

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

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: Laguna Aricota, Plaza de Armas y Geiser

Evaluación de los modelos CMIP5 del IPCC en el Perú:

Proyecciones al año 2030 en la Región Tacna

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 : Clara Oria Rojas
Lucinda Montañez Alba
Gabriela Rosas Benancio
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 TACNA.....	9
2.1 Controladores Climáticos.....	9
2.2 Ubicación y Relieve.....	11
2.3 Categorías de Aridez.....	11
2.4 Climatología de la Precipitación en Tacna.....	11
2.4.1 Precipitación Anual	12
2.5 Climatología de la Temperatura en Tacna.....	14
2.5.1 Temperatura Máxima Promedio Multianual del Aire	15
2.5.2 Temperatura Mínima Promedio Multianual del Aire	16
2.6 Tendencias e índices de eventos extremos.....	19
2.6.1 Tendencias de la precipitación	19
2.6.2 Índices de eventos extremos de la precipitación.....	19
2.6.3 Índices de eventos extremos de la temperatura del aire	21
III. METODOLOGÍA - GENERACIÓN DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	24
3.1 Modelos Climáticos Globales y Escenarios de Emisión	24
3.2 Calculo de proyecciones climáticas.....	25
IV. PROYECCIONES CLIMÁTICAS EN LA REGIÓN TACNA.....	27
4.1 Cambio en la Precipitación	27
4.2 Cambio en la Temperatura Máxima	29
4.3 Cambio en la Temperatura Mínima	31
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

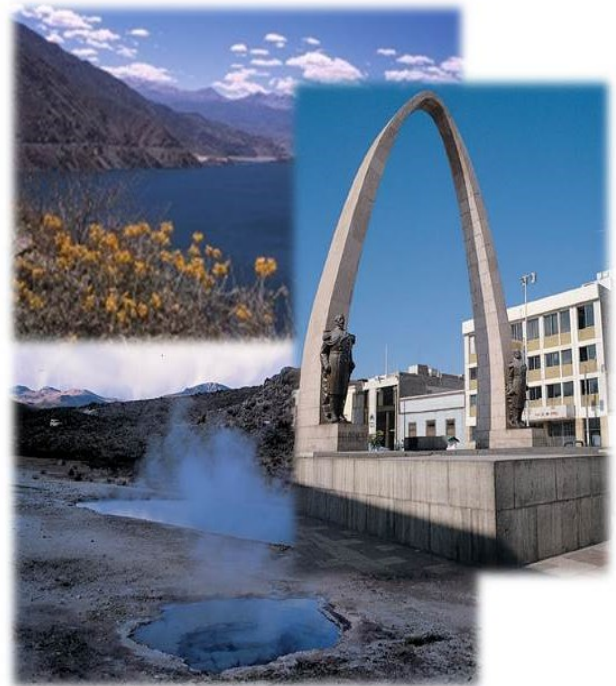
SENAMHI – Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú

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 Tacna, 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 Tacna. 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 Tacna, considerando el promedio de los modelos globales son los siguientes:



-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 enfrentar el cambio climático, en vez de usar la incertidumbre como una razón para la inacción.

+1,0 °C a +1,5 °C

Incremento de la temperatura del aire para el año 2030.

CAPÍTULO 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 Tacna.

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 TACNA

El clima de Tacna no es uniforme debido a que dos terceras partes de su territorio corresponden a las zonas áridas y semiáridas y la tercera parte se halla situada en las alturas de la cordillera correspondiente a la zona subhúmeda; la costa tiene un clima seco y la afluencia de cuatro ríos costeros que condicionan la formación de tres valles aislados entre sí. Los principales ríos son de poco recorrido pues nacen del contrafuerte de la Cordillera Occidental de los Andes.

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 Tacna 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 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).

❖ 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 conectivas aisladas en la sierra tacneña.

❖ ANTICLÓN DEL ATLÁNTICO SUR

Es un sistema de circulación antihorario próximo a la superficie terrestre, cuyo centro esta posesionado sobre el Océano Atlántico sur, durante el periodo de lluvias el centro se ubica próximo al continente africano, 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 Tacna; este sistema a través de los vientos alisios de sureste trasporta grandes cantidades de humedad hacia la cuenca amazónica; humedad que también llega a la sierra de Tacna.

❖ ANTICLÓN 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 Tacna; el transporte de humedad es llevado a cabo por los vientos alisios del noreste.

❖ ANTICLÓN DEL OCEANO PACIFICO SUR

Sistema meteorológico responsable del tiempo y clima del mar peruano, la costa peruana y gran parte de la sierra tacneña, 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 más aire frío y húmedo hacia la costa y mar tacneños; ocasionalmente llegan a la costa de Tacna

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 atmósfera baja del territorio costero peruano, a cuya presencia se debe las características desérticas de la costa peruana y por consiguiente la tacneña. La inversión térmica es una capa de la atmósfera 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.

❖ **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 Tacna, 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 Tacna, pero con menor velocidad; por lo cual la atmósfera de la sierra tacneña se caracteriza por ser ventosa y seca en otoño y el invierno principalmente.

❖ **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 Tacna, la cual durante la noche o tarde precipita a la superficie como nieve; 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; cuando la DANA llega a niveles bajos de la atmósfera induce precipitaciones tipo lluvia o llovizna en la sierra y costa de Tacna.

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

El impacto de las anomalías positivas o negativas de las TSM sobre el tiempo y clima de la costa de Tacna depende:

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

Tabla N° 01: Estimado promedio mensual de las TSM en el mar de Tacna en grados Celsius.

E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
17.5	17.8	17.7	17.4	17.1	16.6	15.8	15.5	15.4	15.6	16.4	17.3

El incremento o disminución de las TSM están relacionados con el aumento o disminución de las temperaturas del aire en la franja costera, así como en el aumento o disminución de la cobertura nubosa y de las lloviznas.

2.2 UBICACIÓN Y RELIEVE

El territorio del departamento de Tacna se ubica en el extremo sur occidental del Perú; entre las latitudes 16° 58' y 18° 21' sur y entre las longitudes 69° 28' y 71° 10' oeste. Limita por el noroeste con el departamento de Moquegua, por el norte con Puno, por el este con la República de Bolivia, por el sur con la República de Chile y por el oeste con el Océano Pacífico. El territorio de Tacna es atravesado por la Cordillera Occidental, este accidente geográfico lo divide en costa y sierra; en la costa sus tierras son arenosas interrumpidas por valles; en la sierra se elevan cerros y volcanes apagados cubiertos de hielo permanente.

2.3 CATEGORÍAS DE ARIDEZ

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

- ❖ **Zonas extremadamente áridas (hiperáridas):** Precipitación entre 00 y 100 mm, corresponde al espacio entre el litoral y la cota aproximada de 2000 msnm.
- ❖ **Zonas áridas:** Precipitación entre 100 y 250 mm corresponde a la franja entre 2000 y 3500 msnm.
- ❖ **Zonas semiáridas:** Precipitación entre 250 y 600 mm, correspondería a la franja entre los 3500 hasta las cumbres de los nevados y cerros ubicados en la provincia de Candarave, Tarata y partes altas de la provincia de Tacna (distrito de Palca).
- ❖ **Zona subhúmeda seca:** Precipitación de 600 a 1200 mm, corresponde a pequeños espacios que bordean las cumbres por encima de los 4800 msnm en la provincia de Candarave.

Aproximadamente el 70% del paisaje del departamento de Tacna es hiperárido (lluvias menores a 100 mm) y el 20% es árido.

2.4 CLIMATOLOGÍA DE LA PRECIPITACIÓN EN TACNA

Tacna es el departamento menos lluvioso del país; comprende territorio hiperárido y árido en la costa, árido a semiárido en la sierra principalmente, esta extrema aridez se debe a su ubicación geográfica, la cual coincide con el área de muy fuerte subsidencia atmosférica (movimientos descendentes del aire) asociada al anticiclón del océano pacífico sureste, además de su lejanía a las fuentes de humedad (evaporación y transpiración del bosque amazónico y evaporación del océano atlántico); el Océano Pacífico es una fuente muy importante de humedad, pero esta humedad, está mayormente confinada debajo de la capa de inversión, en la capa límite atmosférica marina y es transportada por los vientos alisios en niveles bajos de la atmósfera, hacia el noroeste. La humedad que ingresa por los valles y quebradas secas hacia las pampas desérticas y estribaciones andinas es diluida en el aire muy seco de la subsidencia local y en el aire seco proveniente del desierto de Atacama (el más seco del mundo); esta característica climática y meteorológica se manifiesta en el desarrollo de nubes pequeñas, aisladas y de corta duración en todas las estaciones del año. En la estación de verano cuando la inversión térmica ocasionalmente desaparece (movimientos verticales

descendientes desaparecen) o es poco intensa a lo largo de la costa peruana y chilena, ingresa humedad suficiente del océano Pacífico a los valles costeros y serranos, humedad que al ascender condensa dando lugar a lluvias localizadas, algunas veces intensas.

Durante eventos EL NIÑO, dependiendo de la intensidad la frecuencia e intensidad de las lluvias incrementan, tanto en la costa como en la sierra así, a mayor incremento de las temperaturas superficiales del agua de mar (TSM) lluvias más frecuentes e intensas.

Hay información que durante los años 1747, 1783, 1824, 1832, 1857, 1858, 1877 y 1884 ocurrieron inundaciones, lluvias e incluso tormentas en las áreas costeras de Tacna, todos estos episodios sucedieron en eventos cálidos (NIÑOS).

Se puede afirmar con toda certeza que la precipitación (lluvia, granizo, nieve, aguanieve... etc.) en el departamento es escasa e insuficiente para satisfacer todas las demandas actuales (doméstico, industrial, agrícola y minero). Estas deficiencias de agua se acentuarán en el futuro debido al crecimiento poblacional, crecimiento económico, a la creciente contaminación del agua y al “calentamiento global” (incremento de temperaturas más evaporación).

2.4.1 PRECIPITACION ANUAL

En la costa hiperárida y árida 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.

