

Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú: Proyecciones al año 2030 en la Región Moquegua

Reporte ejecutivo

Autor: SENAMHI-PERÚ

Cubas F., Rosas G., Oria C., Acuña D., Ávalos G., Llacza A., Jácome G., Barreto C.

Tecnología de Información y computación de alto rendimiento:

Huiman O.

Dirección General de Meteorología

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Año: 2013

La presente publicación forma parte del Proyecto “Proyecto PET 1194: Fortalecimiento de Capacidades Regionales en la Gestión del cambio climático”, implementado en el Perú por el Ministerio del Ambiente – MINAM, con financiamiento del Banco Interamericano de Desarrollo - BID.

Ministerio del Ambiente – MINAM

Av. Javier Prado Oeste 1440, San Isidro, Lima.

Teléfono (51-1) 611600

<http://www.minam.gob.pe>

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú SENAMHI

Jr. Cahuide 785 Jesús María

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

<http://www.senamhi.gob.pe>

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

Fotos: Volcán Ubinas, Puerto Ilo y Carumas.

Diseño: SENAMHI

Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú:

Proyecciones al año 2030 en la Región Moquegua

Reporte ejecutivo

Ministro del Ambiente
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

Directora Alternativa del Proyecto
Laura Avellaneda Huamán

Coordinador de Proyectos de Adaptación al Cambio Climático-BID-MINAM
Josefa Rojas Pérez

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI

Presidenta 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

Equipo Técnico del SENAMHI – Perú

Autores :	Félix Cubas Saucedo Alan Llacza Rodríguez Gerardo Jácome Vergaray Christian Barreto Schuler
Contribuciones :	Lucinda Montañez Alba Gabriela Rosas Benancio Clara Oria Delia Acuña Azarte Veronika Castro Asenjo
Especialista SIG :	Silvia Guerra Gamarra
Computación de: alto rendimiento	Otto Huiman Carrasco Alan Llacza Rodríguez Gerardo Jácome Vergaray

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
SIGLAS	6
RESUMEN EJECUTIVO	7
I. INTRODUCCIÓN	8
II. CLIMA EN LA REGIÓN MOQUEGUA	9
2.1 Controladores Climáticos.....	9
2.2 Categorías de Aridez.....	11
2.3 Clima de Moquegua.....	11
2.3.1 Precipitación Anual.....	12
2.3.2 Temperatura del aire.....	14
2.3.2.1 Temperatura Máxima Promedio Multianual del Aire.....	15
2.3.2.2 Temperatura Mínima Promedio Multianual del Aire.....	17
2.4 Tendencias e índices de eventos extremos.....	19
2.4.1 Tendencias de la precipitación.....	20
2.4.2 Índices de eventos extremos de la precipitación.....	20
2.4.3 Índices de eventos extremos de la temperatura del aire.....	22
III. METODOLOGÍA - GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTIC	25
3.1 Modelos Climáticos Globales y Escenarios de Emisión.....	25
3.2 Cálculo de proyecciones climáticas.....	26
IV. PROYECCIONES CLIMÁTICAS EN LA REGIÓN MOQUEGUA	28
4.1 Cambio en la Precipitación.....	28
4.2 Cambio en la Temperatura del aire.....	28
V. CAMBIO CLIMÁTICO	34
VI. CONCLUSIONES	36
VII. RECOMENDACIONES	38
VIII. BIBLIOGRAFÍA	39
ANEXOS	41

Agradecimientos

El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI, expresa su agradecimiento al Ministerio del Ambiente como institución implementadora del “Proyecto PET 1194: Fortalecimiento de Capacidades Regionales en la Gestión del cambio climático” en el Perú. Asimismo, al Fondo Nacional del Ambiente como unidad administradora de los fondos del Banco Interamericano de Desarrollo.

Al Panel Intergubernamental de Cambio Climático, por la disponibilidad de las salidas numéricas de los Modelos Globales del Proyecto CMIP5.

Siglas

CMIP5 – Coupled Model Inter Comparison Project Phase 5

ENOS – El Niño – Oscilación Sur

GEI– Gases de Efecto Invernadero

IPCC - Intergovernmental Panel on Climate Change

MINAM – Ministerio del Ambiente del Perú

MCG – Modelo Climático Global

MCGAOA – Modelo de Circulación General Acoplados Atmósfera/Océano/Hielo marino

NCAR – National Center for Atmospheric Research

NCEP – National Center for Environmental Prediction

PRAA - Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales

SENAMHI – Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

SCNCC – Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático

RESUMEN EJECUTIVO

El cambio climático es un hecho irrefutable calificado por el IPCC (2007a) como “inequívoco”, y sus impactos son ya importantes.

- Según los resultados del Grupo de Trabajo II del Cuarto informe Científico AR4 del IPCC para América Latina (IPCC, 2007b), el Perú, como parte de la región andina tropical, es uno de los países que se verán más afectados por las consecuencias del cambio climático.
- Para realizar estudios de impactos de los posibles cambios del clima en el futuro en la región Moquegua, se requiere de modelos climáticos. Estos modelos requieren como entrada los escenarios futuros de emisiones de GEI los que a su vez se basan en modelos socio-económicos globales.
- El presente estudio considera una evaluación de los últimos modelos globales CMIP5 del IPCC para Perú, con el propósito de implementar técnicas combinadas de regionalización, en un futuro próximo, y generar escenarios regionales para Moquegua. El horizonte de evaluación corresponde al time-slice 2030, bajo el contexto del nuevo escenario de emisiones RCP8.5, habiéndose considerado como periodo de referencia 1971-2000.
- Los modelos globales utilizados son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR. Los principales **cambios proyectados** en la **Región Moquegua**, considerando el promedio de los modelos globales son los siguientes:

+1,0 °C a +1,5°C

Incremento de la temperatura del aire para el año 2030.



-5% a +5%

Sin cambios de la precipitación para el año 2030 (cambios dentro de la variabilidad).

Incertidumbre

Las proyecciones del clima futuro son inciertas. Es esencial reconocer y tratar de cuantificar estas incertidumbres, **no ignorarlas**. También hay una necesidad de planificar estrategias sólidas para prepararse para enfrentarse al cambio climático, en vez de usar la incertidumbre como una razón para la inacción.

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

Según el IPCC (2007) la temperatura del aire global de la Tierra tiene una tendencia creciente desde hace varias décadas. Desde comienzos de siglo XX la temperatura media global se ha incrementado en 0,74 °C, y los últimos doce años 2000-2011 son considerados como los más cálidos de los últimos 100 años, sin embargo, estos valores globales difícilmente explican los cambios del clima 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.

En el marco de la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático – SCNCC, el SENAMHI (2009) generó dos estudios importantes: “Caracterización del clima en el Perú: periodo 1971-2000” y “Escenarios climáticos en el Perú para el año 2030”; ambos a una escala de 1/2'000, 000. Los resultados dan cuenta de tendencias distintas sobre la precipitación, y más bien establece una tendencia general de calentamiento del orden de 0,2 °C por década, en los últimos cuarenta años (SENAMHI, 2009).

Surge entonces la necesidad de fortalecer la capacidad de respuesta de la población de manera organizada frente a los impactos negativos del cambio climático, orientando sus acciones a nivel regional, para lo cual es necesario diseñar “estrategias” que se constituyan en instrumentos de gestión para enfrentar cambios del clima, expresados en una mayor variabilidad y e impactos diferenciados dada la gran diversidad topoclimática de nuestro territorio. Sin embargo, si en este proceso las regiones presentan dificultades para elaborar dichas estrategias, es poco lo que se puede avanzar, por lo que el MINAM a través del Proyecto “Fortalecimiento de capacidades regionales en la gestión del cambio climático” busca reforzar las capacidades de respuesta ante estos cambios a través del diseño y formulación de las estrategias y planes de acción en nueve regiones del país.

El SENAMHI ha sido identificado como la entidad ejecutora de las actividades relacionadas con el estudio de los escenarios climáticos a nivel regional para el año 2030 en el marco de dicho Proyecto, 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 de la Región Moquegua.

Generar escenarios regionales implica tiempo de cálculo computacional extenso, es por ello que el presente estudio presenta las primeras aproximaciones de los últimos modelos CMIP5 del IPCC, en base a los escenarios de emisiones RCP8.5, siendo necesario complementar estos resultados con la implementación de metodologías que permitan aumentar el detalle de la información de los escenarios.

CAPÍTULO II.

CLIMA EN LA REGIÓN MOQUEGUA

El territorio del departamento de Moquegua se ubica entre las latitudes 16° 00' y 17° 30' sur y entre las longitudes 70° 00' y 71° 30' oeste; la configuración geográfica andina es caracterizada principalmente por procesos volcánicos. En la costa se pueden observar vestigios de la paleocordillera costera hundida durante el rápido nacimiento de la cordillera de los andes, motivo por el cual esta costa es la más accidentada del país, prueba de ello es la escasa distancia a la que se encuentra la cota de 1000 msnm del litoral y varios cerros con altitudes próximas a los 1500 msnm al norte del río Ilo. Entre las cotas de 1000 y 2000 msnm se encuentra un paisaje amplio y relativamente uniforme en la cual se encuentran varias pampas desérticas extensas por ahora improductivas desde el punto de vista agrícola.

En la costa, muy cerca al litoral, principalmente al norte de la ciudad de Ilo, se encuentra una cadena de acantilados, cuyo límite superior está alrededor de los 1000 msnm. Estos acantilados, paralelos a la línea de costa, impiden el ingreso del aire marino húmedo a las pampas desérticas, contribuyendo a la sequedad extrema de estas; sobre los acantilados están presentes numerosos cerros cuyas simas superan los 1000 m, incluso algunos superan los 1500 msnm; estos cerros durante el día son fuentes de calor a la atmósfera baja.

2.1 CONTROLADORES CLIMÁTICOS

Son sistemas meteorológicos que determinan el tiempo y clima de una determinada localidad, región o país. En el caso de la región Moquegua se consideran los siguientes:

- ❖ ALTA DE BOLIVIA
Sistema atmosférico de circulación antihoraria, ubicado principalmente sobre Bolivia a 12 kilómetros sobre el nivel del mar; formado como consecuencia del calentamiento de la sierra peruana, boliviana y chilena (calor sensible) y de las inmensas cantidades de calor liberado (calor latente) en la atmosfera media y alta cuando el vapor de agua cambia de estado, es decir de vapor a líquido y de líquido a solido (hielo). Durante el periodo seco (abril -agosto) no está presente el Alta de Bolivia; en el período de inicio de lluvias (setiembre-noviembre) se encuentra de manera irregular e intermitente o en forma de una dorsal.
- ❖ FRENTES FRÍOS
Cuando estas bandas nubosas de miles de kilómetros de longitud, que se extienden desde el Océano Atlántico sur, son intensas y llegan a la sierra boliviana, también promueve el ingreso de humedad desde la amazonia y el consiguiente desarrollo de nubes convectivas aisladas en la sierra de Moquegua. Estos sistemas meteorológicos pueden ocurrir en cualquier estación del año.
- ❖ ANTICICLÓN DEL ATLÁNTICO SUR
Es un sistema de circulación antihorario próximo a la superficie terrestre, cuyo centro está posicionado sobre el Océano Atlántico sur, durante el periodo de lluvias el centro se ubica próximo al continente africano, y la atmósfera al este de los andes tiende a ser inestable, por lo cual la humedad próxima al este de la cordillera de los andes es transportada verticalmente y forma nubes productoras de lluvias en el altiplano y sierra de Moquegua; este sistema a través de los vientos alisios de sureste transporta grandes cantidades de humedad hacia la cuenca amazónica; humedad que también llega a la sierra de Moquegua. . En el periodo de ausencia de lluvias el anticiclón

del atlántico sur se intensifica y se aproxima al continente sudamericano promoviendo una atmosfera estable (inhibición de los movimientos verticales ascendentes) sobre gran parte de la cuenca amazónica, además en este periodo los húmedos vientos alisios no están direccionados a la cordillera oriental sino que se dirigen hacia la selva colombiana y venezolana.

❖ ANTICICLÓN DE ATLÁNTICO NORTE

Igual que su contraparte del Atlántico sur fomenta el ingreso de humedad en niveles bajos de la atmosfera hacia la selva venezolana, colombiana y también peruana y de algún modo llega hacia la sierra de Moquegua; el transporte de humedad es llevado a cabo por los vientos alisios del noreste, asociados al anticiclón.

❖ ANTICICLÓN DEL OCÉANO PACIFICO SUR

Sistema meteorológico responsable del tiempo y clima del mar peruano, la costa peruana y gran parte de la sierra de Moquegua, en épocas de lluvias el centro del anticiclón migra hacia el suroeste, por lo cual la subsidencia disminuye, igual que la cobertura de nubes estratos; el anticiclón en la estación de otoño e invierno se intensifica, el centro anticiclónico se aproxima al continente y se ubica aproximadamente en 30°S y 90°W, posición que le permite transportar por debajo de la capa de inversión mas aire frio y húmedo hacia la costa y mar de Moquegua; ocasionalmente llegan a la costa de Moquegua perturbaciones frontales superficiales (surges en inglés), las cuales se manifiestan con nubes estratos extensas y lloviznas persistentes.

