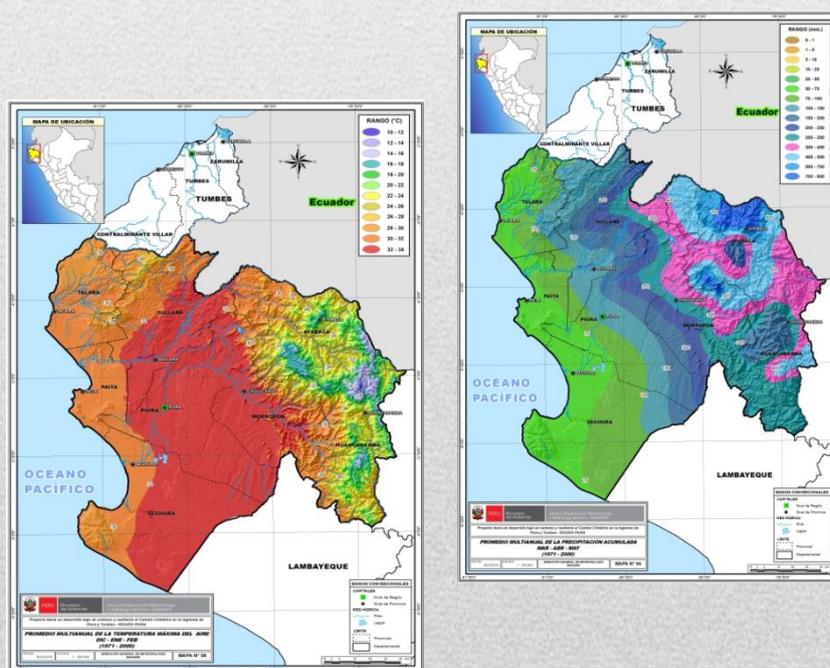


CARACTERIZACIÓN Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS DE LA REGIÓN PIURA



Autor: SENAMHI-PERÚ

Equipo:

Analista Climática y Edición:

Veronika Castro Asenjo

Dirección de Meteorología Aplicada:

Gabriela Rosas, Delia Acuña, Gustavo De la Cruz, Edita Talledo, Alan Llacza, Gerardo Jácome.

Dirección de Climatología:

Grinia Ávalos, Patricia Porras

Especialista Analista SIG:

Silvia Guerra

Dirección General de Meteorología

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Año: 2016

La presente publicación forma parte del Proyecto “Hacia un Desarrollo Bajo en Carbono y Resiliente al Cambio climático en las Regiones de Piura y Tumbes”, coordinado por el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) e implementado en el Perú para la Región de Piura.

Programa de la Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD)

Av. Pérez Aranibar 750, Magdalena del Mar, Lima.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI

Jr. Cahuide 785 Jesús María

Teléfonos: (51 – 1) 6141414 (central) y 6141408 (DMA)

www.senamhi.gob.pe

[email: dcl@senamhi.gob.pe](mailto:dcl@senamhi.gob.pe)

[email: dma@senamhi.gob.pe](mailto:dma@senamhi.gob.pe)

El contenido de este documento puede ser reproducido mencionando la fuente o con autorización de los autores y del SENAMHI.

CARACTERIZACIÓN Y ESCENARIOS CLIMÁTICOS DE LA REGIÓN PIURA

*PARA EL PROYECTO: “HACIA UN DESARROLLO BAJO EN CARBONO Y
RESILIENTE AL CAMBIO CLIMÁTICO EN LAS REGIONES DE PIURA Y
TUMBES”*

Ministro del Ambiente - MINAM

Manuel Pulgar Vidal Otálora

Viceministro de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales

Gabriel Quijandría Acosta

Director General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos

Eduardo Durand López-Hurtado

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Presidente Ejecutiva del SENAMHI

Amelia Díaz Pabló

Director Científico

Esequiel Villegas Paredes

Director General de Meteorología

Luis Alfaro Lozano

Directora de Meteorología Aplicada

Gabriela Rosas Benancio

Directora de Climatología

Grinia Avalos Roldán

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	5
CAPÍTULO I	
INTRODUCCIÓN	6
1.1 Objetivos	7
1.2 Marco Teórico	7
1.2.1 Gases de Efecto Invernadero	7
1.2.2 Modelos Climáticos	8
1.2.3 Escenarios de emisión	8
1.2.4 WRF	9
1.2.5 AMICAF	9
1.2.6 Incertidumbres de los Escenarios Climáticos	9
1.3 Área de estudio	10
1.4 Actividad Económica de Piura	11
1.5 Características Climáticas	12
1.6 Temperatura superficial del mar	13
CAPÍTULO II	
METODOLOGÍA	
2.1 Diagnóstico Climático de la región Piura	14
2.1.1 Caracterización Climática	14
2.1.2 Tendencias Climáticas	17
2.1.2.1 Tendencias Climáticas observadas de precipitación y Temperatura	17
2.1.2.2 Tendencia actual de los indicadores extremos Climáticos de precipitación y temperatura	19
2.2 Escenarios de Cambio Climático	21
2.2.1 El Modelo HadGEM2-ES	21
2.2.2 Regionalización Dinámica	21
2.2.3 Regionalización Estadística	22
2.2.4 Evaluación de Incertidumbres	23
CAPÍTULO III	
CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA	
3.1 Caracterización Climática de la Precipitación en Piura	24
3.1.1 Distribución Temporal de la precipitación	24
3.1.2 Distribución Espacial de la precipitación	25
3.2 Caracterización Climática de la Temperatura Máxima en Piura	30
3.2.1 Distribución Temporal de la temperatura máxima	30
3.2.2 Distribución Espacial de la temperatura máxima	31
3.3 Caracterización Climática de la Temperatura Mínima en Piura	34
3.3.1 Distribución Temporal de la Temperatura Mínima	34
3.3.2 Distribución Espacial de la Temperatura Mínima	35

3.4 Tendencias Climáticas	38
3.4.1 Tendencias observadas de Precipitación	38
3.4.1.1 Tendencia Anual	38
3.4.1.2 Tendencia Estacional	39
3.4.2 Tendencias observadas de la Temperatura Máxima	41
3.4.2.1 Tendencia Anual	41
3.4.3.2 Tendencia Estacional	41
3.4.3 Tendencias observadas de la Temperatura Mínima	43
3.4.3.1 Tendencia Anual	43
3.4.3.2 Tendencia Estacional	44
CAPÍTULO IV	
ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALES	
4.1 Proyecciones del Clima en la región de Piura	47
4.1.1 Proyecciones de la precipitación	48
4.1.2 Proyecciones de la temperatura máxima	50
4.1.3 Proyecciones de la temperatura mínima	51
4.2 Incertidumbres	53
4.2.1 Cambios en la precipitación a nivel anual	54
4.2.2 Cambios en la temperatura máxima a nivel anual	55
4.2.3 Cambios en la temperatura mínima a nivel anual	56
CAPÍTULO V	
CONCLUSIONES	58
CAPÍTULO VI	
BIBLIOGRAFÍA	60
ANEXOS	63

PRESENTACIÓN

Durante las últimas décadas el sistema climático viene sufriendo alteraciones cada vez más recurrentes. El Quinto Informe con las Contribuciones del Grupo de trabajo I sobre las Bases Físicas del Cambio Climático (IPCC, 2013), precisa con certeza que se está produciendo un calentamiento global del planeta y que, desde 1950, los cambios observados no tienen precedente; la evidencia de la influencia humana en el calentamiento global, los cambios en el régimen de lluvias, el retroceso y/o desaparición de los glaciares (grandes reservas de agua dulce), el incremento del nivel del mar, el incremento de los caudales, los cambios en los patrones de los eventos meteorológicos y la concentración de gases invernadero, han aumentado desde la publicación del cuarto Informe, en el 2007, generando un impacto significativo en los sectores socioeconómicos, en las actividades y en el bienestar de la población.

Por lo anteriormente descrito se ha incrementado la participación de los servicios meteorológicos en los diferentes sectores socioeconómicos con la mayor prestación de servicios climáticos y desarrollo de aplicaciones meteorológicas, tal como se reconoció en la Tercera Conferencia Mundial del Clima (Ginebra, 2009).

En este contexto y en el marco del Proyecto “Hacia un desarrollo bajo en carbono y resiliente al cambio climático en las regiones de Piura y Tumbes” el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI elabora el estudio sobre “Caracterización y Escenarios Climáticos para la región Piura”, la cual es un valioso e indispensable aporte que apoyará el desarrollo de la región a través de su enfoque multisectorial y multidisciplinario que permitirá plantear acciones para la identificación de riesgos y oportunidades relacionados con el cambio climático a nivel regional, integrándolos en la planificación del desarrollo regional e incrementar la resiliencia a los impactos del cambio climático y reducir la huella de carbono en la región.

En Piura la deforestación es creciente y ha llegado a cifras de poco más de 20,000 hectáreas anuales y ha alcanzado dimensiones críticas, inclusive, dentro de áreas legalmente protegidas.

Según el IPCC (2013) la temperatura del aire global de la Tierra está en tendencia creciente desde hace varias décadas. Desde comienzos de siglo XX la temperatura media global se ha incrementado en 0,85 °C, y la última decena de años es considerada como las más cálidas de los últimos 132 años, sin embargo, estos valores globales difícilmente explican los cambios del clima a una escala regional y local. Y es que diversas investigaciones hacen referencia de evidencias inequívocas de procesos de “cambios en el clima”, unos más acelerados y evidentes que otros, causando problemas críticos como escasez de agua, degradación de los suelos, pérdida de biodiversidad, etc (SENAMHI, 2013).

Para el IPCC (2013), el calentamiento en el sistema climático es real, debido principalmente a las emisiones provenientes del uso de combustibles fósiles y del cambio de uso de suelo. Las proyecciones hacia finales del siglo XXI hablan de incrementos de los niveles de CO₂ en la atmósfera superiores a 930 ppm, lo cual podría elevar la temperatura global hasta valores de 4°C.

Surge entonces la necesidad de fortalecer la capacidad de respuesta de la población de manera organizada frente a los impactos del cambio climático, estableciendo acciones a nivel regional y local, para lo cual es necesario diseñar “estrategias de adaptación” que se constituyan en instrumentos de gestión para enfrentar cambios del clima, expresados en una mayor variabilidad y de impactos diferenciados dada la gran diversidad topoclimática de nuestro territorio.

El punto de partida en este proceso es la identificación de la caracterización climática, la cual es una herramienta informativa de la variabilidad del clima tanto en el tiempo como en el espacio y cumple un rol fundamental en el desarrollo socio-económico de las regiones geográficas a las que se refiere. La Organización Meteorológica Mundial (OMM) ha establecido normativas para la elaboración y publicación de estudios de la Caracterización Climática y a su vez recomienda la elaboración de estos productos a nivel regional, a fin de que puedan responder a necesidades particulares de una región de interés y de un gran número de usuarios. Las normales climáticas empleadas en la elaboración de los mapas temáticos de la Caracterización Climática corresponden al promedio de 30 años (según las recomendaciones de la OMM). Asimismo, con las series de datos más extensas se determinarán las tendencias climáticas para la temperatura y precipitación así como los índices de eventos extremos.

Posteriormente, sobre la línea de base climática se generan los escenarios futuros del clima para la región Piura, herramienta estratégica para determinar los potenciales impactos socioeconómicos en la región base para la planificación adecuada por parte de los tomadores de decisión regional.

El SENAMHI es la entidad ejecutora de las actividades relacionadas con el estudio de los escenarios climáticos a nivel regional y en razón de sus funciones inherentes como órgano adscrito del Ministerio del Ambiente, su experiencia y conocimiento en la generación y suministro de información científica relacionada a la línea de base climática, así como las estimaciones cuantitativas de los cambios esperados en el clima en todo el territorio nacional, las cuales sirven de referencia para elaborar estudios integrados de impacto y vulnerabilidad, así como para valorar las necesidades de adaptación planificada al cambio climático en diversos sectores y sistemas socioeconómicos. Esta publicación brinda información relevante sobre el clima actual y futuro de la Región Tumbes.

1.1 Objetivos

- Caracterizar climáticamente la temperatura y precipitación de la región Piura.

- Evaluar las tendencias actuales de la temperatura, precipitación y sus extremos climáticos en Piura.
- Generar los escenarios climáticos regionales de temperatura y precipitación centrado al 2030.

1.2 Marco Teórico

La naturaleza del clima ha hecho que siempre ocurran procesos en la atmósfera desde etapas cálidas a frías y viceversa, tanto en periodos largos como cortos. Sin embargo, en las últimas décadas estos procesos han sufrido variaciones que han acelerado su ocurrencia e intensidad de manera anómala y que podrían deber su origen a procesos antropogénicos. En los últimos reportes del IPCC se confirma la relación directa entre el calentamiento global (principal causante del cambio climático) y el aumento de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI).

1.2.1 Gases de Efecto Invernadero (GEI)

Reconocidos científicos comparten una misma conclusión con respecto al incremento de la concentración de los Gases de Efecto Invernadero indicando que éstos están provocando alteraciones en el clima, y se volvieron intensas con el apogeo de la Revolución Industrial. Los principales gases emitidos son el dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4), óxido nitroso (N_2O) y halocarbonos.

1.2.2 Modelos Climáticos

Un modelo climático es una representación matemática no lineal de los procesos que tiene lugar en el sistema climático, cuyas interacciones determinan el clima. Este sistema se compone por: atmósfera, criósfera, hidrósfera, litósfera y biósfera (Peixoto and Oort, 1922). En la actualidad la mayoría de modelos climáticos globales incluyen alguna representación de las cinco componentes del sistema climático y la interacción entre los mismos.

Los modelos resuelven ecuaciones y dividen el área a analizar, en celdas, incluyendo las interacciones que ocurren en éstas y las celdas vecinas; la precisión del modelo difiere del tamaño de la celda; mientras más pequeña la celda, mayor precisión tendrá el modelo, pero más difícil y dilatado el cálculo. Principalmente toman en cuenta a la atmósfera y océano debido al fuerte acoplamiento de éstos sistemas, reciben por nombre, según sus siglas en inglés, AOGCM (modelos climáticos globales acoplados atmósfera-océano).

Los AOGCM trabajan ecuaciones matemáticas en un complejo sistema no-lineal, con ecuaciones diferenciales. Las simulaciones de clima actual con AOGCMs se llevan a cabo considerando la evolución de valores observados de concentraciones atmosféricas de GEIs. Aunque los resultados de proyecciones de clima obtenidos con diversos AOGCM son fiables a escala global, cuando se consideran escalas regionales (10-100 km) las distribuciones de temperatura y, sobre todo, de precipitación muestran notables discrepancias con los datos observados.

Por tanto para estudios locales y regionales de cambio climático es necesario realizar la regionalización a fin de obtener más detalle de los posibles cambios futuros del clima sobre un dominio espacial de interés.

En la Figura N°1 se puede apreciar el proceso que se sigue para realizar una regionalización tanto estadística como dinámica.

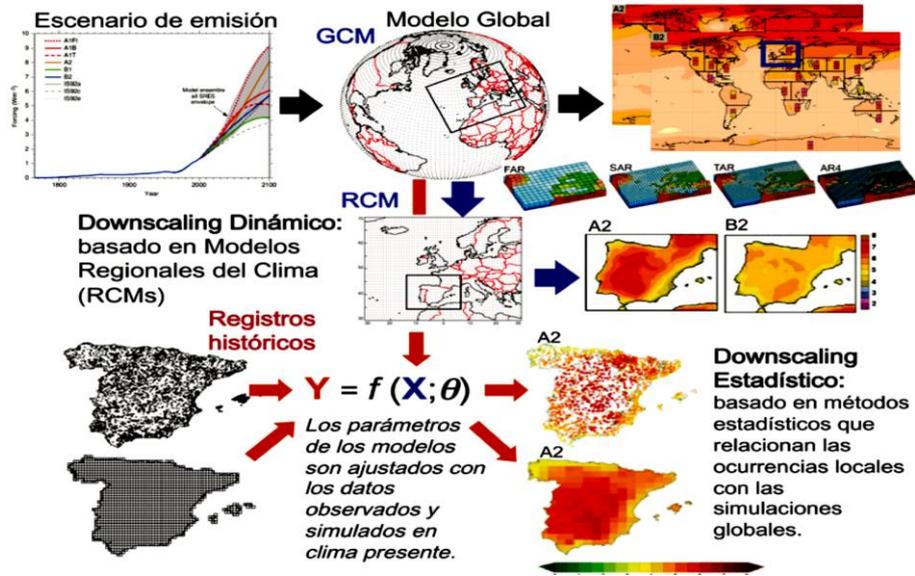


Figura N°1: Esquema de las metodologías de regionalización aplicadas a los escenarios globales de Cambio Climático. Fuente: Gaertner et al.2001.

1.2.3 Escenarios de emisión (GEI)

Los nuevos escenarios de emisión conocidos como rutas o vías de concentración representativas (RCP, por sus siglas en inglés), que se caracterizan por el cálculo aproximado que hace del forzamiento radiativo total para el año 2100 en relación con 1850, el cual va de 2,6 W/m² a 8,5 W/m². RCP8.5, fue desarrollado por el IIASA (International Institute for Applied Systems Analysis) de Austria. Representa la combinación de suposiciones de un alto crecimiento poblacional, un bajo crecimiento de PBI y modestas tasas de cambios tecnológicos y de eficiencia de energía, llevando a grandes demandas energéticas y el incremento de gases de efecto invernadero (Riahi et al, 2011).

Los nuevos escenarios de emisión contemplan los efectos de las políticas orientadas a limitar el cambio climático del siglo XXI. Las motivaciones principales para el desarrollo de estos nuevos RCPs, por el lado de los tomadores de decisión, es que los escenarios exploren el impacto de diferentes políticas climáticas (esquemas de mitigación) en adición a los tradicionales escenarios que no analizan políticas sobre el clima, es decir, analizar el impacto de diferentes políticas climáticas que permitan evaluar el costo-beneficio de las metas climáticas a largo plazo y finalmente la necesidad de explorar la adaptación a más detalle (Moss et al. 2010).

En la Figura 2 se observa que las proyecciones de la concentración del CO₂ con el escenario de emisión RCP2.6 tienden a regularse en el tiempo, por el contrario utilizando el escenario RCP8.5 para las próximas décadas tienden a ser muy elevada en concentración. Si consideramos el escenario más pesimista (RCP8.5) los cambios que se tendrán en todas las regiones del globo, incluirán cambios en la tierra y océano, en el ciclo hidrológico, el nivel del mar, la criósfera, algunos episodios extremos y la acidez de los océanos, los cuales persistirán durante muchos siglos y es probable que ya no sea reversible.

Si se compara con los anteriores escenarios de familias A1, A2, B1 y B2 (AR4, 2007) estos muestran en magnitud de cambios en el clima similares a los RCPs, a excepción del RCP2.6.

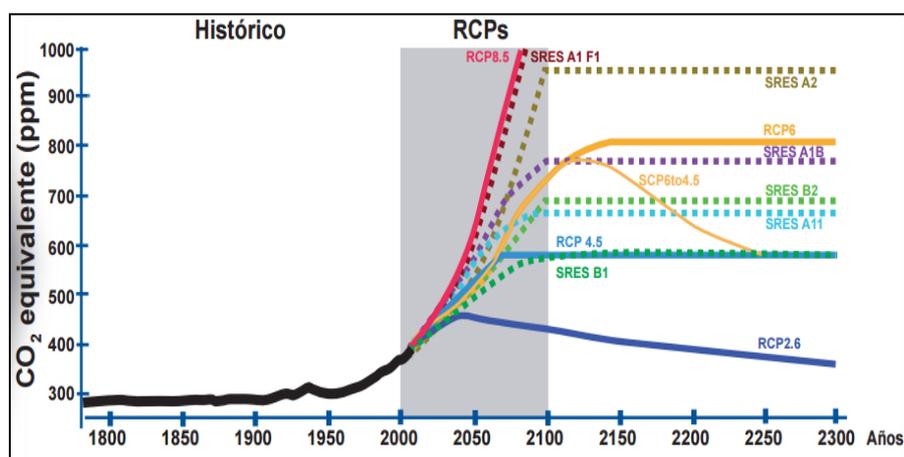


Figura N°2: Rutas de Concentración de CO₂ equivalente a nivel global para distintos escenarios de emisión. Fuente: Fundación Biodiversidad, Oficina Española de Cambio Climático, Agencia Estatal de Meteorología, Centro Nacional de Educación Ambiental.

1.2.4 WRF

El modelo *Weather Research and Forecasting* (WRF) es un sistema numérico de mesoescala de nueva generación de pronóstico de las condiciones atmosféricas diseñado tanto para cubrir necesidades de pronósticos operativos y de investigación atmosférica. Cuenta con múltiples núcleos dinámicos, un sistema de asimilación de datos 3-dimensional variacional (3DVAR), y una arquitectura de software que permite paralelismo computacional y extensibilidad del sistema. El WRF está adecuado para un amplio espectro de aplicaciones a través de escalas que se extienden desde el orden de metros a cientos de kilómetros.

1.2.5 AMICAF

AMICAF es un proyecto implementado por la FAO: “Evaluación de los impactos del cambio climático y mapeo de la vulnerabilidad a la inseguridad alimentaria bajo el cambio climático para reforzar la seguridad alimentaria familiar con enfoque de adaptación de los medios de subsistencia- AMICAF (por sus siglas en inglés)” con la finalidad de apoyar a los países en desarrollo a abordar la evaluación y adaptación al cambio climático. Debido a que los modelos de circulación general (MCG) son la principal herramienta para la prospección del clima de las próximas décadas y la resolución de estos modelos es limitada, se debe recurrir a la regionalización para poder estudiar mejor los impactos del cambio climático a escala regional. Por ello, en el presente estudio se realiza la regionalización estadística del modelo global HadGEM2-ES

1.2.6 Incertidumbre de los Escenarios Climáticos

La incertidumbre es un estado de conocimiento incompleto que puede resultar de una falta de información o de un desacuerdo sobre lo que es conocido o incluso no conocible, puede ser representada por medidas cuantificadas o por enunciados cualitativos (Moss, 2010).

Las evaluaciones y proyecciones regionales de cambio climático se caracterizan por la presencia de distintas fuentes de incertidumbres que afectan a todos los procesos en su generación, desde el establecimiento de los escenarios de emisión (RCPs), hasta los modelos globales e incluso en la

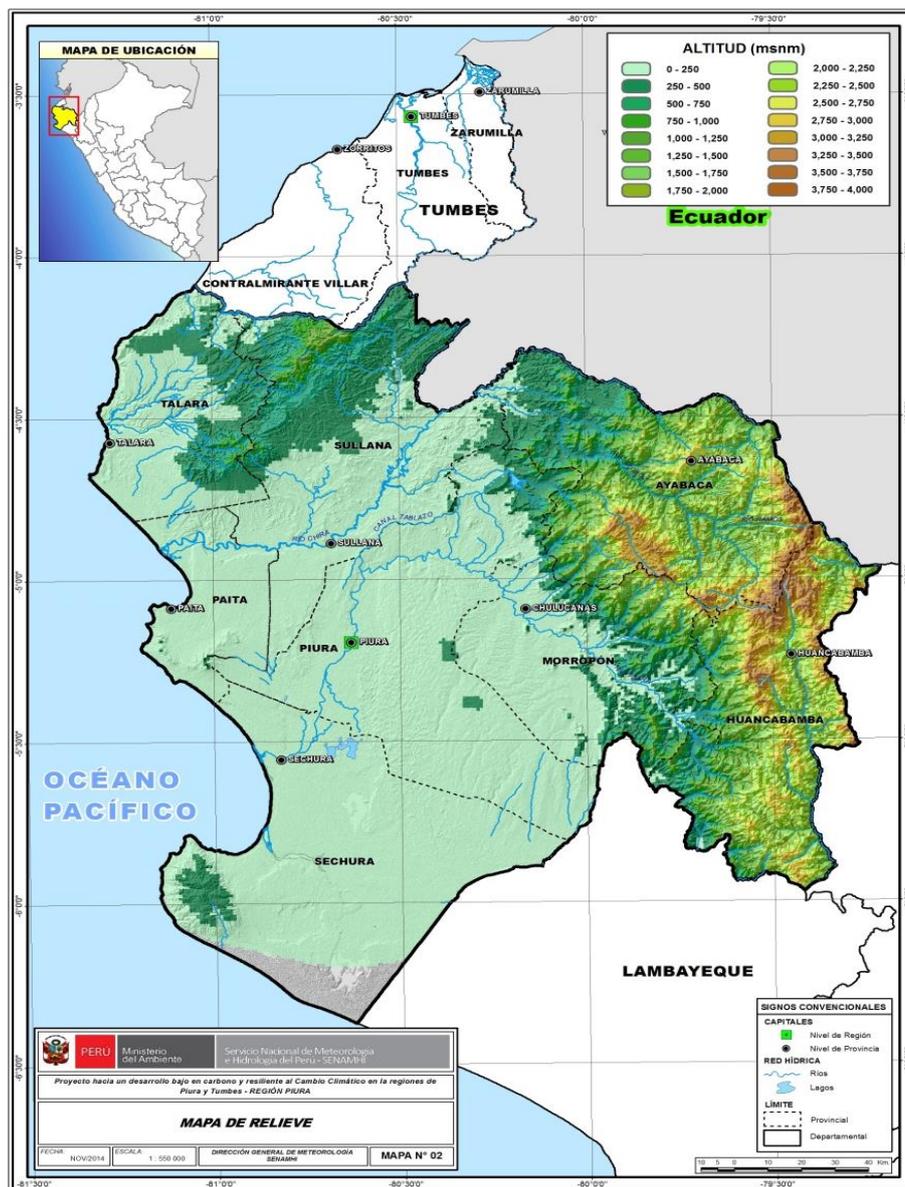
simulación a escala regional o regionalización, donde es necesario el forzamiento global desde un modelo global numérico o AOGCM.

1.3 Área de estudio

Geográficamente la Región Piura se localiza al noroeste del Perú, limita por el norte con Tumbes y el Ecuador, con Lambayeque por el sur, con Cajamarca por el este y con el Océano Pacífico por el oeste. Posee una superficie: 35892.490 Km². Frente a las costas del departamento se encuentran La Isla Foca frente a la Provincia de Paita y la Isla G frente a la Provincia de Sechura, estas islas en conjunto poseen una superficie de 1.32 Km².

El relieve del suelo es heterogéneo, notándose en la planicie costera el predominio de la formación desértica sobre tablazos y pampas. La franja costera es la más ancha del Perú y alcanza 200 km. desde el mar hasta los contrafuertes de la Cordillera Occidental de los Andes. En esta región se ubica Sechura la llanura desértica más extensa del Perú y América: ubicada al sur del río Piura y en él se localiza la depresión de Bayóvar, que es el área más baja del territorio peruano con 37 m. por debajo del nivel del mar. Las formas morfológicas más comunes en la costa, son las quebradas secas que funcionan en forma violenta cuando se producen lluvias intensas. Estas quebradas al norte de la región son profundas, al centro y sur son de gran amplitud y menos profundas.

La sierra piurana está formada por la cordillera de Huancabamba de poca elevación con sus estribaciones andinas que forman cadenas de montañas de flancos abruptos, el amplio valle interandino de Huancabamba orientado de norte a sur y muchas quebradas. En consecuencia las principales elevaciones que presenta la región son el Cerro Negro (3967 msnm), Cerro Viejo (3934 msnm), Cerro San Juan Canchiaco (3900 msnm), Cerro Pan de Azúcar (3767 msnm) y Cerro La Viuda (3710 msnm (Ver Mapa N°1).



Mapa 1. Región Piura, provincias y relieve asociado.