Entre 1000 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 orográfica seca a causa de la alta insolación; casi toda la radiación neta es utilizada para calentar el aire superficial debido a la falta de humedad; este proceso físico se manifiesta con el desarrollo de nubes dispersas de buen tiempo (cúmulos humildes) en horas de la tarde; además este aire seco y cálido es transportado por las abruptas vertientes y valles hacia cotas más altas contribuyendo en la aridificación del paisaje.

En el sector comprendido entre los 2500 y 5000 msnm las precipitaciones incrementan con la altitud, desde aproximadamente 50 mm en la cota inferior a 500 mm en la región Suni; las precipitaciones en la región Puna y Suni (>3800 msnm) son del tipo lluvia, granizo, llovizna y rocío; ocasionalmente ocurren tormentas violentas acompañadas de vientos fuertes (velocidades mayores a 42 km/h). Sobre los 4500 msnm un alto porcentaje de la precipitación es en la forma de aguanieve y nieve. La escasa lluvia en cotas por debajo de los 3500 estaría en parte explicada por la fuerte incursión de aire cálido y seco o muy seco desde las pampas costeras (Mapa 05).

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 y occidental, asimismo, en plena época lluviosa los pequeños cuerpos de agua, la humedad del suelo, la vegetación, los bofedales y humedales

son importantes fuente de humedad local; del Lago Titicaca se evaporan aproximadamente 34 800 000 m³ de agua por día, es bastante probable que ese vapor, al fluir hacia el este, también sea una fuente de humedad importante para las precipitaciones que ocurren en la puna de las provincias de Candarave, Tarata y el extremo norte de los andes chilenos .

En la región de la Puna (mayor 3800 msnm), las precipitaciones son del tipo lluvia, granizo, nieve, aguanieve y en menor medida llovizna y escarcha; la que se mide principalmente es la lluvia, totaliza de 300 a 400 mm en el trimestre, como puede verse en el mapa 01, las menores precipitaciones ocurren en dirección oeste. La puna del departamento de Tacna es la menos lluviosa del país y dentro de las provincias, la provincia de Tacna es la más árida del país.

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 2000 msnm 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 Tacna es continuación del desierto de Atacama considerado el desierto más seco del Mundo.

En los meses de otoño en el departamento precipita muy poco ver mapa 02. Estas se restringen a las primeras semanas de marzo, en abril y mayo no precipita a excepción de días en los que se posee un sistema atmosférico denominado DANA (depresión atmosférica de niveles altos) en el mar territorial norte de Chile y sur de Perú, la cual favorece el transporte de aire húmedo desde el este y noreste hacia la puna de Tacna, por lo tanto induciendo precipitaciones tipo nevada, algunas veces generalizadas. Ocasionalmente la depresión penetra a niveles bajos de la atmósfera e incluso llega a la superficie oceánica, en estas circunstancias pueden ocurrir lluvias, a veces intensas en algunas localidades de la costa y la sierra; estas ocurren por la fuerte incursión de aire húmedo desde el norte y noroeste y la desestabilización de la atmósfera baja (desaparición de la inversión térmica)

En términos generales por debajo de la puna hay lluvias ligeras en el mes de marzo; en los meses de abril y mayo prácticamente no llueve, predomina el cielo con escasa nubosidad o despejado.

En invierno, en la región las precipitaciones son insignificantes, En la puna en la mayoría de las localidades precipita menos de 5 mm por mes, pero en esta región (puna) ocasionalmente ocurren generalizadas precipitaciones tipo nieve, 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.

En este periodo, sobre los 3000 msnm, los vientos secos del oeste intensifican, la alta energía solar incidente y la alta sequedad del aire, contribuyen a una muy alta evapotranspiración. Durante las noches, frecuentemente, ocurren los vientos katabáticos o vientos de drenaje, su origen está en el fuerte enfriamiento nocturno del aire en las cabeceras de las microcuencas, el cual al enfriar aumenta su densidad, se hace más pesado y comienza a fluir por las abruptas pendientes. Durante el día ocurre lo contrario, es decir el aire fluye desde el fondo de los valles y quebradas hacia las cumbres pero como este aire es muy seco y caliente no forma 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 húmedo; en estos meses la deposición de humedad en forma de rocío sobre las superficie desértica debe ser significativa en horas nocturnas y calmadas o con poco viento. (Mapa 03)

En la estación de primavera empiezan a ocurrir precipitaciones, son aisladas y están concentradas a la región Puna de la provincia de Candarave y Tarata los totales acumulados son aproximadamente menores a 50 mm

En la región por debajo de la Puna hasta el nivel del mar llueve cantidades insignificantes, estas en términos generales acumulan cantidades menores a 05 mm, las cuales son insignificantes para el desarrollo de las actividades humanas. En la franja cercana al litoral hay deposición de rocío y lloviznas en el mes de setiembre y octubre(Mapa 04).

En la franja costera la deposición de sal (NaCl) es aparentemente alta, Gutiérrez (.....) ha estimado que en el desierto de Atacama se depositan aproximadamente 150 kg/ha/año; es probable que cantidades similares se depositen en el desierto de Tacna. La fuente de la salinidad es el agua de mar que al ser agitada por el viento, se genera oleaje en el cual se favorece el flujo hacia la atmosfera de gotitas de agua que al evaporar en el aire liberan las muy pequeñas partículas de sal, las cuales son transportadas por el viento hacia la costa y depositadas en ella, podemos afirmar que a mayor velocidad de viento, mayor oleaje y por lo tanto mayor transporte de partículas de sal a la costa.

2.5 CLIMATOLOGÍA DE LA TEMPERATURA EN TACNA

En el área costera, la variable meteorológica temperatura está influenciada por factores astronómicos, oceanográficos, meteorológicos y orográficos. Mientras en la sierra es fuertemente influenciada por la orografía, la concentración de los gases de efecto invernaderos naturales (vapor de agua y dióxido de carbono) el contenido de humedad del suelo; además de astronómicos y meteorológicos; de mayo a agosto la exposición de las superficies (vertientes) al sol debe influir en el valor de las temperaturas, debido a que el sol está al norte de los 15°N, por la cual las vertientes de los valles, de los volcanes y de cerros altos que se exponen al norte tendrían diferentes microclimas que aquellas que se orientan al sur, por la diferente cantidad de radiación que reciben.

Las temperaturas en las superficies de los desiertos tropicales son en general muy altas y habría que señalar precisamente que en estos biomas ocurren las temperaturas más altas de la tierra; Heinz (1964) realizó unas mediciones en la superficie de la Pampa de la Jolla, entre el día 11 y 12 de Julio en la que encontró una temperatura máxima de 66,9°C y una mínima de 3,8°C cuyo rango (63.1°C) es considerado extraordinario. Temperaturas similares probablemente también ocurren en las pampas desérticas de este departamento y aun más altas en la estación de verano. Estas muy altas temperaturas superficiales del desierto afectan el clima y tiempo del departamento, ya que toda la energía radiante disponible se transforma en calor sensible (para calentar el suelo superficial arenoso y el aire inmediato) que es transportado en el aire muy seco.

- ❖ Baja turbidez, es decir aire limpio, libre de contaminantes y aerosoles
- ❖ Inclinación del terreno normal a los rayos solares al mediodía y antes
- ❖ Bajo albedo de la superficie (baja reflexión solar)
- ❖ Superficies cóncavas

- ❖ Baja emisividad de la superficie.
- ❖ Ausencia de reacciones fotoquímicas tales como la fotosíntesis.
- ❖ Ausencia de agua en la superficie.
- ❖ 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 áreas desérticas ubicadas por encima de los 800 o 1000 msnm donde tiene mínima influencia la capa límite atmosférica marina cuyo tope coincide aproximadamente con la base de la capa de inversión y seco hacia las vertientes andinas y hacia el norte.

Factores físicos que favorecen temperaturas máximas superficiales extremas

- ❖ Mínima distancia tierra-sol
- ❖ Pequeño Ángulo 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.

2.5.1 TEMPERATURA MÁXIMA PROMEDIO MULTIANUAL DEL AIRE

La distribución espacial de la temperatura máxima promedio depende básicamente de la altitud, los valores más altos coinciden con la ubicación altitudinal promedio de la capa de 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 este la temperatura disminuye gradualmente hasta la región puna donde la temperatura alcanza valores de 08 °C y de 05 °C o menos en la región nival. En algunas localidades de la provincia de Tarata, ubicadas sobre los 4800 msnm deben ocurrir temperaturas promedio multianuales de valores negativos.

Las isotermas siguen aproximadamente las curvas de nivel.

Entre el litoral y los 1000 msnm (base de la inversión térmica) la magnitud de las temperaturas están influidas por la dinámica del océano (temperaturas de la superficie del mar sobre o por debajo de sus normal) y 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 bloquean la llegada de la radiación solar directa a la superficie, contribuyendo a tener temperaturas máximas y diurnas más bajas que las correspondientes a las que ocurren sobre los 1000 msnm. (Mapa 10).

En verano se tiene que la configuración espacial de las isotermas en este trimestre es similar a la configuración multianual desde los 1500 msnm hasta la región puna, 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 hacia las vertientes andinas distantes del litoral (Mapa 06).

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 en abril y mayo, por lo que la radiación solar incidente es relativamente alta.

En la costa 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 2 °C en relación al trimestre anterior (Mapa 07).

En invierno hay cambio en la distribución espacial de las isothermas máximas en todo lo que es territorio serrano y en el espacio afectado por la inversión térmica respecto al trimestre anterior (mar-abr-may), claramente se observa en mapa 08 la similar distribución espacial de los campos de temperatura.