❖ INVERSIÓN TÉRMICA

Es una característica termodinámica de la atmosfera baja del territorio costero peruano, a cuya presencia se debe las características desérticas de la costa peruana y por consiguiente de Moquegua. La inversión térmica es una capa de la atmosfera situada entre 800 y 1500 msnm aproximadamente, en la cual la temperatura del aire incrementa con la altura, es decir es una capa muy estable que limita fuertemente el ascenso del aire húmedo marino a mayores alturas, por lo tanto impide la formación de nubes generadoras de lluvias. En períodos de lluvia ocasionalmente a lo largo de la costa peruana, la inversión térmica no desarrolla o se debilita significativamente. Durante el evento El Niño moderado a fuerte, la inversión térmica ‘desaparece’ en el período de lluvias en la costa de Tumbes, Piura y Lambayeque; mientras que, en la costa de Moquegua no se forma y en estas circunstancias pueden ocurrir lluvias importantes. En el período de La Niña, la ocurrencia de lloviznas, niebla, neblina y la presencia de nubes estratos es muy frecuente en Moquegua; en cambio, en años normales, el mar peruano aumenta su temperatura, si esto coincide con la estación de lluvias, favorece la ocurrencia de la misma, en toda la costa de Moquegua.

❖ CORRIENTE EN CHORRO

Sistema meteorológico caracterizado por la presencia de vientos del oeste muy fuertes a 12 kilómetros sobre el nivel del mar y sobre el espacio geográfico de Moquegua, en la estación de otoño e invierno principalmente; en estas estaciones, estos vientos con muy poca humedad intensifican y se extienden verticalmente a menores altitudes afectando a la puna de Moquegua, pero con menor velocidad; por lo cual la atmósfera de la sierra de Moquegua se caracteriza por ser ventosa y seca en otoño y en invierno principalmente. En el período lluvioso estos vientos migran al centro del territorio chileno, razón por la cual a la sierra del departamento de Moquegua, ingresan vientos húmedos del este.

❖ DEPRESIÓN ATMOSFÉRICA DE NIVELES ALTOS (DANA)

Sistema meteorológico que al ubicarse al oeste de la costa norte de Chile y al oeste de la costa sur del Perú promueve un intenso transporte de humedad desde el norte y este hacia la sierra de Moquegua, la cual durante la noche o tarde precipita a la

superficie como nieve; la velocidad del viento en la sierra y la cantidad de nieve precipitada depende principalmente de la intensidad de la DANA que se manifiesta en el grado de enfriamiento que tiene la DANA; a 5000msnm, se ha observado enfriamiento de hasta 15°C. Ocasionalmente cuando la DANA llega a niveles bajos (1500 msnm o menos) de la atmósfera induce precipitaciones tipo lluvia o llovizna en la sierra y costa de Moquegua.

❖ **TEMPERATURA SUPERFICIAL DEL MAR (TSM)**

El clima y tiempo de la costa es regulado fuertemente por la TSM; en el puerto de Ilo el promedio mensual de ésta TSM varía entre 15.1°C en setiembre a 17.5°C en febrero. El impacto de las anomalías positivas o negativas de las TSM sobre el tiempo y clima de la costa de Moquegua depende:

Ubicación.-La influencia local es diferente si la anomalía está ubicada en el océano norte de Chile, en el mar de Moquegua o en el mar de Moquegua

Extensión.- El impacto será diferente si el área anómala abarca decenas, centenas o miles de kilómetros cuadrados.

Magnitud.- El impacto va diferir si la anomalía es de 01, 02 ó 03°C

Profundidad.- Esta característica principalmente regula la duración del impacto, así si las anomalías están en decenas de metros de profundidad la perturbación va a durar más tiempo, en cambio si es superficial la anomalía (algunos días) dura algunos días.

2.2 CATEGORÍAS DE ARIDEZ

Según el índice de aridez desarrollado por las NACIONES UNIDAS, el espacio geográfico del departamento de Moquegua comprende:

- ❖ **Zonas extremadamente áridas (hiperáridas):** Precipitación entre 00 y 100 mm, corresponde al espacio entre el litoral y la cota aproximada de 2500 msnm. ; abarca todos los distritos de la provincia de Ilo, el distrito de Moquegua y la Capilla etc. Se puede decir que aproximadamente el 50% del territorio de Moquegua es hiperárido.
- ❖ **Zonas áridas:** Precipitación entre 100 y 250 mm corresponde a la franja entre 2000 y 3500 msnm.
- ❖ **Zonas semiáridas:** Precipitación entre 250 y 800 mm, correspondería a la franja entre los 3500 hasta las cumbres de los nevados y cerros ubicados en la provincia de Mariscal Nieto y Sánchez Cerro.
- ❖ **Zona subhúmeda seca:** Precipitación de 800 a 1200 mm, corresponde a un pequeño espacio en el norte de la provincia de Sánchez Cerro, distrito de Ichuña.

2.3 EL CLIMA DE MOQUEGUA

Moquegua es el departamento menos lluvioso después de Tacna; comprende un paisaje hiperárido en la costa; árido y semiárido en la sierra, esta aridez se debe:

Principalmente a su ubicación geográfica, la cual coincide con el espacio de muy fuerte subsidencia atmosférica (movimientos verticales descendentes del aire) asociada al anticiclón del océano pacifico sureste.

Su lejanía a la fuentes de humedad como son la evaporación y transpiración de vapor de agua en la cuenca amazónica y evaporación del océano atlántico.

A la relativamente agua fría, característica predominante del mar peruano, del cual se evapora poco agua y que además contribuye a estabilizar el aire de las capas bajas de la atmósfera.

Al flujo de aire seco o muy seco, sobre la base de la inversión el cual proviene desde el desierto de Atacama, el cual diluye el aire húmedo proveniente del mar; parte de este aire diluido (seco) durante el día fluye a las vertientes andinas limitando drásticamente la formación de nubes convectivas y la llegada a la superficie de las gotas de lluvia.

En la estación de verano cuando ocasionalmente la inversión térmica desaparece o es poco intensa, las temperaturas del agua de mar incrementan significativamente o está presente un Niño moderado o fuerte, Ingresa suficiente humedad del Océano Pacífico a los valles y pampas, las cuales al ascender condensa y da lugar a lluvias localizadas a veces intensas.

Se puede afirmar con toda certeza que la precipitación en todo el departamento es escasa e insuficiente para satisfacer todas las demandas (doméstico, industrial, agrícola y minero). Estas deficiencias de agua se acentuarán en el futuro debido al crecimiento poblacional, económico y al “calentamiento global” (incremento de temperaturas).

En la costa hiperárida las lluvias son muy escasas; la franja comprendida entre el litoral y aproximadamente los 800 msnm (base de la inversión térmica) está influenciada por la capa límite marina, es decir por una masa de aire relativamente húmeda en la cual hay condensación del vapor de agua y forman las neblinas o las nieblas, estas últimas muy frecuentes desde mayo a setiembre las cuales suministran humedad a la superficie en forma de llovizna principalmente en horas de la noche y primeras horas del día, lo cual explica las mayores cantidades de precipitación comparadas a las localidades comprendidas entre los 1000 y 2500 msnm. Las nieblas advectivas son frecuentes en los meses de otoño e invierno.

Entre 800 y 2500 msnm la sequedad atmosférica es máxima y persistente durante el año, dado que coincide con la capa de inversión térmica (aumento de la temperatura con la altura en la atmósfera baja).

En esta zona, se desarrolla la convección seca a causa de la alta insolación; casi toda la radiación neta es utilizada para calentar el aire superficial y el suelo desértico debido a la falta de humedad; este proceso físico se manifiesta con el desarrollo de nubes dispersas de buen tiempo (cúmulos humiles) en horas de la tarde; además este aire seco y cálido es transportado hacia el este, a las abruptas vertientes andinas y valles contribuyendo en la aridificación del paisaje.

En el sector comprendido entre los 2500 y 5000 msnm las precipitaciones incrementan con la altitud, desde aproximadamente 150 mm en la cota inferior a más de 500 mm en la Suni; las precipitaciones en la región Puna y Suni (>3800 msnm) son del tipo lluvia, granizo, nieve, llovizna y rocío; ocasionalmente ocurren violentas tormentas acompañadas de vientos fuertes (velocidades mayores a 42 km/h).

2.3.1 PRECIPITACION ANUAL

En los meses de otoño en el departamento precipita muy poco y estas se restringen al mes de marzo, en abril y mayo precipita muy poca lluvia medible o no precipita a excepción de días en los que se posee una DANA (depresión atmosférica de niveles altos) en el mar territorial norte de Chile, la cual favorece el transporte de aire húmedo desde el noroeste, norte y noreste hacia la puna de Moquegua por lo tanto

induciendo precipitaciones tipo nevada, aguanieve y lluvia; algunas veces en toda la sierra moqueguana.

En las cotas inferiores a 3800 msnm, hay lluvias ligeras en el mes de marzo; en los meses de abril y mayo prácticamente no llueve, predomina el cielo con nubosidad escasa o cielo despejado.

En invierno, tanto en la región de la puna y en las otras regiones las precipitaciones son no medibles, En la puna en la mayoría de las localidades precipita menos de 05 mm por mes, ocasionalmente ocurren generalizadas precipitaciones tipo nieve, siempre y cuando haya un sistema meteorológico denominado DANA sobre el océano Pacífico Tropical, al oeste del litoral norte de Chile. Estas nevadas causan estragos en los auquénidos pequeños tales como llamas, alpacas, vicuñas y también en las ovejas.

Sobre los 3000 msnm, los vientos secos del oeste intensifican, hay alta energía solar incidente y extrema sequedad atmosférica; estos factores contribuyen a tener muy alta evapotranspiración potencial; probablemente las más altas del país. Durante las noches, frecuentemente en el cañón del río Tambo, ocurren los vientos katabaticos o vientos de drenaje, su origen está en el fuerte enfriamiento nocturno del aire en las cabeceras de las cuencas y microcuencas, el cual al enfriar aumenta su densidad, se hace más pesado y comienza a fluir por las abruptas pendientes hacia cotas más bajas. Durante el día ocurre lo contrario, es decir el aire se calienta en las pampas desérticas, en el fondo de los valles y de las quebradas; disminuye su densidad, disminuye su peso y fluye hacia las cabeceras de las cuencas y microcuencas: pero como este aire es seco o muy seco y relativamente caliente no se forman nubes productoras de lluvias.

En la costa desde el nivel del mar hasta los 1000 msnm las precipitaciones son del tipo llovizna, una manifestación de este tipo de precipitación es la vegetación de "lomas" presente en algunas localidades propicias para concentrar el flujo del aire marino húmedo; en estos meses la deposición de humedad en forma de rocío sobre las superficie desértica es significativa en horas nocturnas y calmadas (ver mapa 3)

En la estación de primavera empiezan a ocurrir precipitaciones aisladas y están concentradas a la región Puna de la provincia de Sánchez Cerro, los totales acumulados son de aproximadamente 150 mm en el trimestre.

En cotas inferiores al de la región puna hasta el nivel del mar muchas veces llueve cantidades no medibles, las lluvias medibles (mayor a 0.1mm) en términos generales acumulan cantidades menores a 10 mm en el trimestre, las cuales son insignificantes para el desarrollo de las actividades humanas. En los meses de setiembre y octubre, en la franja cercana al litoral, ocurre precipitación tipo llovizna y deposición de rocío, esta característica hídrica permite el desarrollo del ecosistema especial denominado lomas, presente entre la cota de 400 y 800 msnm (ver mapa 4).

En la franja costera la deposición de sal (NaCl) es aparentemente alta, Gutiérrez (1998) ha estimado que en el desierto de Atacama se depositan 150 kg/ha/año; es probable que cantidades similares se depositen en el desierto de Moquegua. La fuente de esta salinidad es el agua de mar, que al ser agitada por el viento, genera oleaje el cual favorece el flujo vertical de gotitas de agua muy pequeñas, que al evaporar en el aire liberan las partículas de sal, las cuales son transportadas por el viento hacia la costa, entonces podemos decir que a mayor oleaje mayor transporte de sal a la costa, como ocurrió hace 20000 años atrás, en el último máximo glacial.

En la estación de verano ocurre aproximadamente el 70% de las precipitaciones, principalmente debido al transporte de humedad por los vientos del norte y del este que trasvasan la cordillera oriental, asimismo, en plena época lluviosa los pequeños cuerpos de agua, la vegetación natural, los bofedales y humedales son importantes fuente de humedad local. El Lago Titicaca también es una fuente de humedad importante para las precipitaciones que ocurren en la puna de las provincias de Sánchez Cerro y Mariscal Nieto

En la región de la Puna (mayor 3800 msnm), las precipitaciones son del tipo lluvia, granizo, nieve, aguanieve y en menor medida llovizna y totalizan 300 a 400 mm como puede verse en el mapa 5, las menores precipitaciones ocurren en dirección oeste.

