina. Posteriormente, ya en el cauce de la Quebrada Hualgayoc, continúa incrementando la concentración de Cobre y Plomo total y disuelto debido a la afluencia de quebradas contaminadas por labores mineras.
6. Igualmente, se observa una disminución significativa de la concentración de Cobre y Plomo total y disuelto aguas abajo del Río Arascorgue hasta su afluencia al Río Llaucano, donde las concentraciones de estos elementos metálicos, totales y disueltos, disminuyen hasta niveles inferiores al ECA de aguas para las categorías A2 y 3.
7. En la Figura 3.6 se observa que el contenido de Zn, tanto total y disuelto, desde la Quebrada Mesa de Plata supera el ECA del agua, tanto para la categoría A2 como para la 3. Esta concentración se ve incrementada a lo largo del cauce aguas abajo, debido a la afluencia de efluentes mineros, presumiblemente de la Mina Carolina (en operación) y de los pasivos ambientales dejados por la Mina Colquirrumi, así como del pasivo generado por esta compañía con el abandono de la antigua cancha de relaves. Posteriormente, aguas abajo del Río Arascorgue hasta el Río Llaucano, esta

concentración de Zinc disminuye hasta niveles inferiores al ECA para aguas para categorías A2 y 3, 5 000 ppb y 24 000 ppb respectivamente.

➤ **Elementos químicos en cauce: Quebrada El Águila – Río Tingo-Maigasbamba – Río Llaucano (Figuras 3.7, 3.8, 3.9, 3.10 y 3.11)**

De las representaciones gráficas de la concentración de elementos metálicos, seleccionados totales y disueltos, realizados en el cauce mencionado, se observa:

- En la Quebrada El Águila, las concentraciones de Arsénico y Cadmio total y disuelto (Figuras 3.8 y 3.9) cumplen con el ECA del agua, tanto para la categoría A2 como para la categoría 3, 3 ppb y 10 ppb respectivamente. Sin embargo, estos niveles de contenidos de Arsénico y Cadmio, total y disuelto, se ven incrementados obteniéndose a la entrada al Río Tingo-Maigasbamba (M40) concentraciones por encima del ECA del agua para las categorías A2 y 3. Aguas abajo del Río Tingo, la concentración de estos elementos metálicos disminuye a medida que nos vamos alejando de las fuentes de contaminación y el Río Tingo va recibiendo cursos superficiales no contaminados como el Río Pucpe que contribuyen a la dilución y dispersión de contaminantes.
- Las concentraciones de Cobre y Plomo total y disuelto (Figuras 3.9 y 3.10), cumplen con los ECA del agua para las categorías A2 y 3, a la altura de la Quebrada El Águila. Al confluir la Quebrada Tres Amigos con la Quebrada El Águila, se produce un incremento en la concentración de Plomo y Cobre total, hasta niveles superiores al ECA del agua para las categorías A2 y 3). Aguas abajo, ya en el cauce del Río Tingo Maigasbamba, la concentración de Cobre y Plomo total y disuelto experimenta un descenso hasta niveles inferiores al ECA del agua, categorías A2 y 3.
- Tanto las concentraciones de Cobre como del Plomo disuelto, se mantienen en niveles inferiores a los ECA preestablecidos.
- El comportamiento del Zinc (Zn) total y disuelto en el agua, a lo largo del cauce es similar al Arsénico, Cadmio, Plomo y Cobre. La diferencia está en que las concentraciones de Zinc, total y soluble, se mantienen por debajo del ECA de aguas para las categoría A2 y 3.

➤ **Elementos químicos en cauce: Quebrada Tres Amigos Río Tingo-Maigasbamba – Río Llaucano (Figuras 3.12, 3.13, 3.14, 3.15 y 3.16)**

De las representaciones gráficas de la concentración de elementos metálicos, seleccionados totales y disueltos, realizados en el cauce mencionado, se observa:

- La concentración de Cadmio total y disuelto, en la Quebrada Tres Amigos es inferior al ECA del agua para las categorías A2 (3 ppb) y 3 (10 ppb). Aguas abajo del cauce, después de la afluencia de la Quebrada Sinchao, afectada por labores mineras de la Mina San Nicolás, la concentración de Cadmio total y disuelto va aumentando hasta superar los Estándares de Calidad Ambiental para el agua en la categoría A2 antes de su confluencia al Río Tingo. Ya en el Río Tingo la concentración de Cadmio total

aumenta hasta sobrepasar el ECA del agua en la categoría 3 (10 ppb). El Cadmio disuelto supera ligeramente el ECA del agua en la categoría A2 (3 ppb). Aguas abajo a la altura de la ciudad de Bambamarca donde los contenidos de Cadmio total y disuelto descienden hasta niveles inferiores al ECA del agua categoría A2 (para el caso de Cadmio disuelto) y de la categoría 3 (para el caso de Cadmio total).

- En la Quebrada Tres Amigos, la concentración del Arsénico disuelto es inferior al ECA del agua para categoría A2, mientras que la concentración de Arsénico total es ligeramente superior al ECA del agua para esta categoría e inferior para la Categoría 3. Aguas abajo del cauce, al confluir con la Quebrada Sinchao, la concentración de Arsénico total aumenta a niveles que sobrepasan el ECA del agua para la categoría 3 (100 ppb). Aguas abajo con la afluencia del Río Pucpe, la concentración de Arsénico disminuye hasta 29 ppb en el Río Llaucano, valor que aún está por encima del ECA del agua para la categoría A2 (10 ppb).
- El contenido de Cobre a lo largo del cauce, tiene un comportamiento similar. Inicia, en la Quebrada Tres Amigos, con niveles de Cobre, total y disuelto, inferiores al ECA del agua para categoría A2 (500 ppb) y categoría 3 (2000 ppb). Aguas abajo en el cauce, la concentración de Cobre total aumenta hasta concentraciones de 1937 ppb, concentración que supera el ECA del agua para categoría A2 e inferior al ECA de la Categoría 3 hasta la altura de Bambamarca entrando al Río Llaucano con 1533 ppb, valor que supera el ECA del agua para la categoría A2, hasta disminuir en el Río Llaucano hasta 21,7 ppb, concentración que es menor al ECA del agua para la categoría A2. La concentración de Cobre disuelto a lo largo del cauce evaluado se mantiene en niveles inferiores al ECA del agua para la categoría A2.
- El contenido de Plomo a lo largo del cauce, tiene un comportamiento similar al Cobre. Inicia, en la Quebrada Tres Amigos, con niveles de Plomo, total y disuelto, inferiores al ECA del agua para categoría A2 y 3 (50 ppb). Aguas abajo en el cauce, la concentración de Plomo total aumenta hasta concentraciones de 300 ppb, concentración que supera el ECA del agua para las categorías A2 y 3 hasta la altura de Bambamarca entrando al Río Llaucano con 184 ppb, valor que supera el ECA del agua para las categorías A2 y 3, hasta disminuir en el Río Llaucano hasta 48,0 ppb, concentración que es menor al ECA del agua para las categorías A2 y 3 (50 ppb). La concentración de Plomo disuelto a lo largo del cauce evaluado se mantiene en niveles inferiores al ECA del agua para las categorías A2 y 3.
- La concentración de Zinc total y disuelto, en la Quebrada Tres Amigos es inferior al ECA del agua para las categoría A2 (5 000 ppb). Aguas abajo del cauce, después de la afluencia de la Quebrada Sinchao, afectada por labores mineras de la Mina San Nicolás, la concentración de Zinc total y disuelto va aumentando sin superar los Estándares de Calidad Ambiental para el agua en la categoría A2 antes de su confluencia al Río Tingo. Ya en el Río Tingo la concentración de Zinc total y disuelto aumenta sin sobrepasar el ECA del agua en la categoría A2 (5 000 ppb), hasta que aguas abajo en su afluencia en el Río Llaucano la concentración se mantiene en valores menores al ECA de agua para la categoría A2.

➤ **Elementos químicos en cauce: Río Llaucano (Figuras 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21)**

- En las Figuras 3.17, 3.18, 3.19, 3.20 y 3.21 se puede observar que el contenido de Arsénico, Cadmio, Cobre, Plomo y Zinc total y disuelto, aguas arriba de la afluencia del Río Arascorgue (muestras M55 y M56), mantiene niveles muy por debajo de los ECA del agua, tanto para la categoría A2 y 3.
- En las Figuras 3.18, 3.20 y 3.21 se puede observar que inmediatamente aguas abajo de la afluencia del Río Arascorgue, las concentraciones de Cd, Pb y Zn total aumentan significativamente, llegando a superar los ECA del agua para las Categorías A2 y 3 en el caso del Pb total y del Cd total, mientras que la concentración de Zn se mantiene por debajo del ECA de agua para la categoría A2 y por lo tanto para la categoría 3. La concentración de Cadmio disuelto también mantiene niveles superiores al ECA del agua para la categoría A2, luego de recibir las aguas del Río Arascorgue y del Río Tingo Maigasbamba.
- En el caso del Arsénico (As) y Cobre total y disuelto (Figuras 3.17 y 3.19) mantienen concentraciones inferiores al ECA del agua tanto para las categorías A2 como 3.
- En las Figuras 3.17, 3.19 y 3.20 se observa un incremento en la concentración de Arsénico, Cobre y Plomo total después de la afluencia del Río Tingo-Maigasbamba, llegando a superar el ECA del agua para la Categoría A2 en el caso del Arsénico total. También se observa que se mantienen niveles superiores al ECA del agua para la categoría A2, en el caso del Cadmio disuelto; y de las categorías A2 y 3 para el caso del Cadmio total.
- En el Río Llaucano, sólo las concentraciones de Arsénico total y Cadmio total y disuelto superan el ECA del agua para la categoría A2. Mientras que las concentraciones de Cobre, Plomo y Zinc, total y disuelto, se mantienen por debajo del ECA del agua para las categorías A2 y 3.