En la franja costera ocurren las temperaturas máximas más bajas y esto es debido a:

- ❖ La extensa cobertura nubosa estratiforme, a veces persistente en varios días consecutivos a la consiguiente disminución de las temperaturas superficiales del agua de mar (TSM)
- ❖ Los ocasionales e intensos transporte de aire frío, en niveles bajos de la atmósfera, desde latitudes subtropicales hasta la costa sur peruana
- ❖ La intensificación de la subsidencia asociada a la migración normal hacia el norte del Anticiclón del Océano pacífico sur, lo cual estabiliza más el aire de la capa límite marina, la que su vez fomenta más la formación de las nubes estratiformes.
- ❖ En este trimestre la isoterma máxima que caracteriza a la costa es la de 21 °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, las advecciones de aire frío por disminución de la velocidad de los vientos alisios también disminuyen; estas tres características favorecen el incremento de las temperaturas máximas en la costa; la isoterma que caracteriza al trimestre es la de 22 °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 o menos que ocurre en la región suni. Es probable que en localidades situadas sobre los 4800 msnm ocurran temperaturas máximas de 00°C o menos (Mapa 09).

2.5.2 TEMPERATURA MÍNIMA PROMEDIO MULTIANUAL DEL AIRE

Tanto en la costa como en la sierra ocurren las temperaturas mínimas más bajas del país. En las pampas costeras, ocasionalmente las temperaturas mínimas pueden llegar a valores menores a 05°C en la estación de invierno; mientras en la sierra en distritos altos de las provincias de Tarata y Tacna eventualmente las temperaturas bajan a valores inferiores a -25 °C.

La configuración espacial de esta temperatura depende principalmente de la altitud, la isoterma de 16°C, la más alta se ubica en la franja costera próxima al litoral, mientras la

más baja se ubica aproximadamente en los 5000 msnm cota que coincidiría con la isoterma negativa de -12°C . Estas temperatura enmascaran las variaciones estacionales, mensuales, estas son más marcadas en la región Puna y Suni, en esta ultima la variación (rango) entre verano e invierno puede llegar a 12°C ; mientras en la costa llega a 05°C (Mapa 15).

En verano, en la sierra, esta temperatura es máxima en este trimestre en todas las localidades del departamento debido principalmente a la mayor incidencia de radiación solar, a la mayor concentración de vapor de agua en la atmosfera y de agua líquida en el suelo, menor velocidad del viento (menos evaporación) y mayor cobertura nubosa nocturna.

En la costa la temperatura es aproximadamente uniforme, la isoterma que lo caracteriza es la de 18°C . Este valor relativamente alto se debe a la mayor incidencia de radiación solar sobre el desierto, al mayor contenido de vapor de agua en la columna atmosférica (atmosfera baja y media), al transporte de humedad (“trasvase”) en la atmosfera alta (>5000 msnm) a los mayores valores de temperatura de agua de mar y a las menores incursiones de aire frio procedentes del desierto y mar chilenos

En la sierra la temperatura mínima 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 mas vapor de agua presente en el aire, menor disminución de las temperaturas nocturnas y mínimas.

Las isotermas que caracterizan a esta región van de 12°C a 2000 msnm a -06°C a los 4500 msnm.

Sobre los 4500 msnm en la provincia de Tarata las temperaturas medias del trimestre deben ser iguales o menores a -08°C (Mapa 11).

En todo el departamento las temperaturas mínimas disminuyen, en los meses de otoño.

En la costa disminuyen por:

- ❖ La temperatura del agua de mar disminuye.
- ❖ Las incursiones de masas de aire húmedas y frías procedentes del sur empiezan a afectar la franja costera principalmente en mayo.
- ❖ La cantidad de radiación solar incidente disminuye.
- ❖ Las noches duran más (aproximadamente 13 horas) mientras los días duran 11 horas.
- ❖ La temperatura del suelo desértico disminuye.

La isoterma que caracteriza a la franja costera es la de 15°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 -12°C en la región Suni.

En la región Puna y Suni incluso Quechua además de los factores causales que se tienen en la costa se debe mencionar la intensificación de los vientos oestes y secos que originan mayor evapotranspiración en el paisaje (los someros y pequeños cuerpos de agua, suelos y vegetación) por lo tanto paulatinamente menos vapor de agua en la atmosfera (Mapa 12).

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

En la costa la isoterma que lo caracteriza es la de 12 °C. En localidades próximas al mar la cobertura nubosa estratiforme es máxima tanto en profundidad como en extensión, la advección de masas de aire frías procedentes de territorio chileno son más frecuentes y persistentes. Desde la costa a la región Suni las temperaturas mínimas disminuyen a -18°C, estos valores muy bajos se debe a la intensa sequedad atmosférica, a la muy escasa humedad presente en el suelo, a la escasa cobertura vegetal y a la relativamente alta duración de la noche. (Mapa 13).

Debido al fuerte enfriamiento nocturno de las cabeceras de las cuencas y microcuencas, ocurren los vientos montaña-valle o brisa montaña valle (Vientos catabáticos o vientos de drenaje).

En la estación de primavera, en el mes de noviembre los rayos solares ya están incidiendo verticalmente sobre el espacio geográfico de Tacna, por lo cual las temperaturas mínimas han incrementado en relación al trimestre anterior, el ingreso de humedad hacia las cuencas desde el este son ocasionales, las noches en el mes de noviembre tienen aproximadamente 11 horas.

En la costa las temperaturas del agua de mar han incrementado, los ingresos de aire frío del sur disminuyen y las nubes estratos tanto en persistencia como profundidad también disminuyen por lo cual las temperaturas incrementan, tal que la isoterma que caracteriza a la costa cerca al litoral es la de 13°C.

En la sierra las isotermas que lo caracterizan van desde 08°C en el límite inferior, aproximadamente en los 2000 msnm y la de -16°C en los 5000 msnm.

En la sierra de las provincias de Tarata y Tacna y en este trimestre ocurren los rangos diarios de temperatura más altos a nivel nacional, en el mes de noviembre alcanzan valores de 30°C (Mapa 14).

En el caso de localidad de Sama Grande, el comportamiento de la precipitación mensual evidencia la presencia de dos periodos húmedos con valores no mayores a 10 mm.

En cuanto a la temperatura máxima los valores oscilan entre los 30°C en los meses de verano y entre 23 y 24°C en los meses de invierno mientras que la temperatura mínima alcanza su valor más bajo en los meses de invierno llegando a no menos de 10°C.

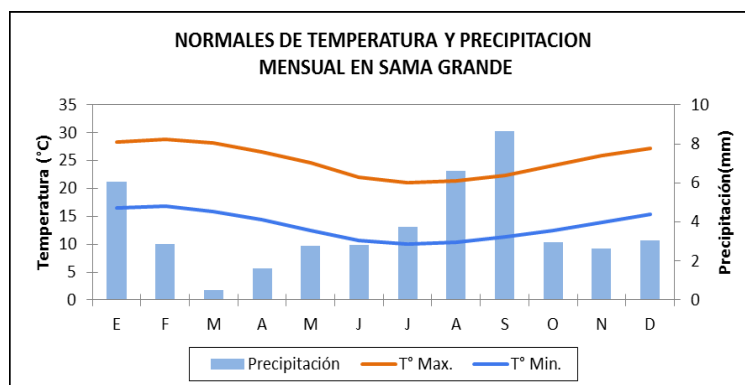


FIGURA N°01: ciclo anual de las temperaturas extremas del aire y la precipitación en la localidad de Sama Grande (534 msnm).

2.6 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 RClindex (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.

2.6.1 Tendencias de la precipitación

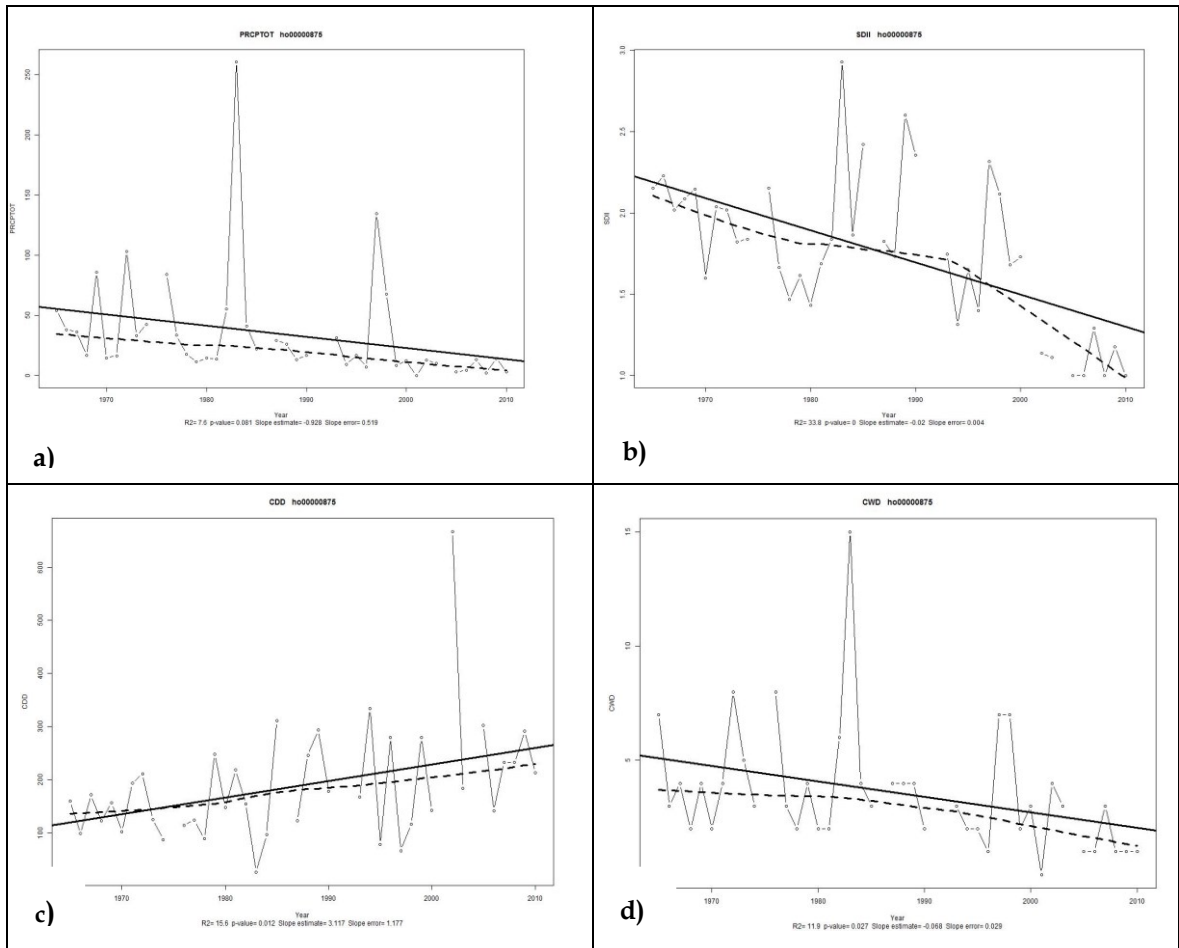
La determinación de la tendencia de la precipitación no es fácil en ningún ámbito geográfico, debido, entre otras cosas a la compleja distribución espacial de las lluvias, a las diferencias en cuanto a su reparto estacional y a su notable variabilidad interanual. Durante el siglo XX, en Sudamérica, se 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).