1.4 Actividad Económica de Piura

La región Piura aporta el 4.2% del valor agregado bruto nacional, aunque su aporte a algunos sectores económicos es mucho mayor en términos proporcionales: 43.7% de la pesca, 5.5% de la agricultura y 6.8% de la manufactura. Otro aspecto donde Piura destaca es en la gravitación poblacional, pues con sus 1.7 millones de habitantes es la segunda región con mayor número de habitantes, al albergar el 6.1% de la población total del país.

La principal actividad económica de Piura es la manufactura, que representa el 20.7% del valor agregado bruto regional. Esto se debe a la refinación de petróleo, al procesamiento pesquero y al procesamiento de la creciente producción frutícola y de biocombustibles. Otras actividades importantes son el comercio (17.2%), los servicios (15.9%) y la agricultura, la caza y la silvicultura (9.9% en conjunto).

1.5 Clasificación Climática

De acuerdo a la clasificación climática por el método de Thornthwaite (SENAMHI 1988), el clima de la región Piura es desértico y semi-desértico en la costa y vertientes andinas occidentales, Subtropical en las vertientes orientales. Las precipitaciones son escasas, salvo cuando se produce el fenómeno de El Niño, años en que las lluvias son abundantes y corre el agua por todo el curso de las quebradas secas originando inundaciones y acciones morfológicas de gran dinamismo.

La variedad y fusión climática otorgan características únicas a esta región, esto debido principalmente al choque de dos corrientes, la corriente fría de Humboldt con temperaturas de 13 a 19°C y la corriente cálida de El Niño de 22 a 27°C. Estas corrientes chocan a la altura de la bahía de Sechura al sur de la ciudad de Piura y otorgan a la región una característica única en Sudamérica, mitad desierto y mitad trópico.

La temperatura promedio anual es de 24°C; en el verano supera los 35°C, pudiendo llegar hasta 40°C cuando se presenta el Fenómeno El Niño extraordinario. La época de lluvias intensas se da entre diciembre y mayo. En las zonas andinas, el clima presenta noches frías y mañanas templadas. (Ver Gráfico N°1).

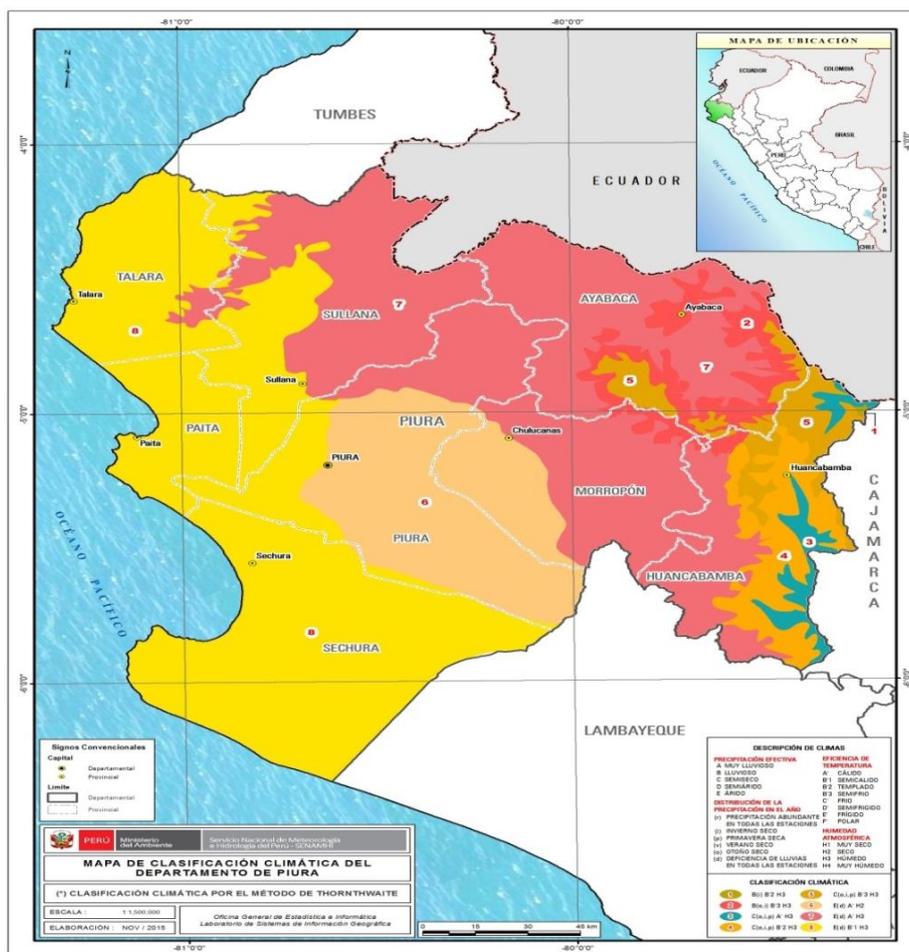


Gráfico N°1: Clasificación Climática de Piura.

1.6 Temperatura superficial del mar

La temperatura superficial del mar (TSM) es una de las variables físicas que mejor indica la variación temporal del ciclo El Niño y la Oscilación del Sur (ENOS), por lo cual es ampliamente usada para estudiar la variabilidad a diferentes escalas de tiempo en el Océano Pacífico (Purca et al. 2005).

2.1 Diagnóstico Climático de la región Piura

2.1.1 Caracterización Climática

Del departamento de Piura se tiene registro de información meteorológica desde el año 1944, pero no todas las estaciones han mantenido su continuidad, es por esto que se seleccionó el periodo 1971 - 2000 dado que ofrecía una mayor cobertura, además de ser el periodo sugerido por la Comisión de Climatología de la Organización Mundial de Meteorología (OMM-CCI/MG/Doc.10). Se presentan mapas de la distribución espacial de la precipitación promedio y la temperatura máxima y mínima para el periodo base 1971-2000.

El nombre, ubicación de las estaciones seleccionadas a nivel nacional se presentan en el Cuadro N°1.

N°	Estación	Sist_Hid	Cuenca	Dto	Prov.	Distrito	Lat.	Long.	Alt. (msnm)
1	ALAMOR	PACIFICO	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	04° 28'48	80° 23'56	13 3
2	AYABACA	PACIFICO	CHIRA	PIURA	AYABACA	AYABACA	04° 38'38	79° 43'43	2830
3	BERNAL	PACIFICO	PIURA	PIURA	SECHURA	BERNAL	05° 29'29	80° 45'45	7
4	CHALACO	PACIFICO	PIURA	PIURA	MORROPON	CHALACO	05° 02'2	79° 49'48	1791
5	CHULUCANAS	PACIFICO	PIURA	PIURA	MORROPON	CHULUCANAS	05° 06'6	80° 10'10	87
6	CHUSIS	PACIFICO	PIURA	PIURA	SECHURA	SECHURA	05° 31'31	80° 50'50	6
7	EL ALTO	PACIFICO	INTERCUENCA DEL PACIFICO	PIURA	TALARA	EL ALTO	04° 16'16	81° 13'13	252
8	HACIENDA BIGOTE	PACIFICO	PIURA	PIURA	MORROPON	SALITRAL	05° 20'20	79° 47'47	827
9	HACIENDA SHUMAYA	MARAÑÓN	CHAMAYA	PIURA	HUANCABAMBA	SONDOR	05° 22'22	79° 21'21	2050
10	HUANCABAMBA	MARAÑÓN	CHAMAYA	PIURA	HUANCABAMBA	HUANCABAMBA	05° 15'1	79° 33'1	3177
11	HUARMACA	MARAÑÓN	CHAMAYA	PIURA	HUANCABAMBA	HUARMACA	05° 33'53.1	79° 31'11	2244
12	LA ESPERANZA	PACIFICO	CHIRA	PIURA	PAITA	COLAN	04° 55'55	81° 04'4	6
13	LANCONES	PACIFICO	CHIRA	PIURA	SULLANA	LANCONES	04° 34'34	80° 29'29	123
14	MALACASI	PACIFICO	PIURA	PIURA	MORROPON	SALITRAL	05° 19'1	79° 53'1	240
15	MALLARES	PACIFICO	CHIRA	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA	04° 51'51	80° 44'44	29
16	MIRAFLORES	PACIFICO	PIURA	PIURA	PIURA	CASTILLA	05° 10'10	80° 35'34	40
17	MORROPON	PACIFICO	PIURA	PIURA	MORROPON	MORROPON	05° 11'1	79° 59'1	109
18	PACAYPAMPA	PACIFICO	CHIRA	PIURA	AYABACA	PACAIPAMPA	04° 59'1	79° 40'1	2315
19	PANANGA	PACIFICO	INTERCUENCA DEL PACIFICO	PIURA	SULLANA	MARCAVELICA	04° 33'33	80° 53'53	500
20	PARTIDOR	PACIFICO	CHIRA	PIURA	PIURA	LAS LOMAS	04° 38'38	80° 15'15	250
21	PORCULLA	MARAÑÓN	CENEPA	PIURA	HUANCABAMBA	HUARMACA	05° 50'50	79° 30'30	1971

22	SALALA	MARAÑO N	CHAMAYA	PIURA	HUANCABAMBA	EL CARMEN DE LA FRONTERA	05° 06'6	79° 27'27	2800
23	SAN MIGUEL	PACIFICO	PIURA	PIURA	PIURA	CATACAOS	05° 18'14	80° 40'55	20
24	SAN PEDRO	PACIFICO	PIURA	PIURA	MORROPON	CHULUCANAS	05° 05'5	80° 02'2	309
25	SANTO DOMINGO	PACIFICO	PIURA	PIURA	MORROPON	SANTO DOMINGO	05° 02'1	79° 53'1	1475
26	SAPILLICA	PACIFICO	CHIRA	PIURA	AYABACA	SAPILLICA	04° 47'47	79° 59'59	1406
27	SAUSAL DE CULUCAN	PACIFICO	CHIRA	PIURA	AYABACA	LAGUNAS	04° 45'45	79° 46'46	1015
28	SONDORILLO	MARAÑO N	CHAMAYA	PIURA	HUANCABAMBA	SONDOR	05° 20'20	79° 24'24	1900
29	TABACONAS	MARAÑO N	CHINCHIPE	CAJAMARCA	SAN IGNACIO	TABACONAS	05° 19'19	79° 17'17	1801
30	TULUCE	MARAÑO N	CHAMAYA	PIURA	HUANCABAMBA	SONDOR	05° 29'29	79° 22'22	1920
31	CUEVA BLANCA	MARAÑO N	CHAMAYA	LAMBAYEQUE	FERREÑAFE	INCAHUASI	06° 07'52.68	79° 24'16	3300
32	VIRREY	PACIFICO	CASCAJAL	LAMBAYEQUE	LAMBAYEQUE	OLMOS	05° 34'51	79° 58'2	264
33	EL LIMON	MARAÑO N	CHAMAYA	CAJAMARCA	JAEN	POMAHUACA	05° 55'55	79° 19'19	1255
34	SALLIQUE	MARAÑO N	CHAMAYA	CAJAMARCA	JAEN	SALLIQUE	05° 39'1	79° 19'1	1750
35	SAN IGNACIO	MARAÑO N	CHINCHIPE	CAJAMARCA	SAN IGNACIO	SAN IGNACIO	05° 08'43	78° 59'49	740

Cuadro 1. Ubicación de Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas.

La elaboración de mapas temáticos mediante métodos de interpolación ha generado una cantidad notable de bibliografía específica. El planteamiento es simple: a partir de un conjunto de datos puntuales (estaciones meteorológicas) localizadas en un espacio geográfico, deben estimarse los valores correspondientes a otros lugares incluidos en un dominio espacial determinado.

El problema, por tanto, puede resolverse mediante un método de interpolación adecuado. Sin embargo, las dificultades son importantes debido a la naturaleza de los datos. Frecuentemente, las series son heterogéneas en calidad y longitud, su distribución espacial no es idónea y las propias variables suelen mostrar una variabilidad temporal muy notable. Asimismo, la influencia del relieve suele introducir variaciones difícilmente replicables, especialmente porque las estaciones meteorológicas son menos densas en zonas alto andinas y/o desérticas.

Por estos motivos, debe considerarse que los mapas climáticos representan los patrones espaciales de distribución de las variables y deben ser interpretados sin perder de vista que la resolución espacial es frecuentemente de decenas de km.

El mejor método de interpolación climática sigue siendo objeto de controversia, claro que este método universal no existe sino que, en función de las características territoriales y de los datos disponibles, unos pueden funcionar mejor que otros en diferentes lugares y circunstancias.

En el caso concreto de los mapas temáticos para la región Piura se hicieron pruebas con los métodos Inverse Distance Weighted (IDW) y Spline que son dos modelos basados en métodos de interpolación determinista ya que se fundamentan en muestreos del área de estudio con fórmulas matemáticas que determinan la forma de la superficie resultante. Así también, se realizó pruebas con modelos basados en métodos geoestadísticos (como el Kriging) que utilizan fundamentos estadísticos que incluyen auto correlaciones. Es decir, son modelos que no solo predicen superficies de interpolación, sino que también indican el grado de exactitud y error de la predicción. Kriging es similar a IDW, en cuanto a que pondera muestras del entorno, para extraer predicciones de zonas próximas. La fórmula general para ambas interpolaciones se basa en la suma ponderada de todos los datos.

$$\hat{Z}(S_0) = \sum \lambda_i Z(S_i) \quad (1)$$

En el IDW el peso solo depende de la distancia a los puntos de muestreo, mientras que en el Kriging los pesos no solo se basan en las distancias, sino también en las relaciones espaciales entre las muestras y sus valores. (Álvarez et al. 2011).

Finalmente, se realizaron pruebas con el método de interpolación por regresión lineal múltiple, este método probado fue propuesto por Pons (1996) y Ninyerola et al. (2000), basado en técnicas de regresión lineal múltiple para la interpolación espacial de los datos proveniente de las estaciones meteorológicas.

Lo resaltante de este método es que al final los mapas resultantes son corregidos utilizando los residuales, producto de la regresión lineal múltiple (Quevedo et al. 2009).

$$y_i = \beta_0 + \beta_1 x_{i1} + \beta_2 x_{i2} + \dots + \beta_P x_{iP} + e_i, \quad (2)$$

Para $i = 1, 2, \dots, n$

Las pruebas realizadas muestran resultados más cercanos con el método de regresión lineal, en el caso de la temperatura las isotermas a corregir fueron mínimas, en tanto que, para la precipitación igualmente este fue el método más cercano en comparación a los otros métodos pero se tuvieron que realizar algunos ajustes.

En el Mapa N°2 se puede observar la ubicación de la red de estaciones en la región Piura.



Mapa N°2. Ubicación de la Red de Estaciones Meteorológicas y Pluviométricas.

2.1.2 Tendencias climáticas:

Las tendencias climáticas se estiman a fin de conocer de qué manera están comportándose las variables climáticas en el tiempo y con ello determinar si existe un progresivo cambio que se establece sobre records de información lo más extensos posibles.

2.1.2.1 Tendencias Climáticas observadas de precipitación y temperatura

Para determinar las tendencias anuales y estacionales de la precipitación y temperaturas extremas (máxima y mínima) en la región Piura y sus niveles de significancia estadística durante el periodo 1964-2013. Estas tendencias se calculan mediante el test de Mann-Kendall (Kendall, 1975) y para obtener la pendiente o la magnitud de la inclinación, se utilizó la metodología desarrollado por Sen (1968). Estas tendencias y sus significancias se calculan mediante el test de Mann-Kendall (Kendall, 1975) y Sen (1968).

La ventaja de Mann-Kendall es saber utilizar la magnitud relativa de los valores de la serie temporal, filtrando valores extremos, en vez de utilizar los valores reales. Al mismo tiempo, es necesario tener presente que en este test los datos necesitan cumplir con los siguientes supuestos: ser variables

aleatorias, independientes e idénticamente distribuidas. En conclusión, la autocorrelación de la serie necesita ser nula.

Estas condiciones limitan su aplicación en las series climatológicas, como la precipitación, debido a la fuerte dependencia mensual o estacional. Esto induce a la necesidad de tener en cuenta las características de este test cuando es aplicado a las series climatológicas, como la precipitación, para las series totales anuales, totales o promedios de una estación o determinado mes, que pueden ser considerados como independientes.

La hipótesis nula (H0) considera que los datos: $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$, son variables aleatorias independientes e idénticamente distribuidas. El test estadístico de Mann-Kendall (S) es dado por:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_i - x_j)$$

Donde, la función sgn es:

$$\begin{aligned} \text{sgn}(x_i - x_j) &= 1, \text{ si } x_i - x_j > 0, \\ &= 0, \text{ si } x_i - x_j = 0 \\ &= -1, \text{ si } x_i - x_j < 0 \end{aligned}$$

Para las series con tamaño mayores que 10, la estadística (S) se aproxima a la distribución normal, cuando se hace la siguiente corrección: $S = S - \text{sgn}(S)$. Considerando la hipótesis nula y la ausencia de repetición de valores dentro de la serie, la variancia de (S), $[\text{Var}(S)]$, es definida por:

$$\text{Var}(S) = \frac{n(n-1)(2n+5)}{8}$$

Y con la corrección, debido a las repeticiones, la variancia queda:

$$\text{Var}(S) = \frac{\left[n(n-1)(2n+5) - \sum_{p=1}^g t_p(t_p-1)(2t_p+5) \right]}{8}$$

Donde g es el número de grupos con datos repetidos y t_p es el número de datos con p-ésimo grupo. Luego s y Var (S) son utilizados para el cálculo de la estadística Z, con distribución normal estandarizada:

$$Z = \frac{S-1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}}, \quad \text{si } S > 0,$$

$$Z = 0, \quad \text{si } S = 0,$$

$$Z = \frac{S+1}{[\text{Var}(S)]^{1/2}}, \quad \text{si } S < 0$$

Los valores positivos (negativos) de Z indican tendencia ascendente (descendente). Con la finalidad de mejorar la interpretación y profundizar los análisis de las tendencias lineales, se calcularon las tendencias de las variables climáticas de la precipitación para los totales anuales y estacionales, y para las temperaturas, los promedios anuales y estacionales. Para las tendencias de los índices climáticos se consideran solamente los valores anuales. Las estaciones del año para el presente trabajo fueron definidas del siguiente modo: primavera (SON), verano (DJF), otoño (MAM) e invierno (JJA).

Si la hipótesis nula (H_0) es verdadera, la estadística Z tiene distribución normal estándar. Para testar, tanto las tendencias ascendentes como las descendentes, al nivel significativo α la H_0 es aceptada si el valor absoluto de Z es menor que $Z_{1-\alpha/2}$ (teste de dos lados). El valor $Z_{1-\alpha/2}$ es escogido a priori una vez que no tenemos conocimiento de la dirección de la tendencia. Este valor, α , en todos los test realizados para el presente informe, es de 0,05 (5%).

Para obtener la pendiente o la magnitud de la inclinación, se utilizó la metodología desarrollado por Sen (1968). La magnitud de la tendencia lineal estimada de una serie temporal, denominada inclinación (razón de la variable por unidad de tiempo), puede ser estimada a partir del cálculo de los mínimos cuadrados de la inclinación estimada " β ", utilizando el método de Regresión Lineal. Sin embargo, " β ", calculado de esta manera, puede desviarse significativamente del verdadero valor de la inclinación cuando existen valores discrepantes ("outliers") en los datos de la serie temporal a ser calculada (Gilbert, 1987). En este método, la inclinación de las tendencias de la serie temporal es obtenido a partir del cálculo de las, $N' = n(n-1)/2$, inclinaciones estimadas a través de:

$$S_e = \frac{x_j - x_i}{j - i}$$

Donde: x_j y x_i son valores de los datos en el tiempo j e i , respectivamente, y $j > i$. N' es el número de pares de datos de la serie en las cuales $j > i$. La mediana de estos N' valores de S_e es el valor estimado de la inclinación de la serie temporal, denominada como inclinación de Sen. Debido a la alta variabilidad, tanto temporal y espacial de la precipitación, se hace necesario algún tipo de normalización en el tratamiento de estos cálculos, fundamentalmente para analizar la distribución espacial de tendencias. Así, para obtener un mejor análisis y entendimiento de la distribución espacial de las tendencias de precipitación, en el presente informe se presenta la magnitud porcentual de las tendencias lineales de cada serie temporal en relación al promedio del periodo en estudio. Este parámetro es calculado de la siguiente manera:

$$L = \frac{s * d}{x_i} * 100$$

Donde: s es la inclinación estimada de la serie temporal mediante el método de Sen, x_i es el promedio de la precipitación para el periodo y nd es el número de datos (años o meses) de la serie de datos considerados. Por ejemplo, nd es igual a 42 años para las precipitaciones (1965-2006). Para las tendencias lineales de las temperaturas máximas y mínimas fueron expresadas en °C/década.

2.1.2.2 Tendencia actual de los indicadores extremos climáticos de precipitación y temperaturas

Entre muchos métodos estadísticos usados para el diagnóstico de eventos extremos tanto de precipitación como de temperatura, se tiene el que se basa en los “índices extremos”, propuesto por Frich et al. (2002) y es ampliamente usado en estudios recientes a nivel mundial y que también ha sido adoptado como salida estándar de datos para el reciente Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC (Kamiguchi et al., 2006).

La investigación realizada por Frich et al. (2002) observa cambios en los extremos climáticos durante la segunda mitad del Siglo XX, usando cuidadosamente un conjunto definido de índices derivados desde observaciones diarias de temperatura máxima, mínima y precipitación.

El análisis de Extremos de la data diaria observada de temperaturas y precipitaciones en la región de Piura se ha realizado haciendo uso del paquete estadístico RClimDex (recomendado por el Equipo de Expertos de CCI/CLIVAR para el Climate Change Detection, Monitoring And Indices – ETCCDMI), el cual se basa en el diagnóstico de eventos extremos propuesto por Frich et al. (2002) , y es usado en estudios a nivel mundial, siendo además adoptado como salida estándar de datos para el Cuarto Reporte de Evaluación del IPCC (Kamiguchi et al. 2006). Se ha utilizado información del período 1963-2013, considerando las tendencias significativas a un $p < 0,1$.

En las Tablas 1 y 2 se muestran los índices de precipitación y temperatura que se van a utilizar para el estudio de la región Piura y sus respectivas definiciones.

Tabla N°1: Índices de precipitación con su definición y unidades. RR es la tasa de lluvia diaria. Todos los índices son calculados de enero a diciembre.

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
PRCPTOT	Precipitación en días húmedos	Precipitación total anual en los días húmedos ($RR \geq 1\text{mm}$)	mm
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR \geq 1\text{mm}$	días
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con $RR < 1\text{mm}$	días
R10mm	Número de días con precipitación intensa	Número máximo de días consecutivos con $PRCP \geq 10\text{mm}$	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación total anual en que $RR > 95$ percentil	mm
RX1day	Cantidad máxima de precipitación en un día	Máximo mensual de precipitación en 1 día	mm
RX5day	Cantidad máxima de precipitación en cinco días	Máximo mensual de precipitación en cinco días consecutivos	mm

Tabla N°2: Índices de temperatura con su definición y unidades. RR es la tasa de lluvia diaria. Todos los índices son calculados de enero a diciembre.

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
Txx	Temperatura máxima máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
Txn	Temperatura máxima mínima	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C
Tnx	Temperatura mínima máxima	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria	°C
Tnn	Temperatura mínima mínima	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C

DTR	Rango Diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre Tx y Tn	°C
Tx10p	Días Fríos	Porcentaje de días cuando Tx<10th percentil	días
Tx90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando Tx>90th percentil	días
Tn10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando Tn<10th percentil	días
Tn90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando Tn>90th percentil	días

2.2 Escenarios de Cambio Climático

Las proyecciones climáticas se basan en salidas de modelos, regionalizaciones y ajustes, por lo que se debe considerar que a pesar que las diferentes herramientas utilizadas, éstas no son perfectas; por tal motivo es necesario incluir alguna medida de incertidumbre en los resultados finales, pues en la medida que el usuario incorpore correctamente estas incertidumbres a los escenarios climáticos, planteará mejor sus estrategias de adaptación frente al cambio climático (Tracton, 2001).

Para este análisis se utilizó el escenario de emisión más pesimista, la forzante 8.5 W/m^2 presentado en el Quinto Informe de Evaluación del IPCC en el 2013, conocido como ruta o vía de concentración representativa (RCP, por sus siglas en inglés); los RCP tienen asociada una base de datos de alta resolución espacial de emisiones de sustancias contaminantes, de emisiones y concentraciones de gases de efecto invernadero y de usos de suelo hasta el año 2100. Este RCP 8.5 W/m^2 es la entrada del modelo global HadGEM2-ES, el cual servirá como condición inicial al modelo regional WRF.

2.2.1 El Modelo HadGEM2-ES

Se consideró el modelo HadGEM2-ES en un escenario pesimista de RCP8.5

El modelo HadGEM2-ES fue desarrollado en dos etapas a partir de HadGEM1, representando mejoras en el modelo físico (que conduce a HadGEM2-AO) y la adición de los componentes del sistema y tierra de acoplamiento (que conduce a HadGEM2-ES). El proyecto HadGEM2-AO ha dirigido dos características clave de rendimiento: el ENOS y los sesgos de temperatura en la superficie terrestre. Este último tenía una prioridad particularmente alta para que el modelo sea capaz de modelar adecuadamente la vegetación continental. A través de grupos de trabajo se centraron e identificaron una serie de mecanismos que mejora el rendimiento. Algunos errores sistemáticos conocidos en HadGEM1, tales como el monzón de la India, no fueron objeto de atención en HadGEM2-AO. En HadGEM2-ES la cubierta vegetal es mejor que en el modelo anterior HadCM3LC especialmente para los árboles, y la productividad es mejor que en el modelo HadGEM2-AO no interactivo.

2.2.2 Regionalización Dinámica

La regionalización es un procedimiento que permite adaptar las proyecciones de modelos globales a una escala más reducida con una resolución espacial más apropiada para su uso en evaluaciones de impacto a escala más regional y local. Uno de los métodos para regionalizar es la dinámica, la cual hace uso de un modelo regional. Se utilizó para el presente estudio el modelo Advanced Research WRF (Weather Research and Forecast) versión 3.4, el cual fue forzado por el modelo global HadGEM2-ES v2, con el componente Earth-System desarrollado por el Centro Hadley Global Environmental Model, el cual representa coherentemente las variables atmosféricas en distintos niveles de presión. Las variables analizadas (precipitación y temperaturas extremas) del modelo global han sido intercomparadas. El modelo regional WRF, es un modelo de mesoescala no hidrostático. El SENAMHI, ha obtenido resultados satisfactorios en el país utilizando el WRF para

sus investigaciones, por lo cual este modelo regional para proyección de largo plazo fue ejecutado para simular el clima actual y su evolución futura en la región Piura.

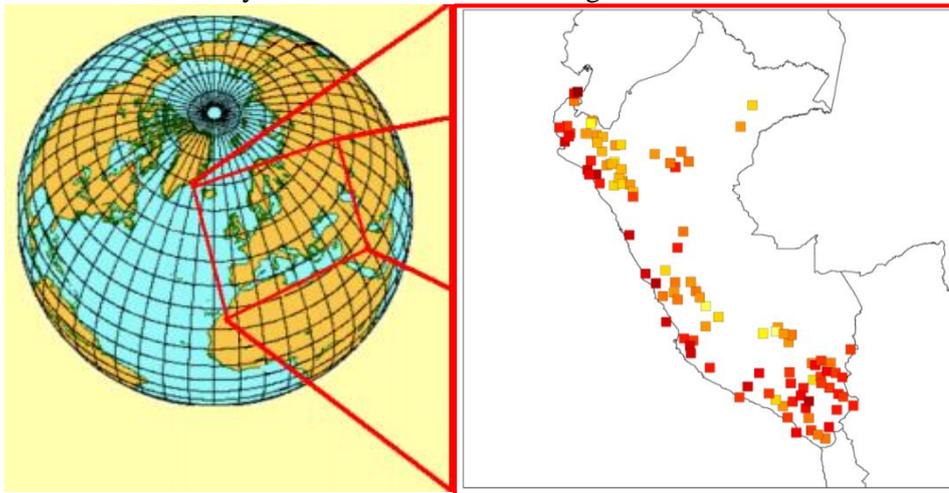


Figura N°3: Esquema de la regionalización estadística.