4.2.2 Análisis estadístico de aguas

4.2.2.1 Análisis estadístico univariante

Las Tablas 3.17 a 3.22 muestran los valores medios, extremos (mínimo y máximo) y la desviación estándar de las características del contenido de metales en las aguas estudiadas respectivamente.

Teniendo en cuenta las concentraciones de metales pesados encontrados en el conjunto de muestras tomadas en toda la cuenca del Río Llaucano, se ha procedido a comparar los valores medios, mínimos y máximos con los Estándares Nacionales de Calidad Ambiental (ENCA) para el agua establecidos por el Ministerio del Ambiente. La evaluación se ha realizado considerando las siguientes categorías, de acuerdo al uso que podría tener los cursos de agua evaluados:

- A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional.
- 3: Aguas que pueden ser utilizadas con fines de riego de vegetales de tallo alto y bajo.

➤ **Elementos químicos totales en toda la cuenca del Río Llaucano (Tabla 3.17)**

1. Evaluando el coeficiente de varianza o valor de la dispersión relativa (CoefVar), calculado dividiendo el valor de la desviación estándar (SD) entre la media aritmética (M) y multiplicando el cociente por 100, Conociendo que a medida que el coeficiente de variación disminuye, se observa una mayor homogeneidad en los datos o lo que es lo mismo, los datos están más concentrados alrededor del promedio, se puede decir que:
 - ✓ Sólo Bario (Ba), Calcio (Ca) y Estroncio (Sr) aparece distribuidos uniformemente en la zona.
 - ✓ Asimismo se destacan los altos valores que presentan el Plomo (Pb), Sodio (Na), Cobre (Cu) y Antimonio (Sb) para dicha dispersión, lo que indica la gran variedad de sus contenidos de un punto a otro.
2. La concentración promedio y máxima de los elementos metálicos, Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Plomo (Pb) y Zinc (Zn), de las muestras evaluadas, supera el ENCA para el agua clasificada en las categorías A2 y 3.

La concentración promedio, mínima y máxima de Sodio (Na), supera el valor Guía establecido por la OMS (2004) para aguas de consumo humano.

➤ **Elementos químicos disueltos en toda la cuenca del Río Llaucano (Tabla 3.18)**

1. Evaluando el coeficiente de varianza (CoefVar), se observa que:
 - ✓ Se mantiene que sólo Bario (Ba), Calcio (Ca) y Estroncio (Sr) aparecen distribuidos más uniformemente en la zona.
 - ✓ Asimismo se destacan los altos valores que presentan el Sodio (Na), Cobre (Cu) y Antimonio (Sb) para dicha dispersión, lo que indica la gran variedad de sus contenidos de un punto a otro.
2. La concentración promedio y máxima de los elementos metálicos, Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn), de las muestras evaluadas, supera el ENCA para los cursos de agua evaluados y clasificada en las categorías A2 y 3.
3. La concentración promedio, mínima y máxima de Sodio (Na), supera el valor Guía establecido por la OMS (2004) para aguas de consumo humano.

Esto quiere decir que estos elementos metálicos (Al, Cd, Cu, Mn, Zn y Na) se encuentran mayormente en disolución, por lo que si estas aguas fueran filtradas, la carga metálica sería arrastrada con ellas.

➤ **Elementos químicos totales en cauces no afectados por actividades mineras (Tabla 3.19)**

1. Evaluando el coeficiente de varianza (CoefVar), se observa que:
 - ✓ Sólo Sodio (Na) aparece distribuido más uniformemente en las zonas, no afectadas por las actividades mineras.
 - ✓ Asimismo se destacan los altos valores que presentan el Cadmio (Cd), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn) para dicha dispersión, lo que indica la gran variedad de sus contenidos de un punto a otro.
2. La concentración promedio y máxima de los elementos metálicos, Aluminio (Al) y el Manganeseo (Mn), de las muestras evaluadas, supera el ENCA para los cursos de agua evaluados y clasificada en las categorías A2 y 3. La concentración promedio, mínima y máxima de Sodio (Na), supera el valor Guía establecido por la OMS (2004) para aguas de consumo humano.

➤ **Elementos químicos disueltos en cauces no afectados por actividades mineras (Tabla 3.20)**

1. Evaluando el coeficiente de varianza (CoefVar), se observa que:
 - ✓ Sólo Aluminio (Al), Potasio (K) y Sodio (Na) aparecen distribuidos más uniformemente en las zonas no afectadas por las actividades mineras.
 - ✓ Asimismo se destacan los altos valores que presentan el Cobre (Cu), Manganeseo (Mn) y Zinc (Zn) para dicha dispersión, lo que indica la gran variedad de sus contenidos de un punto a otro.
2. La concentración promedio y máxima de Manganeseo (Mn) de las muestras evaluadas, supera el ENCA para los cursos de agua evaluados y clasificada en las categorías A2 y 3.

La concentración promedio, mínima y máxima de Sodio (Na), supera el valor Guía establecido por la OMS (2004) para aguas de consumo humano.

Esto quiere decir que estos elementos metálicos, Mn y Na, se encuentran mayormente en disolución, por lo que si estas aguas fueran filtradas, la carga metálica sería arrastrada con ellas.

✓ **Elementos químicos totales en cauces afectados por actividades mineras (Tabla 3.21)**

1. Evaluando el coeficiente de varianza (CoefVar), se observa que:
 - ✓ Sólo Bario (Ba), Calcio (Ca) y Estroncio (Sr), aparecen distribuidos más uniformemente en las zonas, afectadas por las actividades mineras.
 - ✓ Asimismo se destacan los altos valores que presentan el Arsénico (As), Cobre (Cu), Sodio (Na), Plomo (Pb), Antimonio (Sb), y Zinc (Zn) para dicha dispersión, lo que indica la gran variedad de sus contenidos de un punto a otro de las zonas afectadas por las actividades mineras desarrolladas.
3. La concentración promedio y máxima de los elementos metálicos, Aluminio (Al), Arsénico (As), Cadmio (Cd), Cobre (Cu), Hierro (Fe), Plomo (Pb) y Zinc (Zn) de las muestras evaluadas, supera el ENCA para los cursos de agua evaluados y clasificada en las categorías A2 y 3. La concentración promedio, mínima y máxima de sodio (Na), supera el valor Guía establecido por la OMS (2004) para aguas de consumo humano.

✓ **Elementos químicos disueltos en cauces afectados por actividades mineras (Tabla 3.22)**

1. Evaluando el coeficiente de varianza (CoefVar), se observa que:
 - ✓ Al igual que con los elementos químicos totales, sólo Bario (Ba), Calcio (Ca) y Estroncio (Sr), aparecen distribuidos más uniformemente en las zonas, afectadas por las actividades mineras.
 - ✓ Asimismo se destacan los altos valores que presentan el Cobre (Cu), Sodio (Na), Antimonio (Sb), y Zinc (Zn) para dicha dispersión, lo que indica la gran variedad de sus contenidos de un punto a otro de las zonas afectadas por las actividades mineras desarrolladas.
2. La concentración promedio y máxima de los elementos metálicos, Aluminio (Al), Cadmio (Cd), Manganeso (Mn) y Zinc (Zn) de las muestras evaluadas, supera el ENCA para los cursos de agua evaluados y clasificada en las categorías A2 y 3.

Al igual que en los casos anteriores, se puede afirmar que los elementos metálicos (Al, Cd, Mn, Na y Zn) se encuentran mayormente en disolución, por lo que si estas aguas fueran filtradas, la carga metálica sería arrastrada con ellas.

✓ **Elementos químicos totales en cauces afectados y no afectados por actividades mineras (Tabla 4.1)**

En la Tabla 4.1 se observa que las concentraciones promedio de Al y Mn totales en los **cauces no afectados** por las labores mineras desarrolladas en la zona de estudio, superan los ENCA para la Categoría 3, haciéndolas no aptas para uso en riego de vegetales de tallo alto y bajo.

También se observa que ningún valor mínimo de la concentración total de los elementos evaluados en los **cauces no afectados** por actividades mineras, supera los ENC ni los Valores Guía de la OMS.

Asimismo, se observa que las concentraciones máximas de Al (2,17 mg/L), Fe (1,7 mg/L) y Mn (1,4 mg/L) totales registrados en las muestras de aguas tomadas en los **cauces no afectados** por labores mineras superan el ENCA y el Valor Guía de la OMS.

En el caso de los **cauces afectados** por actividades mineras, estos elementos metálicos tóxicos (Al, Fe y Mn totales) se elevan a concentraciones mucho más elevadas. Así tenemos, que la media de la concentración de Al total es de 7,8 mg/L siendo 39 veces superior al ENCA establecido por el Ministerio del Ambiente. La media de la concentración de Fe total, también se eleva a 51,8 mg/L, lo que significa 51,8 veces superior al ENCA. La concentración media de Mn total, también se eleva a 145 mg/L que representa 46 veces mayor al ENCA establecido para la categoría A2 y 93 veces mayor al ENCA establecido para la categoría 3. A estos elementos metálicos se suman el Cd, el Cu, el Zn y el S⁻.

✓ **Elementos químicos disueltos en cauces afectados y no afectados por actividades mineras (Tabla 4.2)**

En la Tabla 4.2 se observa que sólo la concentración máxima de Mn disuelto en los **cauces no afectados** por las labores mineras desarrolladas en la zona de estudio, supera el ENCA para la Categoría A2 y 3, haciéndola no apta para abastecimiento de agua con tratamiento convencional ni para uso en riego de vegetales de tallo alto y bajo. Esto quiere decir que, en general, los contenidos metálicos están presentes en el material suspendido de las aguas, los cuales eventualmente se convierten en componentes de los sedimentos de los cauces de los ríos evaluados.