2.6.2. Índices de eventos extremos de la precipitación

Seis índices de precipitación fueron calculados y son enumerados en la Tabla N° 02 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>=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>=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



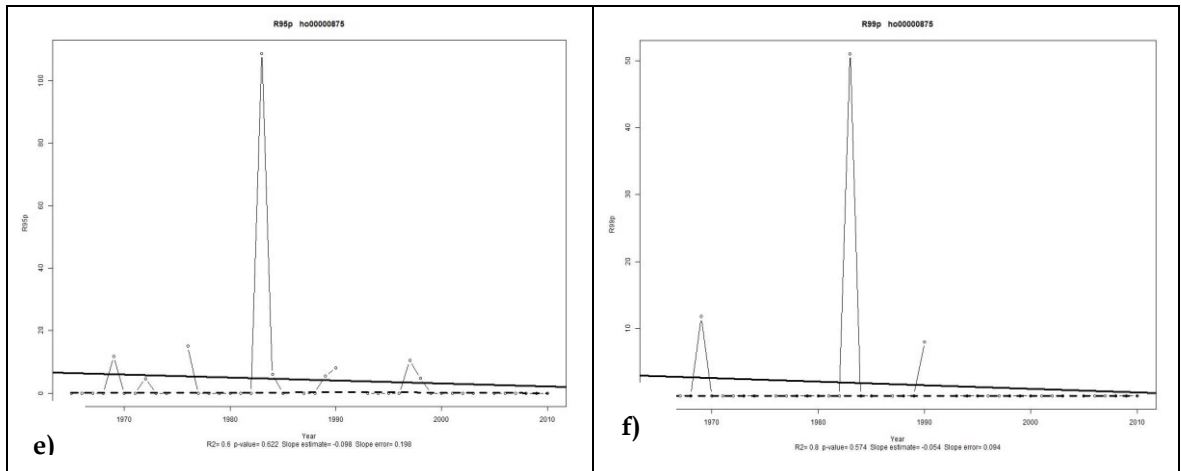


Figura N°02: Tendencia de índices de eventos extremos de la precipitación en la estación de Sama Grande, para el período de 1965-2012. (a) Días húmedos; (b) Intensidad de lluvias; (c) Días secos consecutivos; (d) Días húmedos consecutivos; (e) Días muy húmedos; (f) Días extremadamente húmedos.

En los últimos 48 años, evaluando la grilla de observación que caracteriza la parte baja de la región, observamos que la tendencia media de las lluvias (índice de precipitación acumulada en un año PRCPTOT) nos está mostrando que cada año las lluvias anuales están decreciendo en cantidad.

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 negativa para esta parte 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 está aumentando; mientras que el índice CDW viene disminuyendo, lo que nos podría dar una idea de que en los últimos 48 años los periodos sin precipitación están aumentando en duración, mientras que los periodos lluviosos están acortándose, aunque se necesitaría la evaluación de más puntos de observación para confirmar esta señal de cambio a una escala regional, dada la alta variabilidad de esta variable.

Las tendencias del número de días muy lluviosos (R95p) es negativo, 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 de precipitación han venido disminuyendo en intensidad, lo cual unido al índice de CDD positivo se torna peligroso, ya que se vienen presentando períodos de lluvias intensas de corta duración seguido por periodos cada vez más largos sin precipitación.

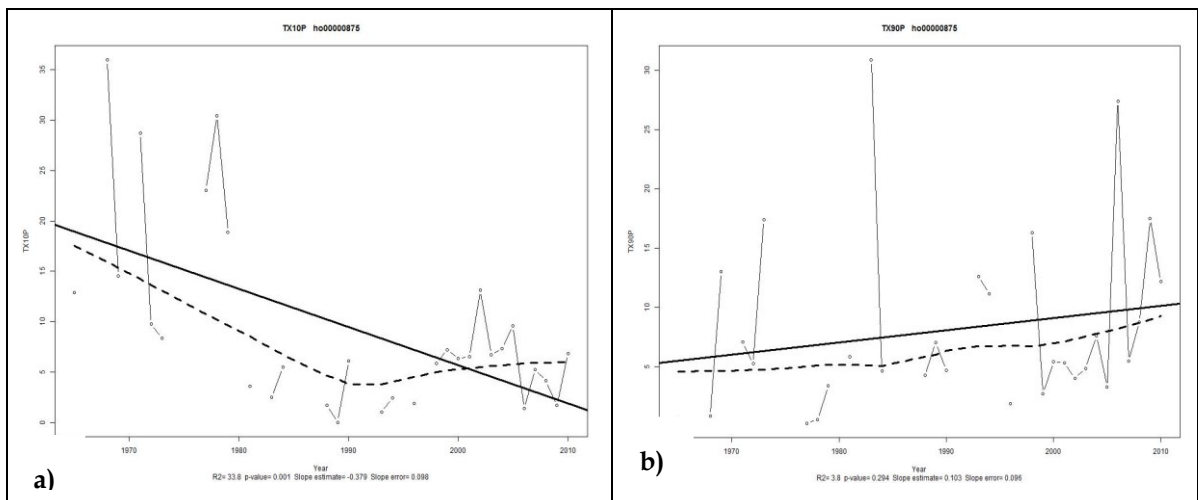
2.6.3. Índices de eventos extremos de la temperatura del aire

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	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
Tnn	Temperatura 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



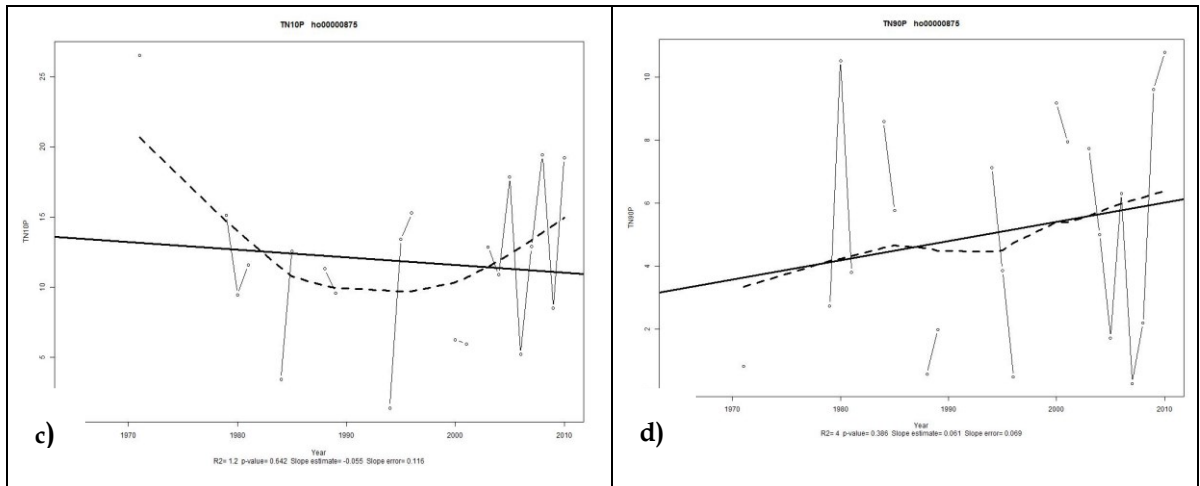


Figura N°03: Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación de Sama Grande, para el período de 1965-2012. (a) Días fríos; (b) Días calientes; (c) Noches frías; (d) Noches calientes.

Los índices de días y noches calientes son positivos (basados en percentiles por encima de 90th), mientras que son negativos los índices de días y noches frías (basados en percentiles por debajo de 10th), lo que nos indica que durante las últimas cuatro décadas están aumentando los días y noches con temperaturas altas mientras que los días y noches con temperaturas bajas están disminuyendo.

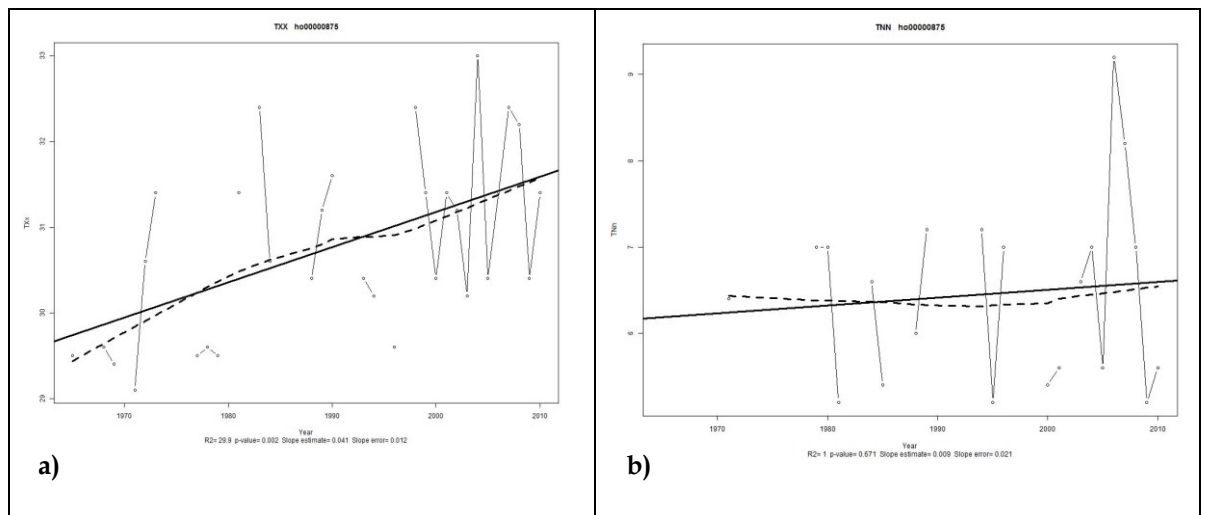


Figura N°04: Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación de Sama Grande para el período 1965-2012. (a) Temperatura máxima; (b) Temperatura mínima.