Fuente: Gaertner, 2001. Proyecto Europeo Prudence

2.2.3 Regionalización Estadística

La regionalización estadística se basa en el uso de las relaciones empíricas que relacionan predictandos (observaciones locales de una variable objetivo, tal como la precipitación, las temperaturas extremas) a un conjunto de predictores adecuados (variables a gran escala que determinan el estado de la atmósfera).

Bajo el enfoque de la aproximación de Perfect Prog, estas relaciones (modelos) se obtienen al considerar predictores cuasi-observados desde el reanálisis. Posteriormente, son aplicados los modelos fijados/ calibrados (coeficientes) a los predictores del Modelo del Sistema de la Tierra a fin de trasladar sus simulaciones globales gruesas a la escala local requeridas para las aplicaciones en el impacto y adaptaciones del cambio climático. Los predictores de circulación utilizados en la regionalización estadística son: presión a nivel del mar (SLP), altura geopotencial (Z), componentes zonales/meridionales del viento (U/V) y termodinámicos son: temperatura (T), humedad específica (Q), en diferentes niveles de presión, superficie o cerca de la superficie (por ejemplo, 1000 hPa) en la troposfera media y superior (500/250 hPa). Las primeras variables son predictores robustos para estudios sobre el cambio climático, mientras que las siguientes llevan la señal de cambio climático y, por lo tanto, deben ser considerados para estudios sobre el cambio climático.

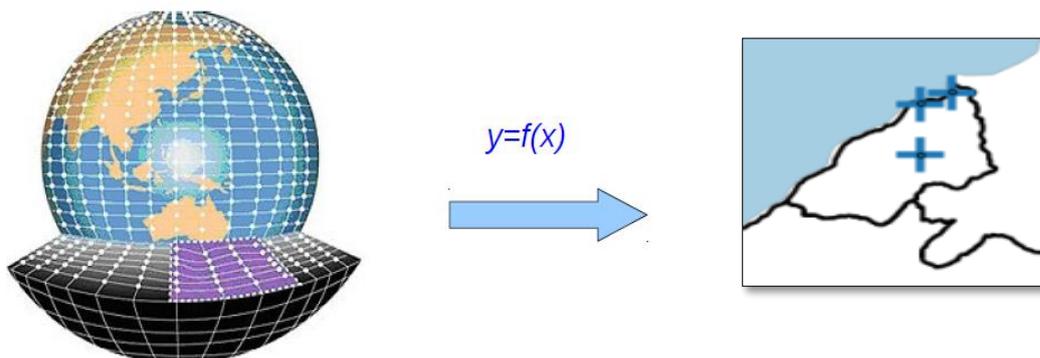


Figura N°4: Esquema de la regionalización estadística.

Fuente: Petra, 2011

En la Figura N° 4 se puede observar el esquema que se sigue para la regionalización estadística, donde se tiene que Y (predictando) son los valores locales observables y x (predictor) son las variables atmosféricas a gran escala, suministrado por modelos globales.

2.2.4 Evaluación de Incertidumbres

Las distintas técnicas de regionalización (estadística y dinámica) contribuyen a la incertidumbre con fuentes de error adicionales. Los métodos estadísticos sufren, en su capacidad predictiva, la limitación específica debida a que las relaciones entre las variables a gran escala y las variables locales no tienen por qué mantenerse frente a cambios en el clima; mientras que, los métodos dinámicos a través de los modelos regionales añaden fuentes de error adicionales y similares a los modelos globales con los que son forzados, y algunas específicas a la simulación a escala regional como la incertidumbre en el forzamiento radiativo asociada a la distribución espacio-temporal de aerosoles que tiene una relevancia especial a escala regional debido a la heterogeneidad del forzamiento y la respuesta. Otro aspecto que incide de forma importante en estas escalas regionales son las variaciones en los usos de suelo y el realismo en los modelos de suelo.

En consecuencia, para reducir la incertidumbre en las técnicas de regionalización evaluadas, los resultados de las metodologías y modelos fueron promediados y expresados en términos de cambios de precipitación (%) promedio y cambios de temperatura del aire (°C) promedio para el periodo 2016-2045 centrado en el año 2030 relativo al clima actual (clima base 1981-2005) a nivel anual y para los trimestres: diciembre-enero-febrero (verano DEF), marzo-abril-mayo (otoño MAM), junio-julio-agosto (invierno JJA) y setiembre-octubre-noviembre (primavera SON) a escala regional.

El IPCC (2007) recomienda representar la incertidumbre cuantitativamente mediante intervalo de valores calculados por diferentes modelos, diferentes escenarios de emisiones, diferentes técnicas de regionalización o diferentes miembros “ensemble”; para las incertidumbres utilizaremos el modelo de consenso RCP8.5, modelo AMICAF RCP-8.5 y el modelo regional WRF con 16Km de resolución y con un escenario RCP8.5.

Modelos	Metodología	Resolución (Km)	RCP	Precipitación	Temperatura
REA	consenso	16	8.5	x	x
Estadístico	Modelo global	A punto de estación	8.5	x	x
WRF	Modelo global	16	8.5	x	x
AMICAF	Modelo global	A punto de estación	8.5	x	x
AMICAF	Modelo global	A punto de estación	4.5	x	x
REMO	Modelo global	50	8.5		x
ETA	Modelo global	200	8.5		x
HadGEM	Modelo global		8.5		x

Cuadro 2. Modelos utilizados en la comparación de incertidumbres

El reconocimiento de la existencia de las incertidumbres en las proyecciones climáticas no elimina su utilidad. No se debe pensar que el incremento de la incertidumbre nos lleva a un desconocimiento de lo que pasara. Es necesario tener una idea de la magnitud de la señal y de la incertidumbre para dar el valor a las proyecciones climáticas, es ahí donde radica el reto de los tomadores de decisiones, saber

usar estas incertidumbres y aplicarlas en las planificación de medidas de adaptación y mitigación en la región Piura.

CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA

3.1 Caracterización Climática de la Precipitación en Piura

3.1.1 Distribución Temporal de la precipitación

La precipitación en la región Piura comprende dos períodos bien diferenciados en el año, un período lluvioso que inicia en diciembre y termina en abril, y un período de ligeras precipitaciones que comprende desde julio hasta noviembre. Dentro del período lluvioso, en los meses de otoño (MAM) es en donde se registran las mayores precipitaciones y en el período de estiaje, los meses de invierno (JJA) son los que registran bajas precipitaciones.

Tabla N°3: Climatología del promedio acumulado anual (mm año⁻¹) y estacional (mm trimestre⁻¹) de la precipitación de la región Piura.

ESTACIONES	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
Miraflores	177.95	74.61	104.30	5.33	2.13
Mallares	197.03	85.26	116.09	0.68	2.12
La Esperanza	98.33	34.11	56.82	7.04	0.86
Chusis	66.85	31.27	34.70	1.64	2.17
Morropón	397.16	148.83	237.72	3.49	4.16
Ayabaca	1273.51	512.09	609.77	41.94	124.54
Sausal de culucan	320.77	135.27	151.32	9.00	37.52
Huancabamba	513.60	182.19	182.85	39.64	109.96
San Miguel	124.33	53.73	68.10	0.39	1.85
Huarmaca	1006.45	431.78	480.96	25.81	89.97
Chulucanas	425.13	164.58	238.83	9.15	4.25
San Pedro	609.97	263.24	354.44	8.33	8.36
Bernal	58.51	32.72	27.37	0.49	1.39
Pananga	265.94	111.17	149.23	3.72	1.80
Lancones	360.45	137.39	216.89	7.97	2.08
Sapillica	663.80	275.54	366.07	13.88	18.04
Santo Domingo	1238.87	505.84	656.85	19.21	56.16
Hacienda Bigote	461.84	207.79	262.76	0.59	5.19
Chalaco	968.06	427.46	460.39	18.32	66.13
Pacaypampa	952.09	358.64	441.04	30.41	127.90
Sondorillo	352.81	126.01	128.67	16.38	80.30
Tuluce	1195.69	371.38	409.45	210.42	222.35
Hacienda Shumaya	942.72	269.99	317.22	180.48	188.64

En la Tabla N°3 se muestran los valores climatológicos a nivel estacional y anual por cada estación meteorológica ubicada en la región Piura, el periodo analizado es 1971-2000.

En la Figura N°5, se observa el ciclo anual de la precipitación en la región Piura, donde las mayores precipitaciones ocurren en los meses de febrero y marzo, y las menores a escasas precipitaciones en los meses de julio y agosto.

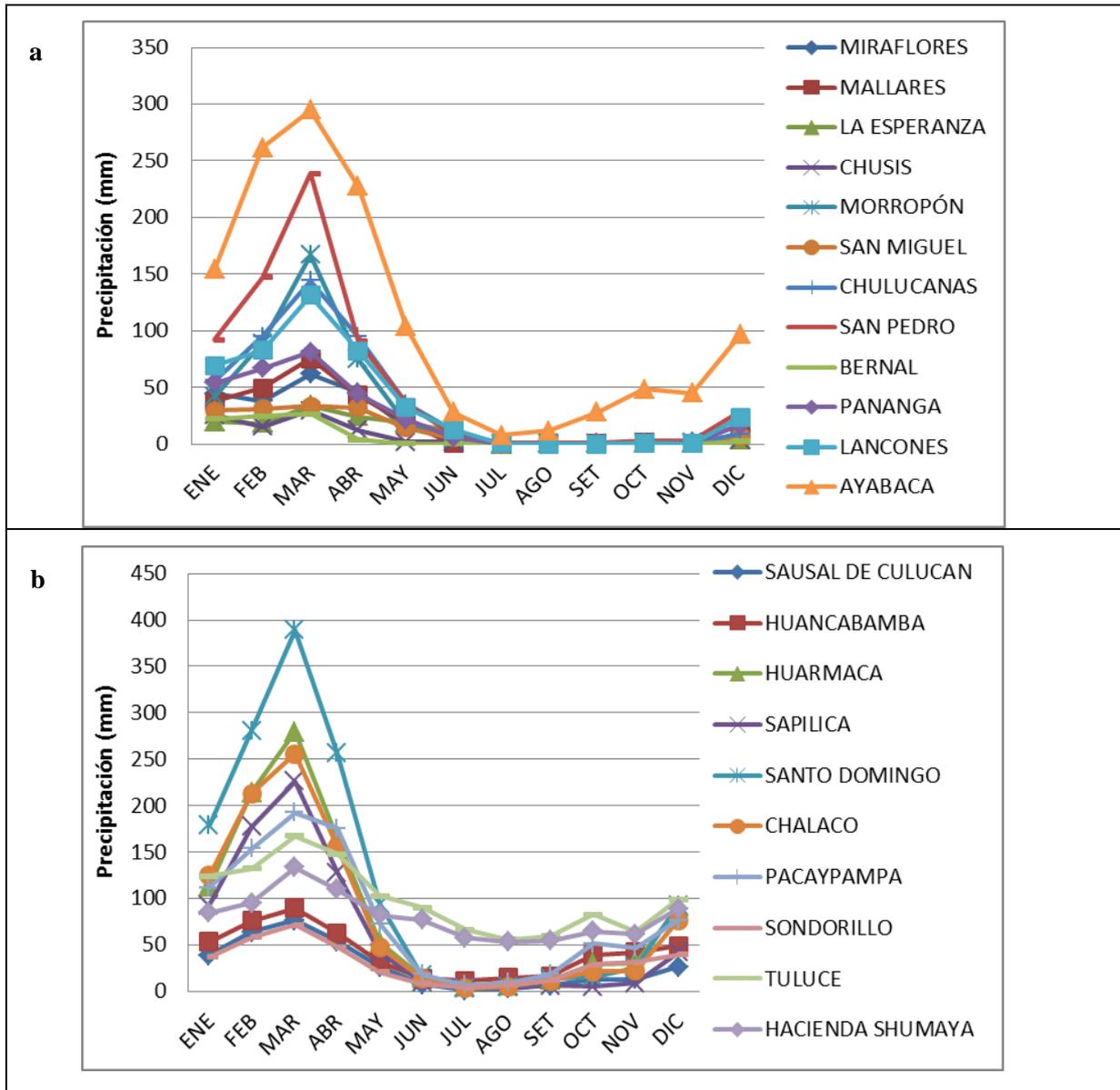


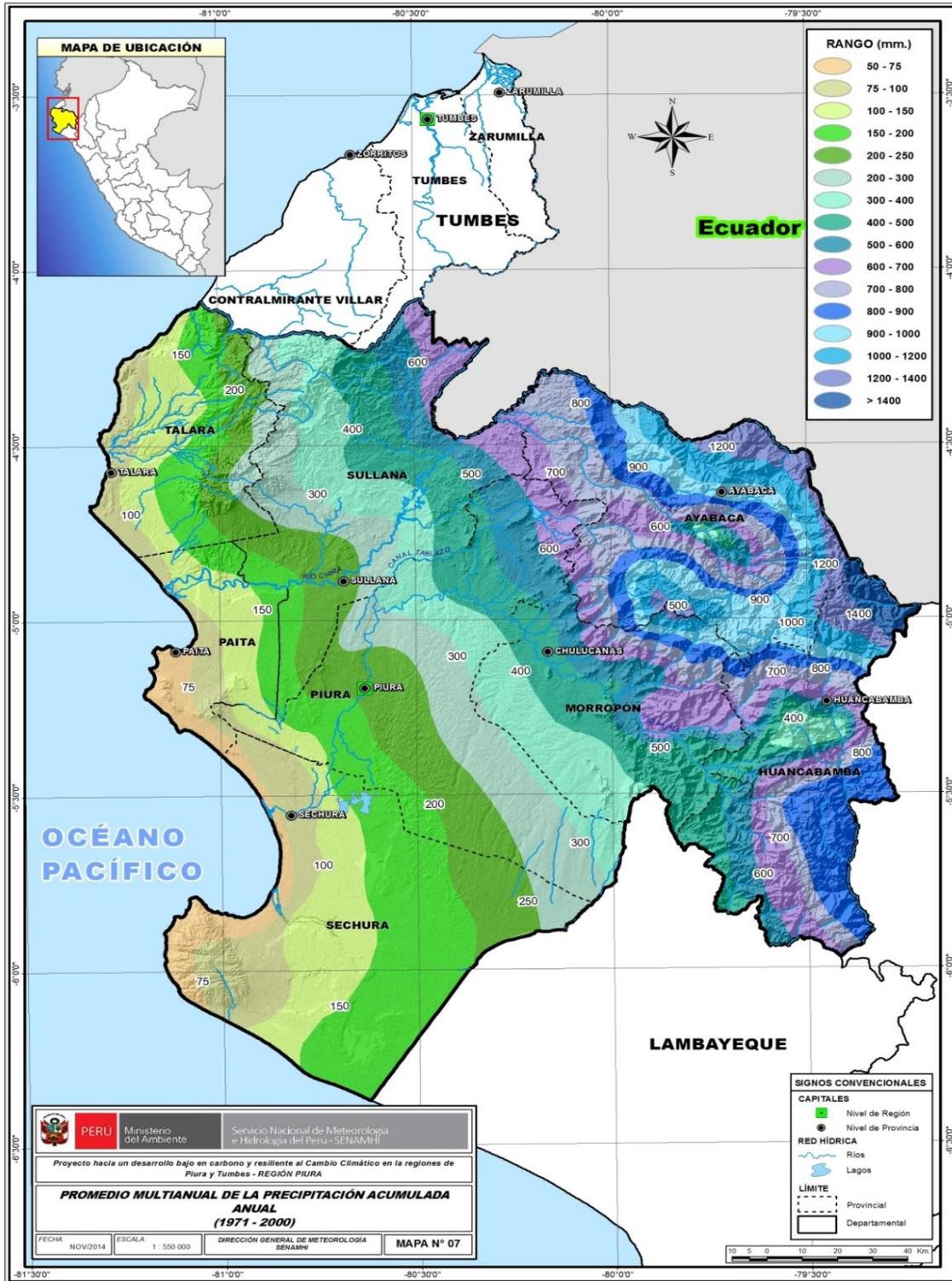
Figura N°5: Ciclo anual de la precipitación en mm mes⁻¹.

3.1.2 Distribución Espacial de la precipitación

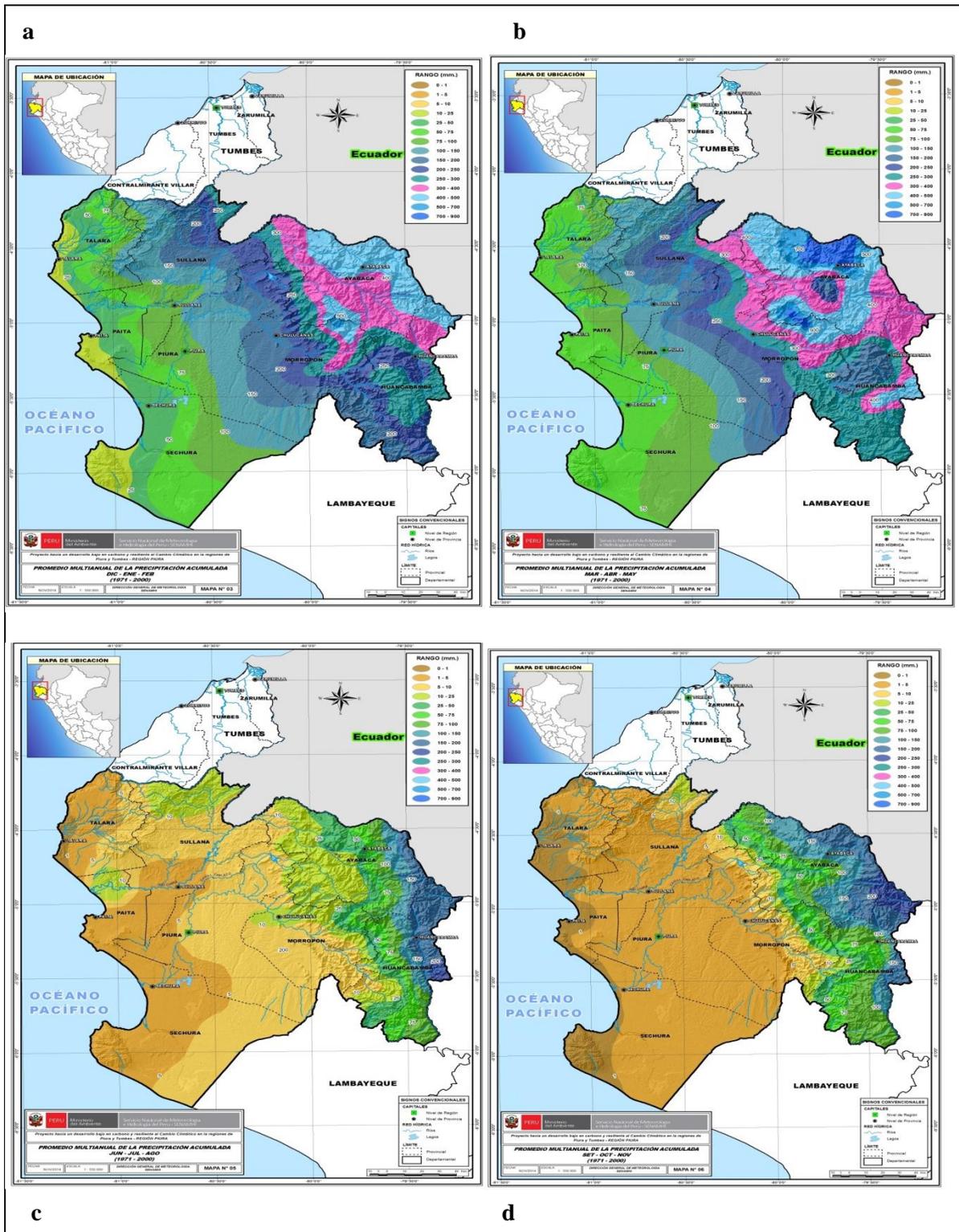
El periodo de lluvias a nivel nacional se inicia en el mes de setiembre y culmina en mayo del siguiente año, usualmente las lluvias de verano en este sector son productos de trasvases de humedad provenientes de las zonas alto andinas de la sierra ecuatoriana.

En relación a su ciclo anual las lluvias a lo largo del litoral no superan los 100 mm al año, en tanto que hacia el este las lluvias se ven incrementadas acumulando valores hasta de 1400 mm (Ver Mapa 3).

La precipitación acumulada durante los meses de DEF fluctúa entre 33 y 500 mm siendo más intensas al este de la región (Ver Mapa 4a), durante el trimestre MAM las lluvias registran cantidades más altas las cuales oscilan entre 73 y 700 mm (Ver Mapa 4b). A lo largo del trimestre JJA la región presenta ausencia de lluvias en la zona costera y media, alcanzando en las zonas alto andinas valores por debajo de los 200 mm (Ver Mapa 4c). Para el trimestre SON persiste la ausencia de lluvias en la zona costera y media de la región, totalizando en las zonas alto andinas lluvias acumuladas inferiores a los 206 mm (Ver Mapa 4d).



Mapa 3. Promedio Multianual de la Precipitación Acumulada Anual



Mapa 4. Promedio Multianual de la Precipitación a) DEF b) MAM c) JJA d) SON

Durante el año El Niño 1997-1998, las precipitaciones más intensas se registraron en la zona costera (Figuras N°6 y N°7), totalizando durante el periodo de lluvias cantidades hasta 9 veces más de lo normal (Ver Cuadro 3). Las zonas medias del departamento totalizaron cantidades de hasta 3767.6 mm, (Santo Domingo), valor que representa el doble de lo esperado. Localidades alto andinas como Ayabaca registraron 60% más de lo climáticamente esperado (Ver Cuadro N°3).

Se ha observado que durante los años La Niña las lluvias en la zona costera son similares a su patrón climático, en tanto que en las zonas medias del departamento estas se ven incrementadas hasta en 170% más de lo esperado (Chalaco), las zonas más altas como Ayabaca registran igualmente cantidades superiores durante el evento, alcanzando valores de hasta 124 mm en 24 horas (Ayabaca, La Niña 1999 -2000), acumulando a lo largo del periodo de lluvias cantidades superiores a su normal pero en menor intensidad que en un año El Niño (Ver Cuadro 3).

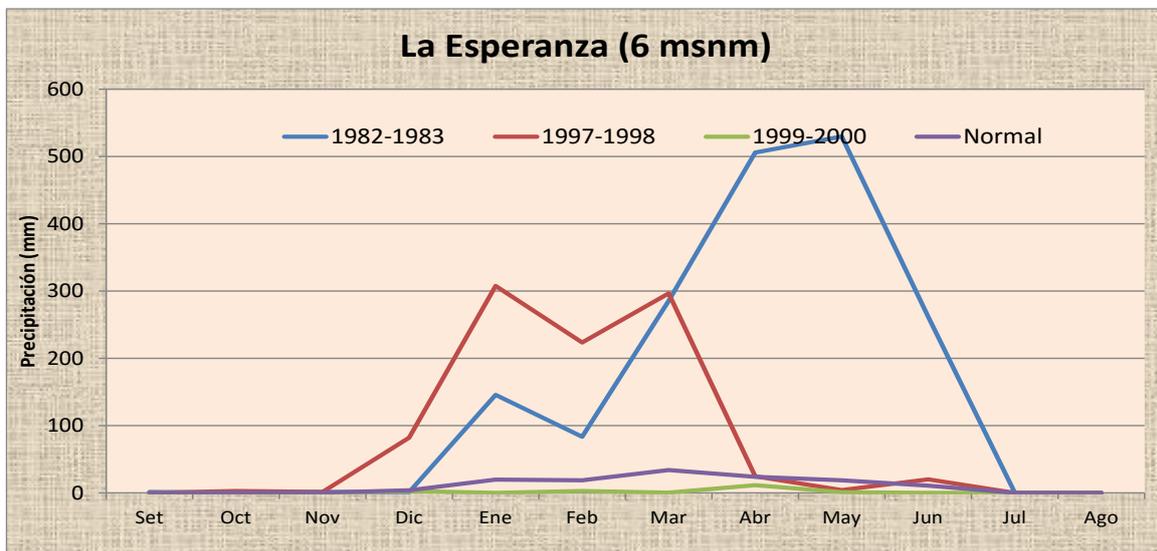


Figura N°6: Distribución mensual de la precipitación en años El Niño (1982-83; 1997-98), La Niña (1999 – 2000) y Normal – Estación La Esperanza.

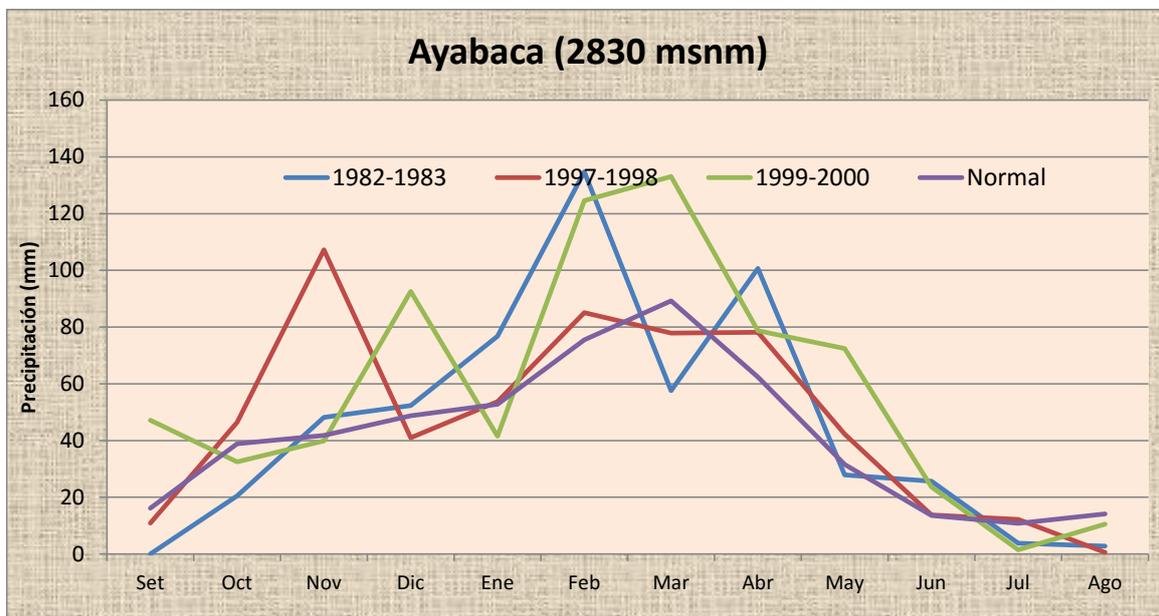


Figura N°7: Distribución mensual de la precipitación en años El Niño (1982-83; 1997-98), La Niña (1999- 2000) y Normal – Estación Ayabaca.

Estación	Altura msnm	PP Normal (mm)	El Niño 1997-1998 (mm)	La Niña 2000-2001 (mm)
Puerto Pizarro	7,0	424,8	3223,8	380
Papayal	45,0	552,9	2436,5	492,2
El Tigre	61,0	440,2	2609,2	509,8
Cañaverl	159	422.7	1683.8	644.2

Cuadro 3. Precipitaciones más intensas durante los eventos El Niño y La Niña.