En el caso de los **cauces afectados** por actividades mineras, las concentraciones promedio de elementos metálicos tóxicos como el Al, Cd, Mn y Zn disueltos se elevan a concentraciones mucho más elevadas que los valores de calidad de referencia.

Asimismo, se observa que las concentraciones máximas para Al, Cd, Cu, Mn, Na, Sb, Zn y S⁻ disueltos, superan los valores de calidad de referencia considerados.

Tabla 4.1. Valores medios, mínimos y máximos encontrados en los cauces de la cuenca del río Llaucano, afectados y no afectados por labores mineras desarrolladas y ENCA's establecidos por el Ministerio del Ambiente y Valores Guía de la OMS.

Variable (ppb)	Cauces no afectados			Cauces afectados			Estándares de Calidad Ambiental para el Agua (ppb)	
	Media aritmética (ppb)	Mínimo (ppb)	Máximo (ppb)	Media aritmética (ppb)	Mínimo (ppb)	Máximo (ppb)	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo
Al	581	116	2 168	7 772	3,0	64 799	200	500
Ba	28,7	18,6	37,9	34,5	6,3	142	700	No determinado
Ca	62 094	5 257	98 160	141 276	43 410	444 056	No determinado	No determinado
Cd	1,3	0,05	6,07	82,8	0,10	967	3	10
Cu	20,5	1,3	77,2	2 365	9,0	41 274	2000	500
Fe	446	50	1 661	51 804	50,0	615 838	1000	1000
K	1 007	629	1 629	2 635	608	24 808	No determinado	No determinado
Mg	4 063	560	7 740	11 858	1 195	93 903	No determinado	150 000
Mn	318	27	1 435	18 570	25,0	145 000	400	200
Na	3 648	2 646	4 229	22 844	1 387	458 000	200 000 (*)	No determinado
Sb	0,14	0,05	0,32	19,0	0,40	301	20 (**)	No determinado
Sr	192	69	312	355	119	1628	No determinado	No determinado
Zn	236	2,8	1 157	18618	17,0	248513	5000	24000
S	6,5	0,50	15,0	190	213,0	1258	***	50

Tabla 4.2. Cuadro comparativo de elementos químicos disueltos en cauces no afectados y afectados por labores mineras.

Variable	Cauces no afectados			Cauces afectados			Estándares de Calidad Ambiental para el Agua	
	Media aritmética	Mínimo	Máximo	Media aritmética	Mínimo	Máximo	Categoría A2: Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Categoría 3: Riego de vegetales de tallo alto y bajo
Al	40,6	5	161	6119	1,0	64 799	200	500
Ba	27,1	17,0	37,9	27,9	4,2	123	700	No determinado
Ca	59 356	5 059	94 564	133 510	44 281	424 222	No determinado	No determinado
Cd				72,5	0,10	956	3	10
Cu	16,4	0,60	77,2	1 798	3,7	40 300	2000	500
K	925	609	1 435	2 440	573	24 786	No determinado	No determinado
Mg	3995	510	7 740	11 261	1 097	92 462	No determinado	150 000
Mn	289	0,31	1 435	16 179	2,0	144 240	400	200
Na	3 568	2 493	4 229	21 339	1 367	420 000	200 000(*)	No determinado
Sb	0,14	0,05	0,32	10,4	0,05	226	20 (**)	No determinado
Sr	170	59,3	312	295,9	119	1 290	No determinado	No determinado
Zn	234	0,7	1 157	17 277	7,0	24 8696	5000	24000
S	5,7	0,20	15,0	180	11,0	1 186	***	50

4.2.2.2 Análisis estadístico bivalente

Para conocer las relaciones entre los elementos químicos analizados, tomados dos a dos, se realizó el tratamiento estadístico bivalente.

Del análisis estadístico bivalente, se obtuvieron las matrices de correlación (Tablas 3.21, 3.22, 3.23, 3.24, 3.25 y 3.26), en las que se presentan los coeficientes de correlación de Pearson (r), los cuales fueron clasificados en cuatro rangos:

- $r \geq 9,00$: Correlación muy fuerte
- $8,00 \leq r < 9,00$: Correlación fuerte
- $7,00 \leq r < 8,00$: Correlación menos fuerte
- $5,00 \leq r < 7$: Correlación no significativa

Como se sabe, el coeficiente de correlación de Pearson (r), mide la relación lineal entre dos variables y toma un valor entre -1 y 1. Cuanto más cerca de uno (± 1) sea el coeficiente, más estrecha es la relación entre ambas variables, ya sea directa o inversamente.

✓ Elementos metálicos totales evaluados en la cuenca del Río Llaucano (Tabla 3.21)

Los elementos metálicos totales analizados presentan correlaciones más o menos fuertes ($r \geq 0,7$) con al menos otro elemento.

De la Tabla 3.31, se destacan las fuertes correlaciones existentes entre elementos metálicos de significativa importancia en la contaminación de las aguas de los cauces estudiados, como Ag-Au, Ag-Se, Al-As, Al-Fe, As-Cu, As-Fe, Ba-Pb, Cd-Mn, Cd-Zn, Cu-Fe, Mn-Zn, Ni-Se y Pb-Sb; así como entre el S^- con el Al (hidrosoluble) y el Mg (metal alcalinotérreo).

✓ Elementos metálicos disueltos evaluados en la cuenca del Río Llaucano (Tabla 3.22)

En la Tabla 3.22 se observa, igualmente, que los elementos disueltos analizados mantienen correlaciones más o menos fuertes con al menos otro elemento. Al igual que en el caso de los elementos metálicos totales, se mantiene las fuertes correlaciones entre elementos metálicos de significativa importancia en la contaminación de las aguas de los cauces estudiados, tales como Ag-Au, Ag-Se, Al-As, Al-Fe, As-Cu, As-Fe, Ba-Pb, Cd-Mn, Cd-Zn, Cu-Fe, Mn.-Zn, Ni-Se y Pb-Sb; así como del S^- con el Mg (metal alcalinotérreo) y con el Al (hidrolizable).

✓ **Elementos metálicos totales evaluados en cauces no contaminados por actividades mineras. (Tabla 3.23)**

Haciendo una evaluación de correlación entre los elementos químicos totales analizados en muestras recolectadas en los cauces no contaminados de la cuenca del río Llaucano y evaluándolos dos a dos, se observa fuerte correlación entre los siguientes elementos metálicos presentes en los cauces no contaminados por actividades mineras: Ag-Al, Ag-Cd, Ag-Cr, Ag-Cu, Ag-Fe, Ag-Mn- Ag-Pb, Ag-Sb, Ag-Zn, Al-Cd, Al-Cr, Al-Cu, Al-Fe, Al-Mg, Al-Mn, Al-Pb, Al-Sb, Al-Zn, Cd-Cu, Cd-Fe, Cd-Mn, Cd-Pb, Cd-Sb, Cd-Zn, Cu-Fe, Cu-Mn, Cu-Pb, Cu-Zn, Fe-Mn, Fe-Pb, Fe-Sb, Fe-Zn, Mn-Pb, Mn-Sb, Pb-Sb y Pb-Zn; así como del S⁻ con el Mg (metal alcalinotérreo).

✓ **Elementos metálicos disueltos evaluados en cauces no contaminados por actividades mineras. (Tabla 3.24)**

En la Tabla 3.24, se evalúa la correlación entre los elementos químicos disueltos analizados en muestras recolectadas en los cauces no contaminados de la cuenca del río Llaucano, destacando las siguientes correlaciones significativas entre elementos metálicos disueltos: Al-Cd, Al-Cr, Al-Cu, Al-Fe, Al-Mn, Al-Pb, Al-Sb, Al-Zn, Cd-Cr, Cd-Cu, Cd-Fe, Cd-Mn, Cd-Pb, Cd-Sb, Cd-Zn, Cr-Cu, Cr-Fe, Cr-Mn, Cr-Pb, Cr-Sb, Cr-Zn, Cu-Fe, Cu-Mn, Cu-Pb, Cu-Sb, Cu-Zn, Fe-Mn, Fe-Pb, Fe-Sb, Fe-Zn, Mn-Pb, Mn-Sb, Mn-Zn, Pb-Sb, Pb-Zn y Sb-Zn; así como del S⁻ con el Al (hidrolizable) y con el Mg (metal alcalinotérreo).

✓ **Elementos metálicos totales evaluados en cauces contaminados por actividades mineras. (Tabla 3.25)**

En la Tabla 3.25, se observan correlaciones más o menos fuertes con al menos otro elemento. Sin embargo, se destacan las fuertes correlaciones existentes entre elementos metálicos de significativa importancia en la contaminación de las aguas de los cauces estudiados, tales como Ag-Au, Ag-Ni, Al-As, Al-Fe, As-Cu, As-Fe, Ba-Pb, Ba-Sb, Cd-Mn, Cd-Zn⁻, Cu-Fe, Mn-Zn y Pb-Sb; así como del S⁻ con el Al (hidrolizable).

✓ **Elementos metálicos disueltos evaluados en cauces contaminados por actividades mineras. (Tabla 3.26)**

Haciendo una evaluación de correlación entre los elementos químicos disueltos analizados en muestras recolectadas en los cauces contaminados de la cuenca del río Llaucano y evaluándolos dos a dos, se observa lo siguiente:

Fuerte correlación entre: Ag-Au, Al-Cu, Al-Fe, As-Cu, As-Fe, Ba-Pb, Ba-Sb, Cd-Mn, Cd-Zn, Cu-Fe, Mn-Zn y Pb-Sb; así como del S⁻ con el Al (hidrolizable) y con el Mg (metal alcalinotérreo).