El índice de temperatura máxima (Txx) que es el valor mensual máximo de la temperatura máxima diaria, presenta una marcada tendencia positiva en la estación Sama Grande, es decir los días están tendiendo a ser ligeramente más cálidos, mientras que en el caso del índices de temperatura mínima (Tnn) no es clara la tendencia observada.

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.

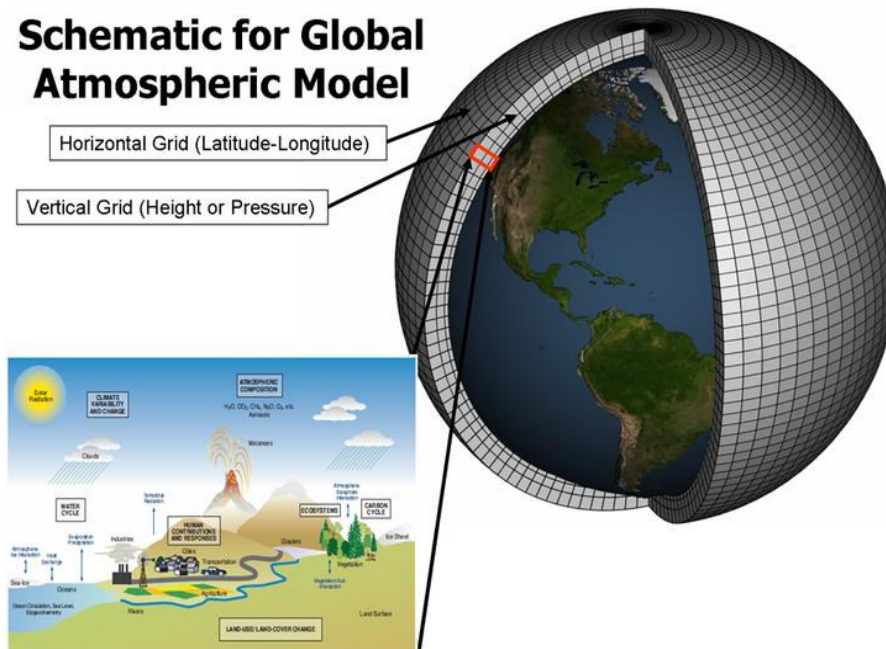


Figura N°05: Esquema de un modelo climático global. Fuente NOAA.

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).

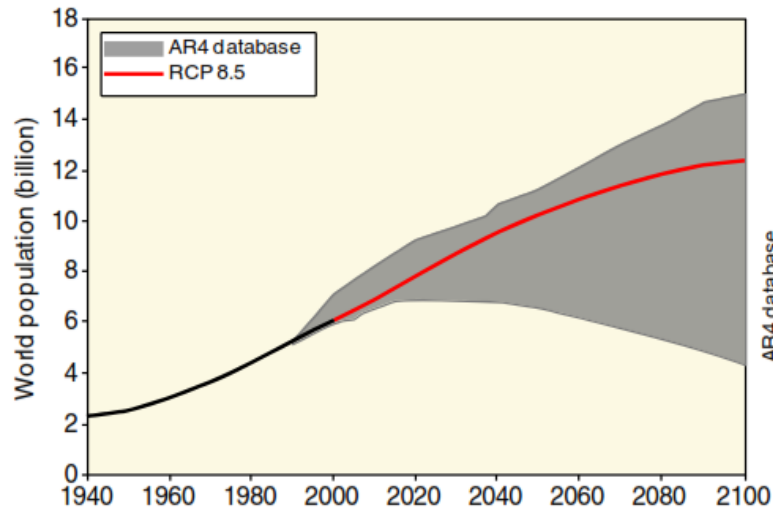


Figura N°06: Escenario de emisión RCP8.5. Fuente IPCC.

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 Tabla N°03.

Tabla N° 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° 04 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: Calculo 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 DEL CLIMA EN LA REGIÓN DE TACNA

Temperatura del aire y Precipitación al año 2030

En esta sección se presentan los resultados de los cambios estacionales y anuales de la precipitación y las temperaturas máximas y mínimas del aire en la región Tacna, proyectados para el time-slice 2016-2045 con promedios centrados en el año 2030, con referencia al periodo 1971-2000. Los escenarios climáticos se basan en cuatro (4) modelos climáticos de escala global (50 km de resolución horizontal) para el escenario de emisión RCP8.5.

4.1 PROYECCIONES DE LA PRECIPITACIÓN

CAMBIO ANUAL DE LA PRECIPITACIÓN AL 2030

El cambio de la precipitación al 2030 en la sierra de Tacna es de un decremento de 03%, disminución aparentemente baja, lo que equivale aproximadamente 12 milímetros menos de lluvia o 12 litros por metro cuadrado menos de agua, lo que es igual a 12000 m³ de agua menos por cada kilómetro cuadrado, lo que hará más acentuadas las deficiencias dado que se proyecta incrementos de temperatura mayores a 01.5°C lo que incrementaría la evapotranspiración.

En la costa las proyecciones demuestran disminuciones de las precipitaciones en promedio de 09%; dado que en la franja costera precipita cantidades menores a 10 mm la disminución no es significativa (Mapa 20).

CAMBIOS ESTACIONALES DE LA PRECIPITACIÓN AL 2030

En la sierra, en el periodo de lluvias DEF hay “pequeñas” disminuciones de lluvias de aproximadamente 02%; de marzo a finales del invierno (agosto), hay disminuciones altas en las precipitaciones, lo que significa que lloverá menos de lo que actualmente llueve. Al inicio de lluvias (SON) las lluvias incrementan en 06% aproximadamente, este cambio es significativo. En JJA, periodo de casi ausencia de lluvias, la proyección del modelo da deficiencias de 10% en la sierra y de 06% en la costa; esta proyección podría significar una atmósfera más seca o más caliente o menos ingreso de aire húmedo desde el este o norte a la sierra tacneña, también podría darse las tres situaciones simultáneamente (Mapas 16, 17, 18 y 19).

En la **figura N°07** se muestra la subregión donde se ha analizado la línea de tiempo o tendencia de cambio hasta el año 2030.

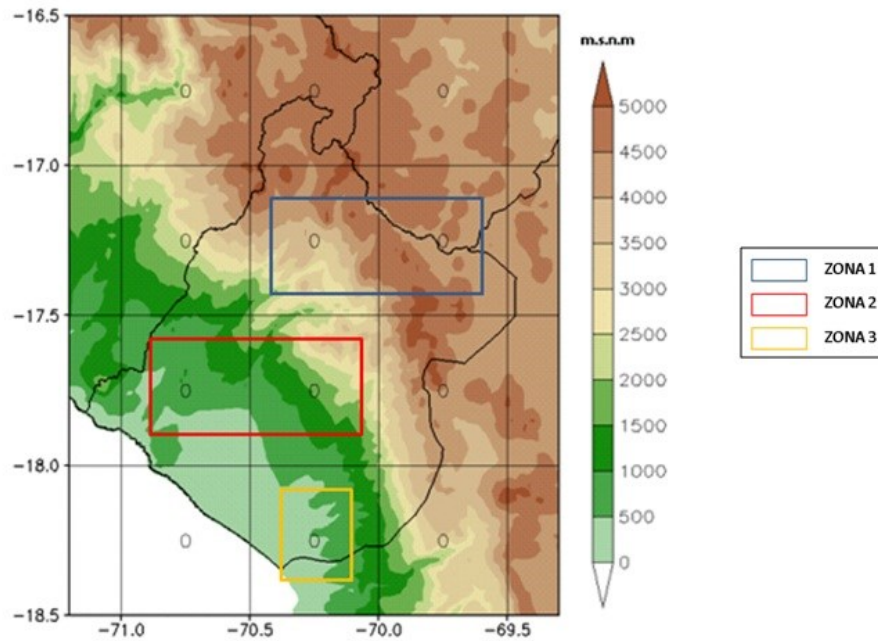
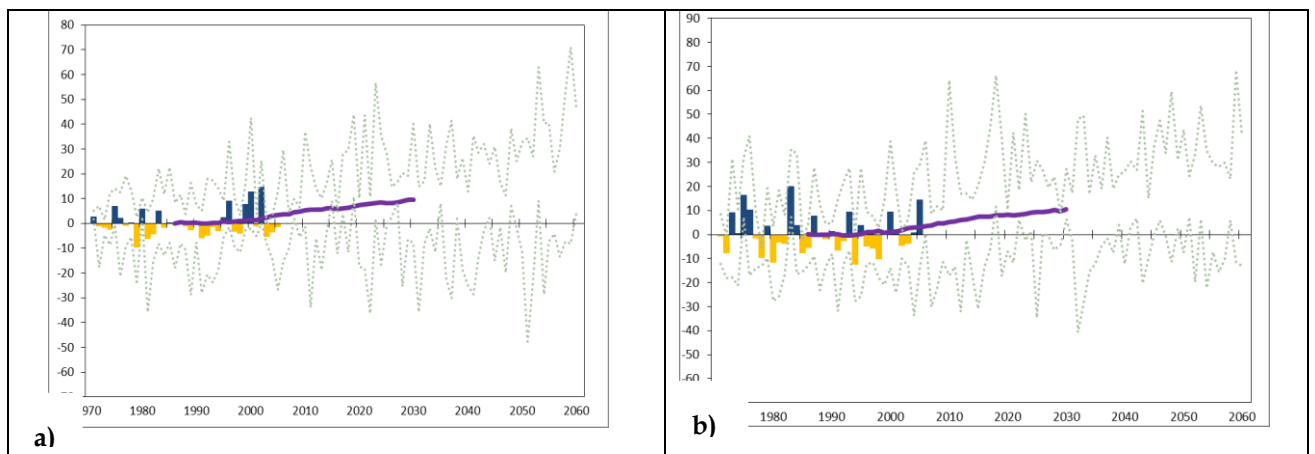


Figura N°07. Subregión analizada para determinar la tendencia de cambio, zona centro-oriental. Fuente SENAMHI.