En la franja comprendida entre 2000 y 3800 msnm las precipitaciones son escasas y estas van desde 50 a 300 mm.

Desde el nivel del mar hasta los 2000msnm prácticamente no precipita. Las muy escasas precipitaciones no son importantes para las actividades humanas. Las precipitaciones se caracterizan por ser escasas y ocasionales en muchas localidades no precipita durante años; habría que recalcar que el desierto de Moquegua y de Tacna son continuación del desierto de Atacama considerado el desierto más seco del mundo.

2.3.2 TEMPERATURA DEL AIRE

El elemento climático temperatura en la costa está determinado por factores astronómicos, oceanográficos, meteorológicos, orográficos y características térmicas de la superficie desértica; mientras en la sierra está fuertemente influenciada por la orografía, cobertura nubosa y los gases de efecto invernadero naturales (vapor de agua y dióxido de carbono principalmente).

Las temperaturas en las superficies de los desiertos tropicales son en general muy altas y habría que señalar que en estos paisajes ocurren las temperaturas más altas de la tierra. En los desiertos peruanos, en la franja (800 a 1500 msnm) que aproximadamente coincide con la capa de inversión térmica ocurren temperaturas superficiales muy altas; así Heinz (1964) realizó mediciones en la superficie de la Pampa de la Joya (Arequipa), entre el día 11 y 12 de Julio de 1964; en la que encontró una temperatura máxima de 66.9°C y una mínima de 3,8 °C cuyo rango (63.1) es considerado extraordinario. Temperaturas similares probablemente también ocurren en las pampas de Clemesi, Guaneros, Purgatorio etc.; Estas temperaturas muy altas del desierto afectan el clima y tiempo del departamento, ya que toda la energía radiante disponible se transforma en calor sensible (calentar el suelo y el aire) que es transportado en el aire muy seco hacia las vertientes andinas, al norte y noroeste, tanto horizontal y verticalmente.

FACTORES FÍSICOS QUE FAVORECEN TEMPERATURAS MÁXIMAS SUPERFICIALES EXTERNAS:

- ❖ Mínima distancia tierra-sol.

- ❖ Pequeño Angulo zenital solar al mediodía.
- ❖ Trayectoria óptica corta (baja presión atmosférica o menor masa en la columna atmosférica).
- ❖ Concentración reducida de gases absorbentes de la radiación solar especialmente vapor de agua.
- ❖ Baja turbidez, es decir aire limpio, libre de contaminantes y aerosoles.
- ❖ Inclinação del terreno normal a los rayos solares al mediodía.
- ❖ Bajo albedo de la superficie (baja reflexión solar).
- ❖ Superficies cóncavas.
- ❖ Baja emisividad de la superficie.
- ❖ Ausencia de reacciones fotoquímicas tales como la fotosíntesis (consume energía solar).
- ❖ Ausencia de agua en la superficie y subsuperficie.
- ❖ Viento en calma.
- ❖ Baja Rugosidad Superficial Aerodinámica.
- ❖ Baja admitancia termal en la superficie y debajo de la superficie.

Muchos de estos factores físicos ocurren en los desiertos peruanos principalmente en aéreas desérticas ubicadas por encima de los 800 o 1000 msnm coincidiendo aproximadamente con la capa de inversión.

2.3.2.1 TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO MULTIANUAL DEL AIRE

La distribución espacial de la temperatura máxima promedio anual depende básicamente de la altitud, los valores más altos coinciden con la ubicación altitudinal promedio de la inversión térmica, franja donde la capa límite atmosférica marina ya no tiene influencia significativa. El límite superior de de la inversión térmica está ubicado aproximadamente en 1500 msnm y coincide con la isoterma de 26 °C, desde esta zona en dirección nornordeste la temperatura disminuye gradualmente hasta la región puna donde la temperatura alcanza valores de 08°C y de 04 °C en la región nival. Las isotermas siguen aproximadamente las curvas de nivel.

Entre el litoral y los 800 msnm (base de la inversión térmica) la magnitud de las temperaturas están influidas por la dinámica y termodinámica de la capa límite atmosférica marina. La más fuerte influencia de esta capa se observa en los meses de otoño e invierno cuando el aire húmedo marino sobre la costa condensa y forma la capa de nubes estratos a veces persistentes por varios días, las cuales reflejan un alto porcentaje de la radiación solar, así como también absorben y dispersan otros porcentajes, llegando a la superficie solamente radiación difusa razón por la cual las temperaturas máximas y diurnas son más bajas que las correspondientes a las que ocurren sobre los 800 msnm. (Ver mapa 10)

En la sierra del departamento, en los meses de otoño, la magnitud de las temperaturas máximas tiene variación mensual pequeña, por lo cual el campo de

temperaturas del aire superficial no cambia en relación al trimestre DIC-ENE-FEB y esto se debe a la escasa cobertura nubosa presente por lo que la radiación solar incidente es relativamente alta.

En la costa, cerca al litoral, debido al incremento de la cobertura nubosa desde marzo a mayo y a la disminución gradual de las temperaturas superficiales del agua de mar las temperaturas máximas en la costa también disminuyen aproximadamente en 02°C (Ver mapa 7).

No hay cambio en la distribución espacial de las isotermas máximas en todo lo que es territorio serrano, en los meses de invierno. En la costa, en el espacio afectado por la inversión térmica, claramente se observa (ver mapa 8) similar distribución espacial de los campos de temperatura, respecto al trimestre Mar-Abr-May.

En la franja costera, cercana al litoral ocurren las temperaturas máximas más bajas y esto es debidas:

- ❖ A la cobertura nubosa estratiforme persistente en varios días consecutivos.
- ❖ A la disminución de las temperaturas superficiales del agua de mar (TSM).
- ❖ A los ocasionales e intensos transporte de aire marino, frio y húmedo, por debajo de la base de la inversión, desde el mar chileno hasta la costa sur peruana.
- ❖ A la intensificación y persistencia de la subsidencia asociada a la migración normal hacia el norte del Anticiclón del Océano Pacífico Sur, por lo cual el aire húmedo queda confinado por debajo de la base de la inversión térmica.

En este trimestre la isoterma máxima que caracteriza a la costa cercana al litoral es la de 17 °C.

En la estación de primavera, desde setiembre a noviembre en la franja costera, la cobertura nubosa estratiforme disminuye gradualmente, las temperaturas del mar incrementan, disminuyen las advecciones de aire frio por disminución de los vientos alisios del sureste; estas tres características favorecen el incremento de las temperaturas máximas en la costa; la isoterma que caracteriza al trimestre es la de 23 °C.

En la sierra el transporte de aire húmedo desde el este incrementa paulatinamente lo cual favorece la formación de nubes, pero no tienen impacto en la magnitud de las temperaturas máximas, dado que la radiación solar que llega al departamento también incrementa desde setiembre a noviembre. Las temperaturas máximas incrementan desde un valor máximo de 26 °C que se da en las pampas costeras hasta un valor de 08°C que ocurre en la región suni. (Ver mapa 9)

Ya en verano, la configuración espacial de las isotermas en este trimestre es similar a la configuración multianual desde los 1500 msnm hasta la región nival; por debajo de esta cota el campo se uniformiza, es decir las variaciones espaciales de temperatura son pequeñas y se debe al debilitamiento de la subsidencia por lo cual el aire húmedo de la capa límite marina penetra a mayor altura y a mayores distancias desde el litoral (Ver mapa 6).

2.3.2.2 TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO MULTIANUAL DEL AIRE

La configuración espacial de la temperatura mínima depende principalmente de la altitud y la orografía, la isoterma de 14°C, la más alta se ubica en la franja costera próxima al litoral, mientras la más baja se ubica en los cerros que se cubren de nieve en periodos de lluvia, donde la temperatura mínima media multianuales alcanzaría el valor de -12 °C o menos. Esta temperatura enmascara las variaciones estacionales, estas son más marcadas en la región Puna y Suni, en esta última la variación entre verano e invierno puede llegar a 12°C; mientras en la costa cerca al litoral llega a 08°C.

En la sierra, durante el día, en la atmosfera próxima a la superficie, predominan las brisas (viento) de valle-montaña, mientras en la noche predominan las brisas de montaña-valle (vientos katabáticos); los vientos katabáticos intensifican durante el otoño e invierno por el intenso enfriamiento de las cabeceras de las cuencas durante las noches (Ver mapa 15).

En todo el departamento las temperaturas mínimas disminuyen respecto al trimestre anterior, en la estación de otoño.

En la costa disminuyen por:

- ❖ Las incursiones de masas de aire húmedas y frías procedentes del territorio chileno y mar chileno empiezan a incursionar a la franja costera del sur del Perú principalmente en mayo.
- ❖ La cantidad de radiación solar incidente disminuye.
- ❖ Las noches duran más (aproximadamente 13 horas en junio)
- ❖ La temperatura de la superficie desértica, así como del substrato disminuye.

La isoterma que caracteriza a la franja costera cercana al litoral, con mucha influencia marina, es la de 14 °C. Desde los 800 a los 2000 msnm el enfriamiento es más pronunciado, se debe a la fuerte sequedad del aire causada por la subsidencia atmosférica, en esta franja la temperatura mínima media es de 12 °C.

En la sierra las temperaturas mínimas disminuyen desde 10°C en el límite inferior hasta los -10°C en la región Suni.

En la región Puna y Suni principalmente, se debe mencionar la persistencia e intensificación de los vientos oestes, que se caracterizan por contener muy poco vapor de agua que originan desecamiento acelerado del paisaje (mayor transpiración y evaporación), por lo tanto paulatinamente menos flujo de vapor de agua a la atmosfera y como resultado de este intercambio intensificación de las temperaturas mínimas (Ver mapa 12).

En invierno ocurren las temperaturas más bajas del año tanto en la costa como en la sierra.

En la costa, en la franja con fuerte influencia marina, la isoterma que lo caracteriza es la de 12 °C. En este trimestre la cobertura nubosa estratiforme es máxima tanto en profundidad como en extensión, la advección de masas de aire más frías desde el sur (territorio chileno) son más frecuentes y persistentes. En las pampas

desérticas, donde la influencia del mar es reducida, las temperaturas mínimas en este trimestre son de aproximadamente 09 °C.

En la sierra las temperaturas mínimas disminuyen gradualmente con el incremento de la altitud, desde 08°C hasta -18°C alrededor de los nevados (antes glaciares), estos valores muy bajos se debe a la intensa sequedad atmosférica, a la escasa humedad presente en el suelo, a la escasa presencia de nubes durante la noche, a la escasa cobertura vegetal y a la reducida transpiración de la vegetación natural (Ver mapa 13).

Ya en los meses de primavera se tiene:

- ❖ Normalmente las temperaturas mínimas incrementan en relación al trimestre anterior por lo siguiente:
- ❖ Desde la tercera década del mes de setiembre el sol, en su marcha aparente, está en el hemisferio sur, en noviembre los rayos solares están incidiendo verticalmente al mediodía, sobre el espacio geográfico de Moquegua, por lo cual normalmente llega más energía solar a la superficie.
- ❖ El ingreso de humedad hacia las cabeceras de cuencas y a toda la sierra moqueguana desde el este incrementa paulatinamente.
- ❖ Los días en el mes de noviembre tienen aproximadamente 13 horas.
- ❖ Los vientos del oeste o con componente oeste con muy poca humedad, sobre los 4000 msnm, migran al sur (al norte y centro del territorio chileno) y gradualmente son remplazados por los vientos húmedos del este sobre el territorio de Moquegua.

En la costa, al oeste del límite superior de los acantilados, las temperaturas mínimas paulatinamente incrementan en consonancia con el incremento de la temperatura del agua de mar, el incremento de la radiación solar incidente, la disminución de las incursiones de aire frío del sur, la disminución del espesor y persistencia de las nubes estratos y la menor frecuencia de ocurrencia de nieblas advectivas. La isoterma que caracteriza a esta parte de la costa es la de 13 °C. Al este de los acantilados (pampas desérticas), donde la influencia marina es restringida por los acantilados, la temperatura mínima media es de 11 °C.

Las isotermas de temperaturas mínimas que caracterizan a la sierra van desde 08°C en el límite inferior, aproximadamente a los 2500 msnm y la de -14°C en los 5500 msnm donde se ubican los nevados y cerros más altos (Ver mapa 14).

Esta temperatura es máxima en verano en todas las localidades del departamento debido principalmente a la mayor incidencia de radiación solar y a la presencia de mayor cantidad de vapor de agua en la columna atmosférica.

En la costa cerca al litoral la temperatura es aproximadamente uniforme, la isoterma que lo caracteriza es la de 20°C; mientras en las pampas desérticas a la altura de la capa de inversión la temperatura mínima es de 16°C

En la sierra la temperatura disminuye con la altitud y está fuertemente influenciada por la humedad presente en el aire y en el suelo, dado que el vapor de agua es un gas de efecto invernadero: por lo cual a más agua presente en el suelo y más vapor de agua en el aire, menor disminución de la temperatura mínima.