4.2.2.3 Análisis estadístico multivariante

Análisis de Componentes Principales (ACP)

✓ Elementos metálicos totales y disueltos evaluados en cauces de la cuenca del Río Llaucano (Figura 3.22, 3.23, 2.24 y 3.25 y Tabla 3.28 y 3.29)

En las Figuras 3.22 y 3.24, se presentan los gráficos de sedimentación correspondiente a los elementos metálicos totales y disueltos respectivamente. En ambos casos se observa que hasta el componente 4 se explica el 94,6% y 95,1% de la varianza respectivamente.

A continuación se explica, cada uno de los componentes definidos para los elementos químicos totales y disueltos analizados en aguas tomadas en cauces de la cuenca del Río Llaucano (ver Tablas 3.27 y 3.28 y Figuras 3.23 y 3.25).

El primer componente, que explica el 39,8% y 40,2% de la varianza respectivamente, relaciona metales pesados (Zn, Cd, Ni, Cu, Mn, Fe, Cr y Al) con el Mg y el Ca. Donde la procedencia de los elementos metálicos es la oxidación de los sulfuros.

El segundo componente, que explica el 30,2% y el 28,1% de la varianza respectivamente, relaciona a elementos mayoritarios como Na y K con la asociación geoquímica que presenta el Au- Ag-Hg.

El componente 3, que explica el 13,3% y 13,6% de la varianza respectivamente, relaciona a metales pesados (Zn, Cd, Mn, Cu, As, Fe y Al) con cationes mayoritarios como Ca y Mg. Elementos metálicos cuya proveniencia es claramente atribuida a la oxidación de los sulfuros.

El componente 4, que explica el 11,3% y el 11,4% de la varianza respectivamente, relaciona al Pb y al Ba, lo cual era previsible por su afinidad geoquímica.

✓ Elementos metálicos totales y disueltos evaluados en cauces afectados por la actividad minera (Figuras 3.26, 3.27, 2.28 y 3.29 y Tabla 3.29 y 3.30)

En las Figuras 3.26 y 3.27, se presentan los gráficos de sedimentación correspondiente a los elementos metálicos totales y disueltos respectivamente ensayados en muestras de agua tomadas en cauces afectados por la actividad minera. En ambos casos se observa que hasta el componente 4 se explica el 94,5% y 94,9% de la varianza respectivamente.

A continuación se explica, cada uno de los componentes definidos para los elementos químicos totales y disueltos analizados en aguas tomadas en cauces de la cuenca del Río Llaucano (ver Tablas 3.29 y 3.30 y Figuras 3.27 y 3.29).

El primer componente, que explica el 38,8% y 39,7% de la varianza respectivamente, relaciona metales pesados (Zn, Cd, Ni, Cu, Mn, Fe, Cr y Al) con cationes mayoritarios

como Mg y el Ca. Donde la procedencia de los elementos metálicos es la oxidación de los sulfuros.

El segundo componente, que explica el 30,7% y el 28,3% de la varianza respectivamente, relaciona a elementos mayoritarios como Na y K con la asociación geoquímica que presenta el Au- Ag-Hg.

El componente 3, que explica el 13,6% y 15,3% de la varianza respectivamente, relaciona a metales pesados (Zn, Cd, Mn, Cu, As, Fe y Al) con cationes mayoritarios como Ca y Mg. Elementos metálicos cuya procedencia es claramente atribuida a la oxidación de los sulfuros.

El componente 4, que explica el 11,4% y el 11,6% de la varianza respectivamente, relaciona al Pb y al Ba, lo cual era previsible por su afinidad geoquímica.

Análisis de Factores (AF)

De los resultados obtenidos en el análisis de componentes principales se confirman las 19 variables, ya que considerando sus índices de correlación y su significado desde el punto de vista hidrogeoquímico y de contaminación se consideran representativos para ser analizados. Estos son: Ag, Au, Hg, Na, K, Ni, Cr, Ca, S, Cu, Mg, Mn, Ba, Pb, Zn, As, Cd, Fe y Al.

✓ **Elementos metálicos totales y disueltos evaluados en cauces de la cuenca del Río Llaucano (Figuras 3.30, 3.31, 3.32 y 3.33 y Tablas 3.31 y 3.32)**

En las Figuras 3.30 y 3.32 se presentan los gráficos de sedimentación del Análisis Factorial realizado para los elementos químicos totales y disueltos ensayados en muestras tomadas en cauces de la cuenca del Río Llaucano.

En las Tablas 3.31 y 3.32 se presentan los pesos de factores principales para cada caso (elementos químicos totales y disueltos), ensayados en las muestras de agua de los cauces del Río Llaucano.

En ambos casos se observa, igualmente, la definición de cuatro factores que describen el 92,9% y 93,6% de la varianza para cada caso (elementos metálicos totales y disueltos).

Donde el factor 1, explica el 32% y el 28,7% de la varianza en cada caso. Este factor relaciona claramente a elementos mayoritarios como Na y K con la asociación geoquímica que presenta el Au-Ag, la cual presentó un alto coeficiente de correlación en el análisis bivariente.

El factor 2, que explica el 26,6% y el 27,2% de la varianza en cada caso, relaciona los metales pesados altamente tóxicos (Zn, Cd, Mn) con el elemento mayoritario Mg, donde la presencia de los elementos metálicos es debida a la oxidación de los sulfuros. El estar correlacionado con el Mg podría indicar que es muy probable que su origen esté en los

minerales ferromagnesianos, elementos característicos de aguas ácidas con cierto grado de mineralización, como las estudiadas.

El factor 3, que explica el 23% y el 26,1% de la varianza en cada caso (elementos químicos totales y disueltos), relaciona negativamente a elementos metálicos parcialmente nocivos para la salud como Cu y Fe con el elemento semimetálico nocivo para la salud como es el As.

En el factor 4, que explica el 11,3% y el 11,6% de la varianza en cada caso, relaciona al Pb con el Ba, lo cual era previsible por su afinidad geoquímica.

✓ **Elementos metálicos totales y disueltos evaluados en cauces afectados por actividades mineras de la cuenca del Río Llaucano (Figuras 3.34, 3.35 3.36 y 3.37 y Tablas 3.33 y 3.34)**

En las Figuras 3.34 y 3.36 se presentan los gráficos de sedimentación del Análisis Factorial realizado para los elementos químicos totales y disueltos ensayados en muestras tomadas en cauces afectados por actividades mineras desarrolladas en la cuenca del Río Llaucano.

En las Tablas 3.33 y 3.34 se presentan los pesos de factores principales para cada caso (elementos químicos totales y disueltos), ensayados en las muestras de agua de los cauces afectados por labores mineras del Río Llaucano.

En ambos casos se observa, igualmente, la definición de cuatro factores que describen el 92,9% y 93,6% de la varianza para cada caso (elementos metálicos totales y disueltos).

Donde el factor 1, explica el 32% y el 28,7% de la varianza en cada caso. Este factor relaciona claramente a elementos mayoritarios como Na y K con la asociación geoquímica que presenta el Au-Ag, la cual presentó un alto coeficiente de correlación en el análisis bivalente.

El factor 2, que explica el 26,6% y el 27,1% de la varianza en cada caso, relaciona los metales pesados altamente tóxicos (Zn, Cd, Mn) con el elemento mayoritario Mg, donde la presencia de los elementos metálicos es debida a la oxidación de los sulfuros. El estar correlacionado con el Mg podría indicar que es muy probable que su origen esté en los minerales ferromagnesianos, elementos característicos de aguas ácidas con cierto grado de mineralización, como las estudiadas.

El factor 3, que explica el 23% y el 26,1% de la varianza en cada caso (elementos químicos totales y disueltos), relaciona negativamente a elementos metálicos parcialmente nocivos para la salud como Cu y Fe con el elemento semimetálico nocivo para la salud como es el As.

En el factor 4, que explica el 11,3% y el 11,6% de la varianza en cada caso, relaciona al Pb con el Ba, lo cual era previsible por su afinidad geoquímica.

Se observa un comportamiento similar entre ambos casos evaluados, es decir entre elementos metálicos de toda la cuenca y la cuenca contaminada.

Análisis de Conglomerados o Cluster (Figuras 3.38, 3.39, 3.40 y 3.41)

Como ya se ha mencionado el análisis de conglomerados permite visualizar gráficamente los grupos naturales entre variables u observaciones de acuerdo a los valores medidos en cada variable. En este caso se ha trabajado con la agrupación por variables y se ha utilizado como algoritmo de agregación el método de Ward.