En la **Figura N°08** se observa el cambio estacional y anual de la precipitación en la subregión, expresado en porcentaje (%). Debe entenderse que la capacidad de cada modelo de representar bien algunas características del clima actual está en función de sus características internas o estado de desarrollo, de modo que es esperable que las respectivas simulaciones de un clima modificado por una nueva composición de la atmósfera, difieran. Los modelos indican incrementos bastantes discretos de la precipitación (dentro de su variabilidad).



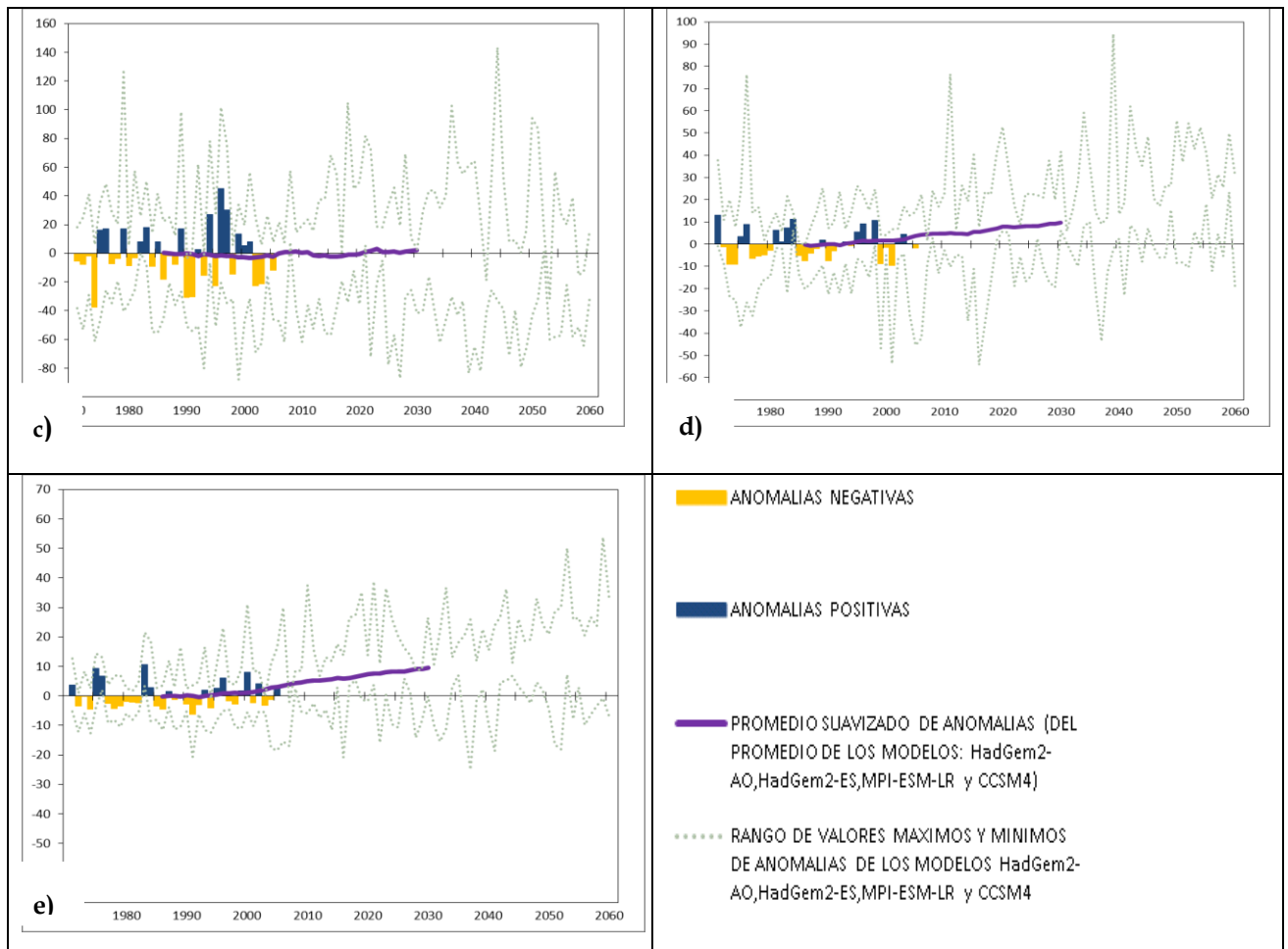


Figura N°08: Evolución del cambio de la precipitación en las subregión (regrillada o ajustada con datos observados del Climate Ressearch Unit de la Universidad de East Anglia. (a) D-E-F; (b) M-A-M; (c) J-J-A; (d) S-O-N; (e) Anual.

4.2 CAMBIO EN LA TEMPERATURA MÁXIMA

CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÁXIMA ANUAL DEL AIRE AL 2030

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 Candarave, Tarata y Tacna dan incrementos mayores a 1,5 °C, este resultado concuerda en 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; en cien años este incremento significaría 06 °C, lo que sería catastrófico para todos los ecosistemas y para la sociedad en su conjunto; desde la puna en dirección oeste los incrementos son menores, en la franja cercana al litoral el incremento es de 1,4 °C (ver mapa 25)

.

CAMBIOS DE LA TEMPERATURA MÁXIMA DEL AIRE ESTACIONAL AL 2030

(Ver mapas 21, 22, 23 y 24)

En los meses de verano se observan los menores cambios positivos, pero que son bastante altos. En la puna de las tres provincias (Candarave Tarata y Tacna) el incremento es aproximadamente de 1,5 °C y en localidades cercanas al litoral es de 1,4 °C.

En el caso de los meses de otoño hay un incremento en la magnitud de las proyecciones, estas llegan a valores mayores a 1,7 °C en la puna del departamento, en la costa también hay un incremento de 1,6 °C.

En invierno es donde se observan los mayores incrementos de temperatura máxima, llegando a valores de 1,8 °C en la puna de las tres provincias, el cual es un valor muy alto, que podría considerarse “muy peligroso” si asumimos un incremento lineal es decir de 0,6 °C por década. En la costa los incrementos son de aproximadamente 1,5 °C, similares a los que ocurren en el trimestre DEF.

Como en todos los trimestres, en los meses de primavera, los mayores incrementos ocurren en la puna de las provincias de Candarave, Tarata y Tacna 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 1,4°C.

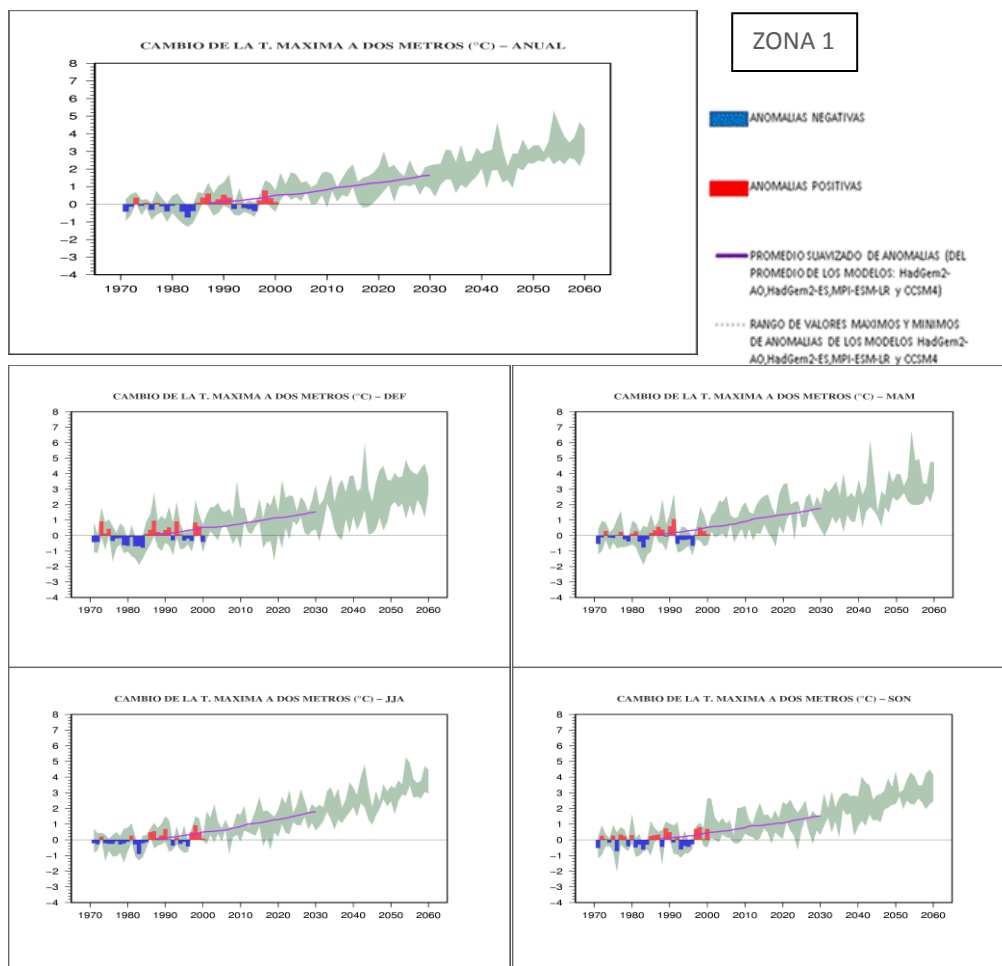


Figura N°09: Evolución del cambio de la temperatura máxima en las zona 1 (regrillada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.