Las isotermas que caracterizan a esta región van de 12°C a 2000 msnm a la de – 06°C a los 5500 msnm. (Ver mapa 11).

En el caso de localidad de Omate, el comportamiento de la precipitación mensual evidencia la presencia de un periodo húmedo con valores no mayores a 10 mm.

En cuanto a la temperatura máxima los valores oscilan entre los 25°C en casi todo el año; mientras que, la temperatura mínima alcanza su valor más bajo en los meses de invierno llegando a no menos de 10°C.

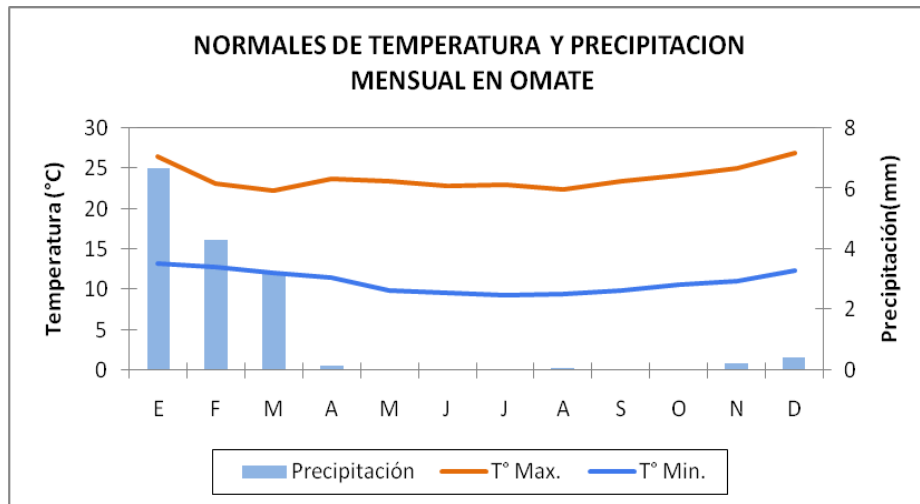


Figura N°1: Ciclo anual de las temperaturas extremas del aire y la precipitación en la localidad de Omate.

2.4 TENDENCIAS E ÍNDICES DE EVENTOS EXTREMOS

Para determinar las tendencias anuales y estacionales tanto de la precipitación como de las temperaturas máximas y mínimas en la región y sus niveles de significancia de forma porcentual durante la segunda mitad del siglo XX, se ha escogido la estación con serie más larga y completa, y de alguna manera representativa de la región, principalmente de la ecorregión Puna. El periodo analizado es más extenso que el utilizado para los mapas climáticos, teniendo en cuenta la necesidad que existe de observar un fenómeno como las tendencias en periodos más prolongados (1965 – 2012). Estas tendencias se calculan mediante el test de Mann-Kendall (Kendall, 1975) y metodología desarrollada por Sen (1968), para obtener la pendiente o la magnitud de la inclinación (tasa de cambio de la variable por unidad de tiempo).

Para el análisis de extremos de datos observados diarios de temperaturas y precipitación en la región Tacna, se ha hecho uso del software 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 4to Reporte de Evaluación del IPCC. En el presente estudio las tendencias de los índices extremos fueron calculadas para el periodo 1965-2012, considerando a lo más el 15% de datos faltantes. La significancia estadística de las tendencias fue evaluada al 99% de nivel de confianza.

2.4.1 Tendencias de la precipitación

La determinación de la tendencia de la precipitación no es fácil en ningún ámbito geográfico, debido, entre otras cosas a la compleja distribución espacial de las lluvias, a las diferencias en cuanto a su reparto estacional y a su notable variabilidad interanual. Durante el siglo XX, en Sudamérica, se presume que desde 1970 las precipitaciones han ido disminuyendo en el centro-sur de Perú, norte de Bolivia, centro-sur de Chile y centro-sur de Argentina (Banco Mundial, 2009; Magrín, 2007; Vuille et al., 2003). Sin embargo, aún existe poca coherencia espacial entre las tendencias de la precipitación y no existe un patrón claro de incremento o decrecimiento. En el estudio de la Segunda Comunicación Nacional dan cuenta de incrementos en la costa y sierra norte, disminuciones en la Amazonía y sierra central entre 1965-2006, y son los eventos ENOS más intensos los responsables de esta tendencia (SENAMHI, 2009).

2.4.2. Índices de eventos extremos de la precipitación

Seis índices de precipitación fueron calculados y son enumerados en la Tabla N° 01 en la estación Sama Grande. Muchos de estos índices relacionan la precipitación extrema, aunque dos son más indicativos de cambios en la distribución total de la precipitación: Precipitación Total Anual en los días húmedos (PRCPTOT) y el Índice de intensidad diaria de precipitación en días húmedos (SDII). Un día húmedo se refiere a días con al menos 1 mm de precipitación.

Tabla N°01: Índices de precipitación (definición y unidades). Todos los índices son calculados anualmente de enero a diciembre

Indicador	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
PRCPTOT	Precipitación en días húmedos	Precipitación Total Anual en los días húmedos (RR \geq 1mm)	mm
SDII	Índice de intensidad diaria de precipitación	Precipitación total anual dividida por el número de días húmedos en un año	mm día ⁻¹
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	días
CWD	Días húmedos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR \geq 1mm	días
R95p	Días muy húmedos	Precipitación total anual en que RR>95 percentil	mm
R99p	Días extremadamente húmedos	Precipitación total anual en que RR>99 percentil	mm

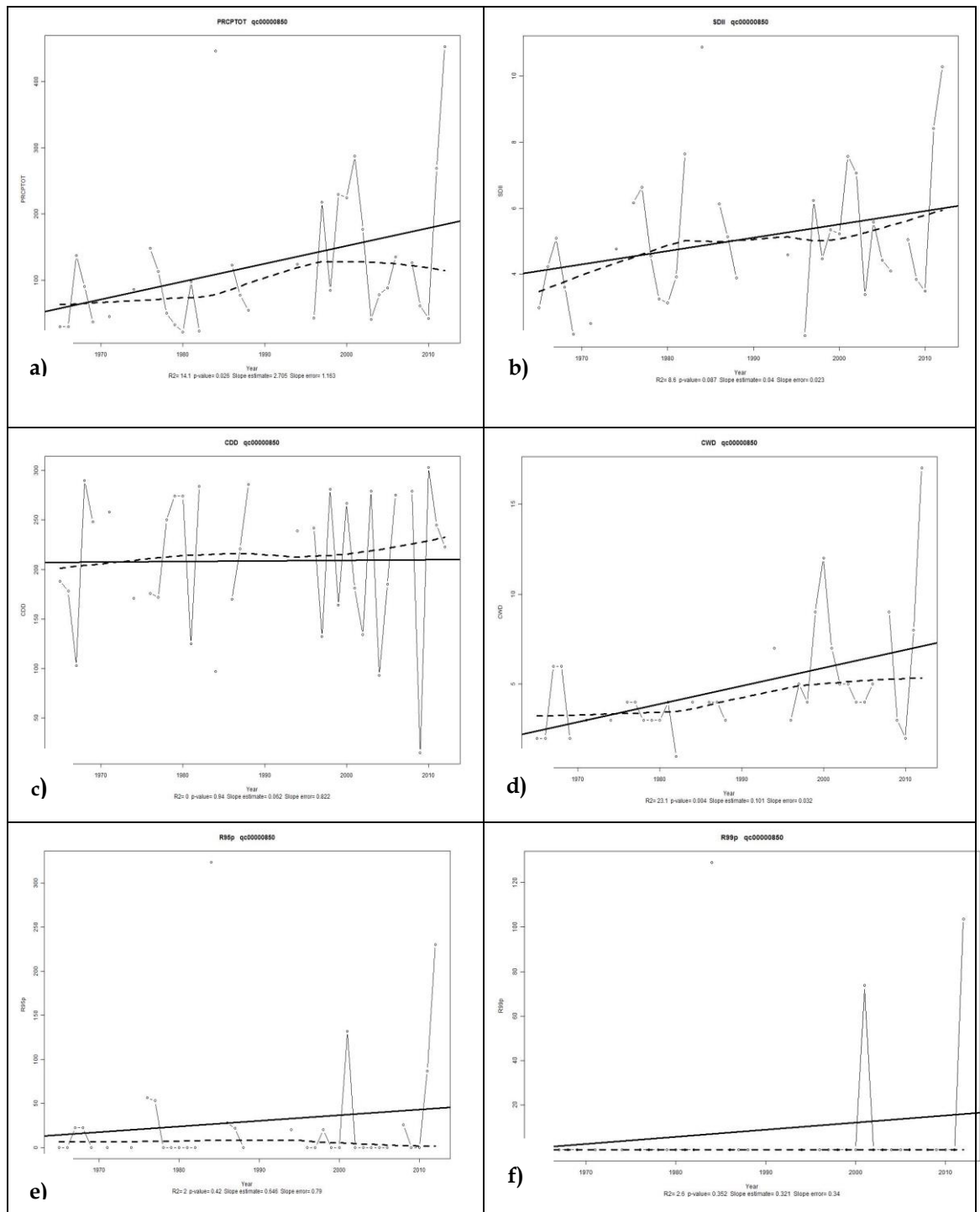


Figura N°2: Tendencia de índices de eventos extremos de la precipitación en la estación de Omate, para el período de 1965-2012. (a) Días húmedos; (b) Intensidad de lluvias; (c) Días secos consecutivos; (d) Días húmedos consecutivos; (e) Días muy húmedos; (f) Días extremadamente húmedos.

En los últimos 48 años, evaluando la grilla de observación que caracteriza la región, se podría decir que en esta zona de la región la tendencia media de las lluvias (índice de precipitación acumulada en un año PRCPTOT) ha aumentado.

En relación a la intensidad de las lluvias (distribución de la tendencia del índice de intensidad diaria de precipitación anual SDII), en general, sigue el mismo patrón que el índice anterior, siendo de tendencia positiva en esta zona de la región.

Las tendencias de los periodos de deficiencia (máximo número de días consecutivos secos CDD) y periodos lluviosos (máximo número de días consecutivos con precipitación CDW) pueden ser interpretados como indicadores de sequías y excesos, respectivamente (SENAMHI, SCNCC 2009), así se tiene que para esta estación el índice CDD no presenta cambio; mientras que, el índice CWD viene aumentando, lo que nos podría dar una idea que se tienen periodos mayores con precipitación, aunque se necesitaría la evaluación de más puntos de observación para confirmar esta señal de cambio, dada la alta variabilidad de esta variable.

Las tendencias del número de días muy lluviosos (R95p) es positivo, al igual que el índice del número de días extremadamente lluviosos (R99p), lo cual nos determina que en las últimas cuatro décadas los eventos extremos en precipitación han venido aumentando.

2.4.3. Índices de eventos extremos de la temperatura del aire

Las tendencias de siete índices de temperaturas extremas, seleccionados para una estación, se definen en la Tabla N° 06. Estos índices se basan en el análisis de la temperatura diaria tanto máxima como mínima, así como también de la relación entre ambas. Los índices fueron calculados en una escala mensual y anual, a partir de datos diarios, y describen la tendencia de las temperaturas extremas cálidas y frías. Los índices de temperaturas basados en percentiles son calculados como porcentajes de días (en un mes o año) por encima o por debajo de 90th o 10th percentil.

Tabla N°02: Índices de eventos extremos de temperatura del aire con su definición y unidades. Todos los índices son calculados anualmente de enero a diciembre.