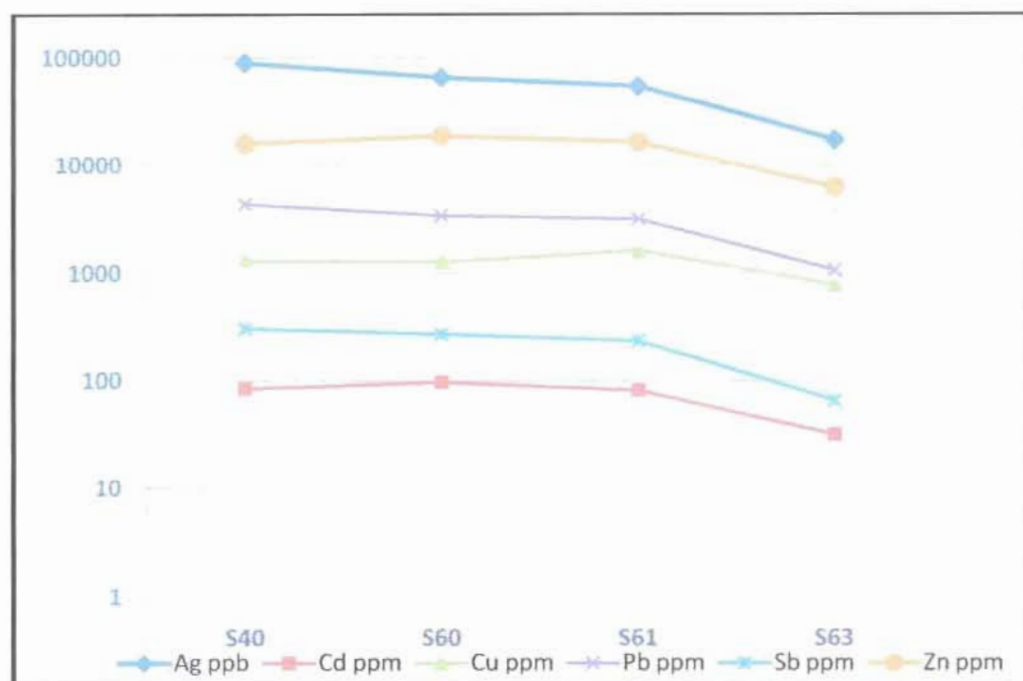
De esta forma, el análisis de Cluster ha permitido agrupar los elementos analizados en las muestras de aguas tomadas en los cauces de la cuenca del Río Llaucano, en dos (2) grandes grupos. Uno, que agrupa a metales pesados como el Ag, Hg y el Au con el K. El segundo cluster estaría constituido por elementos metálicos tóxicos como el As, Cu, Fe, Cd, Zn, Mn, Ba, Pb y el Mg. A su vez este segundo cluster estaría subdividido en dos subgrupos. Uno constituido por el As, Cu y Fe, cuyas afinidades son muy significativas y el segundo conformado por metales básicos como Cd, Zn, Mn, Ba, Pb y Mn.

4.2.3 Análisis químicos de sedimentos

De la evaluación de los resultados obtenidos en el análisis químico de elementos metálicos en muestras de sedimentos sucesivas, tomadas descendiendo en los cauces del Río Tingo-Maigasbamba, Arascorgue y Llaucano, se observa lo siguiente:

1. Persistente contaminación del sedimento en metales pesados, para los elementos Pb, Zn, Sb, Cd, Ag, Cu, As, Hg, Au y Fe, desde las cabeceras de las subcuencas del Río Arascorgue (Figuras 3.41 y 3.42) y del Río Tingo- Maigasbamba (Figuras 3.43, 3.44 y 3.45), donde hay labores y botaderos de estéril, o plantas, o canchas de relaves, hasta la zona más baja del Río Llaucano pasando por la ciudad de Bambamarca (Figura 3.46).
2. Se observa un descenso gradual en la concentración de los metales básicos, Cd, Zn, Hg, Ag, Au, Pb y Fe (Figuras 3.41, 3.42, 3.43, 3.44 y 3.45) cuyas fuentes son las labores mineras desarrolladas en las cabezas de las cuencas respectivas. Esto se explica por la degradación progresiva de los sulfuros (química y física), así como a diluciones por aportes de sedimentos afluentes provenientes de arroyos, quebradas, etc no contaminados.
3. Los análisis químicos de las muestras S40, S60, S61 y S63 presentan una progresiva disminución en el contenido total de metales pesados, en concordancia con lo ya expuesto; si bien hemos de admitir también un fenómeno lógico y normal de dilución, por aporte progresivo desde los afluentes de materiales detríticos sin contenido en sulfuros, que también sería causa ayudante para esas disminuciones de los contenidos totales de metales en el sedimento. Si comparamos los datos del análisis químico de las muestras: S40, S60, S61 y S63, situados aguas abajo, observamos:
 - Descenso progresivo de contenidos metálicos en los sedimentos, al ir aguas abajo (ver Figura 4.1)

Figura 4.1. Concentración de Ag, Cd, Cu, Pb, Sb y Zn en sedimentos tomados a lo largo del cauce del Río Tingo-Maigasbamba (S40, S60, S61 y S63)



4. De las Figuras 3.41 y 3.42 se puede observar lo siguiente:

- Predominio de Zn sobre Pb, y cantidades menores de Cu y As.
- Resultan importantes y significativos los contenidos en Ag y Hg.

4.2.4 Análisis mineralógico de sedimentos

4.2.4.1 Estudio binocular

Del estudio se pudo verificar la presencia de abundante sulfuros en la fracción **fina** de todos los sedimentos muestreados en los cauces de ríos y quebradas ubicados aguas abajo de labores mineras y plantas de flotación:

1. Quebrada Mesa de Plata – Río Arascorque, hasta su desembocadura en el Río Llaucano; y luego en éste, hasta Bambamarca
2. En río Tingo, hasta su confluencia en el R. Llaucano.

La presencia de sulfuros en las zonas de actividad minera fue evidente, mientras que en los sedimentos tomados en otros cauces, no afectados por la minería del distrito de Hualgayoc, no se observó presencia de sulfuros.

Se puede decir, entonces, que la contaminación por sulfuros en los sedimentos fluviales se debe a la minería antigua del distrito de Hualgayoc, la cual llega al río Llaucano a través de los Ríos Arascorgue y Tingo-Maigasbamba, y continúa a través del Llaucano hacia aguas abajo de la ciudad de Bambamarca.

Además de los sulfuros, también se han encontrado otros minerales típicos de arenas de cauce como cuarzo, etc., que por no constituir peligro alguno, su estudio no ha sido considerado en el presente trabajo.

4.2.4.2 Estudio microscópico

Muestras de yacimientos del distrito minero Hualgayoc

Se realizó el estudio microscópico en secciones pulidas de muestras tomadas en algunas minas o restos de ellas.

En las microfotografías, se observa que los minerales metálicos presentes son mayoritariamente sulfuros, con neto predominio de la pirita (**SFe**), que, junto con el cuarzo, forman parte principal del material estéril de las plantas de tratamiento, el cual se lleva posteriormente a las canchas de relave. En los relaves se tienen minerales con tamaños de gran finura, causados durante la fase de molienda del mineral, previa flotación

Otros minerales importantes cuantitativa y económicamente son los de cobre destacando la enargita o “cobres arsenicales” (**Cu₃AsS₄**) como mineral de valor económico característico de este distrito. A veces aparece acompañado de otros minerales de Cu, como calcopirita (**FeCuS₂**) y tetrahedrita (**(Cu,Fe)₁₂Sb₄S₁₃**) o “cobres grises”, que son minoritarios. Estos minerales de Cu son los que se concentran, y lógicamente se trata de recuperarlos al máximo y de evitar su pase a los relaves.

La esfalerita (**SZn**) y la galena (**SPb**) también están presentes, pero en cantidades poco importantes, lo que en ocasiones hace que no resulte económica su recuperación, y que se eliminen también con los relaves en la flotación.

Las microfotografías presentadas en el Anexo 3.7 muestran algunos de estos minerales y sus características, tanto en los sedimentos como en muestras del yacimiento. Los datos de ambos tipos de muestras son compatibles, verificándose que los sulfuros que tenemos en los sedimentos y los metales que revelan los análisis químicos, tienen su fuente en los yacimientos correspondientes a las dos cuencas.

Muestras de sedimentos y relaves

Sub-cuenca del Río Tingo-Maigasbamba

- **Muestra S32** (Fotos 3.14, 3.15, 3.16, 3.17, 3.18, 3.19, 3.20, 3.21 y 3.22 del Anexo 3.7)

Esta muestra se tomó en un pequeño arroyo situado en la cabecera de la cuenca del río Tingo-Maigasbamba, dentro de un área donde no existen labores mineras aguas arriba. Sin embargo tenemos muy próxima una planta de flotación en activo. Luego de realizar el estudio mineralógico con microscópico de reflexión, se ha podido observar lo siguiente:

- ✓ El sedimento presenta contenidos muy altos en sulfuros con características análogas a las que resultan de los relaves, en lo que se refiere a granulometrías, formas, tipos de sulfuros, etc.
- ✓ Por el cauce bajan aguas que, al menos en parte, provienen de un vertido de una actividad ubicada en una cota más alta. En efecto, existe una planta de flotación en activo, de propiedad de la Cia. Minera Carolina, ubicada en la Quebrada Mesa de Plata, de distante unos 300 metros aguas arriba del punto de muestreo.
- ✓ Las características del agua en el punto de muestreo fue color gris oscuro, evidencia de presencia de compuestos orgánicos con olor típico a reactivos de flotación, así como presencia de material muy abundante y muy fino en suspensión, a lo que debe el color gris y la alta turbidez del agua.
- ✓ De la evaluación de la muestra de sedimento S32 se puede decir que los sedimentos son ricos en sulfuros (blenda o esfalerita por contenidos en Zn). Ver Fotos 3.14 a 3.22 del Anexo 3.7.
- ✓ En el microscopio, se observa que la muestra de sedimento S32 tiene sulfuros muy frescos y con formas indicadoras de haber sufrido molienda. Aspectos que encajan en la hipótesis de ser sedimentos derivados de vertidos de planta de flotación. Por otro lado, este es el sedimento que arroja los valores más altos en metales tales como Pb, Zn, Ag, Hg, y As, entre otros. Otra causa no cabe, ya que aguas arriba no existe ninguna labor minera, sin embargo, si se encuentra la planta de flotación en activo de la Cia. Minera Carolina a escasa distancia.

○ **Muestras S40, S59, S61 y S63 (Fotos 3.32 a la 3.50)**

- ✓ En las muestras S40, S59, S61 y S63 se observa que van aumentando tanto los “índices de redondeamiento” de los granos de sulfuros como el grado de alteración y corrosión de los mismos, al desplazarse aguas abajo.
- ✓ Una vez más se muestra que, al avanzar en los cauces, los sulfuros se van degradando progresivamente, reduciendo tamaños y redondeándose más y más; y también van sufriendo deterioro químico (oxidación) y corrosión, más acusados en la pirita que en los otros sulfuros.