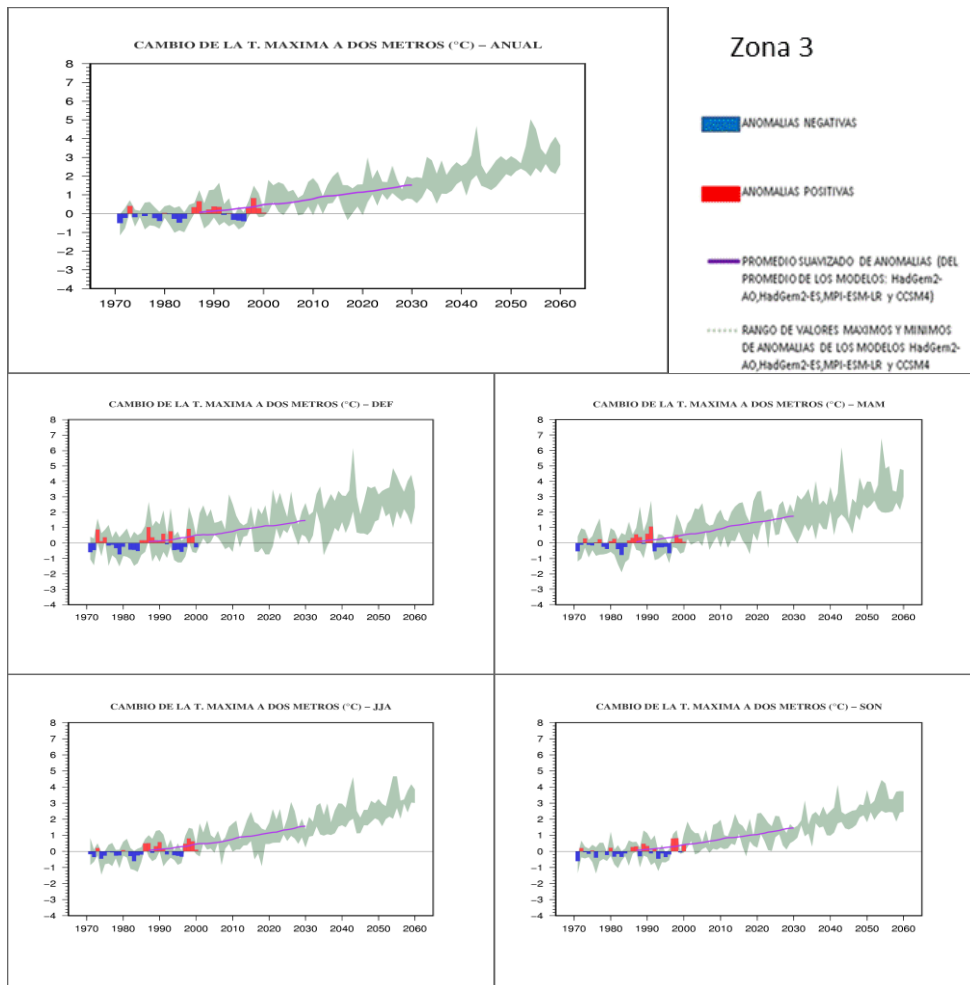


Figura N°10: Evolución del cambio de la temperatura máxima en la zona 3 (regrillada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.

4.3 CAMBIO EN LA TEMPERATURA MÍNIMA

CAMBIO DE LA TEMPERATURA MÍNIMA ANUAL DEL AIRE AL 2030

En la sierra al 2030 la temperatura mínima incrementará 1.5°C en promedio, mientras en la costa el incremento es ligeramente inferior en 0.1°C. Estos cambios aparentemente pequeños son en realidad muy preocupantes; extrapolando a 100 años esta tendencia daría 05°C de incremento, que de cumplirse originaría daños severos en los ecosistemas naturales y manejados (agricultura) (ver mapa 30).

CAMBIOS DE LA TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE ESTACIONAL AL 2030

(Ver mapas 26, 27, 28 y 29)

El cambio de temperatura para el trimestre de Diciembre, Enero y Febrero es de 1.3°C para la sierra y de 1.2°C para la costa a pasar de ser los más bajos son cambios importantes.

Los cambios proyectados en los meses de otoño son similares a los proyectados en el trimestre anterior este incremento ocurre eventualmente en eventos EL NIÑO; el peligro está en que estos cambios serán permanentes e incrementando gradualmente.

En la estación de invierno se observan cambio ligeramente mayores a los cambios proyectados para el trimestre MAM; tanto en sierra como en costa los cambios son mayores a 1.6°C.

En primavera los cambios más altos en la sierra, estos llegan a magnitudes mayores a 1.7°C, mientras en la costa los cambios son más bajos, alcanzando valores próximos a 1.6°C; de seguir esta tendencia en 100 años se tendría incrementos de 05 a 06°C, los cuales impactarían muy negativamente en la mayoría de las actividades humanas.

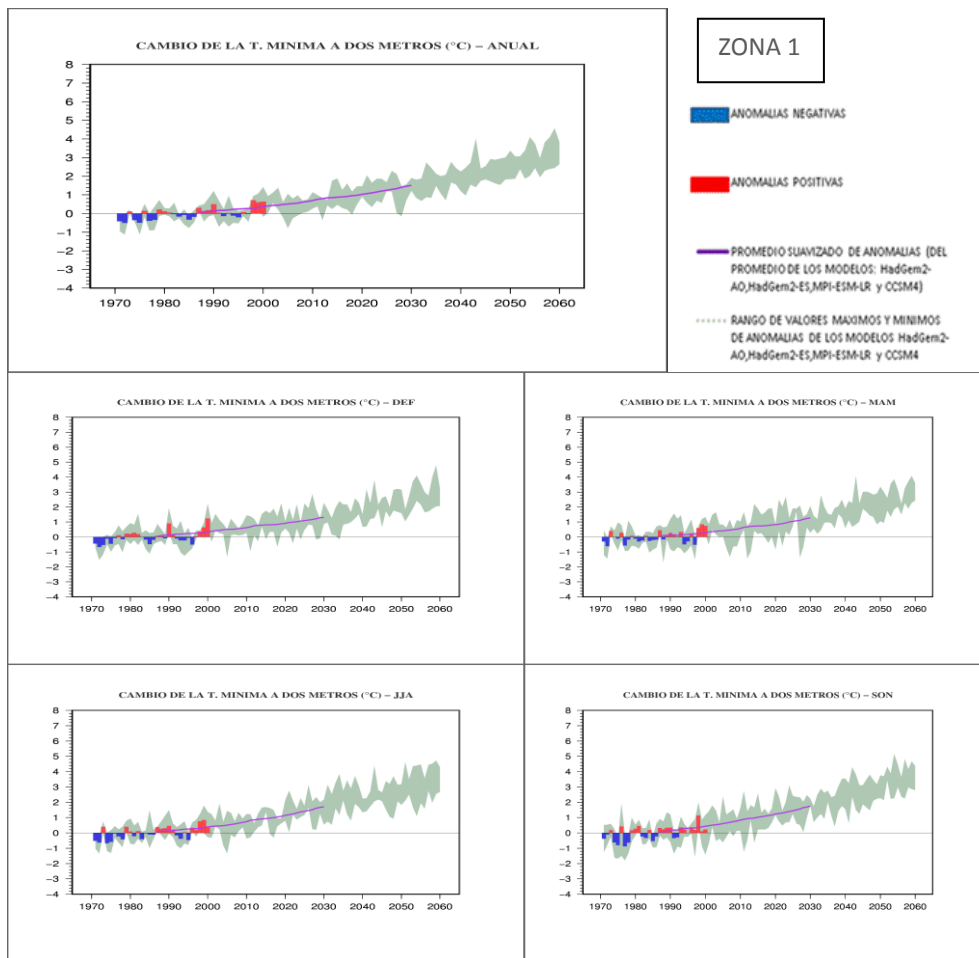


Figura N°11: Evolución del cambio de la temperatura mínima en la zona 1 (regrillada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.

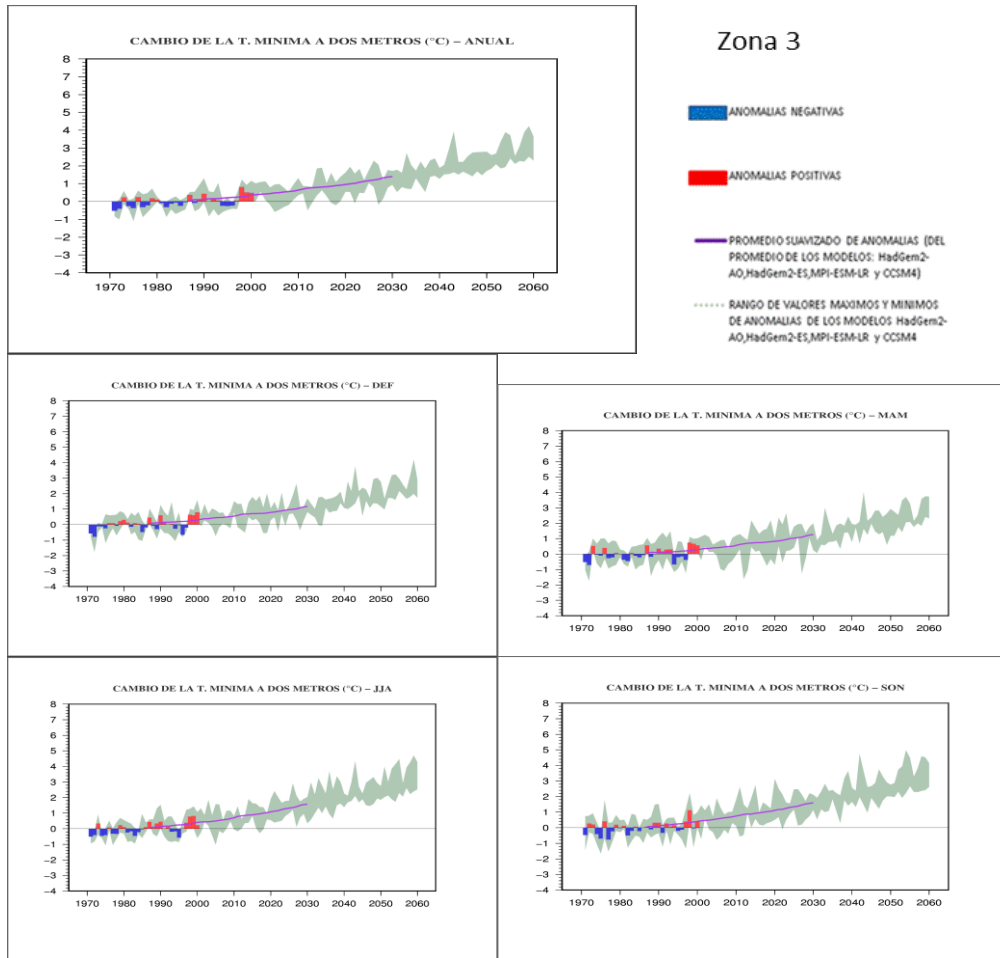


Figura N°12: Evolución del cambio de la temperatura mínima en las zona 3 (regrellada o ajustada con datos observados del CRU4). Cambio expresado en °C.