3.2 Caracterización Climática de la Temperatura Máxima en Piura

3.2.1 Distribución Temporal de la Temperatura Máxima

El comportamiento de la temperatura máxima durante el año, varía entre los 16.8°C y 33.42°C entre todas las estaciones (Ver Tabla N°4). También se puede apreciar que en general la estación de verano (DEF) es la más cálida de todo el año, aunque este comportamiento no se cumple en todas las estaciones; mientras que, los valores más bajos de temperatura máxima se tienen en la estación de invierno (JJA).

En la Tabla N°4 se muestran los valores climatológicos a nivel estacional y anual por cada estación meteorológica ubicada en la región Tumbes. El período analizado es 1971-2000.

Tabla N°4: Climatología de la temperatura máxima media anual (°C) y estacional (°C) de la región Piura

ESTACIONES	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
Miraflores	30.6	33.0	32.3	27.9	29.4
Mallares	31.3	33.2	32.7	28.9	30.4
La esperanza	28.1	29.9	30.3	26.2	26.3
Chusis	28.7	30.9	30.9	26.1	26.9
Morropón	31.7	32.8	32.0	29.9	32.0
Ayabaca	17.6	16.8	17.0	18.1	18.3
Sausal de culucan	28.3	28.0	28.0	28.2	28.9
Huancabamba	24.1	24.4	24.1	23.2	25.0
San miguel	30.5	32.9	32.1	27.7	29.3
Huarmaca	19.3	17.6	18.9	21.0	19.6
Chulucanas	32.2	33.4	32.7	30.3	32.5
Bernal	29.8	32.4	31.6	27.2	28.3
Lancones	31.4	33.3	32.9	29.1	30.7
Santo domingo	21.7	21.2	21.3	21.9	22.0
Chalaco	19.9	18.5	19.3	20.7	20.9
Pacaypampa	26.3	25.4	25.3	27.4	27.3
Sondorillo	25.5	25.9	25.6	24.5	26.1

A nivel mensual la temperatura máxima es más alta en los meses de febrero y marzo; mientras que, las temperaturas máximas más bajas se presentan en los meses de julio y agosto (Ver Figura N°8) , a excepción de las estaciones Ayabaca, Huancabamba y Huarmaca que están ubicadas en zonas altoandinas y presenta un comportamiento particular, Ayabaca registra altas temperaturas en agosto y setiembre, y bajas temperaturas en enero y febrero; Huarmaca registra temperaturas máximas más altas en el trimestre JJA, y más bajas en enero y febrero; mientras que, Huancabamba registra valores altos de temperatura máxima en setiembre, octubre y diciembre.

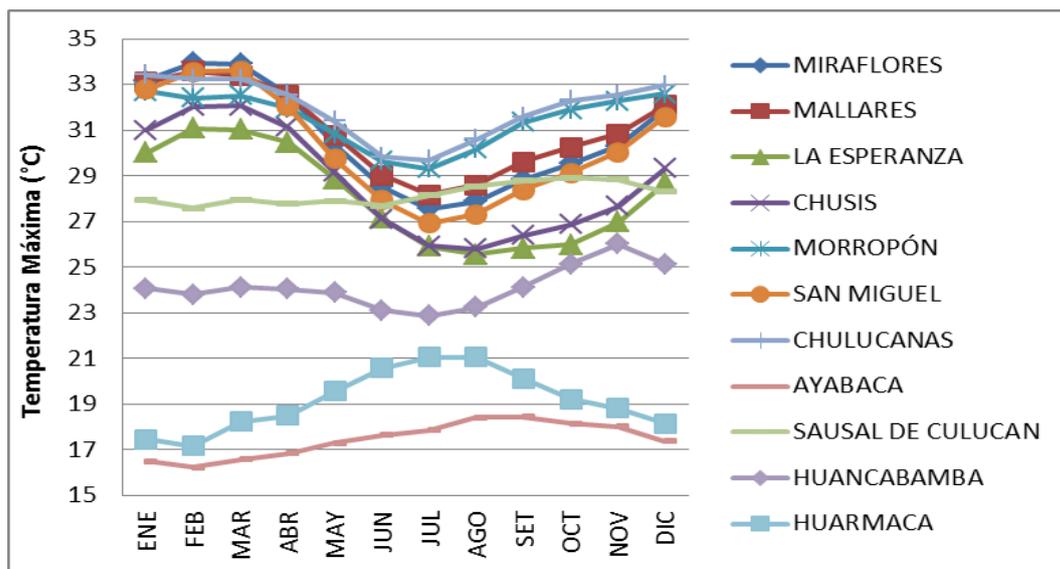
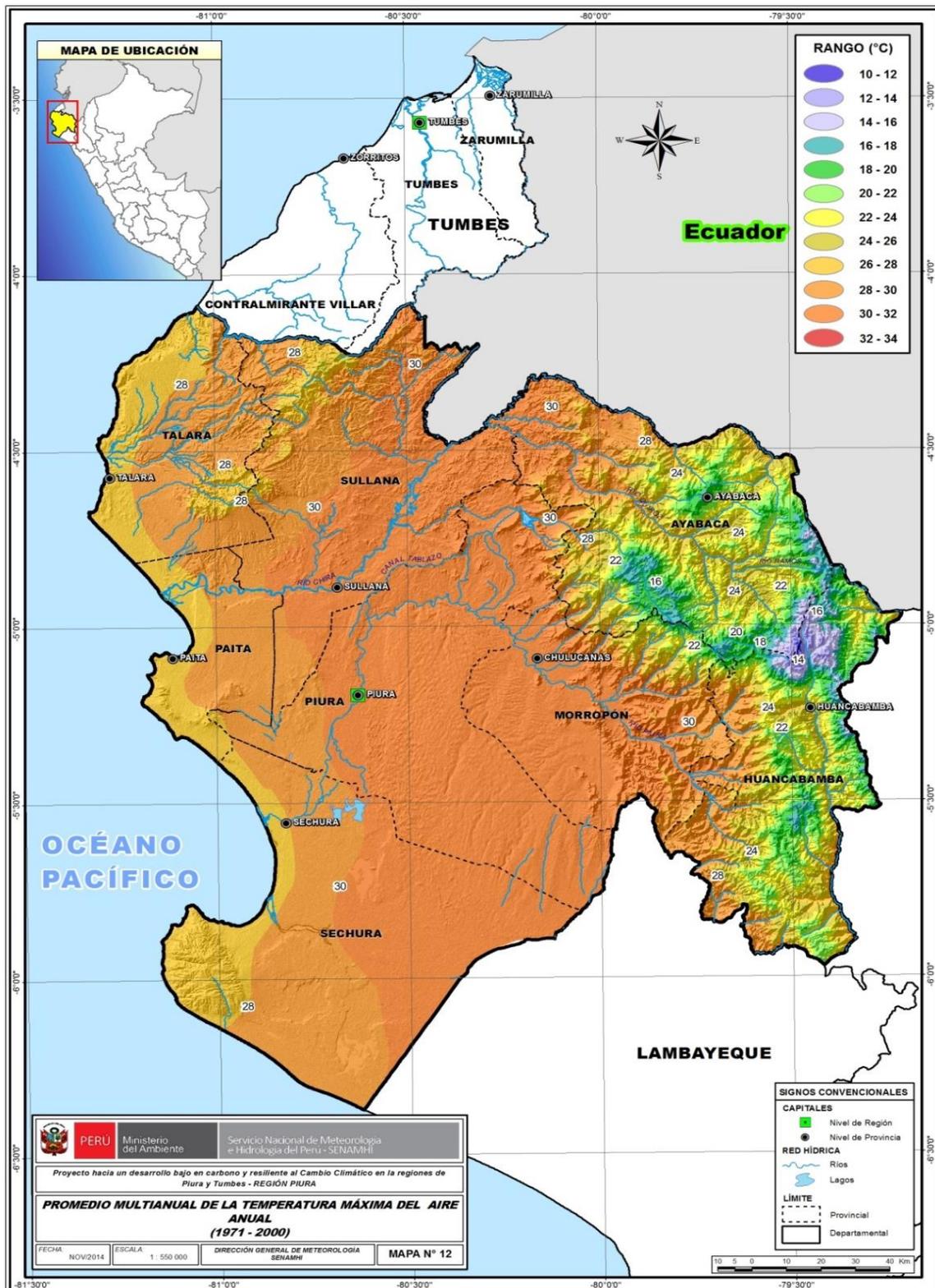


Figura N°8: Ciclo anual de la temperatura máxima en °C.

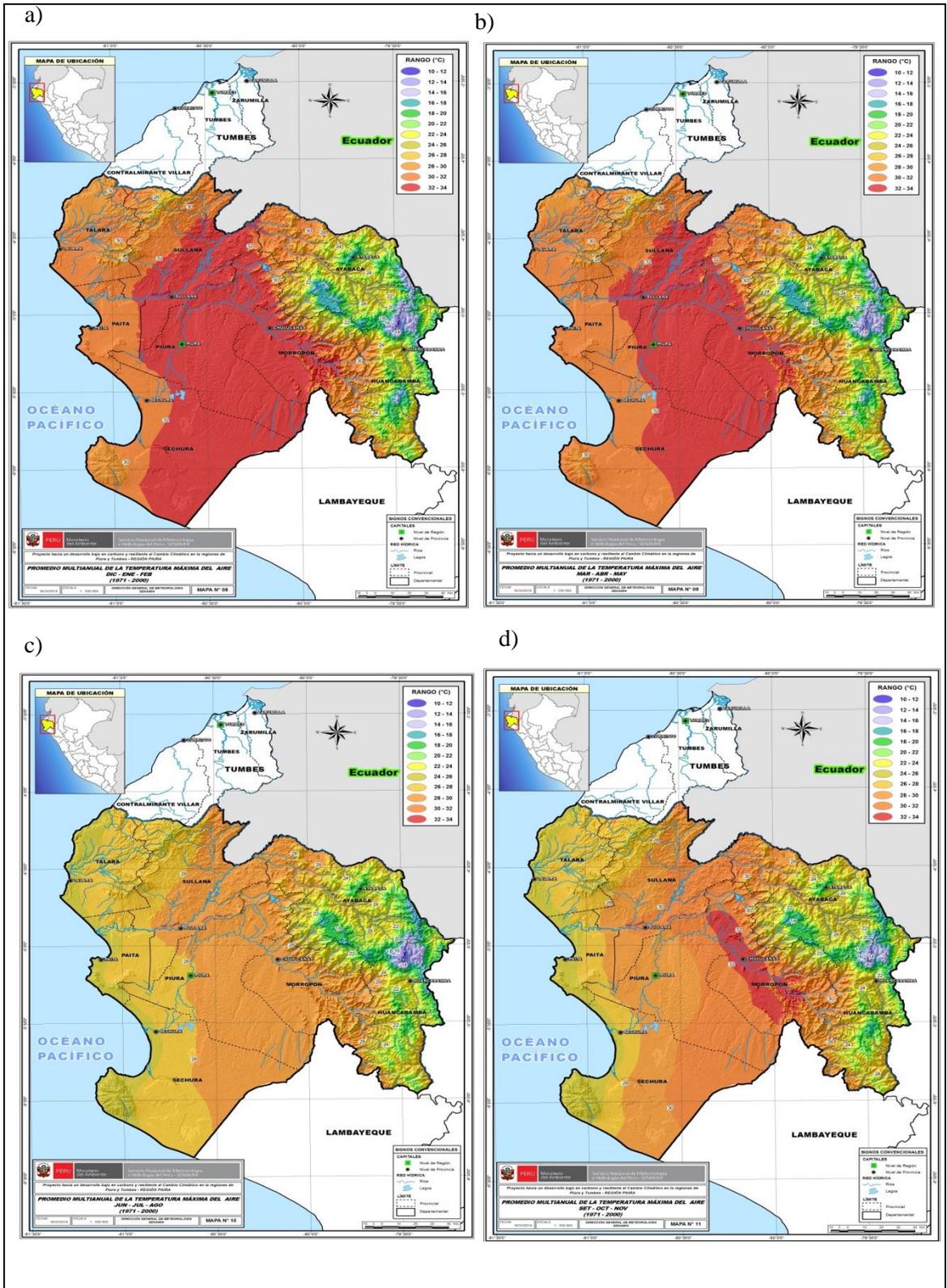
3.2.2 Distribución Espacial de la Temperatura Máxima

A nivel anual las temperaturas máximas en el del litoral y la zona costera del departamento registran durante el año temperaturas que oscilan entre 28° y 34.0°C (Ver Mapa 5), como temperatura máxima absoluta se ha registrado 39.2°C en la estación Chulucanas en febrero del 2007, año catalogado como normal; es decir, sin la presencia del Fenómeno El Niño, que por lo general es durante este fenómeno donde se observan las temperaturas más altas en la región, estos eventos aislados se han vuelto más recurrentes en los últimos años. En el sector sierra del departamento las temperaturas máximas fluctúan entre 15.0° y 26°C, presentándose los valores más altos durante los meses de invierno que es donde se tiene mayor presencia de cielo despejado.

Las temperaturas más intensas a lo largo de todo el año se registran en zona media de la región. Los promedios estacionales de los trimestre DEF y MAM, presentan un rango similar, donde las temperaturas varían entre los 16 y 32°C durante los trimestres JJA y SON el rango de temperaturas oscilan entre 14 y 32°C (Ver Mapas 6c y 6d), donde se observa un cambio marcado en la zona costera y media de la región respecto a los trimestres DEF y MAM (Ver Mapa 6 a y 6b)



Mapa 5. Promedio Multianual de la Temperatura Máxima Anual



Mapa 6. Promedio Multianual de la Temperatura Máxima a) DEF b) MAM c) JJA d) SON

3.3 Caracterización Climática de la Temperatura Mínima en Piura

3.3.1 Distribución Temporal de la Temperatura Mínima

El comportamiento de la temperatura mínima durante el año, varía entre los 9.18°C y 21.48°C entre todas las estaciones (Ver Tabla N°5). También se puede apreciar que la estaciones de verano (DEF) y de otoño (MAM) son las más cálidas de todo el año; mientras que los valores más bajos de temperatura mínima se tienen en la estación de invierno (JJA).

En la Tabla N°5 se muestran los valores climatológicos a nivel estacional y anual por cada estación meteorológica ubicada en la región Tumbes. El periodo analizado es 1971-2000.

Tabla N°5: Climatología de la temperatura mínima media anual (°C) y estacional (°C) de la región Piura

ESTACIONES	ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
Miraflores	19.4	21.5	21.1	17.3	17.5
Mallares	19.3	21.3	21.1	17.5	17.6
La esperanza	19.5	21.3	21.4	17.7	17.6
Chusis	19.1	20.9	20.8	17.4	17.3
Morropón	18.5	20.6	20.3	16.3	16.7
Ayabaca	9.5	9.6	10.0	9.2	9.4
Sausal de culucan	17.0	17.7	17.9	16.0	16.4
Huancabamba	12.6	12.9	13.0	12.1	12.4
San miguel	18.7	20.7	20.4	16.7	16.9
Huarmaca	12.1	11.8	12.6	12.3	11.6
Chulucanas	18.7	20.8	20.4	16.5	16.9
Bernal	19.0	21.1	20.6	17.5	17.1
Lancones	18.7	20.7	20.9	16.7	17.0
Santo domingo	14.6	14.4	14.8	14.6	14.7
Chalaco	10.3	10.7	11.0	9.4	10.1
Pacaypampa	11.9	12.2	12.4	11.1	11.8
Sondorillo	14.0	14.0	14.3	13.8	13.9

La temperatura mínima tiene los valores más altos en los meses de febrero y marzo; mientras que, presenta mínimos valores en los meses de julio y agosto (Ver Figura N°9). a excepción de las estaciones Ayabaca y Huancabamba, donde se tiene temperatura casi constante durante todo el año y registran los valores más bajos de toda la región.

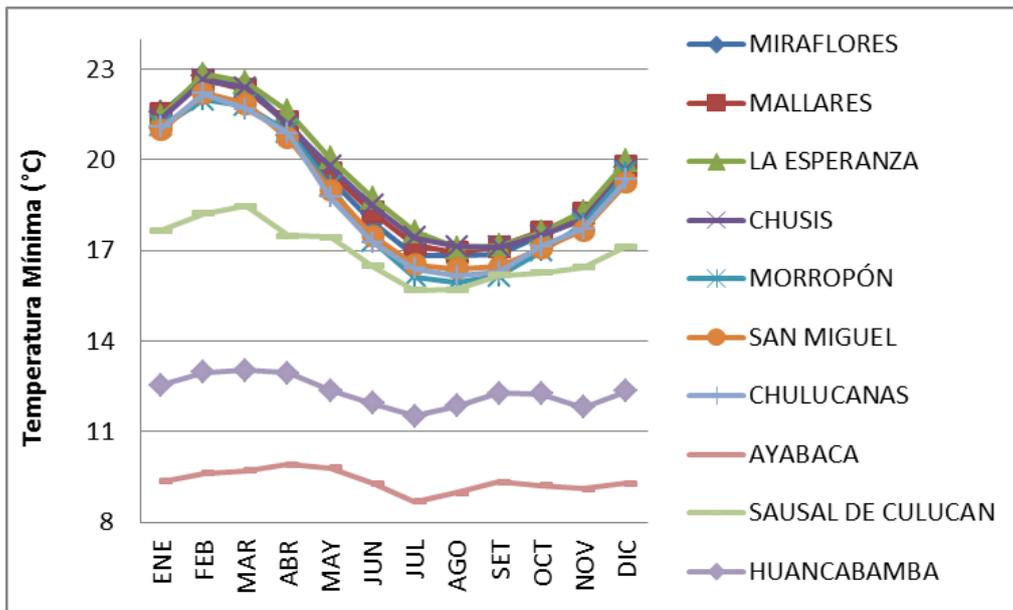
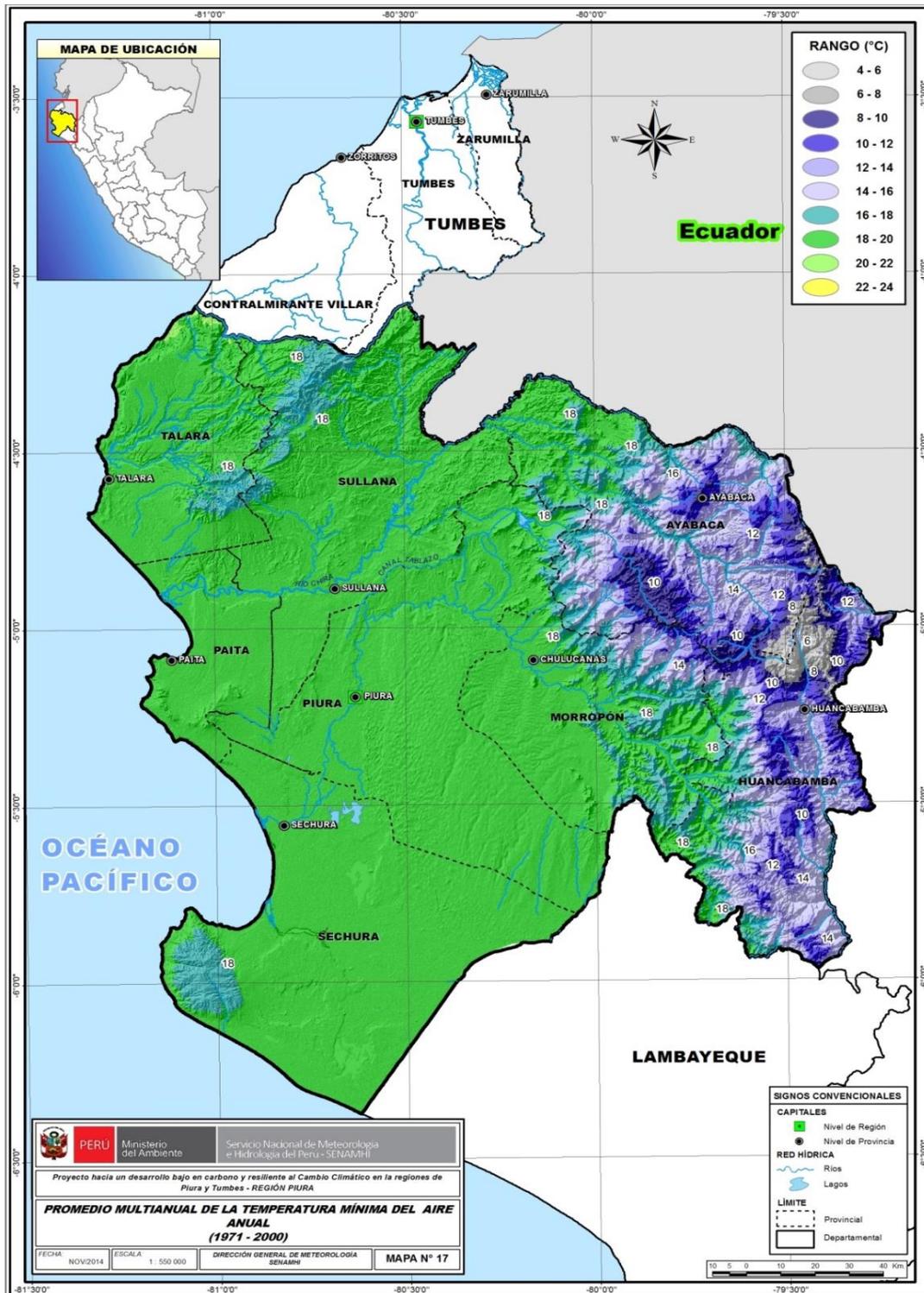


Figura N°9: Ciclo anual de la temperatura mínima en °C.

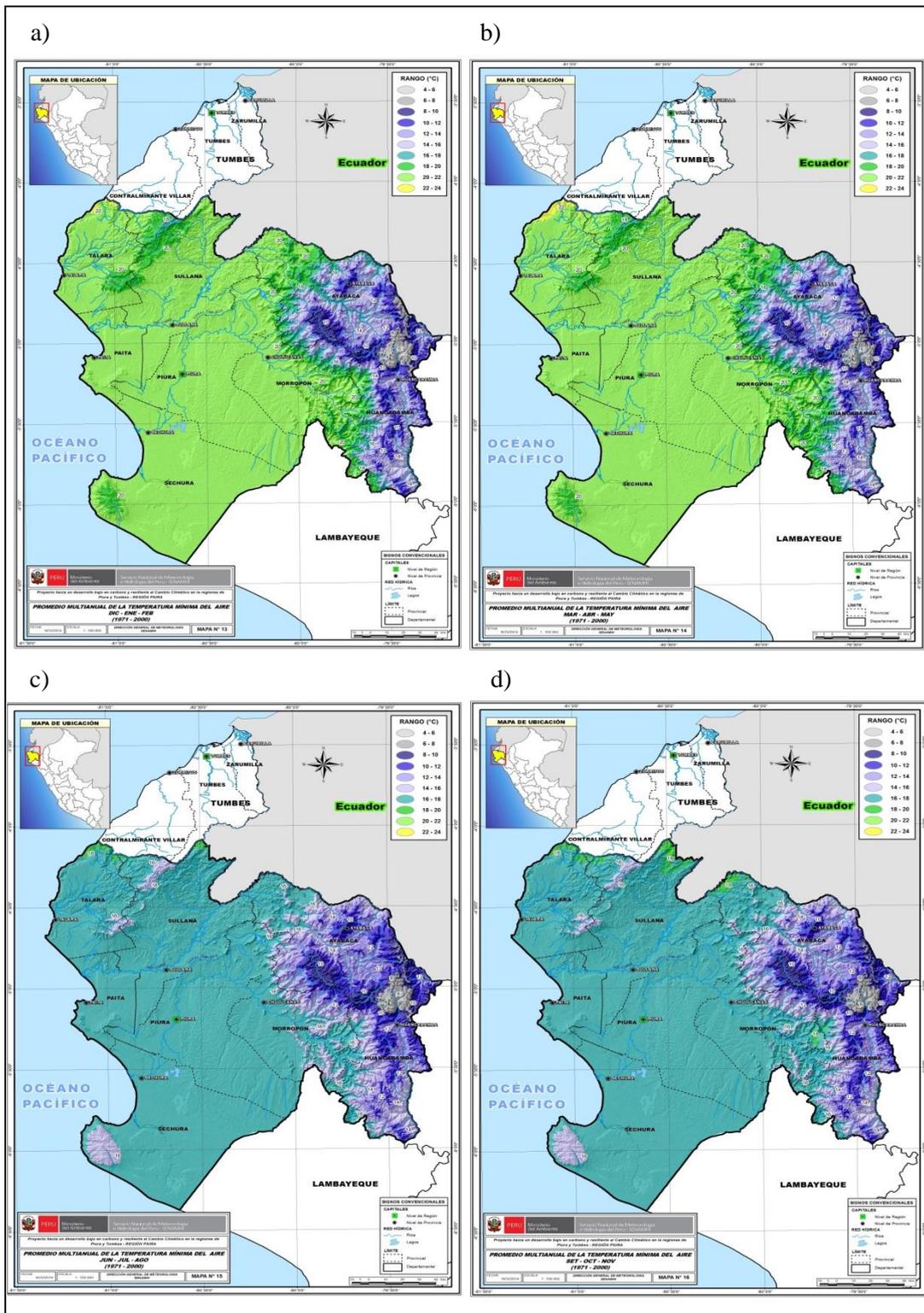
3.3.2 Distribución Espacial de la Temperatura Mínima

A nivel anual se observa que en la zona costera y media del departamento las temperaturas mínimas fluctúan entre 16° y 20°C en años La Niña se observa que las temperaturas mínimas logran descender hasta los 8°C (Estación Chusis). En las zonas alto andinas las temperaturas mínimas oscilan entre 6.9° y 13 °C, en cuanto a las mínimas absolutas, tenemos registros de hasta 1° y 1.8° C, en las localidades de Alto de Poclus (Ayabaca) ubicada a 3070 msnm y Frías ubicada a 3093 msnm (Ayabaca), respectivamente. No se descarta la presencia de heladas meteorológicas en los puntos más altos de la región, como Cerro Negro (Ayabaca) ubicada a 3990 msnm (Ver Mapa 7).

A lo largo de todo el año los valores más altos de temperaturas mínimas se presentan en la zona costera de la región. Los promedios estacionales de los trimestre DEF y MAM, presentan un rango similar, donde las temperaturas oscilan entre los 6 y 22°C (Ver Mapa 8a y 8b), durante los trimestres JJA y SON el rango de temperaturas oscilan entre 6 y 18°C, registrándose los valores más bajos en las localidades de Frías, Ayabaca y Salala (Ver Mapas 8c y 8d).



Mapa 7. Promedio Multianual de la Temperatura Mínima



Mapa 8. Promedio Multianual de la Temperatura Mínima a) DEF b) MAM c) JJA d) SON

3.4 Tendencias Climáticas

En este capítulo se presenta las tendencias de la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima histórica y de sus extremos climáticos, en la escala anual y estacional.

Estos análisis permiten detectar posibles cambios en los patrones climáticos en la región de Tumbes, a partir de los datos observados en el periodo 1964-2013. Para este análisis se consideró las series históricas con eventos extremos como El Niño y La Niña.

3.4.1 Tendencias observadas de Precipitación

3.4.1.1 Tendencia Anual

La tendencia de la precipitación en las diferentes estaciones, reporta una tendencia positiva en casi toda la región, a excepción de la estación Chusis, que presenta una disminución no significativa de -1 mm por década; y la mayoría con una tendencia no significativa (NS). Las estaciones con tendencias significativas son: Pananga, La Esperanza, Morropón, Hacienda Bigote, Ayabaca, Sausal de Culucan y Santo Domingo. El aumento de la precipitación va desde los -1 mm década⁻¹ hasta los 135 mm década⁻¹ (Santo Domingo).