Subcuenca del Río Arascorgue

○ Muestras S26, S22, S29 y S13

- ✓ Son muestras de sedimentos fluviales que, en el orden indicado, van desde la zona de mayor concentración de labores recientes (S26) –próximas a la cabecera de la quebrada Mesa de Plata (sub cuenca del Río Arascorgue)- hasta las proximidades de la población de Hualgayoc (S29), con un S13 situado aguas abajo de las canchas de relaves del Ex Banco Minero.
- ✓ Aunque, como se trata de un cauce con fuerte desnivel y con distancias relativamente cortas entre muestras y las diferencias al microscopio no son muy grandes, sí se aprecia un incremento en el índice de redondeamiento de los granos de sulfuros, así como un incremento progresivo del grado de alteración de los mismos al descender en el cauce. También se observó una tendencia al incremento de la proporción de sulfuros en las fracciones granulométricas más finas. Encontramos diferencias en el grado de corrosión respecto de los sulfuros respecto a muestras que han hecho recorridos mayores y han sufrido un fenómeno más intenso de alteración, lo que origina superficies muy corroídas y “picadas”, como se puede observar en muestras más alejadas de la zona fuente, tales como la S59. En cambio en estas, S26, S22 y S29, los sulfuros y en concreto la piritita, presentan muy escasa alteración, lo que indica **poco tiempo de permanencia** en el cauce y, por tanto, **fuente próxima** (o también desplazamiento rápido).
- ✓ No se ha realizado el estudio mineralógico de la muestra S13, sin embargo, si estudiamos la evolución de los datos de análisis químicos, vemos que los valores en metales son significativos, ver Figuras 3.41 y 3.42, van aumentando ligeramente al avanzar en el cauce y alcanzar el punto S13. El aumento que sufren todos ellos (Pb, Zn, As, Cu, Ag y Hg) en el punto S13, indica fuga desde canchas de relaves y la existente cerca de este punto es la del Banco Minero hasta el río Arascorgue, y por tanto resulta un dato lógico y revelador de la necesidad de actuar sobre tales canchas, para impedir fugas de sólidos que contaminan también el cauce.

○ Muestra de cancha de relaves del “Ex Banco minero” (S13)

De las microfotografías presentadas en el Anexo 3.7 (Fotos 3.52, 3.53, 3.54, 3.55, 3.56 y 3.57), que corresponden a muestras tomadas en la cancha de relave del Banco Minero, junto al cauce del Río Arascorgue, se observa lo siguiente:

- ✓ Entre los sulfuros, más en concreto entre las pirititas (SFe), abundan los granos **muy poco o nada alterados**, lo que nos indica que en las canchas de relave, este sulfuro **tarda en sufrir alteración**, en relación con la evolución que sufren en el río.
- ✓ Abundan las formas de granos típicas de minerales que han sufrido una fragmentación mecánica y han perdido las formas idiomorfas originales que, como ocurre con la piritita, son normales en el mineral del yacimiento. Como consecuencia, forman

fragmentos con bordes muy angulosos, e incluso con forma de esquirlas muy planas o alargadas; formas que no se observan en las muestras de los yacimientos, es decir antes de someterse a molienda.

- ✓ Aparte de esos dos aspectos característicos, las granulometrías tan finas de los relaves facilitan su transporte por las aguas superficiales, ya sea arrastrados por las lluvias y las aguas de escorrentía como por las aguas de los ríos.
- ✓ Ese transporte por el medio acuático es favorecido por las finas granulometrías, y más aún en el caso de los fragmentos con formas planares.
- ✓ También se ha encontrado abundante cuarzo, así como presencia de galena (SPb) y esfalerita (SZn) como sulfuros minoritarios, pero significativos.

4.2.4.3 Estudio estadístico

- **Análisis univariante**

Comparando los valores medios, mínimo y máximos de las concentraciones de elementos químicos en las muestras de sedimentos recolectados en los cauces afectados por la actividad minera y los no afectados, se presenta la Tabla 4.3 en la que se puede observar lo siguiente

- Relaciones elevadas entre la concentración promedio de las variables o elementos químicos evaluados en los cauces contaminados en relación a los evaluados en los cauces no contaminados. Se observan relaciones mayores a 100 veces para elementos metálicos tóxicos como Ag, Cd, Sb y Zn.
- Relaciones elevadas, mayores a 100 veces, entre la concentración máxima de elementos químicos evaluados en los cauces contaminados en relación a los evaluados en cauces no contaminados para los elementos Ag, As, Cd, Pb, Sb, Zn.
- Asimismo se observan relaciones entre 10 y 100 veces, para el caso de concentración promedio y máxima de metales pesados nocivos para la salud como As, Au, Cu, Hg, Fe, Mn, entre otros.

- **Análisis bivariante**

Para conocer las relaciones entre los elementos químicos analizados, tomados dos a dos, se ha realizado el tratamiento estadístico bivariante.

Sedimentos tomados en cauces de toda la cuenca del Río Llaucano.

De la Tabla 3.46 se puede observar que el Al, As, Fe, Cr, K, Mg y Na muestran correlación no significativa ($r \leq 0,7$) relación con algún otro elemento. Por lo que no serán considerados en el análisis de componentes principales.

Tabla 4.3 Cuadro comparativo que muestra la relación entre las concentraciones medias, mínimas y máximas de los elementos químicos evaluados en los sedimentos provenientes de cauces afectados y no afectados por actividades mineras.

Variable	Cauces no afectados (ppb)			Cauces afectados (ppb)			Relación		
	Media aritmética (M)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)	Media aritmética (M)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)	Media aritmética (M)	Mínimo (Min)	Máximo (Máx)
Ag	103,2	17	192	31853	189	99999	308,7	11,1	520,8
Al	1,34	1,06	1,52	0,9	0,15	2,01	0,7	0,1	1,3
As	12,88	4,5	25,6	796	20	4715	61,8	4,4	184,2
Au	15,4	0,8	67,4	286,4	26,8	1149,3	18,6	33,5	17,1
Ba	150,2	55,4	254,9	70,18	15,8	153,3	0,5	0,3	0,6
Ca	3,6	0,54	7,35	3,241	0,1	6,95	0,9	0,2	0,9
Cd	0,312	0,1	0,54	66,4	0,5	434,8	212,8	5,0	805,2
Cr	10,62	5,1	21,4	7,192	0,5	14,5	0,7	0,1	0,7
Cu	17,85	7,72	31,73	928	19	2351	52,0	2,5	74,1
Fe	1,984	1,25	2,94	8,72	1,72	29,35	4,4	1,4	10,0
Hg	369	27	704	8041	412	44988	21,8	15,3	63,9
K	0,128	0,08	0,23	0,0658	0,02	0,16	0,5	0,3	0,7
Mg	0,294	0,18	0,5	0,2572	0,06	0,6	0,9	0,3	1,2
Mn	604	175	842	8602	411	30061	14,2	2,3	35,7
Na	0,012	0,004	0,018	0,00724	0,002	0,023	0,6	0,5	1,3
Ni	6,98	3,7	11,3	14,5	1,7	51,5	2,1	0,5	4,6
Pb	41	11,6	114,5	3002	52	20380	73,2	4,5	178,0
Sb	1,08	0,17	2,03	207,3	2,4	1246,9	191,9	14,1	614,2
Se	0,44	0,3	0,7	4,94	0,2	11,3	11,2	0,7	16,1
Sr	118,6	48,9	228,2	76,06	9,9	139,1	0,6	0,2	0,6
Zn	83,6	39,9	166,6	11747	147	68442	140,5	3,7	410,8
S	0,154	0,08	0,25	4	0,09	11,8	26,0	1,1	47,2

- ✓ Cabe destacar de la misma tabla, la fuerte correlación ($r \geq 0,8$) entre los elementos Ag-Hg, Ag-Mn, Au-Cd, Au-Hg, Au-Mn, Au-Zn, Au-S, Cd-Hg, Cd-Mn, Cd-Ni, Cd-Pb, Cd-Zn, Ca-Sr, Hg-Mn, Hg-Pb, Hh-Sb, Hg-Zn, Mn-Pb, Mn-Zn, Ni-Pb, Ni-Zn, Pb-Zn.

Sedimentos tomados en cauces no afectados por actividad minera de la cuenca del Río Llaucano.

- ✓ De la Tabla 3.47 se puede observar que el Al, Fe, Ca, Na muestran correlación no significativa ($r \leq 0,7$) relación con algún otro elemento. Por lo que no serán considerados en el análisis de componentes principales. Los elementos restantes analizados presentan correlaciones más o menos fuertes con al menos otro elemento.
- ✓ Cabe destacar de la Tabla 3.47, la fuerte correlación ($r \geq 0,8$) entre los elementos Ag-Hg, Ag-Mn, Au-Cd, Au-Hg, Au-Mn, Au-Zn, Au-S, Cd-Cu, Cd-Fe, Cd-Hg, Cd-Mn, Cd-Pb, Cd-Sb, Cd-Zn, Fe-Hg, Fe-Mn, Fe-Pb, Fe-Sb, Fe-Zn, Fe-S, Hg-Mn, Hg-Pb, Hg-Sb, Hg-Zn, Mn-Pb, Mn-Zn, Pb-Sb, Pb-Zn, Pb-S, Zn-S.

Sedimentos tomados en cauces afectados por la actividad minera de la cuenca del Río Llaucano.