CAPÍTULO V.

CAMBIO CLIMÁTICO

Escenario Futuro e Incertidumbres

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 “ensamble”.

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 12, cada punto es el valor del cambio proyectado por cada modelo a nivel estacional y anual, en la grilla común sobre la Región Tacna. La dispersión de cambios de la temperatura del aire no es alta, y todos los modelos coinciden en la misma dirección de cambio (calentamiento). En la temperatura máxima los cambios anuales van de +0,8 °C a +2,2 °C y de +1,0 °C a +2,0 °C en la mínima, aunque se observa una mayor dispersión en verano y primavera (de +0,8°C a +2,0°C y +1,0°C a +2,2°C) en la temperatura máxima respectivamente. En lo que respecta a precipitación, la dispersión es menor y los cuatro modelos indican cambios muy discretos en el acumulado anual (0-15%), sin embargo, la mayor dispersión se da

en invierno con valores entre -30% según HadGEM2-ES hasta +30% según el modelo HadGEM2-AO.

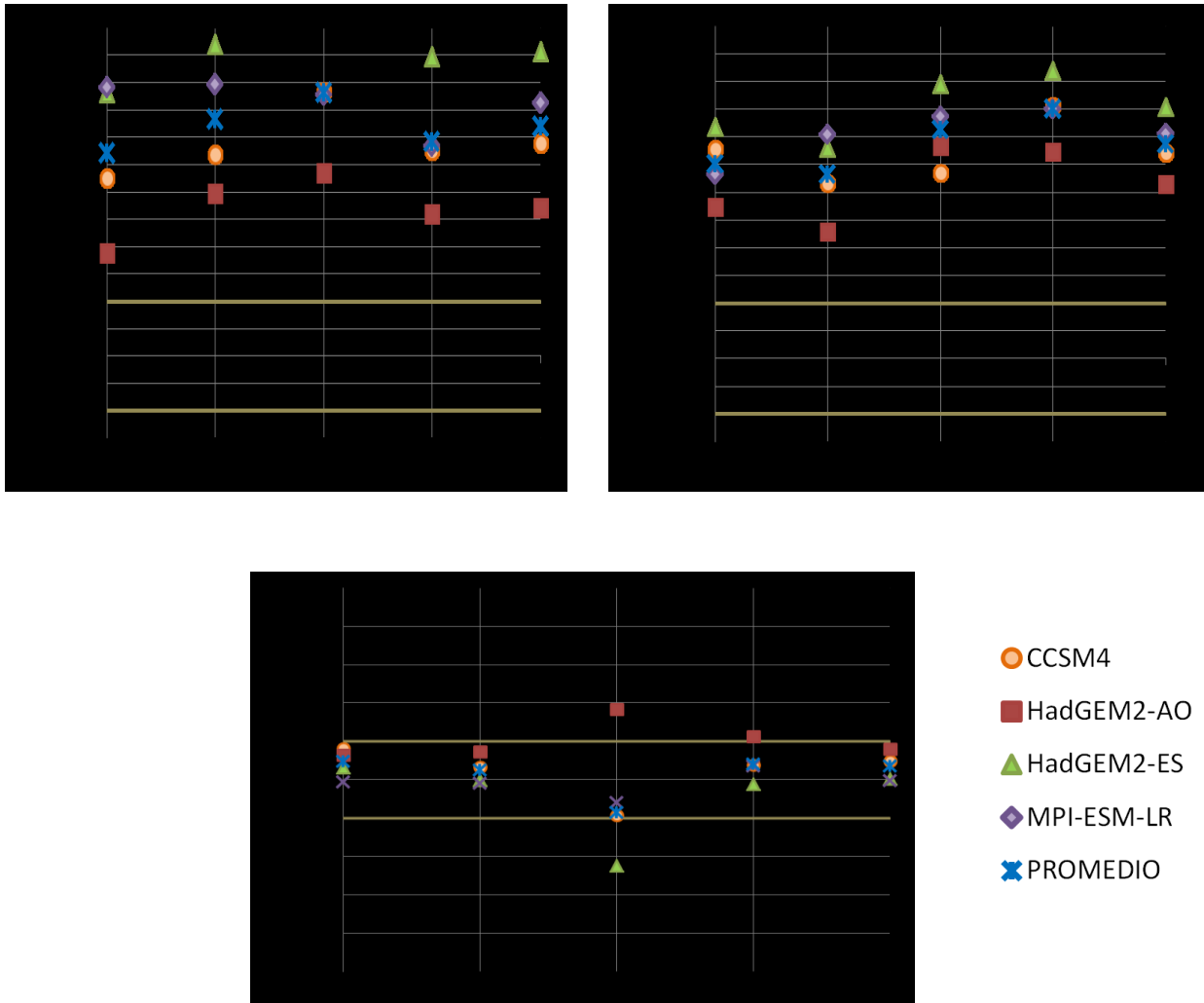


Figura N°13: Cambios proyectados a nivel anual y estacional de la temperatura del aire máxima (a), mínima (b) en °C, y de la precipitación (c) en porcentajes en la Región Tacna para el time-slice centrado en el año 2030, relativo al período de referencia 1971-2000. Los modelos son: CCSM4, HadGEM2-AO,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

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 una inminente, en vez de usar la incertidumbre como una razón para la inacción (Kropp y Schoize, 2011).

CAPÍTULO VI.

CONCLUSIONES

1. La sierra de Tacna es la más árida del país; las deficiencias de lluvias e incrementos de temperaturas proyectadas acentuarán la condición de aridez.
2. Los cambios anuales negativos (aun pequeños) proyectados en la precipitación en la sierra son importantes; también lo son los cambios negativos que ocurren en la costa. Los modelos de simulación climática por ahora no proyectan lloviznas.
3. Los cambios positivos en el periodo lluvioso (DEF) son insignificantes.
4. Los mayores cambios negativos en las proyecciones ocurrirán en el trimestre (JJA) alcanzando magnitudes de -13% , pero en este trimestre las lluvias actualmente son menores a 10 mm por mes. Los cambios pueden ser importantes para microorganismos (conocidos y desconocidos) adaptados a umbrales rígidos de humedad.
5. Los cambios anuales proyectados de temperatura máxima en la sierra son mayores a $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, 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. En la costa, probablemente la capa de mezcla (capa límite marina o capa límite planetaria) incremente en altura.
6. 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).
7. Las magnitudes de los cambios en temperatura diurna son muy altos por lo cual la evaporación y transpiración incrementarían significativamente.
8. Los cambios anuales proyectados en temperatura mínima son altos, como estas ocurren mayormente en la noche no impactarían negativamente.
9. Pequeños cambios en los promedios de los elementos del clima (temperatura, precipitación... etc.) significan grandes cambios en los eventos extremos.
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 de temperatura del aire diurno (temperatura máxima menos temperatura mínima) incrementa desde el litoral a la región Puna y Suni; en la Puna el rango llega a 30°C , estas fuertes oscilaciones térmicas diurnas indican una intensa meteorización en las rocas denominado termoclastismo, que consiste en dilatación y contracción de las rocas, en las superficies de estas las oscilaciones deben superar los 60°C .
13. Incremento en precipitación y dióxido de carbono promovería el incremento de vegetación, por lo cual la puna sería más susceptible a incendios.

14. El incremento de la magnitud de las temperaturas mínimas, incrementaría el periodo libre de heladas
15. Al incrementar las lluvias en el trimestre lluvioso 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 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 años Niños hay deficiencias de lluvias (82/83) mientras en otros las lluvias son normales (97/98).
18. Lo particular del desierto, principalmente a la altura de la capa de inversión es la presencia de aire muy seco y altas temperaturas en las pampas asociadas a la subsidencia atmosférica; las temperaturas al transcurrir el tiempo serán cada vez más altas.
19. En la costa al transcurrir los años serán más frecuentes y persistentes las olas de calor, acarreado consigo problemas a la salud.
20. El departamento de Tacna tiene recursos hídricos muy escasos; con el desarrollo socioeconómico positivo que está ocurriendo actualmente y el crecimiento poblacional, los conflictos relacionados al agua incrementarán.

CAPÍTULO VII.

RECOMENDACIONES

1. Incrementar la red observacional del departamento, principalmente en la región de la puna, donde los impactos del cambio climático serían más intensos y manifiestos.
2. Trabajar con otros modelos regionales para confirmar las tendencias.
3. 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 tacneña, en el corto o mediano plazo.

CAPÍTULO VIII.

BIBLIOGRAFÍA

- Gutiérrez Elorza, M. (2001).** Geomorfología Climática. Ediciones Omega, S. A, Barcelona, (642p.)
- Thomas R. Karl, et.al. (2008).** Weather and Climate Extremes in a Changing Climate. U.S. Climate Change Science Program. (162p)
- 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.
- 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.
- 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.