Tabla N°6: Tendencia anual de la precipitación (mm/década) y significancia (%) en la región Piura

ESTACIONES	Período	Tendencia (mm década ⁻¹)	Significancia %
MIRAFLORES	1964-2014	2	NS
MALLARES	1964-2014	7	NS
LA ESPERANZA	1964-2014	3	90
CHUSIS	1964-2014	-1	NS
MORROPÓN	1964-2014	46	95
AYABACA	1964-2014	74	95
SAUSAL DE CULUCAN	1964-2014	25	90
HUANCABAMBA	1964-2014	19	NS
SAN MIGUEL	1964-2014	5	NS
HUARMACA	1964-2014	45	NS
CHULUCANAS	1964-2014	24	NS
SAN PEDRO	1964-2014	43	NS
BERNAL	1964-2014	3	NS
PANANGA	1964-2014	22	95
LANCONES	1964-2014	18	NS
SAPILICA	1964-2014	49	NS
SANTO DOMINGO	1964-2014	135	95
HACIENDA BIGOTE	1964-2014	40	90
CHALACO	1964-2014	49	NS
PACAYPAMPA	1964-2014	12	NS
SONDORILLO	1964-2014	6	NS
TULUCE	1964-2014	29	NS
HACIENDA SHUMAYA	1964-2014	7	NS

Leyenda: Nivel de significancia No Significativo (NS), nivel de significancia 90% (+), nivel de significancia 95% (*), nivel de significancia 99% (**), nivel de significancia 99.9% (***)

3.4.1.2 Tendencia Estacional

En la Tabla N°7 se muestran las tendencias estacionales y su significancia. De todo el grupo de estaciones analizadas, en la estación de verano (DEF) se tiene que en toda la región la tendencia es creciente, a excepción de la estación Chusis que no muestra cambios significativos. En la estación de otoño (MAM) se tiene que toda la región presenta un aumento de precipitación, a excepción de las estaciones Huancabamba y Sondorillo, ambas estaciones ubicadas al sureste de la región que presentan una tendencia de disminución no significativa de la precipitación, de -2.5 mm década⁻¹ y -1.3mm década⁻¹ respectivamente. En invierno (JJA) se tiene que gran parte de la región presenta tendencia negativa y otro porcentaje no muestra cambios en el régimen de precipitación, solo Huarmaca, Sapilica y Tuluze presentan disminuciones significativas de la precipitación de -3.6, -3.9 y -14.5 por década, respectivamente. Finalmente en primavera (SON) se tiene tanto tendencias negativas como positivas en toda la región, lo que podría deberse a las características locales de cada estación, al igual que en algunas estaciones no se presentan cambios en la variable.

Tabla N°7: Tendencia estacionales de la precipitación (mm/década) y significancia (%) en la región Piura

Estación	DEF		MAM		JJA		SON	
	Tend.	Sig.	Tend.	Sig.	Tend.	Tend.	Sig.	Tend.
MIRAFLORES	2.9	NS	0.7	NS	0	NS	0	NS
MALLARES	2.0	NS	1.9	NS	0	NS	0	NS
LA ESPERANZA	1.3	NS	0.8	NS	0	NS	0	NS
CHUSIS	0.0	NS	1.0	NS	0	99	0	95
MORROPÓN	22.0	99	15.1	NS	0	NS	0.9	95
AYABACA	36.6	NS	35.4	NS	-0.7	NS	0	NS
SAUSAL DE CULUCAN	19.2	99	7.5	NS	-0.9	NS	1.6	NS
HUANCABAMBA	17.4	90	-2.5	NS	-2.2	NS	9.1	NS
SAN MIGUEL	2.0	NS	3.2	95	0	95	0	NS
HUARMACA	39.1	95	20.6	NS	-3.6	95	-6.6	NS
CHULUCANAS	1.9	NS	0.0	NS	0.0	NS	1	90
SAN PEDRO	18.3	NS	21.9	NS	-1.0	NS	0.8	NS
BERNAL	0.8	NS	1.9	90	0	90	0	NS
PANANGA	10.2	95	11.6	95	0	NS	0	99,9
LANCONES	6.8	NS	8.9	NS	0	NS	0	NS
SAPILICA	20.4	NS	31.4	NS	-3.9	99,9	-2.1	90
SANTO DOMINGO	54.0	95	72.3	90	0	NS	4.1	NS
HACIENDA BIGOTE	30.0	95	28.2	90	0	95	2.1	99,9
CHALACO	41.4	99	13.4	NS	0.0	NS	5.4	NS
PACAYPAMPA	20.1	NS	4.8	NS	-2.4	NS	-3.1	NS
SONDORILLO	1.4	NS	-1.3	NS	0	NS	0	NS
TULUCE	36.9	99	7.8	NS	-14.5	90	-2.2	NS
HACIENDA SHUMAYA	13.8	NS	14.5	NS	-4.9	NS	-1.5	NS

Leyenda: Nivel de significancia No Significativo (NS), Nivel de significancia 90% (+),

Nivel de significancia 95% (*), Nivel de significancia 99% (**), Nivel de significancia 99.9% (***)

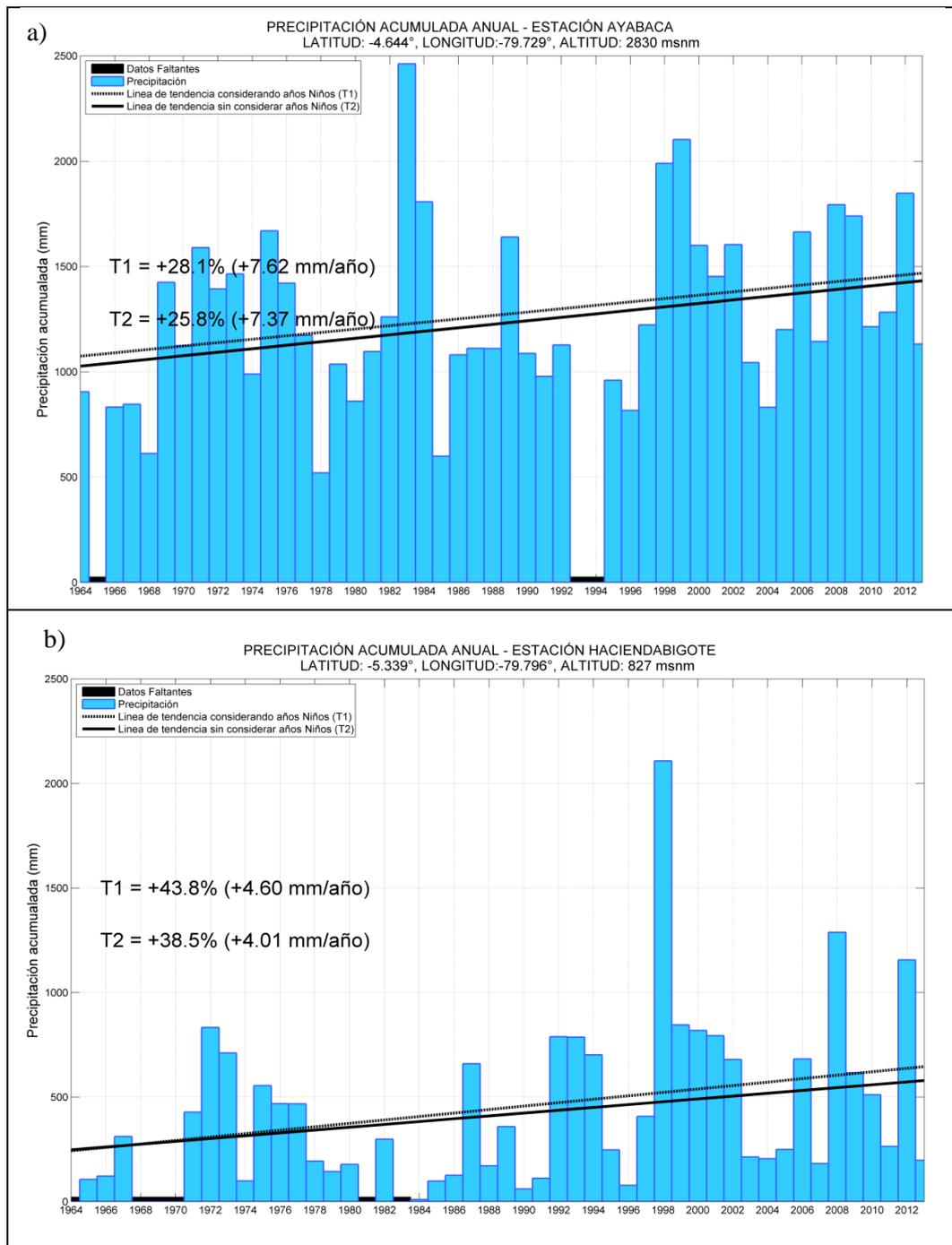


Figura N°10: Tendencia de la precipitación acumulada anual considerando años Niño y sin considerar años Niño (mm) de la estación Ayabaca (a) y Hacienda Bigote (b).

En la Figura N°10 se puede apreciar la serie climática y la tendencia positiva de la precipitación acumulada anual. Ayabaca presenta un 28% de aumento, donde se tiene 7.6 mm de aumento por año, considerando eventos cálidos como El Niño; mientras que la tendencia anual acumulada cuando no se consideran años Niño es de 26% con un aumento de 7.4 mm por año. En la estación Hacienda Bigote, se tiene un aumento de 4.60 mm de por año, considerando eventos cálidos como El Niño; mientras que, la tendencia anual acumulada cuando no se consideran años Niño es de 4 mm por año.

Estos resultados coinciden con las tendencias analizadas en la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (SENAMHI, 2009), donde se indica un incremento de la precipitación en la costa norte.

3.4.2 Tendencias observadas de la Temperatura Máxima

La tendencia anual y estacional de la temperatura máxima del aire se observa en las Tablas N°8 y N°9 respectivamente.

3.4.2.1 Tendencia Anual

En la Tabla N°8 se puede apreciar la tendencia anual de la temperatura máxima. Los cambios son entre negativos y positivos; Chusis, Mallares, Morropón, San Miguel, Chulucanas, Ayabaca, Sausal de Culucan y Huarmaca presentan pequeños aumentos significativos; mientras que, Lancones muestra una disminución significativa a razón de -0.1 mm por década.

Tabla N°8: Tendencia anual de las temperaturas máxima (°C) y de las significancias (%) en la región Piura.

ESTACIONES	Período	Tendencia (°C década ⁻¹)	Significancia %
MIRAFLORES	1964-2013	0	NS
MALLARES	1964-2013	0.05	99.9
LA ESPERANZA	1964-2013	-0.01	NS
CHUSIS	1964-2013	0.02	99
MORROPÓN	1964-2013	0.02	90
SAN MIGUEL	1964-2013	0.03	99
CHULUCANAS	1964-2013	0.03	99.9
BERNAL	1964-2013	0.06	NS
LANCONES	1964-2013	-0.12	95
AYABACA	1964-2013	0.02	99.9
SAUSAL DE CULUCAN	1964-2013	0.04	99.9
HUANCABAMBA	1964-2013	0.01	NS
HUARMACA	1964-2013	0.03	99
SANTO DOMINGO	1964-2013	-0.02	NS
CHALACO	1964-2013	-0.08	95
PACAYPAMPA	1964-2013	-0.10	NS
SONDORILLO	1964-2013	-0.08	NS

Leyenda: Nivel de significancia No Significativo (NS), Nivel de significancia 90% (+), Nivel de significancia 95% (*), Nivel de significancia 99% (**), Nivel de significancia 99.9% (***)

3.4.2.2 Tendencia Estacional

En la Tabla N°9 se muestran las tendencias estacionales y su significancia, de la variable temperatura máxima. El panorama general indica un aumento de las temperaturas máximas. En verano (DEF) los cambios significativos, solo muestran aumentos, a excepción de Sondorillo que presenta una tendencia significativa negativa de -0.15°C por década y otras estaciones que no presentan cambios. En otoño (MAM), se tiene tendencias similares a verano, los valores van desde los -0.1°C (Santo

Domingo) a 0.07°C (Mallares) por década. En invierno (JJA) se tiene mayormente tendencias positivas para toda la región a excepción de Miraflores, La Esperanza, Lancones, Chalaco, Sondorillo y Pacaypampa que muestran tendencias decrecientes no significativa (Chalaco es la excepción con un nivel de significancia de 90%). En primavera (SON) se tienen tendencias positivas en toda la región analizada, a excepción de las mismas estaciones con tendencia negativa en la estación de invierno, la mayor tasa de cambio se da en Sondorillo (sierra de Piura) con una decrecimiento de -0.1°C de temperatura máxima por década.

Tabla N°9: Tendencias estacionales de las temperaturas máxima (°C) y de las significancias (%) en la región Piura.

Estación	DEF		MAM		JJA		SON	
	Tend.	Sig.	Tend.	Sig	Tend.	Sig	Tend.	Sig
MIRAFLORES	0	NS	0.00	NS	-0.01	NS	0.00	NS
MALLARES	0.06	99.9	0.07	99.9	0.06	99.9	0.03	99.9
LA ESPERANZA	-0.01	NS	0.01	NS	-0.01	NS	-0.03	95
CHUSIS	0.03	99	0.02	95	0.02	90	0.02	99
MORROPÓN	0	NS	0.01	NS	0.03	95	0.03	99.9
SANMIGUEL	0.03	99	0.03	95	0.05	99	0.02	NS
CHULUCANAS	0.02	90	0.04	90	0.04	99	0.04	99.9
BERNAL	0.01	NS	0.03	NS	0.10	NS	0.05	NS
LANCONES	-0.09	NS	-0.14	NS	-0.07	NS	-0.07	NS
AYABACA	0	NS	0.02	99.9	0.02	99.9	0.03	99.9
SAUSAL DE CULUCAN	0.03	95	0.03	99.9	0.05	99.9	0.04	99.9
HUANCABAMBA	0	NS	0.01	NS	0.02	95	0.01	90
HUARMACA	0	NS	0.03	99	0.04	95	0.04	99.9
SANTO DOMINGO	0.1	NS	-0.1	NS	0.02	NS	0.06	NS
CHALACO	-0.1	NS	-0.11	NS	-0.07	90	-0.10	NS
PACAYPAMPA	-0.1	NS	-0.08	NS	-0.06	NS	-0.08	NS
SONDORILLO	-0.2	90	-0.07	NS	-0.01	NS	-0.10	NS

Leyenda: Nivel de significancia No Significativo (NS), Nivel de significancia 90% (+), Nivel de significancia 95% (*), Nivel de significancia 99% (**), Nivel de significancia 99.9% (***)

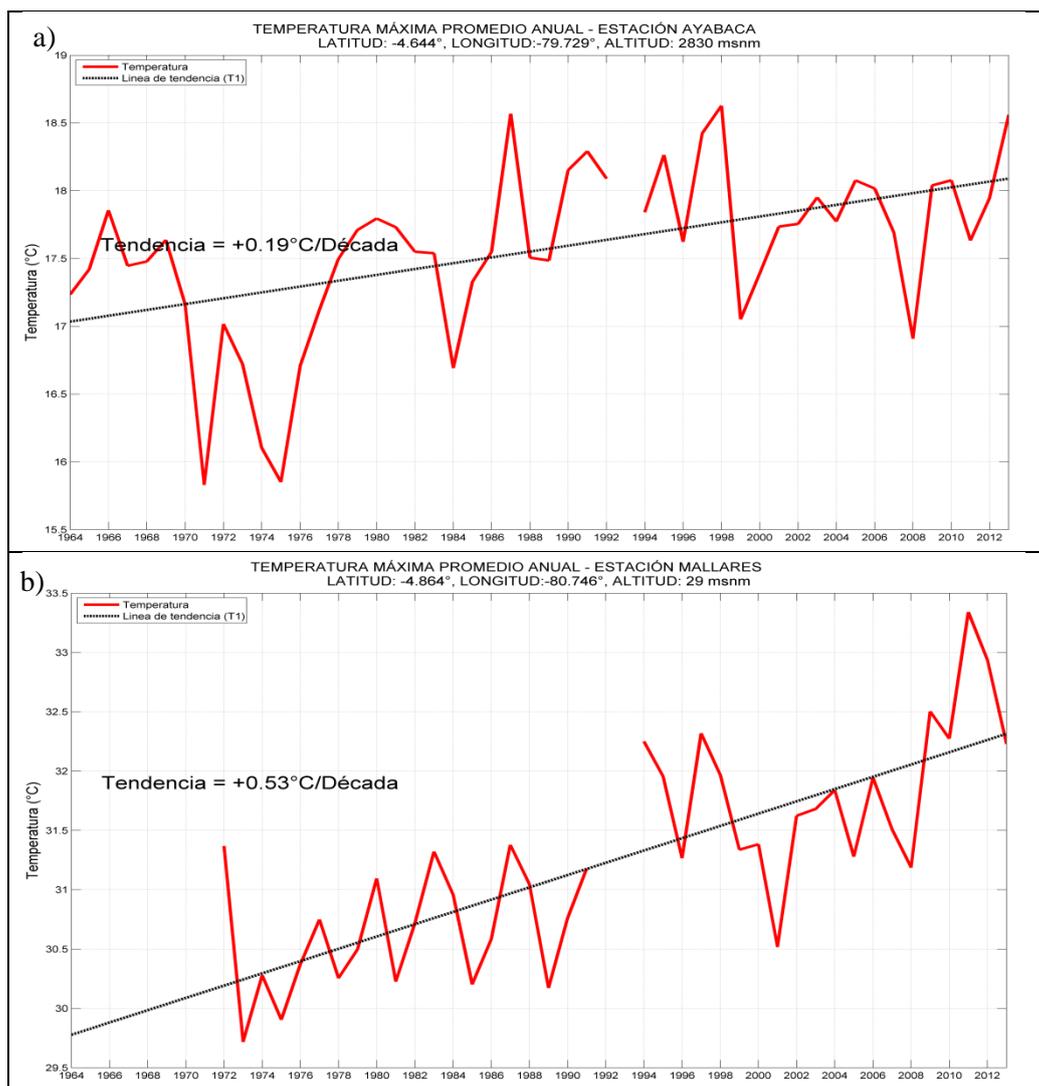


Figura N°11: Tendencia de la temperatura máxima anual de la estaciones Ayabaca (a) y Mallares (b)

En la Figura N°11 se puede apreciar las series climáticas y la tendencia de la temperatura máxima anual de las estaciones Ayabaca (a) y Mallares (b), ambas estaciones muestran una clara tendencia de aumento de la temperatura máxima en toda su serie histórica, siendo la estación Mallares la que presenta un mayor aumento (0.5°C por década); Ayabaca presenta un aumento de casi 0.2°C por década. Estos resultados coinciden con las tendencias analizadas en la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (SENAMHI, 2009); según dicho estudio las temperaturas máxima sobre la costa norte del Perú van en aumento.

3.4.3 Tendencias observadas de la Temperatura Mínima

Los valores y significancias de la tendencia anual y estacional de la temperatura mínima de Tumbes, se muestran en las Tablas N°10 y N°11.

3.4.3.1 Tendencia Anual

La tendencia para la temperatura mínima es positiva en toda la región a excepción de las estaciones Santo Domingo, Chalaco, San Miguel y Chulucanas, solo Chalaco muestra un nivel de significancia de 99%. El cambio positivo más alto se da en la estación Bernal, ubicada cerca de las costas de Piura, con un nivel no significativo.

Tabla N°10: Tendencia anual de las temperaturas mínima (°C) y de las significancias (%) en la región Piura.

ESTACIONES	Período	Tendencia (°C década ⁻¹)	Significancia %
MIRAFLORES	1964-2013	0.02	99
MALLARES	1964-2013	0.01	NS
LA ESPERANZA	1964-2013	0.04	99
CHUSIS	1964-2013	0.01	NS
MORROPÓN	1964-2013	0.04	99.9
SANMIGUEL	1964-2013	0	NS
CHULUCANAS	1964-2013	0	NS
BERNAL	1964-2013	0.10	NS
LANCONES	1964-2013	0.03	NS
AYABACA	1964-2013	0.03	99.9
SAUSALDECULUCAN	1964-2013	0.02	99.9
HUANCABAMBA	1964-2013	0.03	99.9
HUARMACA	1964-2013	0.03	99.9
SANTO DOMINGO	1964-2013	-0.05	NS
CHALACO	1964-2013	-0.19	99
PACAYPAMPA	1964-2013	0.08	NS
SONDORILLO	1964-2013	0.03	95

Legenda: Nivel de significancia No Significativo (NS), Nivel de significancia 90% (+), Nivel de significancia 95% (*), Nivel de significancia 99% (**), Nivel de significancia 99.9% (***).

3.4.3.2 Tendencia Estacional

En la Tabla N°11 se muestran las tendencias estacionales y su significancia, de la variable temperatura mínima media estacional.

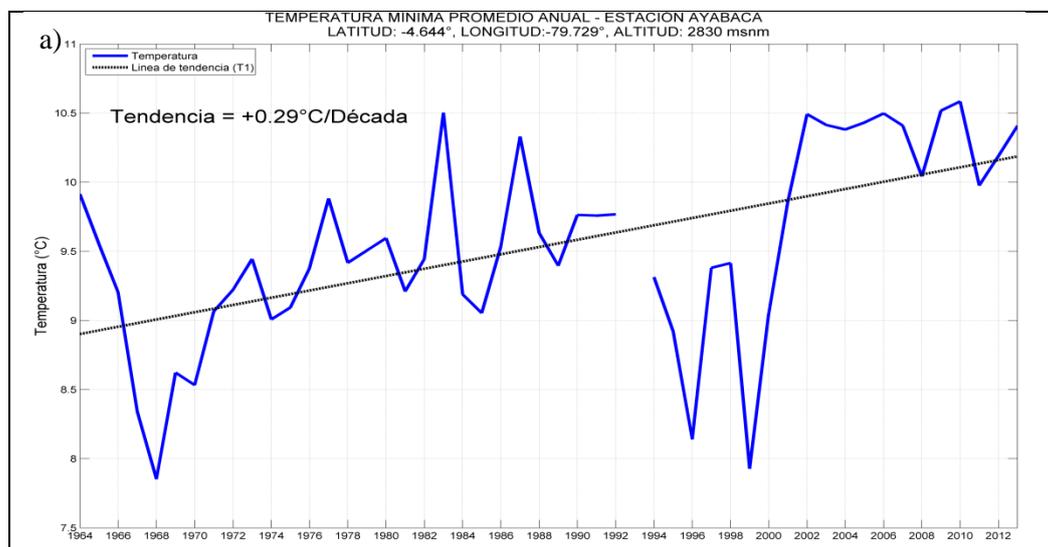
En verano (DEF) se tiene que todas las tendencias son positivas a excepción de Santo Domingo (-0.1°C por década y 99% de significancia) y Chalaco (-0.2°C por década con un cambio no significativo), el cambio más alto de aumento se da en la estación Pacaypampa con 0.1°C de aumento no significativo de temperatura mínima por década. En otoño (MAM) también se tienen tendencias positivas en casi toda la región, a excepción de las estaciones Lancones, Santo Domingo, Chalaco y Sondorillo ubicadas en altitudes elevadas, a diferencia de Lancones que se encuentra más cerca de la costa de Piura.

Invierno (JJA) y Primavera (SON) presentan un aumento de la temperatura mínima en todas las estaciones, a diferencia de Chulucanas, San Miguel y Chalaco que muestran un decrecimiento en la temperatura mínima.

Tabla N°11: Tendencias estacionales de las temperaturas mínima (°C) y de las significancias (%) en la región Piura

Estación	DEF		MAM		JJA		SON	
	Tend.	Sig.	Tend.	Sig.	Tend.	Sig.	Tend.	Sig.
MIRAFLORES	0.03	95	0.02	NS	0.03	95	0.02	NS
MALLARES	0	NS	0.01	NS	0.02	90	0.01	NS
LAESPERANZA	0.04	99.9	0.03	95	0.04	99	0.04	99
CHUSIS	0.02	95	0.01	NS	0.01	NS	0	NS
MORROPÓN	0.05	99.9	0.03	99	0.06	99.9	0.04	99.9
SANMIGUEL	0.01	NS	0	NS	0	NS	0.00	NS
CHULUCANAS	0.01	NS	0	NS	0	NS	-0.01	NS
BERNAL	0.04	NS	0.14	NS	0.08	NS	0.02	NS
LANCONES	0.01	NS	-0.06	NS	0.13	NS	0	NS
AYABACA	0.03	99.9	0.03	99.9	0.03	99.9	0.03	99.9
SAUSALDECULUCAN	0.01	90	0.01	95	0.02	99	0.02	99.9
HUANCABAMBA	0.02	95	0.03	99.9	0.03	99.9	0.02	99
HUARMACA	0.03	99	0.03	99.9	0.03	99.9	0.03	99.9
SANTODOMINGO	-0.11	99	-0.07	95	-0.01	NS	0.03	NS
CHALACO	-0.22	NS	-0.22	90	-0.14	NS	-0.22	99
PACAYPAMPA	0.13	NS	0.01	NS	0.11	90	0.11	NS
SONDORILLO	0.08	NS	0	NS	0.05	95	0.02	NS

Legenda: Nivel de significancia No Significativo (NS), Nivel de significancia 90% (+), Nivel de significancia 95% (*), Nivel de significancia 99% (**), Nivel de significancia 99.9% (***)



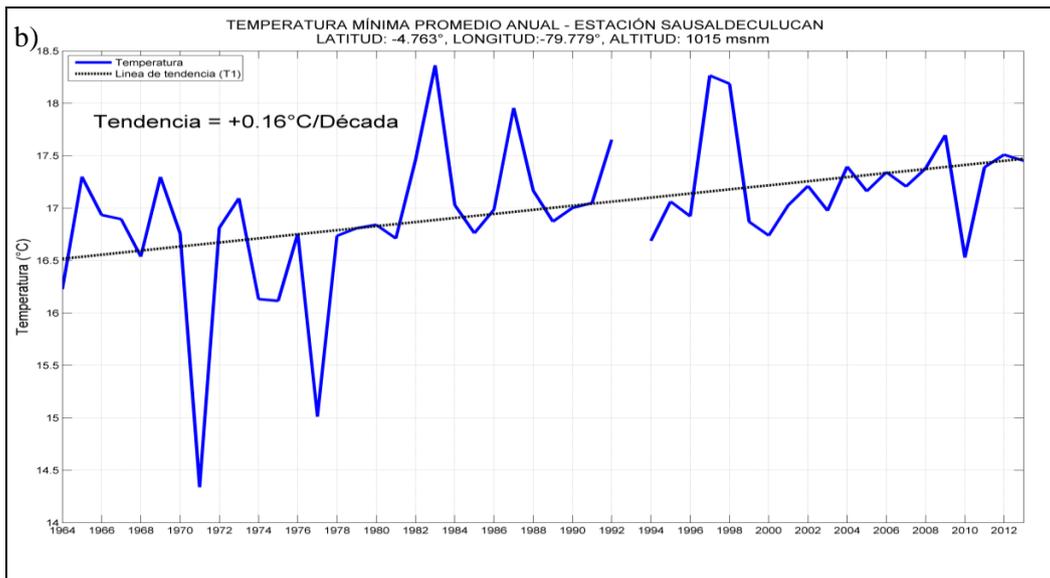


Figura N°12: Tendencia de la temperatura mínima anual de las estaciones Ayabaca (a) y Sausal de Culucan(b).

En la Figura N°12 se puede apreciar la serie climática y la tendencia positiva de la temperatura mínima anual de las estaciones Ayabaca (a) y Sausal de Culucan (b), ambas estaciones muestran una clara tendencia de aumento de la temperatura mínima en toda su serie histórica, siendo la estación Ayabaca la que presenta un aumento de 0.29°C por década; la estación Sausal de Culucan presenta un aumento de 0.16°C por década.

Los resultados obtenidos en este documento guardan concordancia con los resultados de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático (SENAMHI, 2009), donde se menciona el aumento de la temperatura mínima con tendencia significativa en la costa norte del país.