Indicador (en inglés)	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
Txx	Temperatura Máxima Máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima 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 < 10 percentil	días
Tx90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando Tx > 90 percentil	días
Tn10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando Tn < 10 percentil	días
Tn90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando Tn > 90 percentil	días

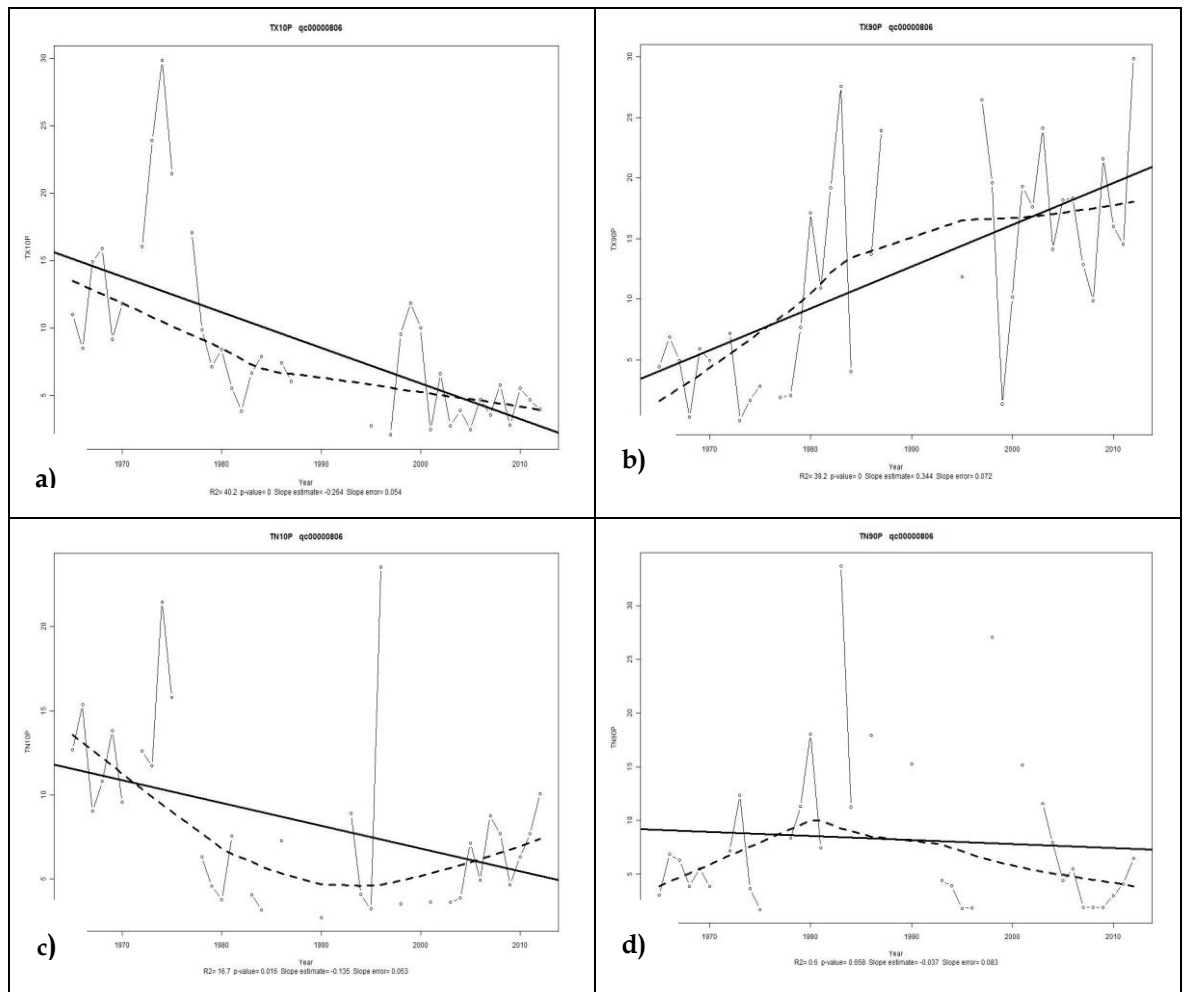


Figura N°3: Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación de Omate, para el período de 1965-2012. (a) Días fríos; (b) Días calientes; (c) Noches frías; (d) Noches calientes.

Los índices de días son positivos, sin embargo el índice de noches cálidas es negativo (basados en percentiles por encima de 90th), así como también son negativas los días y noches frías (basados en percentiles por debajo de 10th), lo que nos indica que durante las últimas cuatro décadas durante el día y la noche las temperaturas vienen aumentando en esta localidad.

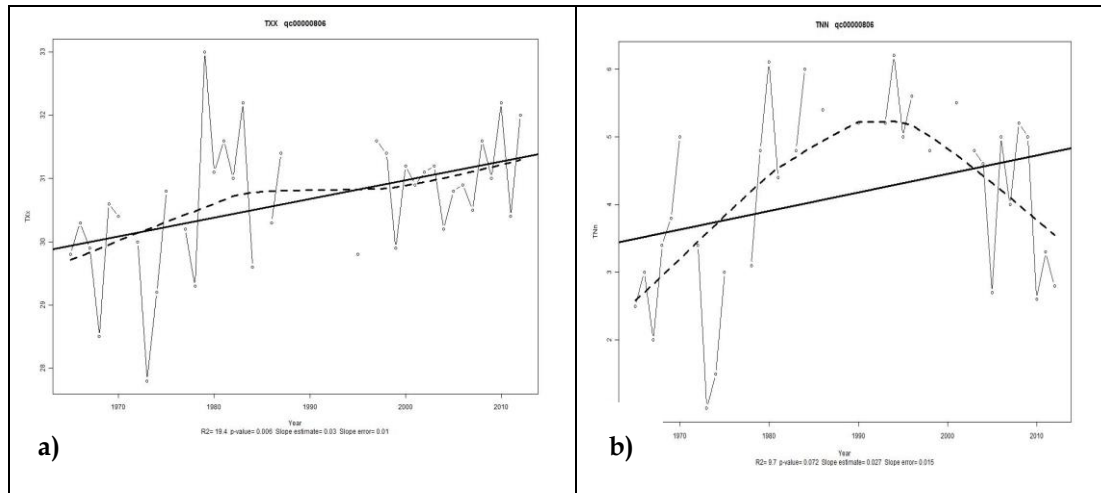


Figura N°4: Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación de Omate para el período 1965-2012. (a) Temperatura máxima; (b) Temperatura mínima.

El índice de temperatura máxima (Txx) y mínima (Tnn), que es el valor máximo (mínimo) mensual de la temperatura máxima (mínima) diaria, es de tendencia positiva (positiva) en la estación Omate; es decir, los días y noches están tendiendo a ser ligeramente más cálidos (cálidos) como promedio mensual.

CAPÍTULO III.

METODOLOGÍA - GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO

3.1. MODELOS CLIMÁTICOS GLOBALES Y ESCENARIOS DE EMISIÓN

Los modelos climáticos globales son sistemas de ecuaciones diferenciales basados en propiedades físicas, químicas y biológicas, que representan numéricamente al Sistema Climático y las diversas interacciones que existen entre sus componentes (atmósfera, océano, hielo marino y biosfera). Estos modelos dividen al planeta en mallas tridimensionales, en cada cuadrícula de la malla se evalúan las interacciones entre puntos contiguos y se calculan variables como: vientos, temperatura, precipitación, humedad relativa, etc.

Estos modelos son de gran importancia en la simulación del clima actual y pasado, así como en la generación de escenarios futuros del clima, los cuales necesitan el uso de computadoras de gran capacidad de procesamiento.

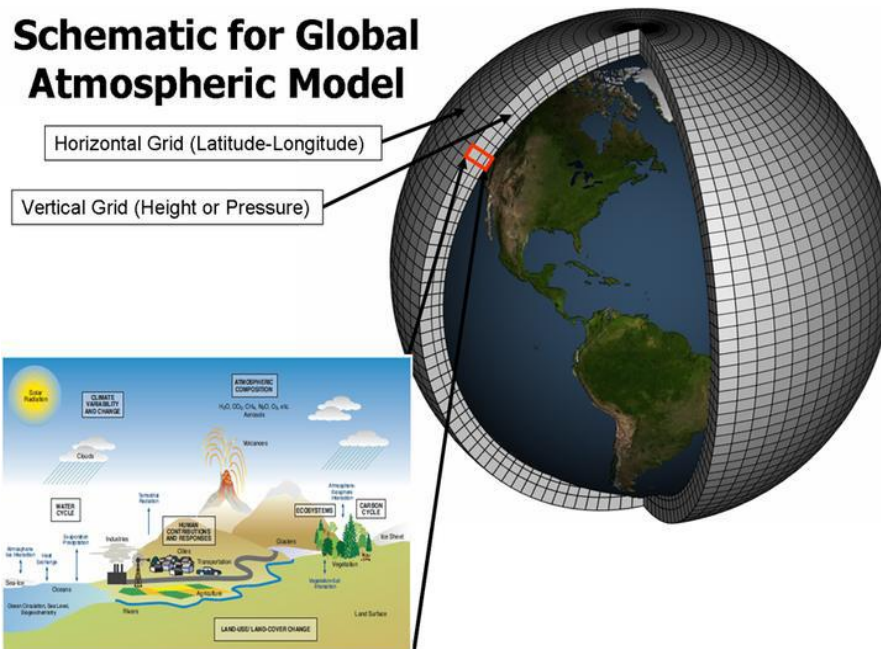


Figura N°95: Esquema de un modelo climático global. Fuente NOAA.

El nuevo escenario de emisión 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).

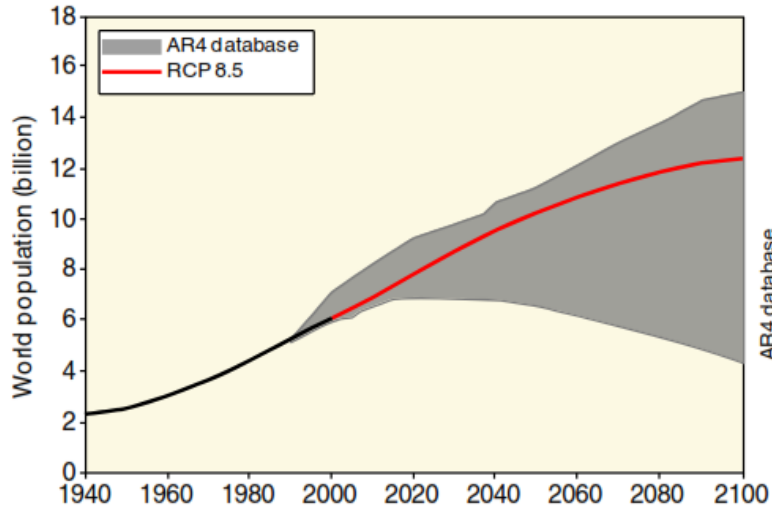


Figura Nº6: Escenario de emisión RCP8.5. Fuente IPCC.

Para el presente estudio se utilizaron 4 modelos climáticos globales del CMIP5 (Coupled Model Intercomparison Project Phase 5, Taylor et al, 2012), en dos experimentos: HISTORICAL, para el periodo histórico (1971 – 2000) y escenario RCP 8.5, para el periodo futuro (2016 – 2045), ver Tabla1.

Tabla Nº 03: Modelos climáticos globales del proyecto CMIP5

MODELOS	INSTITUCIÓN	RESOLUCIÓN ATMOSFÉRICA (°lon x °lat)
CCSM4	National center for Atmospheric Research (NCAR-USA)	1.25 x 0.942408
HadGem2-AO	National Institute of Meteorological Research/Korea Meteorological Administration (COREA)	1.875 x 1.25
HadGem2-ES	Met Office Hadley Centre (REINO UNIDO)	1.875 x 1.25
MPI-ESM-LR	Max Plank Institute for Meteorology (ALEMANIA)	1.875 x 1.8496 /N48

3.2. CÁLCULO DE PROYECCIONES CLIMÁTICAS

Para realizar los mapas de cambios de la precipitación y temperaturas al 2030, se utilizó el promedio de los cuatro (4) modelos mencionados anteriormente. Sin embargo, debido a que inicialmente los modelos poseen diferente resolución espacial, se construyeron datos a una misma resolución de 0.5x0.5°, mediante interpolación bilinear.

Para el cálculo de las serie de tiempo de cambios estacionales y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación, se realizó primero una identificación de

subregiones, debido a que las regiones de estudio presentan zonas con diferentes condiciones orográficas.

En la Tabla N° 09 se presentan las ecuaciones utilizadas para el cálculo de cambios estacionales y anuales de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación al 2030.

Tabla N° 04: Cálculo de los cambios de precipitación y temperaturas extremas

$\text{PREC. camb} = \left(\frac{\text{PREC. fut} - \text{PREC. hist}}{\text{PREC. hist}} \right) \times 100\%$	$\text{T. camb} = \text{Tfut} - \text{Thist}$
<ul style="list-style-type: none"> - PREC. camb: Cambio de precipitación [%]. - PREC. fut: Promedio multianual de la precipitación acumulada [2016 - 2045], anual y estacional (mapas); promedio anual (series de tiempo). - PREC. hist: Promedio multianual de la precipitación acumulada estacional o anual [1971 - 2000]. 	<ul style="list-style-type: none"> - T. camb: Cambio de temperatura [°C]. - Tfut: Promedio multianual de la temperatura [2016 - 2045], anual y estacional (mapas); promedio anual (series de tiempo). - Thist: Promedio multianual de la temperatura estacional o anual [1971 - 2000].
Estacional: DJF, MAM, JJA, SON	Temperatura: temperatura máxima o mínima.

CAPITULO IV.

PROYECCIONES CLIMÁTICAS EN LA REGIÓN MOQUEGUA

4.1 PROYECCIONES DE LA PRECIPITACIÓN

El cambio de la precipitación al 2030 en la sierra de Moquegua es de un incremento de 04%, incremento relativamente bajo lo que significa aproximadamente 20 milímetros más de lluvia o 20 litros por metro cuadrado más de agua, lo que no compensará un incremento de evapotranspiración con un incremento de temperatura de 01°C

En la costa las proyecciones climáticas indican disminuciones de las precipitaciones en promedio de 06%; dado que en la franja costera precipita cantidades menores a 10 mm la disminución no es significativa (Ver mapa 20).