- ✓ De la Tabla 3.48 se puede observar que el As, Cr, Fe, Mg y Na, muestran correlación no significativa ($r \leq 0,7$) con algún otro elemento. Por lo que serán excluidos en la matriz de análisis de componentes principales. Los elementos restantes analizados presentan correlaciones más o menos fuertes con al menos otro elemento.
- ✓ En la misma tabla, se destaca la fuerte correlación ($r \geq 0,8$) entre los pares de elementos Ag-Hg, Ag-Mn, Au-Hg, Au-Mn, Cd-Hg, Cd-Ni, Cd-Pb, Cd-Zn, Hg-Mn, Pb-Hg, Zn-Hg, Mn-Zn, Pb-Ag, Pb-Zn.
- ✓ En las Figuras 4.2, 4.3 y 4.4, se evalúa la correlación entre elementos en la subcuenca del Río Arascorgue y del Río Tingo-Maigasbamba. Se pueden destacar correlaciones positivas entre Pb-Ag y Zn-Hg. Esto comprueba que la plata (Ag) está ligada a la galena (sulfuro de plomo, SPb) y el mercurio (Hg) a la esfalerita (sulfuro de zinc, ZnS); lo que coincide con lo que ocurre en yacimientos similares a los de este distrito minero.

Figura 4.2. Correlación Zn-Pb entre las muestras de sedimentos S25, S22, S29, S13 y S57 tomadas en la Cuenca del Río Arascorgue.

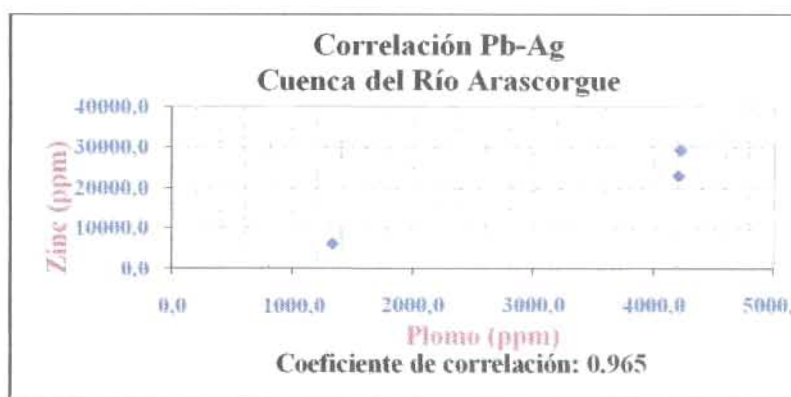


Figura 4.3. Correlación Pb-Ag entre muestras M38, M40, M44, M60, M61, M63 y M64. Cuenca R. Tingo-Maigabamba.

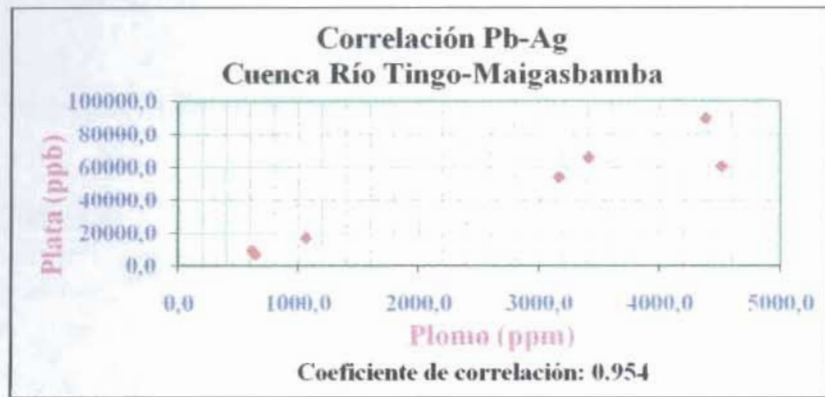
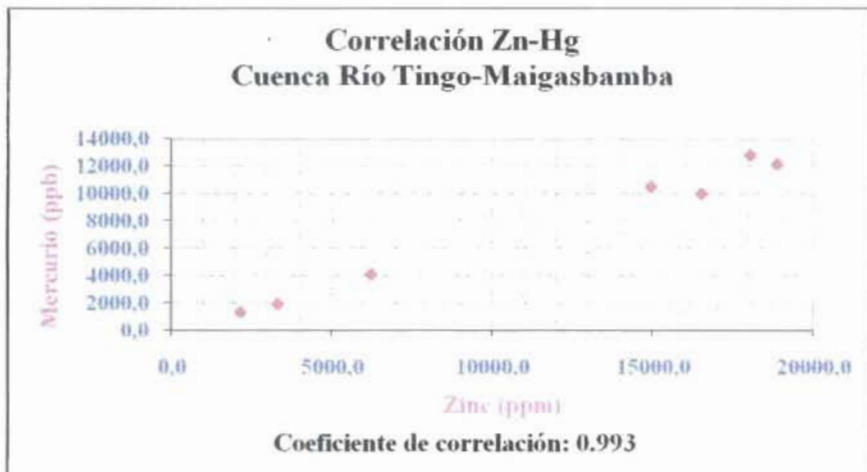


Figura 4.4. Correlación Zn-Hg entre muestras M44, M38, M40, M60, M61, M63 y M64. Cuenca R. Tingo-Maigabamba.



- **Análisis multivariante**

- ✓ Del análisis bivariante, obtuvimos las matrices correspondientes con las siguientes variables seleccionadas:

- Elementos Metálicos en sedimentos de toda la cuenca del Río Llaucano: Ag, Au, Ba, Cd, Cu, Hg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Zn y S.
- Elementos metálicos en sedimentos de los cauces no afectados por actividades mineras: Au, Ba, Cd, Cr, Cu, K, Hg, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Zn y S.
- Elementos metálicos en sedimentos de cauces afectados por actividades mineras: Ag, Al, Au, Ba, Ca, Cd, Cu, Hg, K, Mg, Mn, Ni, Pb, Sb, Se, Sr, Zn y S

En los cauces afectados por actividades mineras, destaca la presencia de elementos de mineralización como Ag, Au, Cd, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb, Zn que son liberados de la oxidación de los sulfuros.

- ✓ El Análisis de Componentes Principales (ACP) para el caso de los sedimentos tomados en cauces contaminados de toda la cuenca, explica el 67,6% de la varianza en los tres primeros componentes. Donde el Componente 1 explica el 42,1% (Figura 3.51) y comprende al Hg, Ag, Zn, Pb, Cd, Mn, Au, Ni, Se, Sb y S (Tabla 3.51 y Figura 3.52) siendo la mayor parte de estos elementos el resultados de procesos de mineralización debida a la oxidación de sulfuros.
- ✓ El Análisis Factorial (AF) para el caso de los sedimentos provenientes de cauces contaminados de la cuenca del Río Llaucano (Figura 3.55), explica en tres factores el 68,7% de la varianza, donde el Factor 1 relaciona al Cd, Zn, Pb, Ni, Hg, Mn, Au, Ag y S (Tabla 3.53 y Figura 3.56).

Elementos como el Zn, Cd, Pb, Mn, Hg, Au, Ni, Ag. Estos elementos son típicos de procesos de mineralización de sulfuros y son de carácter nocivo a la salud, por lo que las fuentes de contaminación deben ser adecuadamente gestionadas para reducir o mitigar los impactos ambientales producidos.

- ✓ Del análisis de Cluster (Figuras 3.57, 3.58, 3.59, 3.60 aplicado a los sedimentos, se observa claramente las afinidades antes mencionadas entre Ag-Hg, el Zn-Pb, Cd-Pb y todos estos con el S.

4.3 Discusión de las técnicas utilizadas

- ✓ El estudio en base a los análisis químicos de aguas y de sedimentos se antepone a la aplicación de las técnicas estadísticas utilizadas en el presente trabajo. Las técnicas estadísticas nos ha permitido:
 - Manejar, organizar, representar y simplificar la información obtenida en los ensayos químicos de laboratorio.
 - Las técnicas estadísticas nos sirven para realizar una primera aproximación de la correlación entre elementos químicos, lo cual luego es verificado por el estudio mineralógico.
- ✓ Asimismo, el estudio en base a los análisis químicos de sedimentos se antepone a los microscópicos, pues nos apoyamos en los datos químicos para:
 - Reforzar las conclusiones sobre procedencia y persistencia de la contaminación causada por los sulfuros,

- Cuantificar esa contaminación: el dato de análisis es definitivo como revelador del % de metales en cada muestra y, por consiguiente, de la mayor o menor contaminación del sedimento a lo largo del cauce.

Mientras que el microscopio nos dice cómo están esos metales (como galena, como esfalerita, como enargita, etc). Además de confirmar un dato con el otro. Por ejemplo, si hay plomo en concentraciones elevadas, entonces hay galena en cantidad apreciable; si hay zinc entonces habrá esfalerita, etc.).

Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

1. Los resultados de calidad química de aguas solamente, no permitían determinar si el área inmediata estaba afectada por contaminación minera. Por ello, con fines del presente estudio, el muestreo de aguas fue complementado con el muestreo de sedimentos. Al estudiar los sedimentos, sí se observa la "firma" de elementos característicos de esta contaminación como Cu, As, Ag, Pb, Zn y S.
2. Se ha verificado la contaminación de los cauces de los Ríos Tingo-Maigasbamba y Arascorgue desde sus nacientes o cabeceras, debido a la presencia de labores mineras en activo y en abandono.
3. Se ha podido verificar que el pH de fondo de las zonas no alteradas por la minería es de 8,1 y la conductividad eléctrica entre 180 a 200 $\mu\text{S}/\text{C}$.
4. Se ha verificado el aguas de los Ríos Arascorgue y Tingo-Maigasbamba tienen una capacidad autoneutralizante de las aguas ácidas que recibe. Esto lleva a una rápida elevación del pH del agua, luego de producirse las descargas provenientes de labores mineras.
5. La utilización de técnicas estadísticas multivariantes, como el análisis de componentes principales, análisis factoriales y cluster se está convirtiendo en una herramienta habitual en los estudios hidrogeoquímicos relacionados con la contaminación de aguas, tanto superficiales como subterráneas.
6. Los minerales de los sedimentos se corresponden con minerales existentes en los yacimientos del área, que fueron objeto de explotaciones o que estaban siéndolo en el momento del estudio.
7. Las técnicas microscópicas aplicadas a sedimentos son una herramienta valiosa en la identificación de fuentes de contaminación y puede contribuir a la definición de la responsabilidad ambiental en escenarios de contaminación cruzada, como lo es la convivencia entre la minería en abandono y la minería en activo. En el presente estudio se ha podido identificar la proveniencia de un efluente contaminante, mediante la relación o correspondencia entre la granulometría y morfología de los sulfuros presentes en el relave y en sedimentos. Esta correspondencia nos permitió

determinar que su origen era la planta de flotación en activo existente aguas arriba, desde donde son arrastrados al cauce del Río Tingo-Maigabamba a través de la erosión y arrastre y bajo la acción de las aguas de lluvia.

8. La presencia importante de granos de sulfuros que no están nada oxidados nos permite identificar una fuente muy cercana o un desplazamiento rápido en el cauce. En el presente estudio, se ha podido identificar ambas situaciones, especialmente en algunas zonas en donde las canchas de relaves están cercanas y porque también estamos en tramos en que el cauce tiene fuertes pendientes, propio de una zona de montaña.
9. Los sulfuros muestran una degradación progresiva a medida que descienden en el cauce, lo cual se traduce en un desgaste por rodadura y abrasión (lo que va aumentando su grado de esfericidad y disminuyendo su tamaño)-, y también en un grado de corrosión (oxidación) cada vez más acusado, por desestabilización de los sulfuros bajo la acción del medio oxidante que es el cauce. La pirita es el sulfuro que presenta una alteración más acusada.
10. Son relativamente importantes los contenidos en Ag y en Hg por parte de los sedimentos. Estos estarían justificados por la más que probable presencia de Ag como elementos traza en la galena, y del Hg en la esfalerita, como suele ser frecuente en otros yacimientos de similares características, en el mundo.
11. Los análisis químicos presentan una buena correlación con las observaciones microscópicas señaladas. La pirita es el mineral mayoritario, dentro de los sulfuros de los sedimentos. La esfalerita y la galena son minerales minoritarios, pero siempre presentes, y en cantidad suficiente para dar valores anómalos –y en general elevados en metales- a los sedimentos. Ellos son los minerales responsables de la presencia del Zn y del Pb, respectivamente, y, en principio, también del Hg y de la Ag. Los minerales de Cu, incluyendo los sulfoarseniuros, son muy escasos en los sedimentos, por lo que no se ha encontrado correlaciones significativas entre el Cu y otros minerales en los sedimentos.
12. Si bien las aguas afectadas por la minería –aguas de infiltración y de escorrentía en botaderos de minerales pobres, aguas de socavones y aguas de canchas de relaves- aportan ya contaminación de metales pesados en solución a los cauces, es evidente que los sulfuros vertidos a los sedimentos, como consecuencia de su alteración oxidante en el cauce, también son una fuente continua de contaminación (metales, sulfatos, etc.) para las aguas de tales cauces; aunque esta contaminación no es tan importante como la que se debe a los metales que aportan en solución aguas ácidas directamente provenientes de las labores mineras.
13. La oxidación de los sulfuros será más intensa en el caso en que los sedimentos, al bajar el nivel de las aguas, queden más expuestos a la acción del oxígeno. Mientras que estos sulfuros, si están presentes en sedimentos de zonas de cauces que siempre están cubiertos de agua, se oxidarán de forma más lenta.

Recomendaciones

1. Se recomienda efectuar la clausura de las fuentes de aporte de sulfuros, principalmente restaurando las distintas canchas de relaves antiguas y en operación en las cuencas de los cauces de los ríos afectados. En principio, lo más lógico sería dejar que las diferentes crecidas fuesen arrastrando los sulfuros sedimentos en los cauces aguas abajo, lo que, unido a la oxidación progresiva de los mismos, iría atenuando su incidencia en la contaminación de los ríos.
2. Debido a la existencia de sulfuros, que constituyen parte importante de las arenas de granulometría fina (<400 micras), se recomienda no utilizar estas arenas de los cauces contaminados con fines de construcción. Pues, los sulfuros son un peligro para el cemento, ya que evolucionan y se alteran dentro del mismo, originando minerales con gran efecto de expansión, que llegan a afectar gravemente a la resistencia de elementos constructivos tales como pilares, vigas, diques de agua, etc. y producir desastres.
3. En el caso de decidirse utilizar en construcción arenas de estos ríos, se deberán realizar los estudios previos para garantizar que no contienen sulfuros por el riesgo que esto implicaría en la seguridad de tales construcciones a mediano y largo plazo.
4. Se recomienda no utilizar los estériles de los "botaderos" de las minas, en los que también existen sulfuros. Por lo que tampoco deben ser empleados en la fabricación de hormigones ("concreto") especialmente si son empleados en construcciones de riesgo.
5. La limpieza de los sulfuros sedimentarios en los cauces, si bien es técnicamente abordable, sería muy costosa. Por otro lado, el plantear su limpieza requeriría un estudio previo para evaluar su mayor o menor grado de incidencia en la contaminación de las aguas; y para estudiar si compensaría plantearse algún trabajo complementario de limpieza; estudio que sería laborioso y exigiría un presupuesto elevado.
6. En el caso de los sedimentos de ríos contaminados con estos sulfuros provenientes de actividades mineras, debe evitarse que puedan ser arrastrados en épocas de crecida hacia tierras de cultivo, ya que, de producirse ese arrastre, estarán causando una contaminación de metales pesados en dichas tierras. En las tierras, aunque la solubilidad de los sulfuros sea baja, dado que estará en condiciones oxidantes toda la época del año, se irán soltando metales de forma continua, que se incorporarán al suelo en buena medida, ligándose tanto a las arcillas (por intercambio catiónico), como a la materia orgánica (quelación) y provocando un envenenamiento progresivo. Una parte metálica estará en solución en el agua, facilitando su incorporación a los vegetales, que en esos casos pueden llegar a tener contenidos excesivos en metales pesados, que resulten peligrosos para su uso alimentario.

Bibliografía

1. Andrew W. Macfarlane/Ulrich Petersen. (1990). "Pb Isotopes of the Hualgayoc Area, Northern Peru: Implications for Metal Provenance and Genesis of a Cordilleran Polymetallic Mining District". Department of Earth and Planetary Sciences. Harvard University, Cambridge, Massachusetts 02138. *Economic Geology*. Vol. 85.
2. Bilodeau, M. (2005). *Teory of Multivariate Statistics*. Editorial Springer.
3. Cabri, L. J. & D.J. Vaughan (Eds.). (1998). "Modern approaches to Ore and Environmental Mineralogy. Mineral. Assoc. Canada".
4. Hudson-Edwards, K.A. C. Schell and M.G. Macklin. (1999). "Mineralogy and geochemistry of alluvium contaminated by metal mining en the Río Tinto area, southwest Spain". *Applied Geochemistry*, 14: 55-70.
5. Instituto Tecnológico Geominero de España. (1995). "Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería". Serie: Ingeniería Geoambiental. Madrid.
6. Instituto B. Sutton y P. Harmon. *Fundamentos de Ecología* (1987). Edit. Limusa. México.
7. Joseph Fiksel. Mc Graw Hill (1997). *Ingeniería de diseño medioambiental DFE*.
8. LaGrega, Buckingham, Evans (1996). *Gestión de Residuos Tóxicos, Tratamiento, eliminación y recuperación de suelos. Volumen I y II*. Mc Graw Hill.
9. Mackin, M.G. and K. Kimek. (1992). "Dispersal, storage and transformation of metal-contaminated alluvium in the upper Vistula basin.
10. Macklin, M.G. Hudson-Edwards and E.J. Dawson. (1997). "The significance of pollution from historic metal mining in the Pennine orefields on river sediment contaminant fluxes to the North Sea". *The Science of the Total Environment*, 194/195: 391-397.

11. Mongay Fernandez, Carlos. "Quimiometría". Publicaciones Universidad de Valencia (PUV).
http://books.google.com.pe/books?id=1xNQAZeNUrgC&pg=PA105&lpg=PA105&dq=análisis+multivariante+y+contaminaci%C3%B3n&source=bl&ots=BJ2W9aLQ2A&sig=IsRx46odylCx7I6ONAkAil7hFSI&hl=es&ei=G5blSYe1GYGstgfqjsW8DA&sa=X&oi=book_result&ct=result&resnum=10#PPT1,M1
12. Pérez, C. (2001). Técnicas Estadísticas con SPSS. Ed. Prentice Hall.
13. Tecnológico Geo Minero de España (1995). Manual de Restauración de Terrenos y Evaluación de Impactos Ambientales en Minería.
14. Tchobanoglous, Theisen, Vigil (1998). Gestión Integral de Residuos Sólidos. Volumen I y II. Mc Graw Hill.
15. Summers, Linda/BONELLI, Julio. (1995). "Guía Ambiental para el Manejo de Drenaje Ácido de Minas". Dirección de Asuntos Ambientales. Sub-Sector Minería. Ministerio de Energía y Minas. Lima-Perú.
16. Universidad de Piura. (2000). Evaluación de la contaminación de aguas, relacionadas con la actividad minera, en los ríos Llaucano y Tingo-Maigabamba.
17. Universidad Nacional Agraria La Molina (1996). Manual de Legislación Ambiental. Lima.