ESCENARIOS CLIMÁTICOS REGIONALES

El clima de una región es el resultado de una serie de factores en diferentes escalas espaciales, desde los forzamientos locales, la cobertura vegetal, la topografía, el tipo de suelo, pisos altitudinales, cercanía al mar, etc., hasta los forzamientos de gran escala, como la circulación de mesoescala o las teleconexiones, que pueden condicionar características propias de la región, por lo que es de gran importancia incluirlas en los análisis de señales de cambio climático. Sin embargo, este proceso puede volverse extremadamente complicado y caracterizado por un alto grado de incertidumbre (Giorgi, 2008).

Una forma de construir escenarios futuros del clima, es incorporando la variabilidad (interanual) a dichos escenarios (Wilks, 1992; Meams et al., 1992; Barrow, 1995; citados por Hulme y Lu 2000) siendo la variabilidad muy importante en el estudio de eventos extremos y la frecuencia con la que éstos eventos suceden.

Los escenarios futuros del clima a escala regional y local son necesarios para proyectar los posibles “cambios” del clima en el futuro a un mejor detalle espacial y temporal; con lo cual es posible evaluar la vulnerabilidad económica social y con ello implementar estrategias de adaptación y enfrentar los posibles impactos del cambio climático global. La herramienta básica para estimar las proyecciones climáticas son los Modelos de Circulación General Acoplados Océano Atmósfera (AOGCMs, siglas en inglés). Los AOGCMs permiten simular el clima pasado, actual y futuro, habiendo, con el paso de los años, mejorado muchísimo en la representación de los efectos de los procesos físicos a través de sus esquemas de parametrización de radiación y convección principalmente, así como las interrelaciones entre las componentes del sistema climático atmósfera-oceano-superficie terrestre-biosfera-criosfera.

En la actualidad, existen en la comunidad científica diversos modelos AOGCM's, los cuales forman parte del grupo de la Fase 5 del Proyecto de intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5 por sus siglas en inglés). De estos modelos, siete fueron evaluados sobre la región sudamericana (ACCESS1-0, CESM1-CAM5, NorESM1-M, HadGEM2-AO, HadGEM2-CC, HadGEM2-ES, MPI-ESM-LR.) a fin de identificar cual tenía una mejor representatividad de la dinámica atmosférica de esta parte del mundo (SENAMHI, 2013). El modelo inglés HadGEM2-ES (Met Office Hadley Centre) fue el que mejor representación hace de la estructura atmosférica, siendo el utilizado para el proceso de regionalización dinámica con el modelo regional WRF, generando escenarios en dos pasos de reducción de escala a 48 km y 16 km, siendo la resolución más fina la presentada en el presente estudio.

4.1 Proyecciones del Clima en la región de Piura

En este capítulo se busca conocer los cambios en la precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima promedio anual y estacional para el time- slice 2016-2045 centrado en el año 2030, tomando como período histórico los años 1981-2005. Las proyecciones presentadas a continuación resultan del consenso de escenarios generados por procesos de regionalización estadística y dinámica, de los que se obtuvieron series que fueron comparadas con la serie base (datos históricos observados). Un mayor peso es asignado a aquella serie que se aproxime más a la serie base; una vez determinadas las series con mayores pesos, se realiza el promedio ponderado y se obtiene una serie patrón, la que se utiliza

para las proyecciones climáticas futuras. Tanto la serie dinámica como la estadística, se regionalizaron a partir del modelo global HadGEM2-ES y tuvieron como escenario de emisión al RCP 8.5, el cual representa el escenario más pesimista.

4.1.1 Proyecciones de la precipitación

En las Figuras N°13 y N°14 se muestran la variación porcentual de las precipitaciones en el Perú, esto a nivel anual y estacional a una resolución de 16 Km.

A nivel anual, la region Piura presentaría cambios diferenciados entre la zona costera por debajo y encima de los 500 msnm aproximadamente. Se tiene que para el 2030, de la mitad de la región hacia las zonas altas al este del continente presentaría una disminución de hasta un -30%. En el resto de la region, hacia la zona costera, la precipitación de incrementaría, con aumentos de hasta 230%, el mayor en toda la región. En general, sobre la región predomina una tendencia proyectada al aumento de las precipitaciones (Ver la Figura N°13).

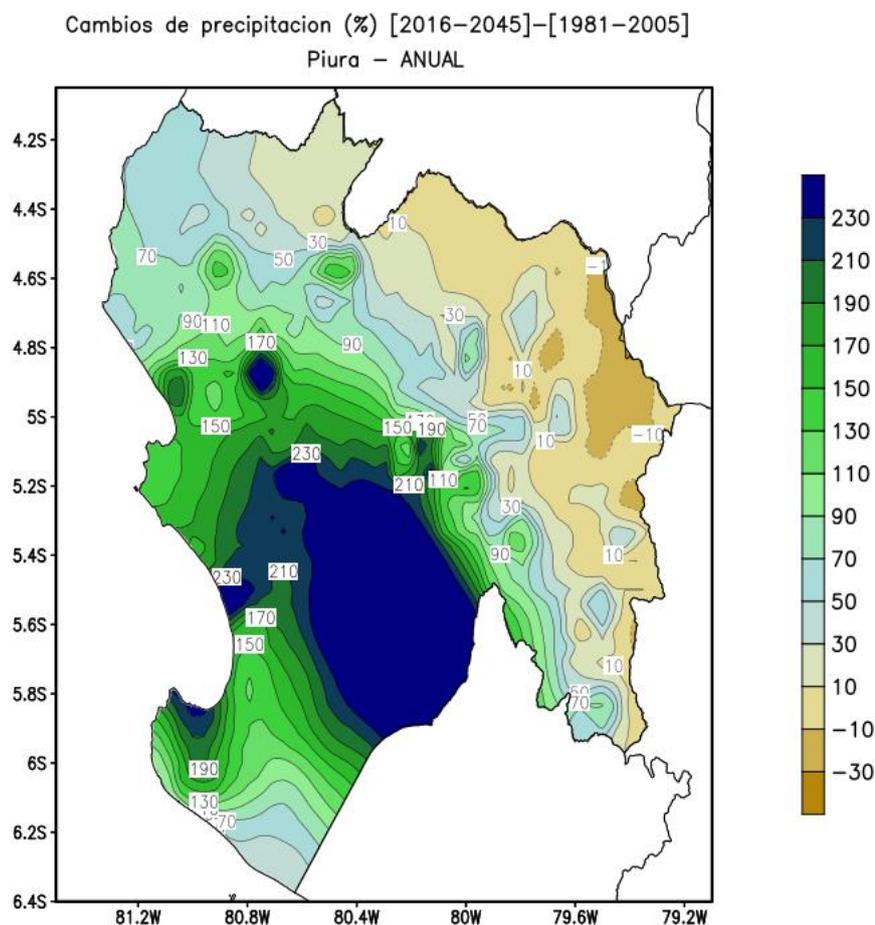


Figura N°13: Distribución espacial del Cambio en la precipitación anual para la región de Piura

Estacionalmente se mantiene la distribución de cambios de lluvia proyectados a nivel anual. En la Figura N°14a se puede apreciar que en verano (DEF), el litoral costero presentaría un mayor aumento

de la precipitación entre 90% y 230%; mientras que, las zonas altas mostrarían cambios que van de -10% a 10%.

En otoño (MAM) se tendría un aumento en casi toda la región de hasta 230% en las provincias de Sechura, Paíta, Sullana, Piura y Talara: mientras que Ayabaca y Huancabamba y todas las zonas altas presentarían una variación de -10% a 90% (Ver Figura N°14b).

En invierno (JJA) se tendrían los mayores contrastes de variación de precipitación, con puntos localizados que presentarían aumentos de hasta 210% y se ubican en zonas altas. En general, las proyecciones indican aumentos en el norte y centro y disminuciones al sur y este de la región de hasta -30%. (Ver Figura N°14c)

En primavera (SON) se tendría aumentos en el centro, sur y parte del norte de Piura de hasta 210%; mientras que en las zonas altas y norte de Piura, se tendría disminuciones de la precipitación hasta más de -30%. (Ver Figura N°14d).

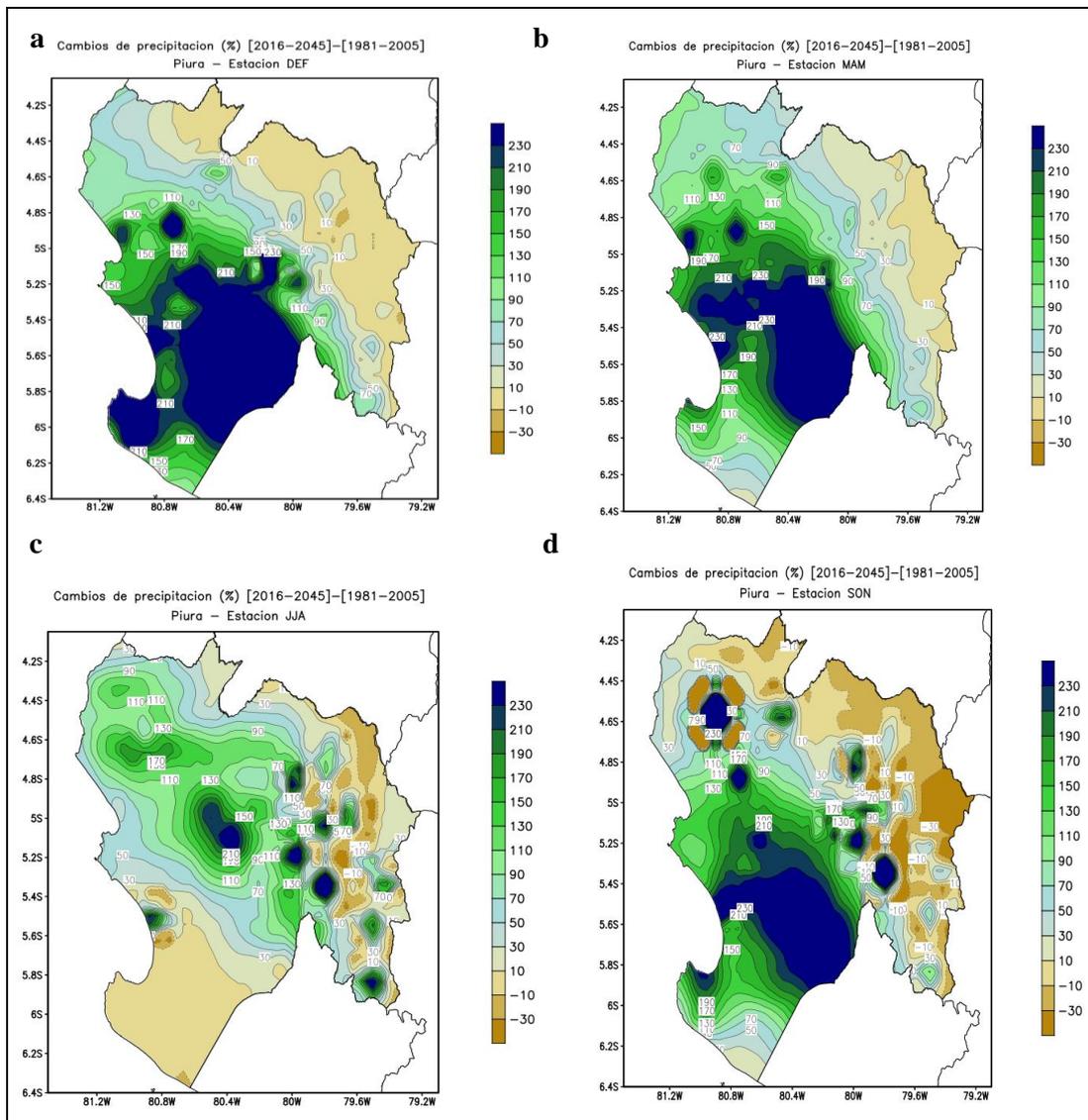


Figura N°14: Distribución espacial del cambio en la precipitación a nivel estacional a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera, para la región de Tumbes.

4.1.2 Proyecciones de la temperatura máxima

En general, la región Piura presenta proyecciones de calentamiento; es decir, la temperatura máxima se incrementaría. A nivel anual, los escenarios futuros proyectan que en la zona central de Piura, el aumento iría de 1°C a 1.25°C, las zonas altas tendrían una variación de 1.25°C hasta 2°C, aumentando en dirección este, y el sur variaciones de 1.25°C a 2°C en Sechura (Ver Figura N°15).

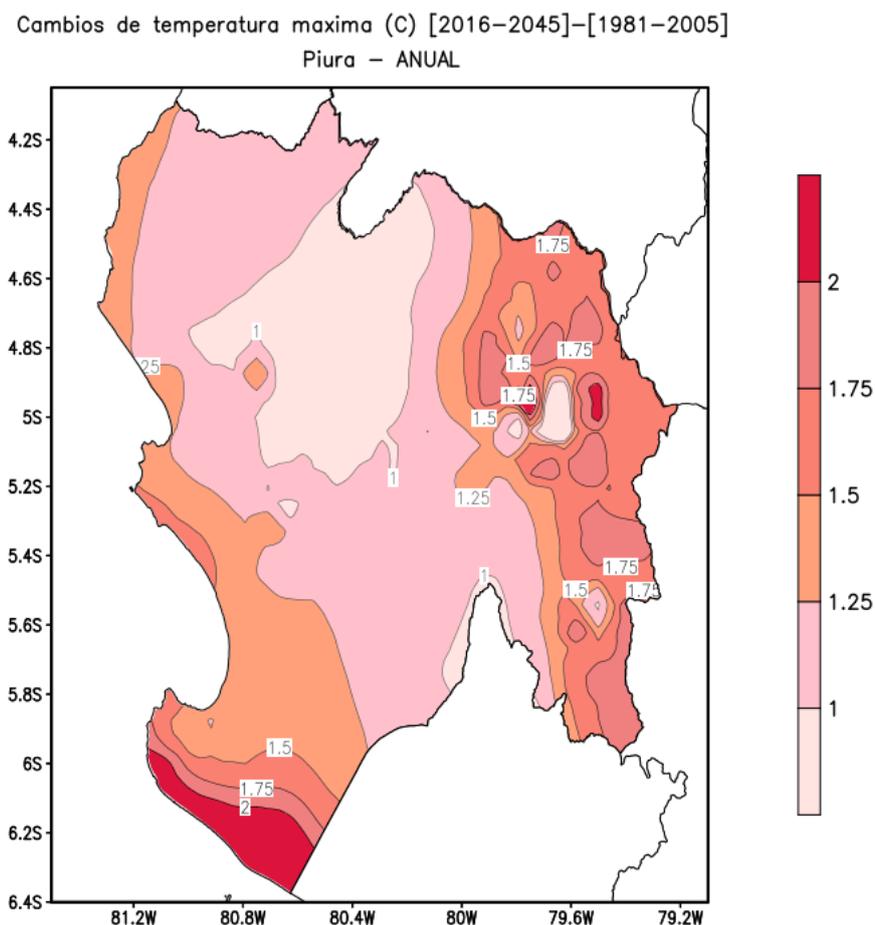


Figura N°15: Distribución espacial del cambio en la temperatura máxima anual para la región de Piura.

A nivel estacional las proyecciones futuras también indican aumento de la temperatura máxima. Y muestran una variación similar.

En general, se espera mayores calentamientos al sur de Piura de hasta más de 2°C y en las zonas altas de la región con una variación de 1.25°C a más de 2°C, la zona central de Piura presentaría aumentos que van de 1°C a 1.25°C. En otoño (MAM) e invierno (JJA) se tendría aumentos en el litoral costero, de 1.25°C a más de 2°C (Ver Figura N°16).

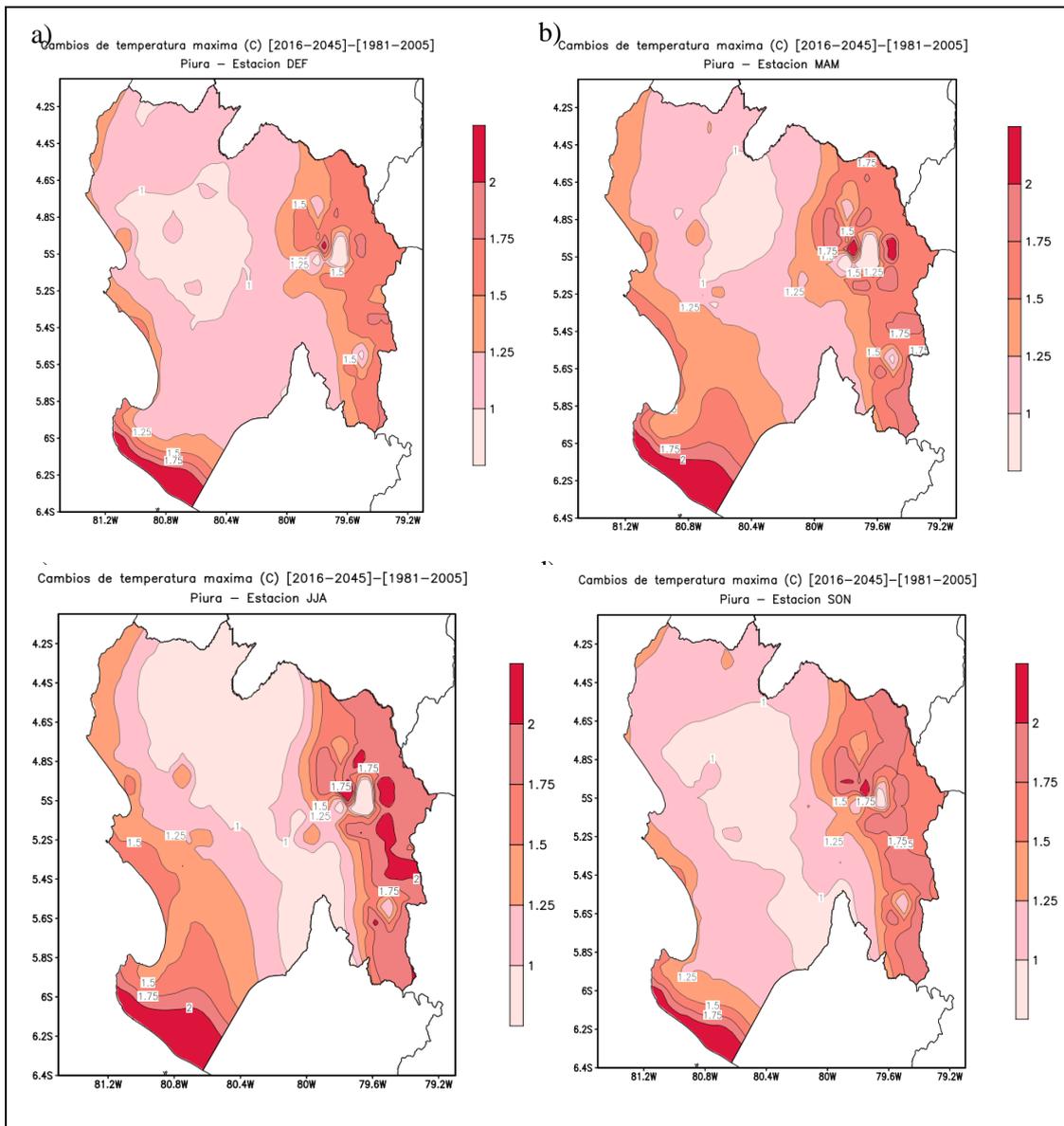


Figura N°16: Distribución espacial del cambio en la temperatura máxima a nivel estacional a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera, para la región de Piura.

4.1.3 Proyecciones de la Temperatura Mínima

La distribución espacial anual de la temperatura mínima en la región de Piura, proyectada al 2030 indica un aumento en toda la región de manera similar a la temperatura máxima con intensidades ligeramente mayores. Al sur de la región (toda la provincia de Sechura) se tendría un aumento de más de 2°C; mientras que en las zonas altas variarían entre 1.25°C hasta más de 2°C (Pacaypampa), entre el norte y centro de Piura se tendrían aumentos de entre 1.5°C a 1.75°C, solo Lancones podría registrar un aumento de más de 2°C por encima de su normal, como se aprecia en la Figura N°17.

Cambios de temperatura mínima (C) [2016–2045]–[1981–2005]
Piura – ANUAL

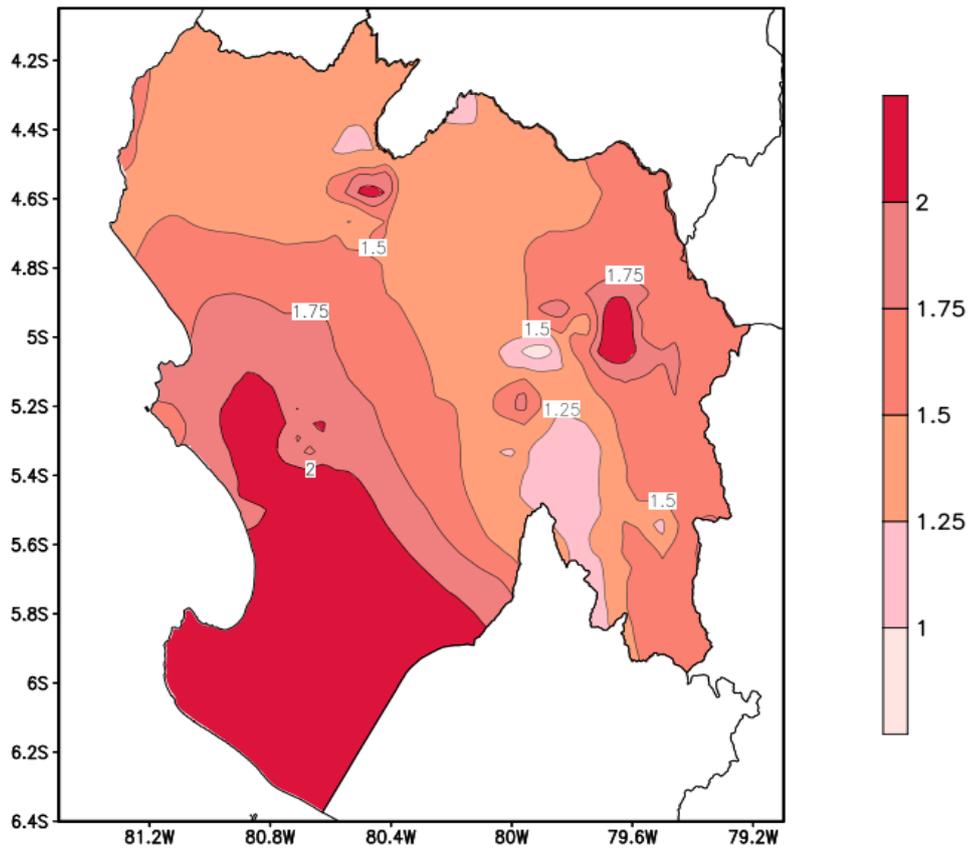


Figura N°17: Distribución espacial del cambio en la temperatura mínima anual para la región de Piura.

A nivel estacional las proyecciones futuras indican un aumento de la temperatura mínima en toda la región durante todo el año (Ver Figura N°18, gráficos a, b, c y d).

En verano (DEF) se tendría un aumento de la temperatura mínima en toda la región, en el sur se llegarían a registrar aumentos de más de 2°C, en las zonas altas entre 1.25°C a más de 2°C y en el resto de la región de entre 1.25°C a 1.5°C.

En otoño (MAM) se tendría un mayor aumento en la zona sur, de más de 2°C, al este entre 1.5°C a más de 2°C y al centro y norte entre 1.25°C a 2°C.

En invierno (JJA) se experimentaría la mayor tasa de aumento de la temperatura mínima, el sur de Piura y parte de la zona centro experimentarían un aumento de más de 2°C, junto con la parte este de las zonas altas. Al este de la región, también se tendría valores de aumento de 1.25°C a 1.5°C, al norte un aumento de hasta 2°C.

Finalmente en Primavera (SON) en la zona central se tendrían aumentos de 1°C a 1.25°C, al este una variación de 1.25°C a 2°C y al oeste se tendría entre 1.25°C a más de 2°C.

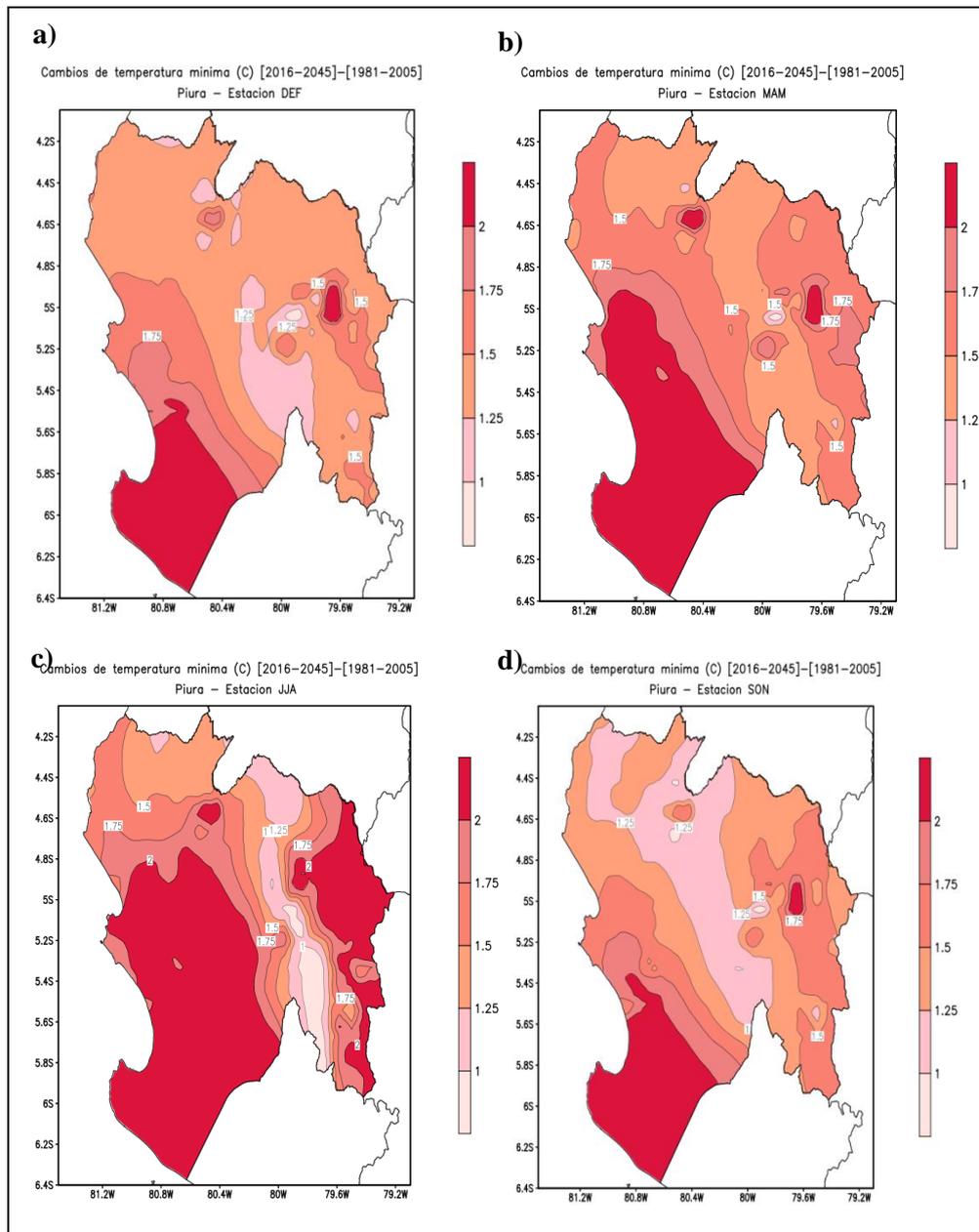


Figura N°18: Distribución espacial del cambio en la temperatura mínima a nivel estacional a) verano, b) otoño, c) invierno y d) primavera, para la región de Piura.