En la sierra, en el periodo de inicio de lluvias (SON) y de lluvias (DEF) las precipitaciones incrementan en 09 y 05 mm respectivamente, estos cambios no son significativos. En JJA periodo de ausencia de lluvias, la proyección climática del modelo da deficiencias de 12% en la sierra y de 06% en la costa. Esta proyección podría significar una atmosfera más seca o más caliente en la sierra. En el periodo de finales de lluvias (MAM) hay un incremento ligero de lluvias las cuales correspondería al mes de marzo, lo que indicaría un incremento en el periodo de lluvias (Ver mapas 16,17, 18 y 19).

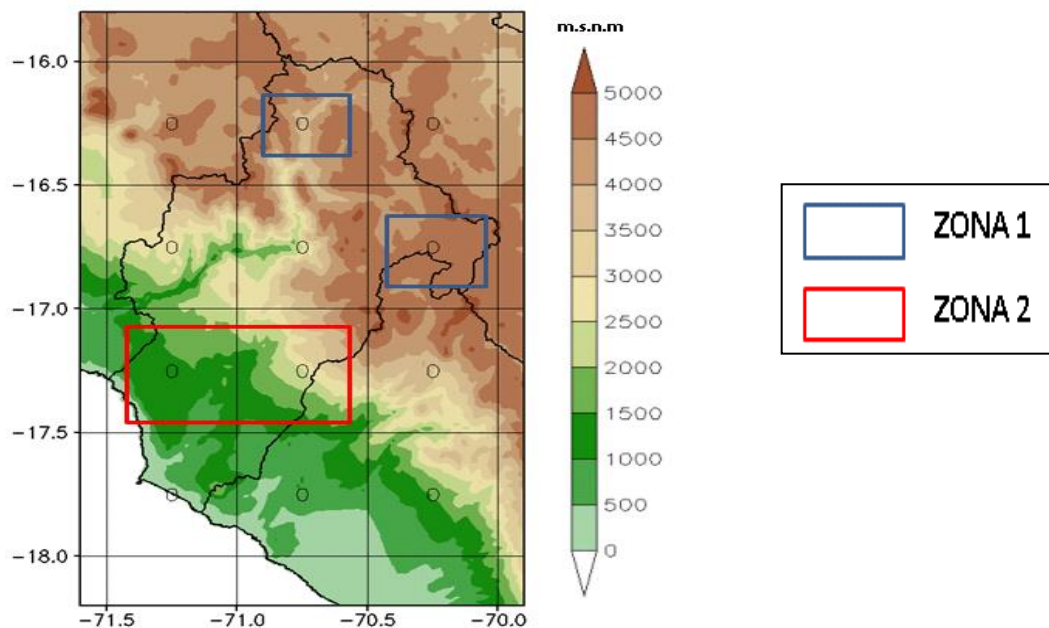


Figura Nº7: Subregiones analizadas para determinar la tendencia de cambio. Zona 1 (baja); Zona 2 (alta). Fuente SENAMHI.

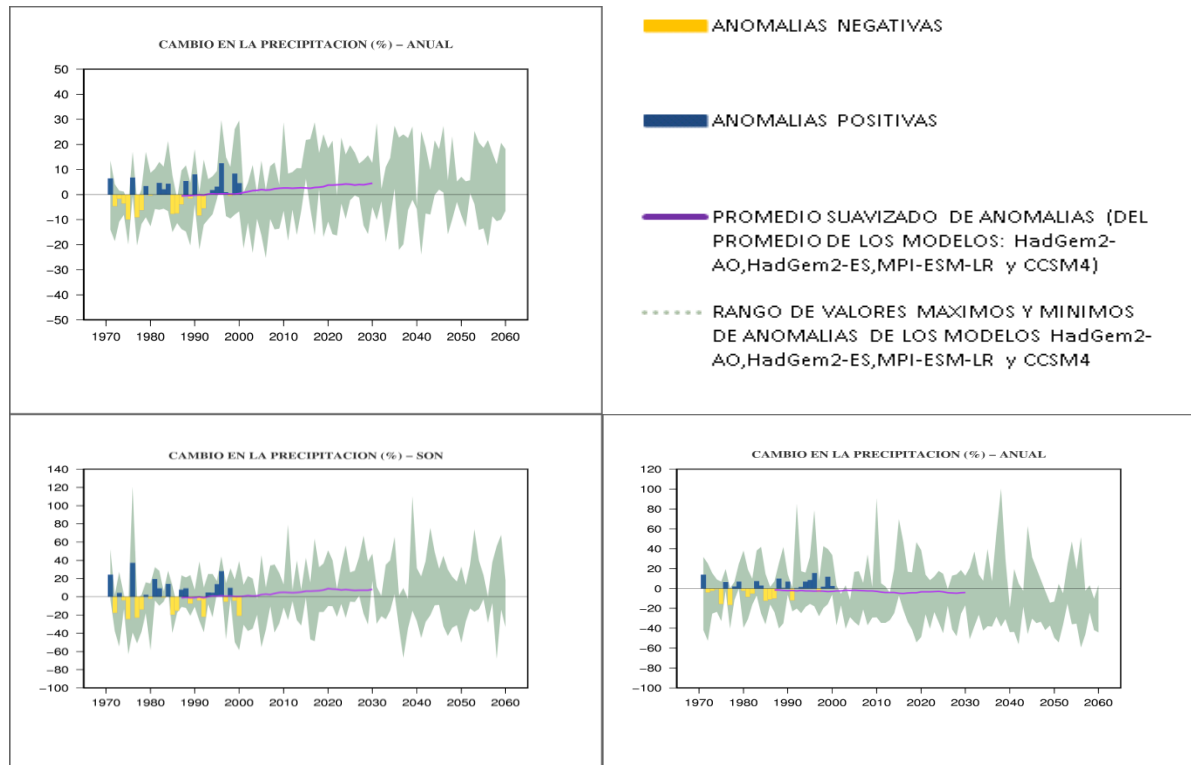


Figura N°8: Evolución del cambio de la precipitación en las zonas o sub-regiones (regrilladas o ajustadas con datos observados del CRU4). Cambio expresado en porcentaje (%).

4.2 PROYECCIONES EN LA TEMPERATURA DEL AIRE

Las proyecciones del modelo climático regional respecto a la temperatura máxima anual da un incremento muy importante; así en la puna de las provincias de Sánchez Cerro y Mariscal Nieto los incrementos son mayores a 1,5 °C, este resultado concuerda con la tendencia positiva de las proyecciones obtenidas en otros modelos regionales y globales, Marengo et al. (2009) para la puna arequipeña y para el mismo elemento climático encuentra incrementos 0.6°C por década. Desde la puna en dirección oeste los incrementos son ligeramente menores, en la franja cercana al litoral el incremento es de 1,33 °C.

CAMBIOS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DEL AIRE ESTACIONAL AL 2030

En el trimestre DEF se observan los menores cambios positivos, en la puna de las dos provincias, el incremento es de aproximadamente 1,4 °C y en localidades cercanas al litoral es de 1,3 °C (Ver mapa 21).

Respecto al trimestre MAM hay un incremento en la magnitud de los cambios proyectados, estos llegan a valores mayores a 1,6 °C en la puna del departamento; en la costa hay un incremento de 1,5 °C (Ver mapa 22).

En el trimestre de JJA es donde se observan los mayores incrementos de temperatura máxima, llegando a valores de 1,9 °C en la puna de la provincia de Sánchez Cerro, el cual es un valor muy alto, que podría considerarse “peligroso”.

En la costa los incrementos son de aproximadamente 1,3 °C, similares a los que ocurren en el trimestre DEF (Ver mapa 23).

En el trimestre SON, los mayores incrementos ocurren en la puna de las provincias de Sánchez Cerro y Mariscal Nieto donde los incrementos alcanzarían valores de aproximadamente 1,5 °C. En la costa los incrementos son más bajos que en la puna y alcanzan valores próximos a 1,3 °C (Ver mapa 24)

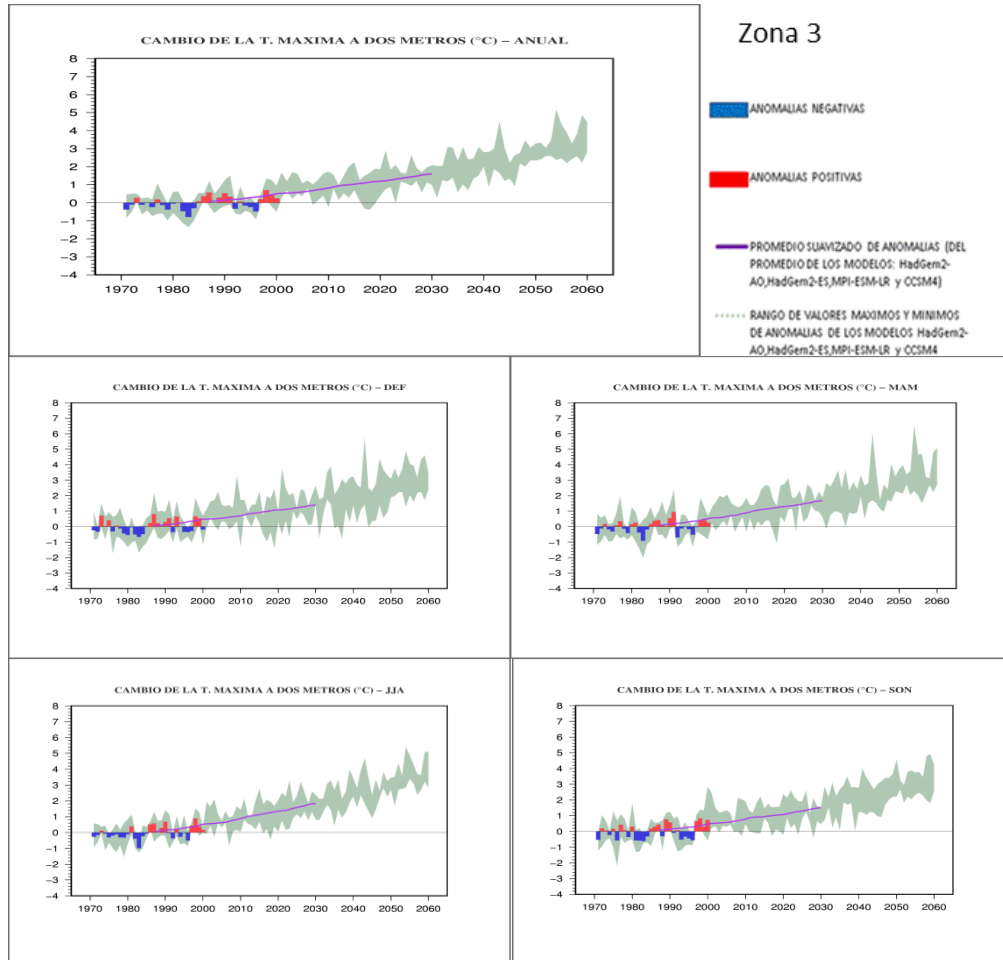
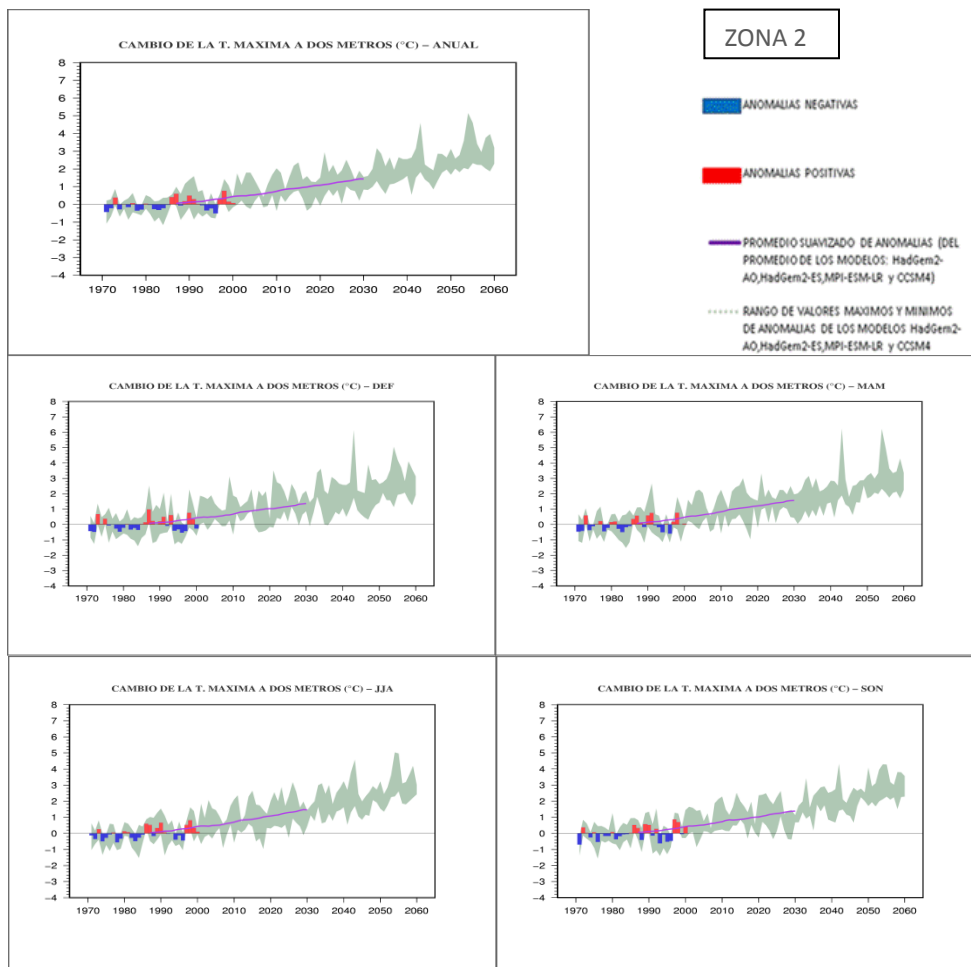


Figura N°9: Evolución del cambio de la temperatura máxima en la zona 1 (reglillada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.