4.2 Incertidumbres

Los cambios anuales estimados de las variables precipitación y extremos de temperatura centrados en el año 2030 son presentados en las Figuras N° 19, 20 y 21. El número de estaciones varía de acuerdo a la disponibilidad de información y el periodo base trabajado fue 1981-2005. Se utilizó el escenario más pesimista que corresponde al escenario de emisión RCP 8.5 y adicionalmente se contó con información de AMICAF/SENAMHI para el escenario de emisión moderada RCP 4.5.

En esta sección se presenta la comparación de los cambios generados con diferentes escenarios disponible para la región Piura (Ver Cuadro N°2) estos cambios consideran diferentes modelos, métodos de regionalización, escenarios de emisión y resolución para las variables de precipitación, temperatura máxima del aire y temperatura mínima.

4.2.1 Cambios en la precipitación a nivel anual

Los cambios de la precipitación en 3 estaciones analizadas (Morropón, Ayabaca y La Esperanza) se trabajaron en porcentaje.

De la Figura N°19a se tiene la estación Morropón y se observa que el modelo patrón (líneas punteadas) muestra un aumento de la precipitación casi hasta en 500%, los modelos utilizados en AMICAF para los dos escenarios corridos (RCP 4.5 y 8.5) también muestran un incremento hasta en un 300%, la serie estadística también muestra un incremento de la precipitación; el WRF es el único modelo que muestra una disminución de la precipitación en el año 2021, y luego a partir del 2028 en adelante. En general, los modelos se muestran consistentes en el aumento de la precipitación en la estación de Morropón.

De la Figura N°19b, se observa un aumento de la precipitación muy consistente en el período comprendido entre el 2013-2028, a excepción del WRF que disminuye en hasta el 2021, y el AMICAF en sus dos escenarios que varía entre aumentos y disminución hasta el año 2028 para luego aumentar hasta el año 2045. La serie resultante de la regionalización estadística es la que mayores aumentos de la precipitación predice, llegando a casi 500% de cambios por encima de la normal climatológica.

De la Figura N° 19c, durante el periodo base se puede observar la deficiencia de precipitaciones en ésta estación; sin embargo, las proyecciones muestran un aumento de la precipitación, entre el periodo 2013-2028 coinciden entre un aumento de hasta 600% a partir de ese periodo cada modelo traza un aumento en diferentes porcentajes, el escenario RCP 8.5 del AMICAF es el que mayor cambio predice, llegando hasta 1400% a partir del año 2040, lo que se podría analizar como una sobreestimación de ésta variable, el modelo WRF a partir del año 2028 no muestra variaciones en la precipitación.

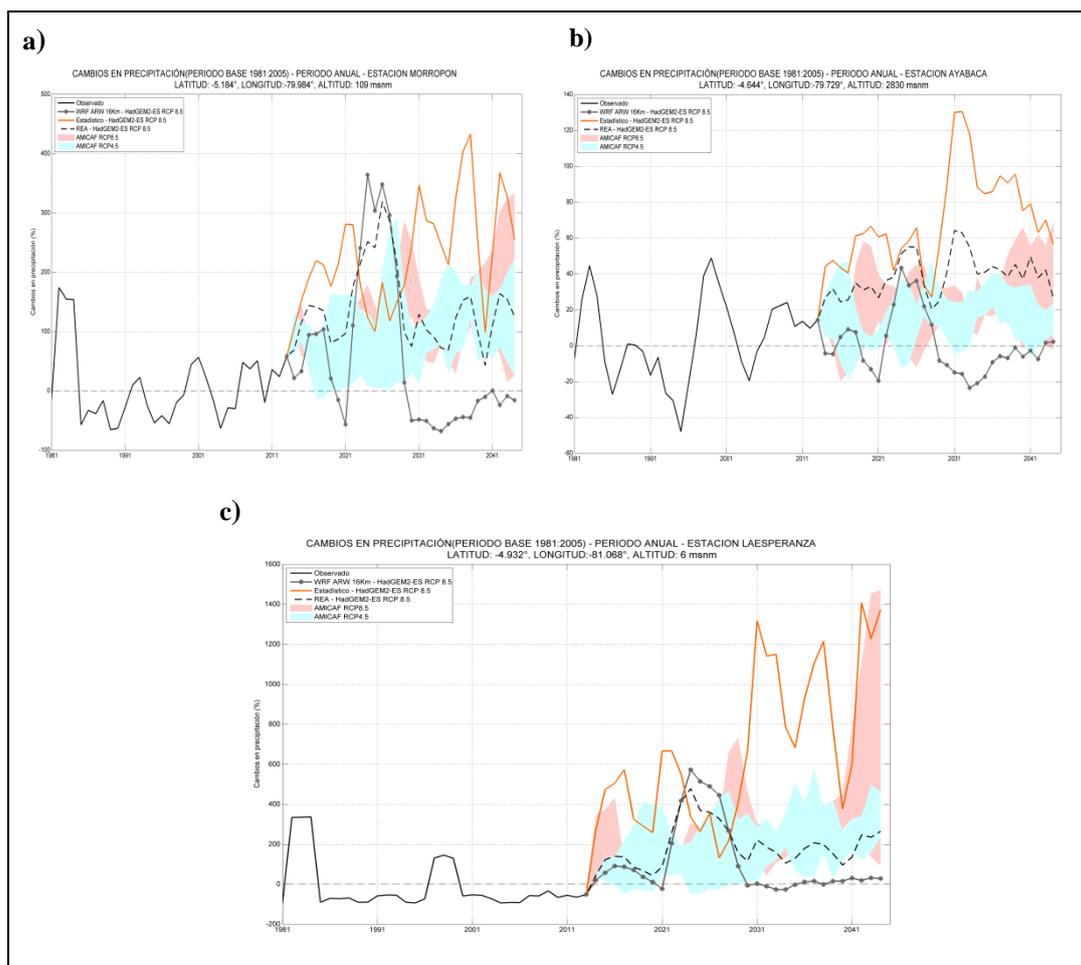


Figura N°19: Cambios estimados en la precipitación centrados al 2030. a) Estación Morropón b) Estación Ayabaca, c) Estación La Esperanza

4.2.2 Cambios en la temperatura máxima a nivel anual

Los cambios de la temperatura máxima en las 3 estaciones analizadas (Ayabaca, Chusis y Mallares) se evalúan los cambios en grados Celsius (°C).

De la Figura N°20a se tiene un notorio aumento de la temperatura máxima en todos los modelos, siendo más consistentes en el periodo 2013-2028 con un cambio de hasta 4°C lo que nos indica una clara consistencia en las proyecciones de ésta variable.

De la Figura N°20b se puede observar un notorio aumento de la temperatura máxima en todos los modelos, es el WRF y el HadGEM los modelos que presentan un pico de hasta 4°C de aumento entre el periodo 2021-2031, a partir 2031, ambos modelos indican una disminución de la temperatura máxima. Las series del AMICAF muestran siempre un aumento de la temperatura máxima, al igual que los otros modelos.

De la Figura N°20c se aprecia un aumento en todos los modelos, pero de forma particular; es decir, cada modelo tiene su propia variación. El WRF a pesar que muestra un aumento, siempre oscila entre altos y bajos valores (0.5°C a 1.5°C), las proyecciones del AMICAF son las que muestran aumentos en mayores rangos (0.5°C a 3.5°C).

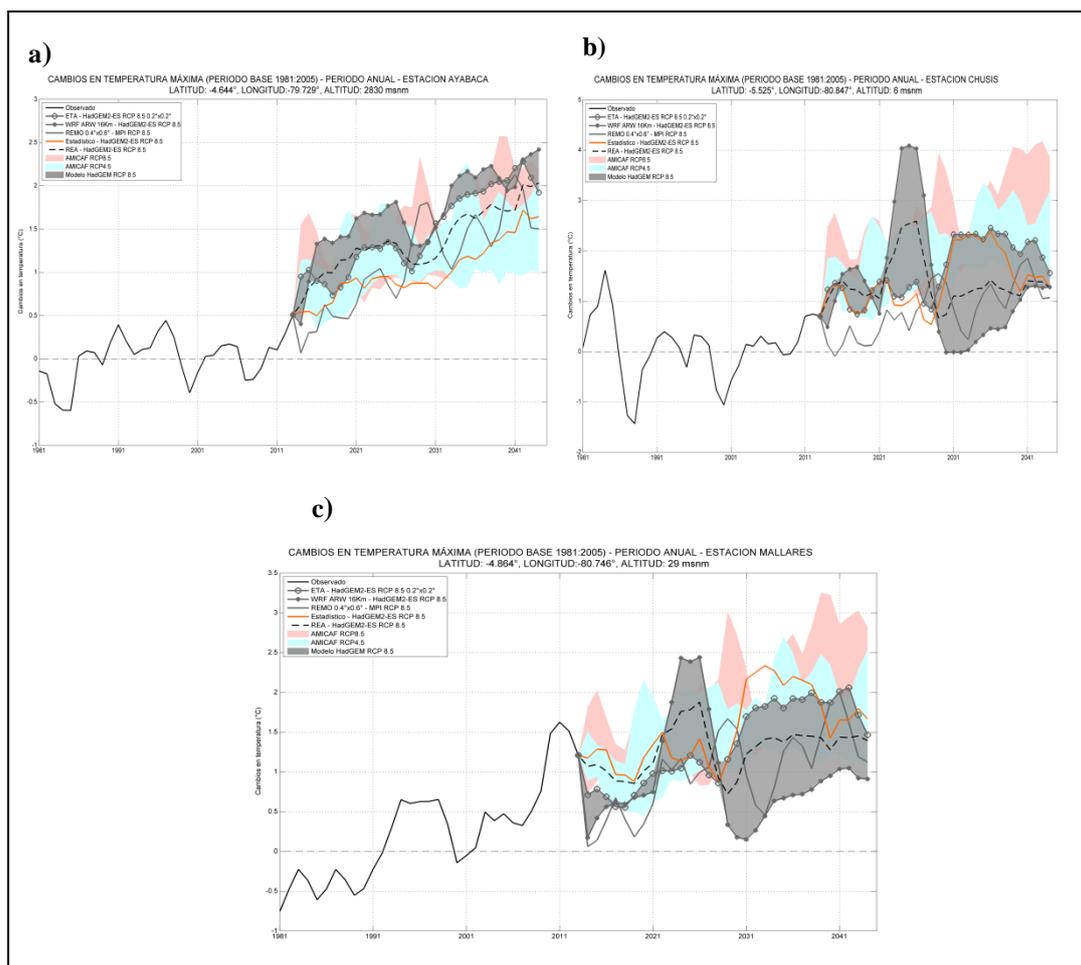


Figura N°20: Cambios estimados en la temperatura máxima centrados en el año 2030. a) Estación Ayabaca, b) Chusis y c) Mallares.

4.2.3 Cambios en la temperatura mínima a nivel anual

De la Figura N°21a, se tiene un aumento de temperatura mínima en Huancabamba, a excepción del modelo que predice disminución de temperaturas ente el año 2020 al 2030, a partir del cual, aumenta hasta un poco más de 1°C. El resto de modelos muestran un buen consenso de aumento de hasta 3°C de la temperatura mínima.

De la Figura N°21b la estación San Miguel, tiene un periodo base con temperaturas mínimas negativas hasta casi -1°C por debajo de su normal. Las proyecciones del modelo REMO indican una variación entre aumentos y disminuciones de la variable, en un rango que va de -1°C a 1°C, los demás modelos indican un aumento de las temperaturas mínimas, entre 0.5°C a 4.5°C.

De la Figura N°21c se puede observar las proyecciones de la temperatura mínima la estación Moropón, aumentan en una rango en común, en el periodo 2013-2029, a partir del cual, siguen aumentando pero con una diferente variabilidad. El modelo REMO es el único que predice cambios positivos y negativos en la temperatura mínima, oscila entre -1°C a 1°C.

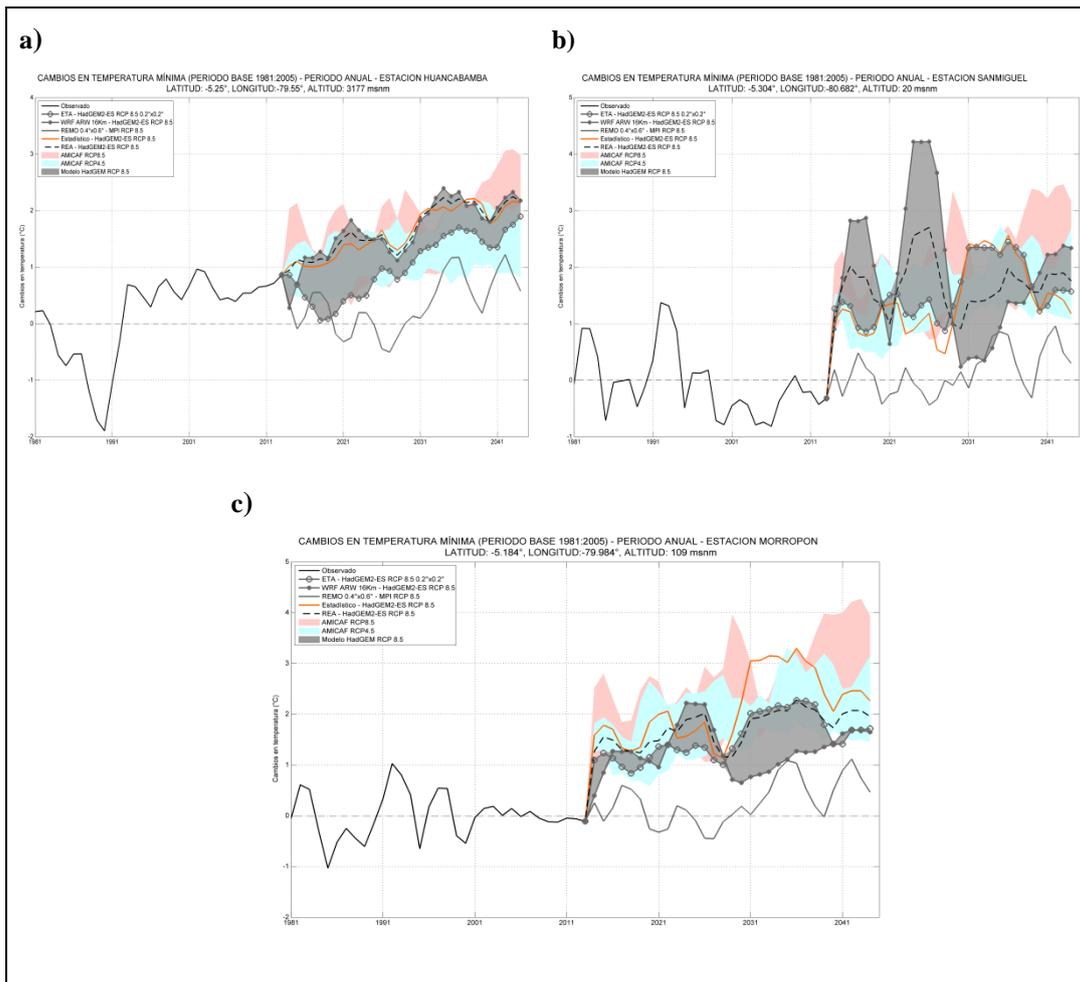


Figura N°21: Cambios estimados en la temperatura mínima centrados en el año 2030 de la estación Huancabamba (a), San Miguel (b) y Morropón (c).

La construcción de los escenarios de precipitación y temperatura máxima y mínima, se obtuvieron con el método del promedio ponderado mediante una interpolación de correcciones sucesivas con el método de Cressman (1959), donde se promediaron datos de la regionalización estadística y dinámica teniendo como modelo global al HadGEM2-ES en un escenario pesimista RCP 8.5. Previamente se determinaron tendencias climáticas actuales e índices climáticos con datos observados en punto de estación, con un récord no menor de 30 años de datos. Cuenta además con la experiencia del equipo de trabajo del Centro de Predicción Numérica del SENAMHI en la generación de escenarios climáticos en la región de Tumbes.

Las conclusiones del presente estudio son las siguientes:

1. En relación al diagnóstico del clima actual.
 - La tendencia de las precipitaciones en las últimas décadas, indican un aumento de las lluvias, presentando una tendencia positiva anual en toda la región, a excepción de la estación Chusis, que presenta una tendencia negativa no significativa de -1 mm por década. Solo La Esperanza, Morropón, Ayabaca, Sausal de Culucan, Pananga, Santo Domingo y Hacienda Bigote, tienen tendencias positivas significativas.
 - A nivel estacional, lo mayores cambios se dan en las estaciones de verano (DEF) y otoño (MAM); mientras que, en invierno (JJA) y primavera (SON) no se presentan grandes cambios.
 - La tendencia de las temperaturas máximas y mínimas revelan un ligero incremento de éstas, a excepción de Chalaco y Lancones, que presentan una disminución significativa a razón de -0.1°C por década, para la temperatura máxima y -0.2°C por década para la temperatura mínima (Chalaco).
 - A nivel estacional, los cambios de la temperatura máxima, son más significativos en los trimestres JJA y SON.
 - A nivel estacional, los cambios de la temperatura mínima, son más significativos en invierno (JJA).

2. En relación al año 2030.

Las proyecciones del clima en la región de Piura para el año 2030 se resume en lo siguiente: Aumento en zonas costeras y disminución en zonas por encima de los 500m, de las precipitaciones. También se tiene calentamiento de las temperaturas máximas y mínimas en toda la región, aunque es ésta última la que muestra cambios más intensos, llegando a tener aumento de más de 2°C en todas las estaciones del año.

Del análisis estacional, las conclusiones son las siguientes:

- Los cambios en la precipitación en el largo plazo, en general, se tiene aumentos de hasta 210% por encima de la normal climatológica, en la zona centro y sur en verano (DEF), otoño (MAM) y primavera (SON); mientras que se esperan ligeros cambios en las zonas altas de Piura, entre -10% a 10%. En invierno (JJA) se tienen incrementos en algunos puntos de las zonas altas de Piura y disminución de la precipitación hasta en -10%; mientras que, en primavera (SON) en las zonas altas se tendrían déficit de precipitaciones.
- Para la temperatura máxima las proyecciones indican un aumento de 1°C a 1.25°C en todo el centro de Piura; mientras que, para las zonas altas predice aumentos que van de 1.5 a 2°C; la zona sur es la que mayores rangos proyectados presenta, que van de 1.5°C a más de 2°C en todas las estaciones del año.
- Las proyecciones de la temperatura mínima muestran que ésta variable presenta mayores aumentos, lo que la hace más sensible al cambio climático.
- Todas las proyecciones estacionales de la temperatura mínima, indican un mayor aumento en la zona sur, de hasta más de 2°C, en las zonas altas el aumento varía entre 1.5°C a más de 2°C (Pacaypampa). Los aumentos en la zona centro y sur varía entre 1°C a 1.75°C.

BIBLIOGRAFÍA

- Beek, E.G.; Stein, A.; Janssen, L.L.F. (1992) Spatial variability and interpolation of daily precipitation amount. *Stochastic Hydrology and Hydraulics*, 6: 304-320.
- Bellouin N., O. Boucher, J. Haywood, C. Johnson, A. Jones, J. Rae, and S. Woodward. (2007) Improved representation of aerosols for HadGEM2. Meteorological Office Hadley Centre, Technical Note 73, March 2007.
- Cressman, G. (1959): An operational Objective Analysis System. Vol 87. Number 10.
- Cubash, U.; Waskewitz, J.; Hegel, G. y Perlwitz, J. (1995): Regional climate changes as simulated in time-slice experiments. *Clim Change* 31: 273-304.
- Dingman, S. Lawrence; Seely-Reynolds, Diana M.; Reynolds, Robert C. (1988): Application of kriging to estimating mean annual precipitation in a region of orographic influence. *Water Resources Bulletin*, 24(2): 329-339.
- Frich, P.; Alexander, L; Della-Marta, P.; Gleason, B.; Haylock, M.; Peterson, T. (2002): Observed coherent changes in climate extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*24: 47-57 pp.
- Gaertner, S. L., Bachman, B. A., Dovidio, J. F., & Banker, B. S. (2001). Corporate mergers and stepfamily marriages: Identity, harmony, and commitment. In M. A. Hogg & D. Terry (Eds.), *Social identity in organizations* (pp. 265-288). Oxford, UK: Blackwell.
- Giorgi, F. (2008): Regionalization of climate change information for impact assessment and adaptation.
- Hulme, M. and Lu, X. (2000): How to factor interannual climate variability into Climate Scenarios. A note prepared for the DETR Fast-Track Impacts Group.
- IDEAM (2004). Estudio de la Caracterización Climática de Bogotá y Cuenca Alta del Río Tunjuelo.
- IPCC (2007). Cuarto Informe de Evaluación. *Climate Change 2007: The Physical Science Basis*. Alley, R. et al. Eds., Cambridge University Press, Uk, 881 pp.
- IPCC (2013). Quinto Informe de Evaluación. *Climate Change: The Physical Science Basis*. Stocker, R. et al. Eds., Cambridge University Press, Uk, 1535 pp.
- Lowry, W. (1973) OMM N° 327. Compendio de apuntes de climatología para la formación de personal meteorológico clase IV.

- Kamiguchi, K.; Kitoh, A.; Uchiyama, T.; Mizuta, R. and Noda, A. (2006): Changes in precipitation-based extremes indices due to global warming projected by a global 20-km-mesh atmospheric model. *Scientific Online Letters on the Atmosphere*, 2, 64-67.
- Kendall, M.G., (1975): *Rank Correlation methods*, 5th Ed., Charles Griffin, London.
- Kusunoki, S. et al. (2005): Change of Baiu in global warming projection by an atmospheric general circulation model with 20-Km grid size. *J. Meteor. Soc. Japan*. Submitted.
- Moss, R. H. et al. (2010): The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463(7282), 747–756.
- Ninyerola, M.; Pons, X. y Roure, JM., “A methodological approach of climatological modelling of air temperature and precipitation through GIS techniques”. *International Journal of Climatology*. Vol. 20, pp. 1823-1841, 2000.
- Organización Meteorológica Mundial, OMM (2003). *International Meteorological Vocabulary*. WMO N°182.
- Organización Meteorológica Mundial, OMM (2008). *Guide to Hydrological Practices*. WMO N°168.
- WMO No. 182, *International meteorological vocabulary*. World Meteorological Organization. Geneva.1992
- Peixoto, J.P. and Oort, A.H. (1992): *Physics of Climate*. Am. Inst.Physics.
- Purca, S. 2005. *Variabilidad temporal de baja frecuencia en el Ecosistema de la Corriente Humboldt frente a Perú*. Tesis de Doctorado. Universidad de Concepción, Chile. 32 pp. Anexos 37pp.
- Quevedo, K; Sánchez, K. (2009) comparación de dos métodos de interpolación para la estimación de la temperatura del aire aplicando técnicas geo- estadísticas. *Revista Peruana Geo-atmosférica*, 90-107.
- Sen, P. K. (1968): Estimate of the regression coefficient based on Kendall’s tau. *Journal of the American Statistical Association*, 63:1379-1389.
- SENAMHI, (1989): *Mapa de Clasificación Climática del Perú. Método de Thornthwaite*. Eds. SENAMHI Perú, 50 pp.
- SENAMHI, (2007): *Escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro para el año 2100*. Autores: Ávalos, G.; Acuña, D.; Oria, C.; Metzger L.; Llacza, A. y Miguel, R.; PRAA. Eds. SENAMHI Perú, 124 pp.
- SENAMHI, (2008): *Escenarios de cambio climático en el Perú para el año 2030*. Autores: Obregón, G.; Rosas, G.; Ávalos, G.; Díaz, A.; Oria, C.; Acuña, D.; Metzger L.; Rosas, G y Miguel, R. Eds. SENAMHI- MINAM, Perú, 100 pp.
- SENAMHI, (2012): “*Caracterización y variabilidad climática en las regiones Cusco y Apurímac*”. PACC PERU
- SENAMHI, (2014): *Regionalización Estadística de Escenarios climáticos en Perú al año 2050*. Proyecto AMICAF.
- Tracton, M. S., and Du, J. (2001): Application of the NCEP/EMC Short-range ensemble forecast system (SREF) to predicting extreme precipitation events. Pp. 64-65 in *Preprints*,

Symposium on Precipitation Extremes: Prediction Impacts and Responses, American Meteorological Society.

- Valdivia, J (1977): Meteorología general.
- Wanabe S., Hajima T., Sudo k., Nagashima T., Takemura T., Okajima H., Nozawa T., Kawase H., Abe M., Yokohata T., Ise T., Sato H., Kato E., Emori S., Kawasiya M (2011) MITOC-ES, (2010): Model description and basis results of CMIP5-20c3m experiments. Geoscientific Model Development 4(4): 845-872, DOI 10.5194/gmd-4-845-2011.
- Woodman, R; (1997): El Fenómeno El Niño y el Clima en el Perú.

ANEXOS

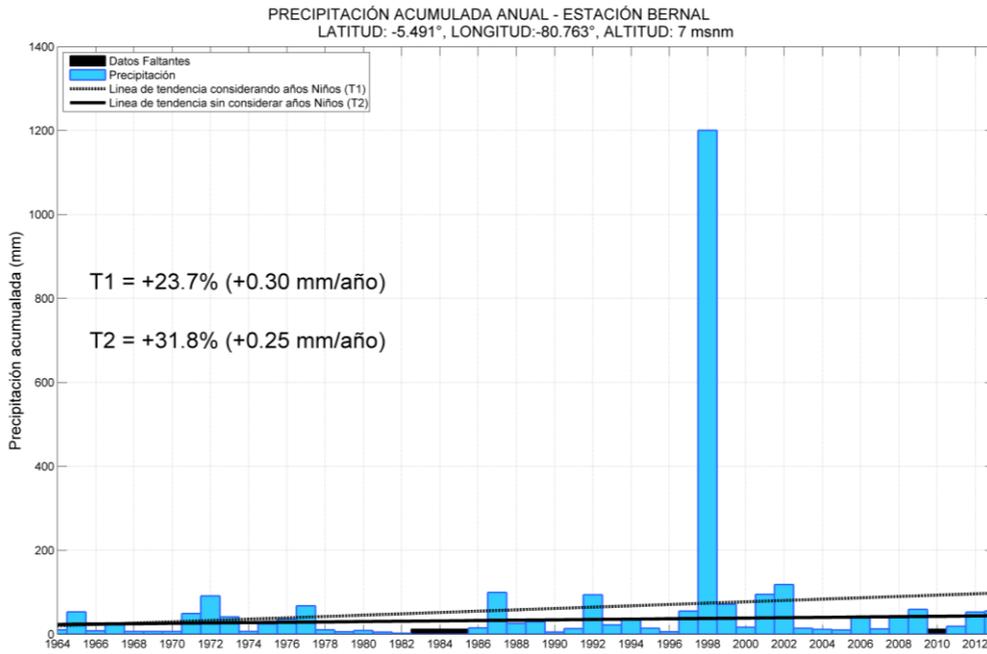


Figura N°22: Tendencia de la precipitación de Bernal

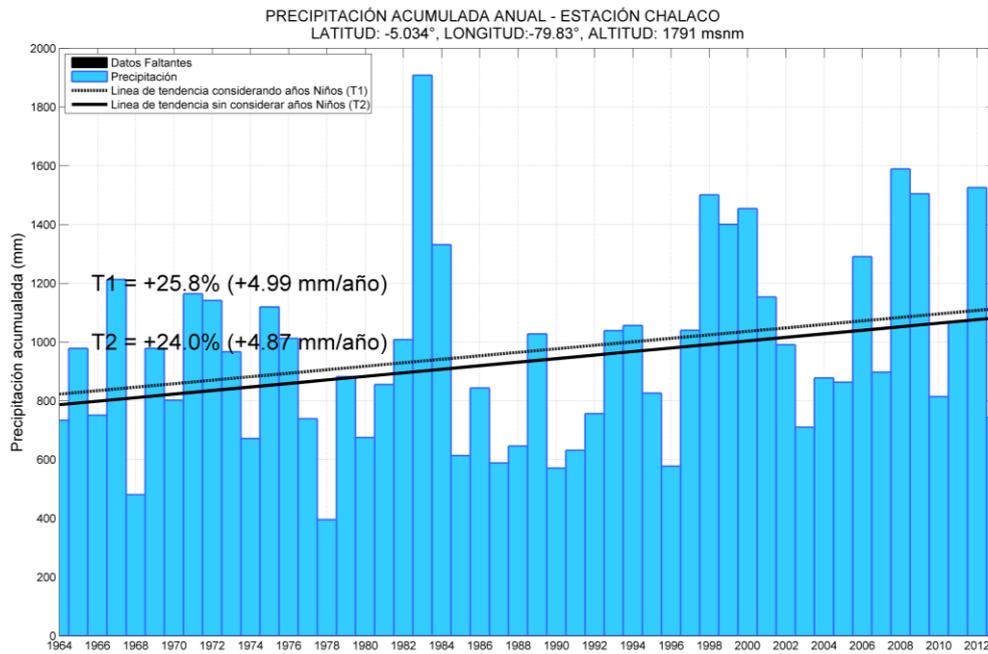


Figura N°23: Tendencia de la precipitación de Chalaco

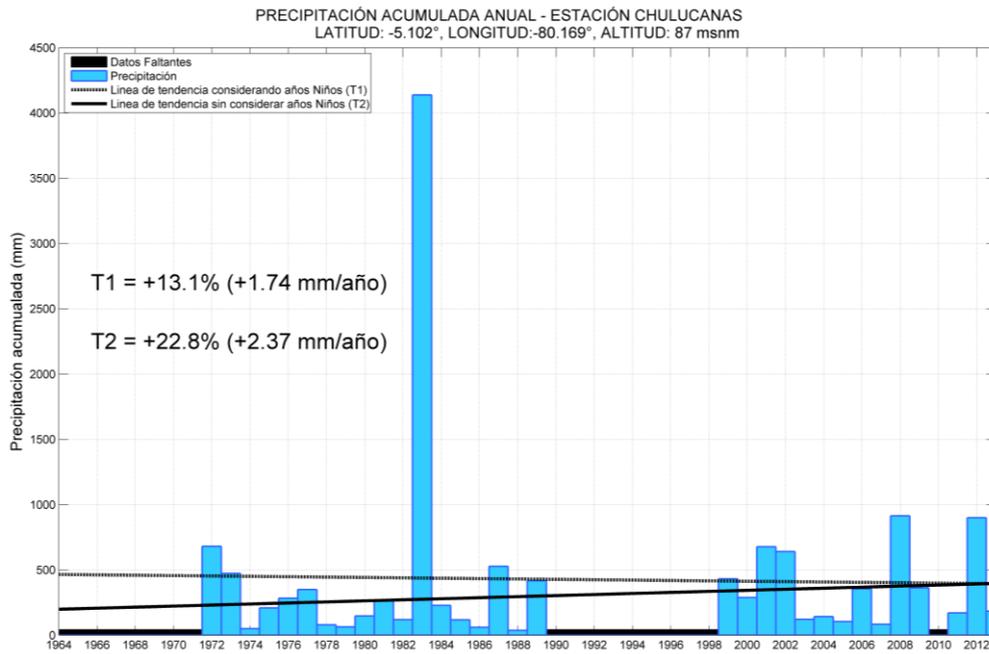


Figura N°24: Tendencia de la precipitación de Chulucanas

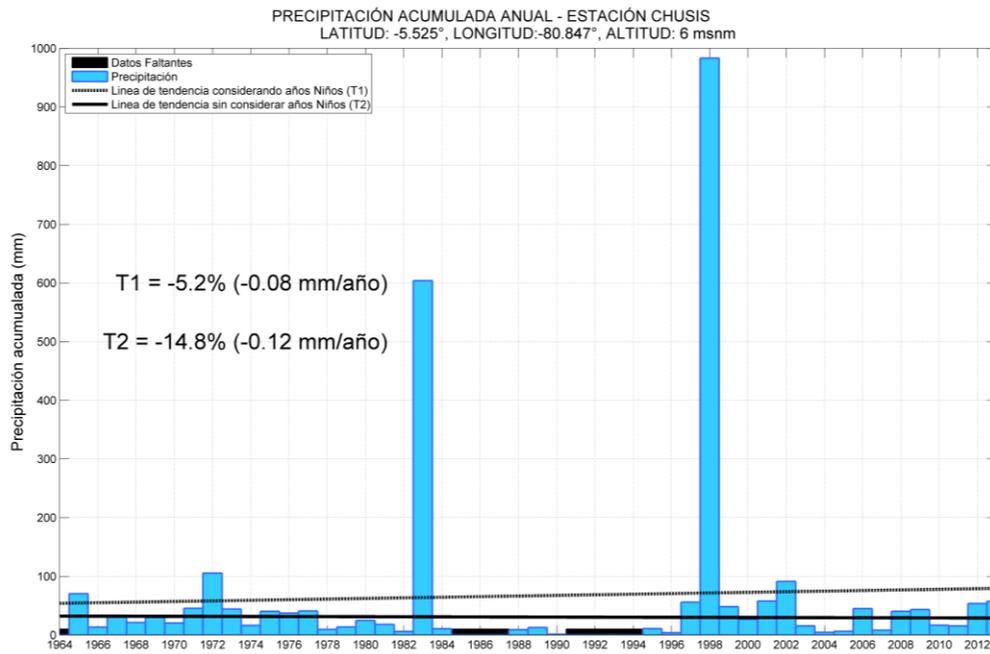


Figura N°25: Tendencia de precipitación de Chusis

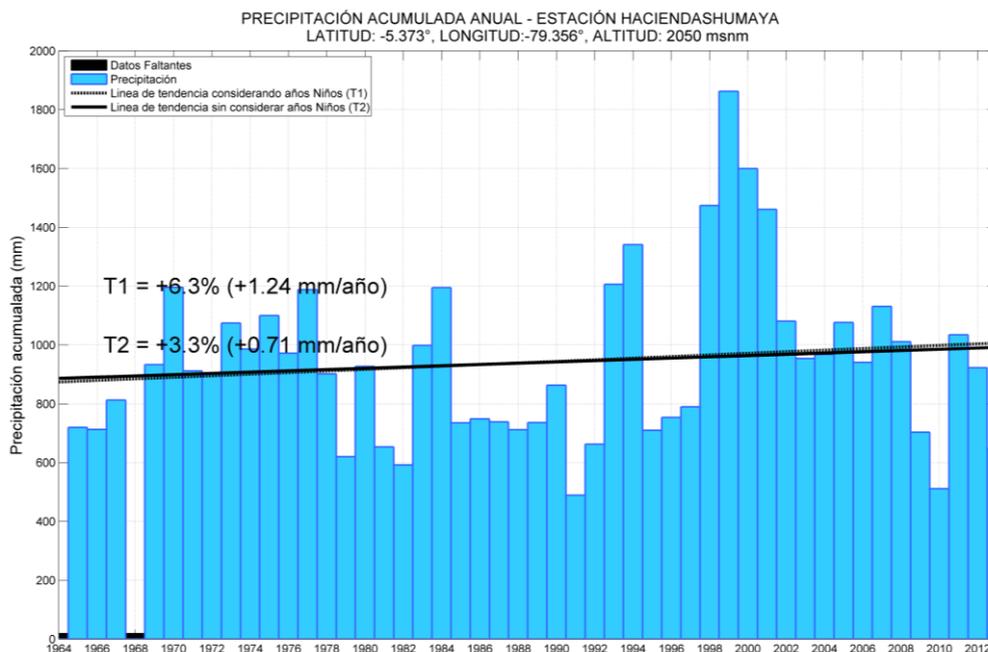


Figura N°26: Tendencia de precipitación de Hacienda Shumaya

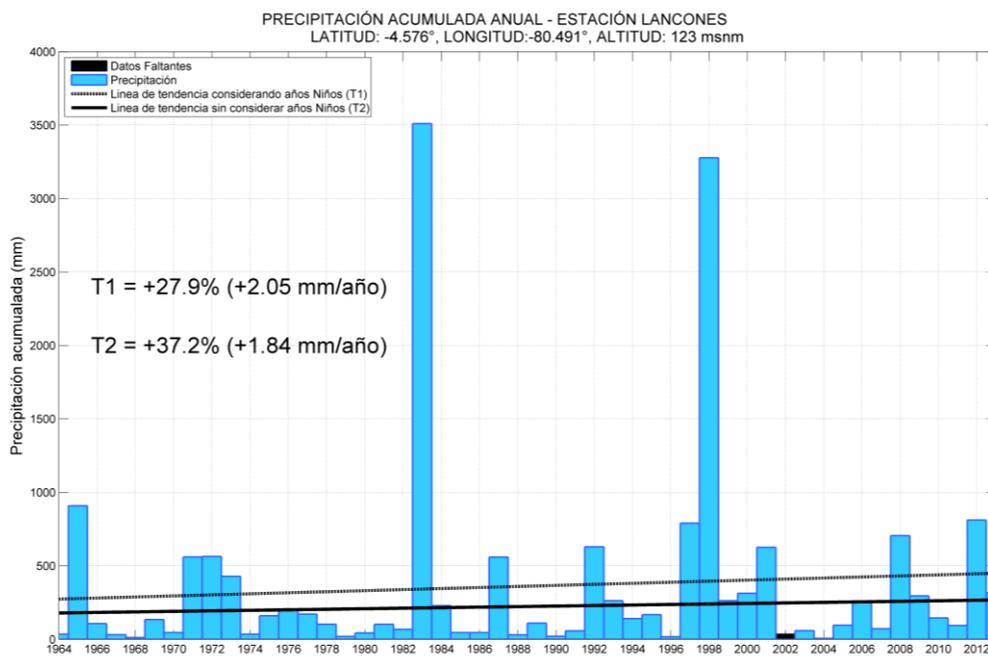


Figura N°27: Tendencia de precipitación de Lancones

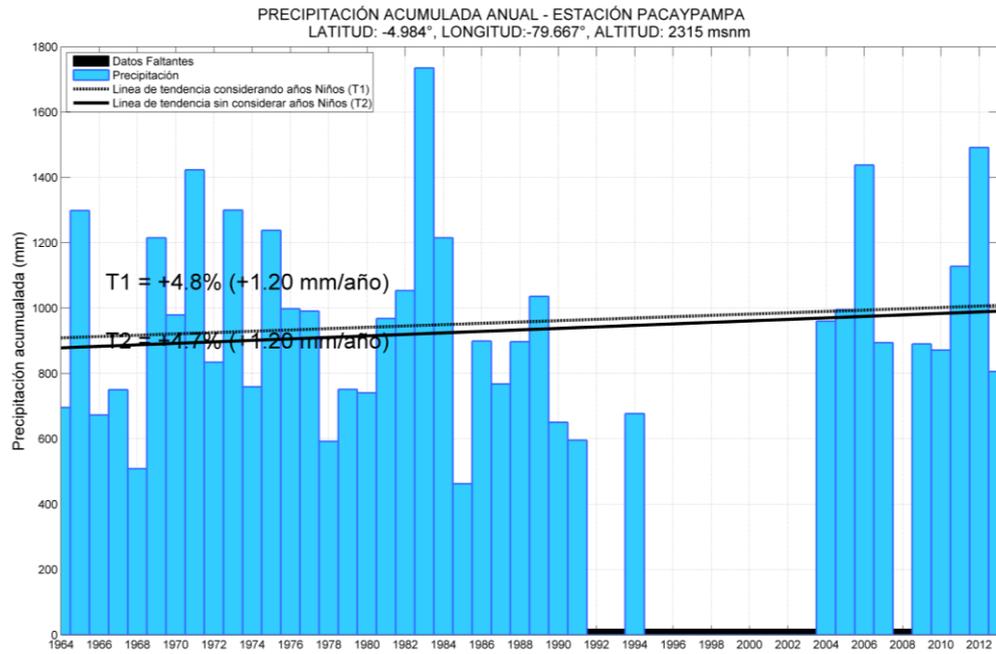


Figura N°28: Tendencia de precipitación de Pacaypampa

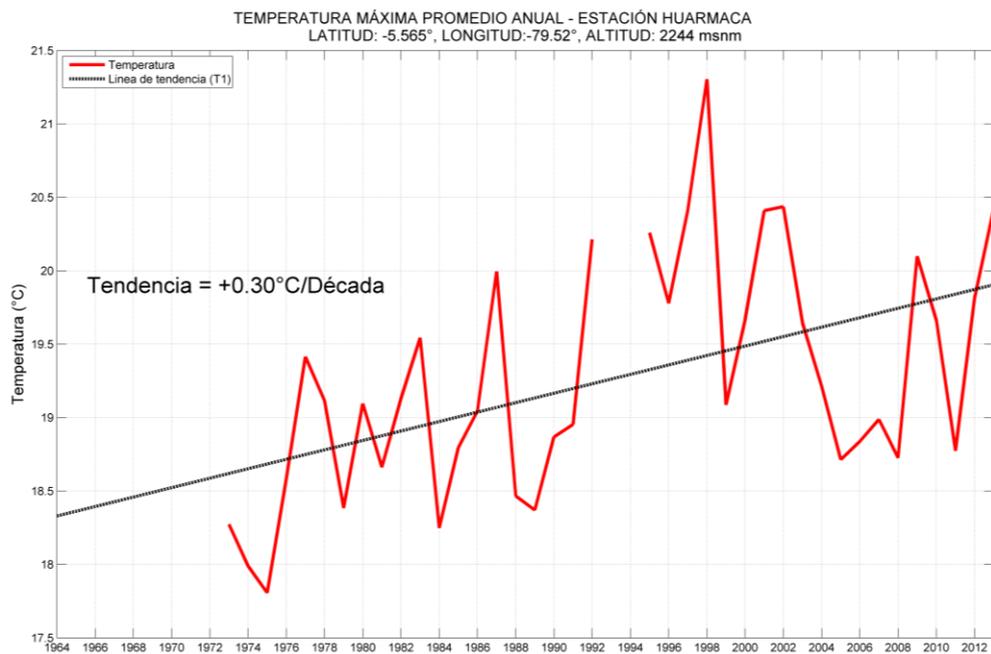


Figura N°29: Tendencia de temperatura máxima del aire de Huarmaca

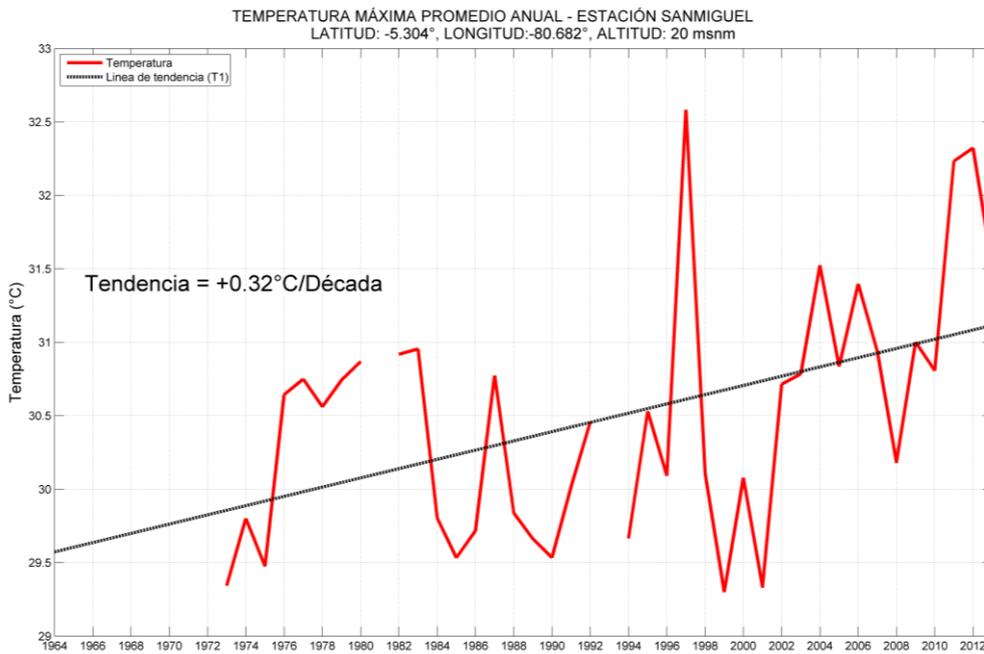


Figura N°30: Tendencia de temperatura máxima del aire de San Miguel.

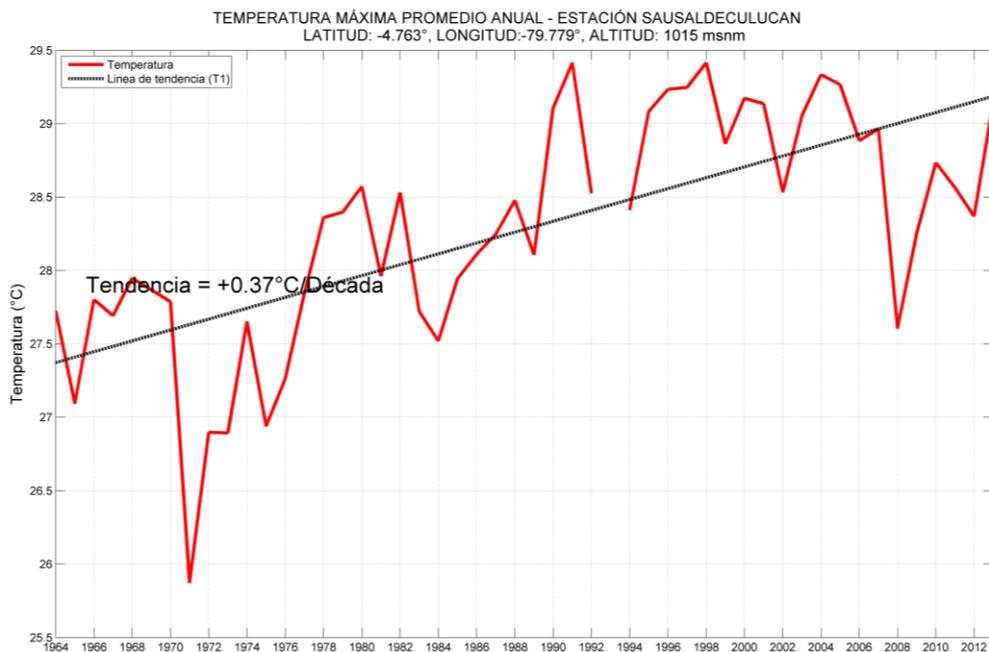


Figura N°31: Tendencia de la temperatura máxima del aire de Sausal de Culucan

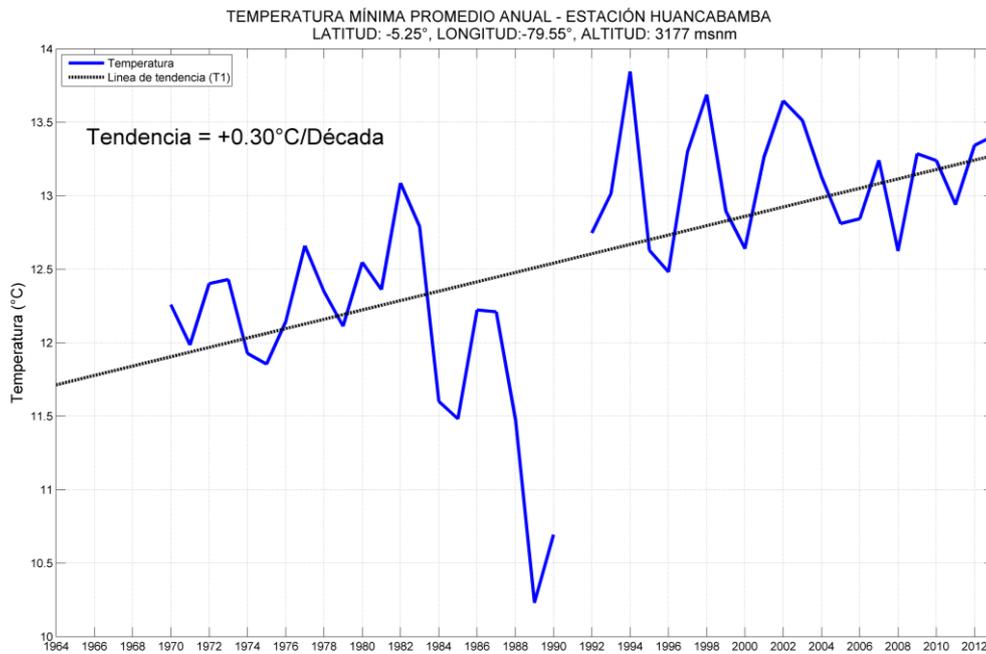


Figura N°32: Tendencia de temperatura mínima del aire de Huancabamba

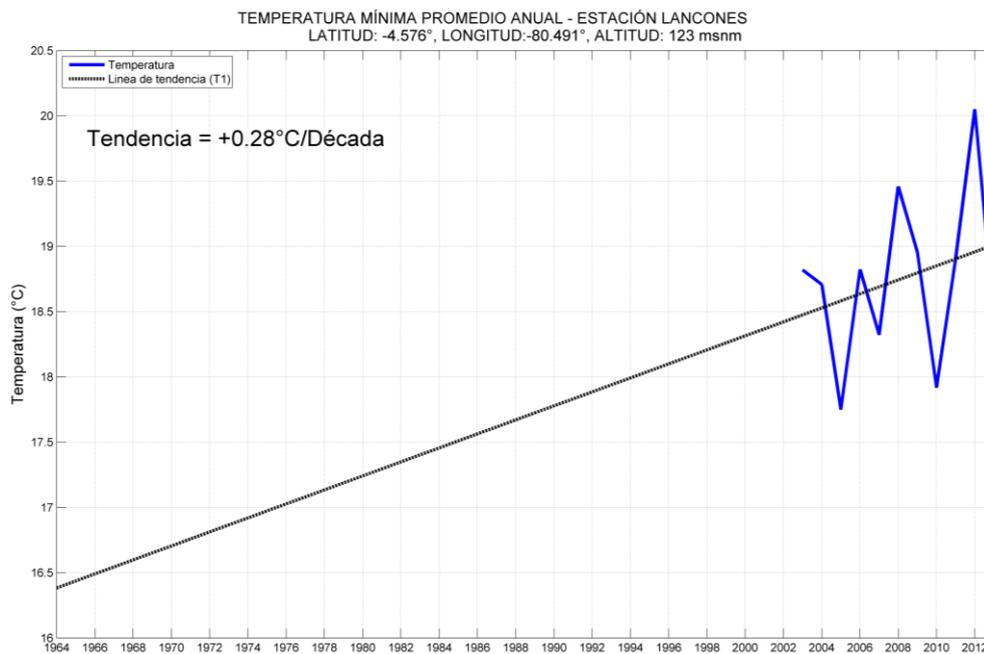


Figura N°33: Tendencia de temperatura mínima del aire de Lancones

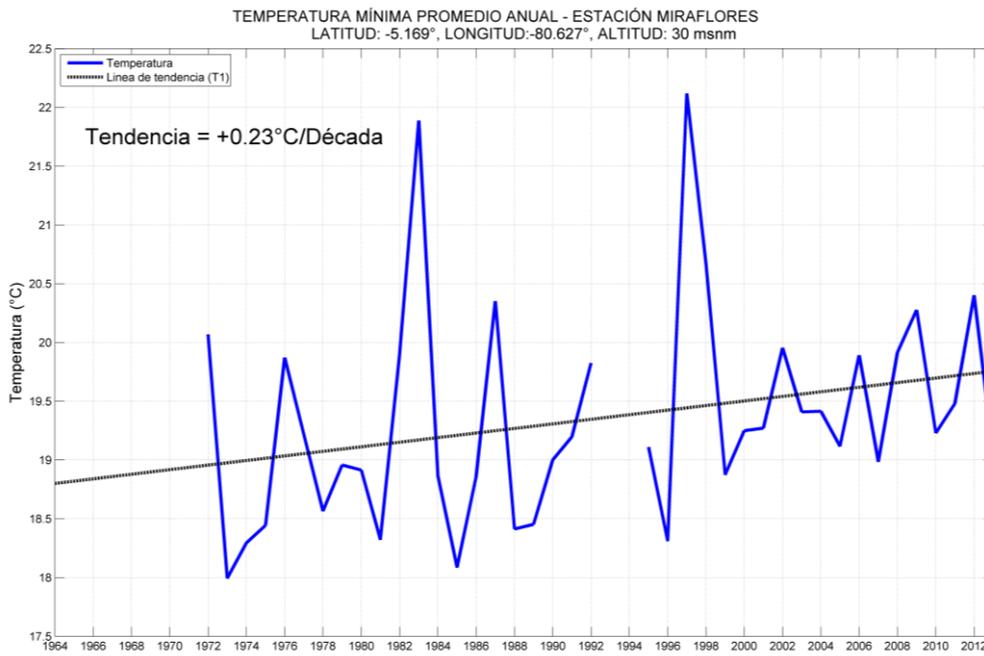


Figura N°34: Tendencia de temperatura mínima del aire de Miraflores

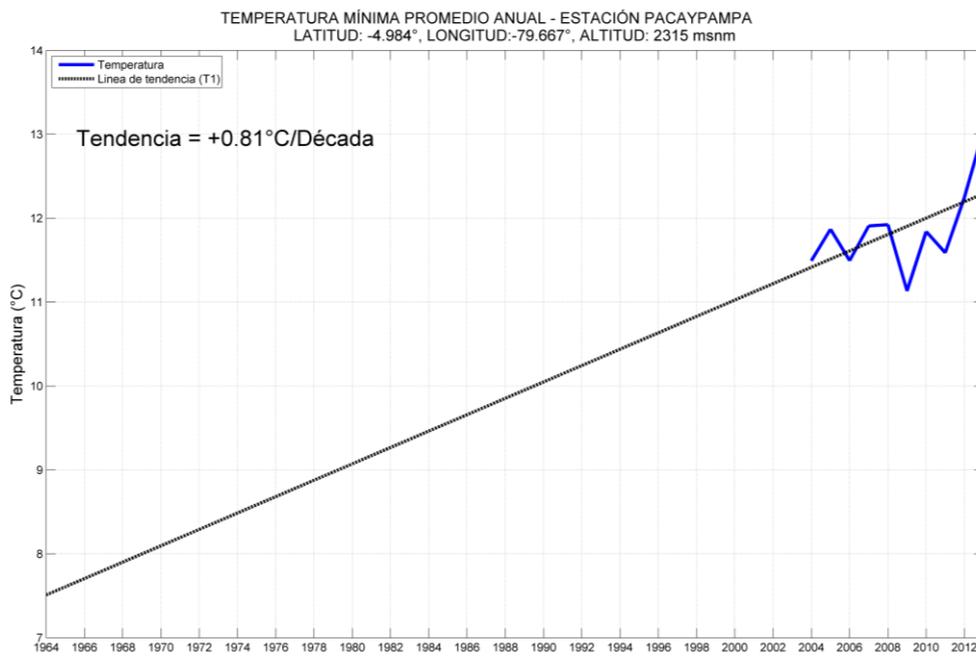


Figura N°34: Tendencia de temperatura mínima del aire de Miraflores