Figura

Nº10: Evolución del cambio de la temperatura máxima en la zona 2 (regrillada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.

CAMBIOS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE ESTACIONAL AL 2030

En la sierra

Claramente se observa el incremento de la anomalía positiva, conforme transcurren los años, tal que al 2030 llega a un valor promedio entre 1,5 y 2,0 °C.

En las cuatro estaciones del año se observa similar tendencia, es decir las temperaturas máximas incrementan al transcurrir los años (Ver figuras 11 y 12)

En las figuras también se observan incrementos crecientes de las anomalías de temperatura mínima, tanto en el promedio anual como en las estacionales; las anomalías en esta zona son ligeramente más pequeñas en comparación a las proyectadas para las anomalías de máximas; la variabilidad también es más baja en relación a las anomalías de temperaturas máximas.

En la zona de estudio no se observa mayor incremento en las temperaturas mínimas en relación a las temperaturas máximas, como sí está ocurriendo en muchas regiones del mundo.

En la costa

Los gráficos de tendencias, anual y estacional, contundentemente muestran incrementos crecientes de las temperaturas extremas, pero estas son relativamente más pequeñas que en la sierra, estos incrementos de aproximadamente 0,5 °C por década es considerado muy alto; teniendo en cuenta que el incremento promedio global en siglo pasado fue de 0,6 °C.

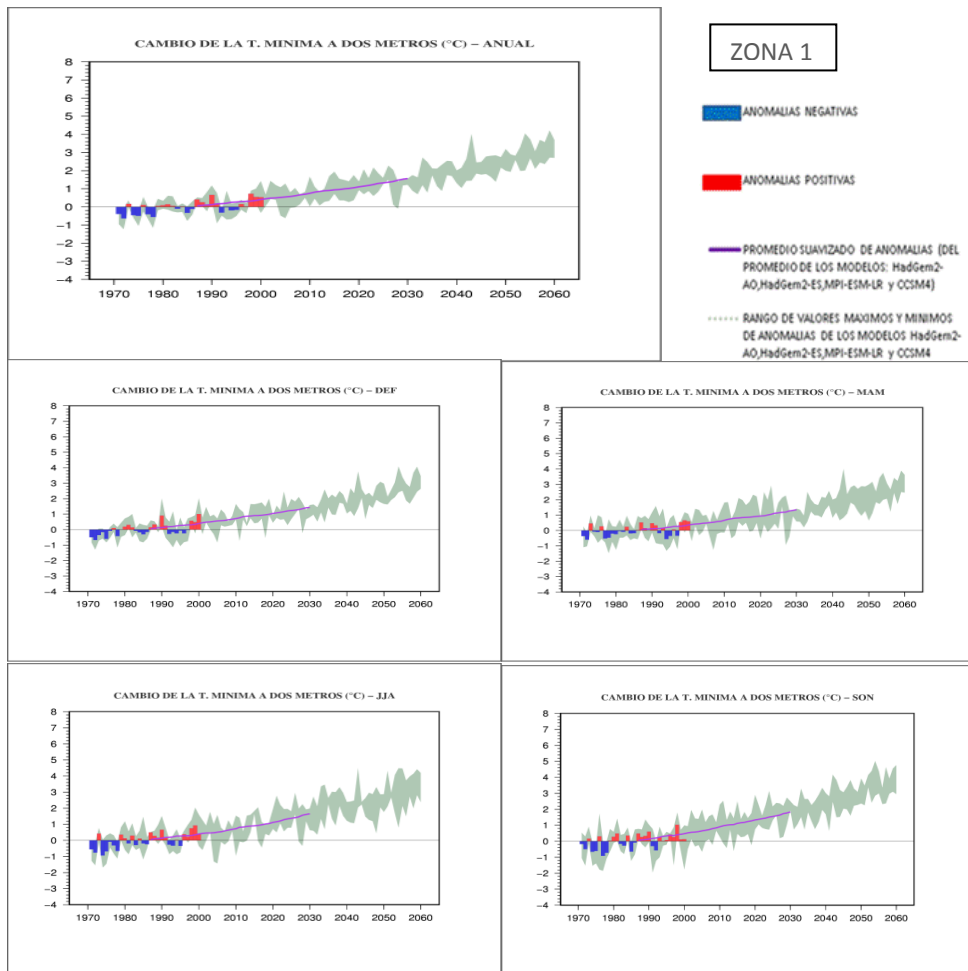


Figura Nº11: Evolución del cambio de la temperatura mínima en la zona 1 (regrillada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.

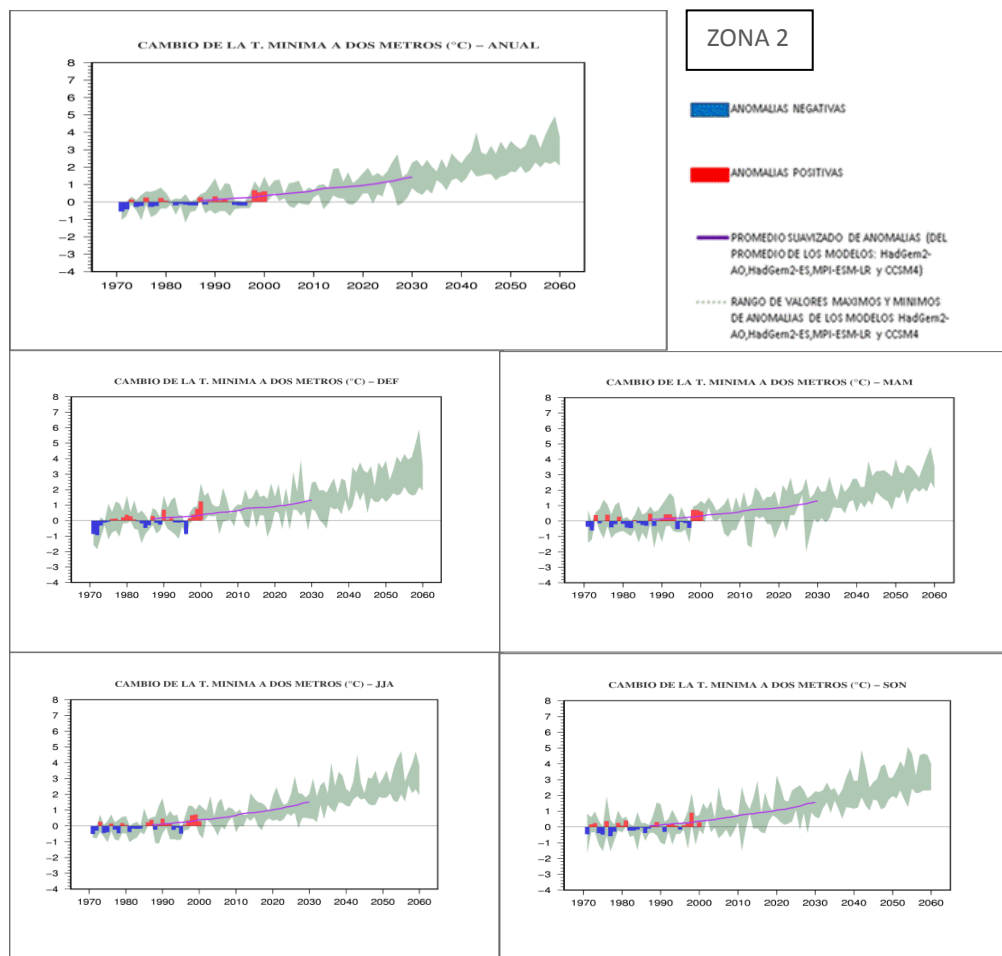


Figura N°12: Evolución del cambio de la temperatura mínima en las zona 2 (regrillada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.

Los incrementos de temperatura proyectados por los modelos climáticos para la región de Moquegua son muy altos, de confirmarse estos, los impactos negativos en la agricultura, el agua, la salud y los pastos nativos serian severos.

CAPITULO V.

CAMBIO CLIMÁTICO

Escenarios Futuros e incertidumbre

El clima es el resultado de interacciones dentro del sistema climático, sistema que es inherentemente complejo e impredecible, aun insuficientemente entendido y con un alto grado de “incertidumbre”. Los modelos climáticos son las mejores herramientas que tienen los meteorólogos para predecir cambios futuros del clima en el mediano plazo (escala estacional); éstos se basan en principios sólidos de la ciencia física y están rápidamente mejorando en sofisticación. Sin embargo, la atmósfera es muy sensible a pequeños cambios, por lo que si en las condiciones iniciales se efectúan mínimas perturbaciones, la subsecuente evolución podría tener resultados completamente diferentes. Entonces no importa que tan bueno sea el modelo, siempre habrá un grado de incertidumbre en los pronósticos climáticos.

El uso del ensamble de modelos es particularmente importante para el pronóstico estacional, donde los efectos del error de un modelo en particular son significativos. Para proyecciones de más largo plazo y bajo el supuesto de una atmósfera modificada por una nueva composición debido a forzantes antrópicas, los ensambles multi-modelo pueden traer ventajas sustanciales. Para la construcción de escenarios de cambio climático, un ensamble hecho de la combinación de varias proyecciones con diversos experimentos, usando varios modelos y errores sistemáticos, que con frecuencia son flujo-dependientes, debe dar una representación mucho mejor del espectro completo de estados futuros del clima, que si se usa sólo uno o dos experimentos. No solo los modelos son fuente de incertidumbre, existen fuentes de “incertidumbre asociadas” y son principalmente debido: a. evolución de las emisiones de GEI y aerosoles, es decir, cada escenario de emisiones tiene diferente composición atmosférica e implica diferente forzamiento radiativo; b. la estructura interna del modelo o grado de complejidad para simular el clima futuro, y c. interacciones internas del sistema climático, debido a su dinámica no-lineal. 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”.

El reconocimiento de la existencia de las incertidumbres en las proyecciones climáticas no elimina su utilidad. No se debe pensar que el incremento de 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 darle valor a las proyecciones climáticas, es ahí donde radica el reto de los tomadores de decisión, sobre el manejo de las incertidumbres y aplicarlas a las medidas de adaptación regionales.

Un estudio más amplio requiere del uso de técnicas de regionalización tanto dinámicas como estadísticas que ayuden a disminuir estas incertidumbres asociadas a la generación de escenarios de cambio climático.

En la Figura 13, cada punto es el valor del cambio proyectado por cada modelo a nivel estacional y anual, en la grilla común sobre la Región Moquegua. La dispersión de cambios de la temperatura del aire no es alta para la temperatura mínima, y todos los modelos coinciden en la misma dirección de cambio (calentamiento). En la temperatura máxima los cambios anuales van de +2,2 °C a +0,8 °C y de +1,9°C a +1 °C en la mínima, aunque se observa una mayor dispersión en la temperatura máxima. En lo que respecta a precipitación, la dispersión

es menor y los cuatro modelos indican cambios muy discretos en el acumulado anual (-/+15%), sin embargo, la mayor dispersión se da en invierno con valores entre -15% a +38% según los modelos HadGEM2-AO.

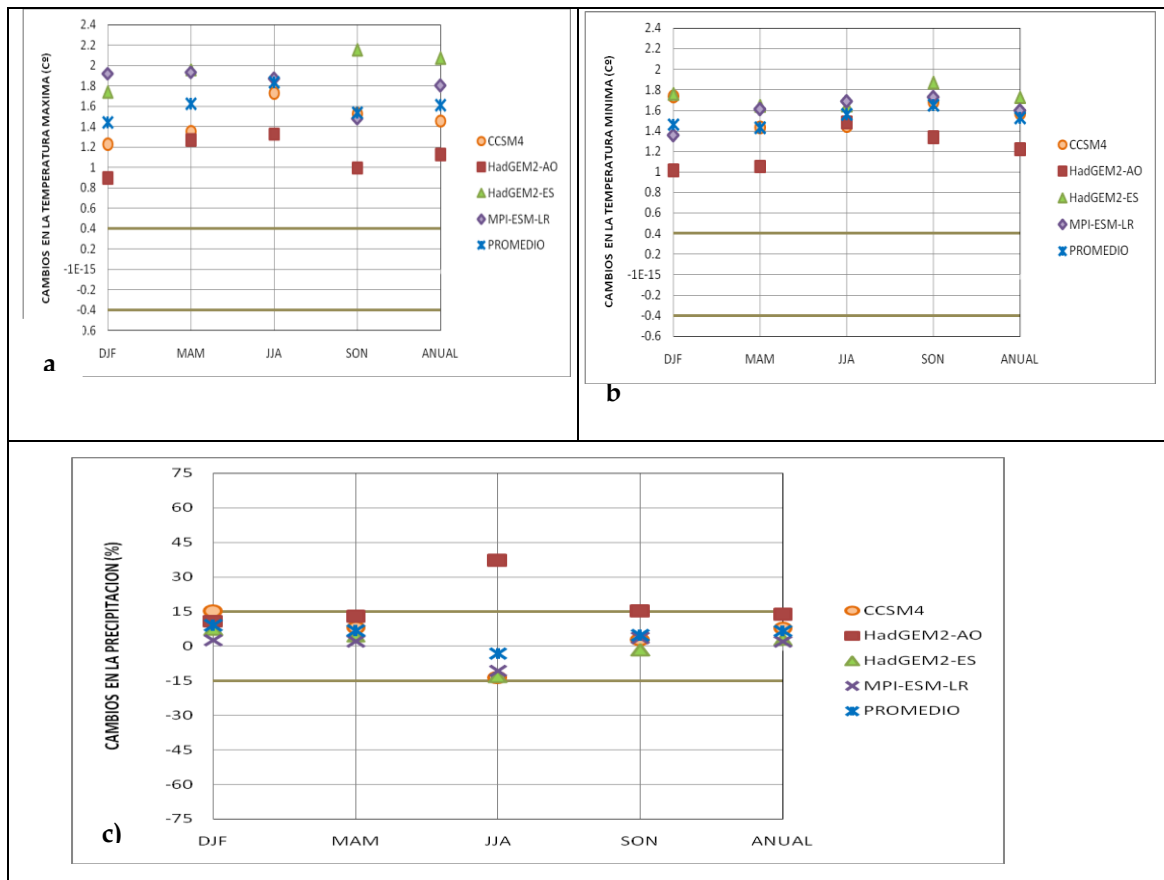


Figura N°13: Cambios proyectados a nivel anual y estacional de la temperatura del aire máxima (a), mínima (b) en °C, y de la precipitación (c) en porcentaje en la Región de Moquegua para el time-slice centrado en el año 2030, relativo al período de referencia 1971-2000. Los modelos son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR, para el escenario de las emisiones RCP8.5. Se muestra el promedio de los modelos (X azul) y los rangos de la variabilidad actual (líneas marrones horizontales).

El análisis de incertidumbre nos indica, en general, un escenario más cálido y con precipitaciones similares al periodo actual, algo cálido entre invierno y primavera. Es importante tomar en cuenta el hecho de que las incertidumbres difieren en relación al espacio (regiones de mayor o menor predictabilidad) y a las variables climáticas (cambios de la temperatura son más robustos que la precipitación). Comparar los modelos es una de las maneras de manejar este tipo de incertidumbres y constituye una buena base para la evaluación del riesgo. Finalmente, el reconocimiento de la existencia de las incertidumbres en las proyecciones climáticas no elimina su utilidad. La incertidumbre no es lo mismo que ignorancia, y los tomadores de decisiones deberán aprender a valorar la “incertidumbre” para planificar estrategias sólidas ante un futuro incierto, en vez de usar la incertidumbre como una razón para la inacción (Kropp y Schoize, 2011).

CAPÍTULO VI.

CONCLUSIONES

El calentamiento global es una realidad, que persistirá por décadas, aun centurias; nuestro país y por lo tanto el departamento de Moquegua no escaparan a esta perturbación atmosférica, más aun las proyecciones globales indican que las regiones áridas y semiáridas incrementarían su aridez y dado que el territorio de Moquegua pertenece a esas categorías, entonces los problemas sociales y ambientales podrían acentuarse si las autoridades pertinentes y planificadores no toman en cuenta los impactos negativos del calentamiento del aire, suelo y el agua. Los pequeños cambios promedios en los elementos (temperatura, lluvia...etc.) del clima, significan grandes cambios en sus extremos. De lo expuesto en el presente trabajo se concluye preliminarmente:

1. El departamento de Moquegua ya tiene recursos hídricos escasos; con el desarrollo socioeconómico que está ocurriendo y el crecimiento poblacional, los conflictos relacionados al agua incrementarían.
2. Los cambios anuales positivos proyectados en la precipitación, en la sierra, no son importantes; tampoco lo son los cambios negativos que ocurren en la costa.
3. Los cambios positivos en el periodo lluvioso (DEF) son insignificantes.
4. Los mayores cambios negativos en las proyecciones ocurrirán en el trimestre (JJA) y alcanzarán magnitudes de -13% , pero en este trimestre las precipitaciones actualmente son menores a 10 mm por mes.
5. Los cambios anuales proyectados de temperatura máxima son mayores a $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ en la sierra, lo que provocaría perturbaciones ambientales, como la aceleración de la desertificación de la sierra y la extinción de ciertas especies endémicas conocidas y muchas que no se conocen.
6. En la costa, probablemente la capa de mezcla (capa límite marina o capa límite planetaria marina) incrementaría en altura, favoreciendo el mayor flujo de humedad hacia las pampas desérticas.
7. Los cambios trimestrales proyectados de temperatura máxima son bastantes altos (mayores a $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$) y los mayores son los que corresponde al periodo de estiaje y comienzo de lluvias (primavera)
8. las magnitudes de los cambios en temperatura diurna son muy altos por lo cual la evaporación y transpiración incrementarían significativamente.
9. Los cambios anuales proyectados en temperatura mínima son altos, como estas ocurren mayormente en la noche no impactarían negativamente.
10. En la sierra el incremento de temperaturas mínimas es mayor al incremento de temperaturas máximas, en los trimestres DEF y SON y lo contrario ocurre en los trimestres MAM y JJA.
11. El clima de la Puna es frío y seco con una estación húmeda de muy corta duración (~04 meses)

12. El rango diurno de temperatura del aire (temperatura máxima menos temperatura mínima) incrementa desde el litoral a la región Puna y Suni; en la Suni el rango llega a 30°C.
13. Incremento en precipitación y dióxido de carbono promovería el incremento de vegetación (si hay nutrientes disponibles), por lo cual la puna sería más susceptible a incendios.
14. El incremento de las temperaturas mínimas, redundaría en disminución de las noches sin heladas.
15. Al incrementar las lluvias y el dióxido de carbono también incrementaría el crecimiento de los pastos nativos, siempre que los nutrientes estén disponibles, entre ellos el nitrógeno.
16. Los cultivos desarrollarían cada vez a mayor altura así como ciertas especies vegetales y animales
17. En periodos de niño moderado y fuerte, es alta la probabilidad que ocurran lluvias intensas de corta duración en el área costera y desértica; mientras en la sierra en ciertos niños hay deficiencias de lluvias (82/83) mientras en otros las lluvias son normales (97/98).
18. Lo particular del desierto moqueguano, es la presencia de aire muy seco y altas temperaturas diurnas en las pampas desérticas, asociada a la subsidencia atmosférica.

CAPÍTULO VII.

RECOMENDACIONES

1. Incrementar la red de observación meteorológica y ambiental en el departamento, principalmente en la región de la puna y suni, donde los impactos del cambio climático serían más intensos.
2. Promover las observaciones meteorológicas y oceanográficas marinas
3. Trabajar con otros modelos regionales y globales para confirmar las tendencias, principalmente en precipitación.
4. Debido a la escases del recurso hídrico en el departamento, es prioritario (ya, ahora) ejecutar acciones pertinentes, para reducir los problemas relacionados a la escases de agua, que tendrá la sociedad moqueguana, en el mediano plazo y largo plazo.
5. Promover los programas de conservación sostenible del suelo
6. Promover los estudios masivos e intensivos de biodiversidad
7. Planificar el desarrollo socioeconómico tomando en consideración el incremento en frecuencia e intensidad de los eventos extremos del tiempo (temperaturas, precipitación...etc.) y del clima (sequias, niños prolongados...etc.).
8. Promover políticas poblacionales que permitan el desarrollo sostenible.

CAPÍTULO VIII.

BIBLIOGRAFÍA

- Brack, A.** Ecología del Perú. Editorial Bruño, 2da edición 2004. Lima, Perú.
- Frich, P.,** Alexander. L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein, A., y Peterson, T., 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, 19, 193-212.
- Gutiérrez Elorza, M. (2001).** Geomorfología Climática. Ediciones Omega, S. A, Barcelona, (642p.)
- Haylock M.R.,** Peterson T.C., Alves L.M., Ambrizzi T., Anunciacao Y.M., Baez J., Barros V.R., Berlato M.A., Bidegain M., Coronel G., Corradi V., Garcia J., Grimm A.M., Karoly D., Marengo J.A., Marino M.B., Moncunill D.F., Nechet D., Quintana J., Rebello E., Rusticucci M., Santos J.L., Trebejo I. and Vincent L.A. 2006 Trends in total and extreme South America rainfall in 1960-2000 and links with sea surface temperature. *J. Climate*, 19, 1490-1512.
- Riahi K.,** S. Rao, V. Krey, C. Cho, V. Chirkov, G. Fischer, G. Kindermann, N. Nakicenovic, and P. Rafaj, 2011 :RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, **109**, 33-57, doi:10.1007/s10584-011-0149-y.
- Sen, P.K.,** 1968. Estimates of the regression coefficient based on Kendall's tau". *Journal of the American Statistical Association*, 63: 1379-1389.
- SENAMHI,** Guía Climática Turística. Por: Cubas, F., Ita, N. Lima, Perú.
- SENAMHI, 2009.** Escenarios Climáticos en el Perú para el año 2030. Por: Obregón, G., Díaz, A., Rosas, G., Avalos, G., Oria, C., Acuña, D., Llacza, A., Richard, M. Proyecto SCNCC, Segunda Comunicación de Cambio Climático en Perú. Editor Ministerio del Ambiente.
- SENAMHI, 2011** [Avalos G., Cubas F., Oria C., Díaz A., Quispe N., Rosas G., Solís O.]. Atlas de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú, Ministerio de Ambiente. En el marco del proyecto PRAA. 157 pp.
- Taylor,** Karl E., Ronald J. Stouffer, Gerald A. Meehl, 2012: An Overview of CMIP5 and the Experiment Design. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, **93**, 485–498.
- Thomas R. Karl,** et.al. (2008). Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. U.S. Climate Change Science Program. (162p)
- Vincent L.A.,** Peterson T.C., Barros V.R., Marino M.B., Rusticucci M., Carrasco G., Ramirez E., Alves L.M., Ambrizzi T., Berlato M.A., Grimm A.M., Marengo J.A., Molion L., Moncunill D.F., Rebello E., Anunciacao Y.M., Quintana J., Santos J.L., Baez J., Coronel G., Garcia J., Trebejo I., Bidegain M., Haylock M.R., and Karoly D. (2005) Observed

Trends in Indices of daily Temperature Extremes in South America 1960-2000. *J. Climate*, **18**, 5011-5023.

ANEXOS

Mapa: Ecorregiones Naturales de Tacna.

Mapa N° 01: Promedio multianual de la precipitación acumulada Dic-Ene-Feb.

Mapa N° 02: Promedio multianual de la precipitación acumulada Mar-Abr-May.

Mapa N° 03: Promedio multianual de la precipitación acumulada Jun-Jul-Ago.

Mapa N° 04: Promedio multianual de la precipitación acumulada Set-Oct-Nov.

Mapa N° 05: Promedio multianual de la precipitación acumulada anual.

Mapa N° 06: Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Dic-Ene-Feb.

Mapa N° 07: Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Mar-Abr-May.

Mapa N° 08: Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Jun-Jul-Ago.

Mapa N° 09: Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Set-Oct-Nov

Mapa N° 10: Promedio multianual de la temperatura máxima del aire Anual.

Mapa N° 11: Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Dic-Ene-Feb.

Mapa N° 12: Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Mar-Abr-May.

Mapa N° 13: Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Jun-Jul-Ago.

Mapa N° 14: Promedio multianual de la temperatura mínima del aire.

Mapa N° 15: Promedio multianual de la temperatura mínima del aire Anual.

Mapa N° 16: Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Dic-Ene-Feb

Mapa N° 17: Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Mar-Abr-May.

Mapa N° 18: Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Jun-Jul-Ago.

Mapa N° 19: Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Set-Oct-Nov.

Mapa N° 20: Proyecciones de cambio de la precipitación acumulada Anual.

Mapa N° 21: Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Dic-Ene-Feb

Mapa N° 22: Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Mar-Abr-May.

Mapa N° 23: Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Jun-Jul-Ago.

Mapa N° 24: Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Set-Oct-Nov.

Mapa N° 25: Proyecciones de cambio de la temperatura máxima Anual.

Mapa N° 26: Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Dic-Ene-Feb

Mapa N° 27: Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Mar-Abr-May.

Mapa N° 28: Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Jun-Jul-Ago.

Mapa N° 29: Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Set-Oct-Nov.

Mapa N° 30: Proyecciones de cambio de la temperatura mínima Anual.