

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

Reporte ejecutivo

Autor: SENAMHI-PERÚ

Rosas G., Acuña D., Ávalos G., Cubas F., 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.

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

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 :	Gabriela Rosas Benancio Alan Llacza Rodríguez Gerardo Jácome Vergaray Christian Barreto Schuler
Contribuciones :	Félix Cubas Saucedo Delia Acuña Azarte
Especialista SIG :	Silvia Guerra Gamarra
Computación de: alto rendimiento	Otto Huiman Carrasco Alan Llacza Rodríguez Gerardo Jácome Vergaray
Revisión :	Lic. Luis Alfaro Lozano

INDICE

	RESUMEN EJECUTIVO
I.	INTRODUCCION
II.	CLIMA EN LA REGION PUNO
2.1	Controladores Climáticos
2.2	Ecoregiones
2.3	Climatología
2.3.1	Precipitación
2.3.2	Temperatura máxima
2.3.3	Temperatura mínima
2.4	Tendencias e Índices de eventos extremos
2.4.1	Tendencias de la Precipitación e indicadores
2.4.2	Tendencias de Temperatura del aire e indicadores
III.	METODOLOGIA - GENERACION DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO
3.1	Modelos Climáticos Globales y Escenarios de Emisión
3.2	Calculo de proyecciones climáticas
IV.	PROYECCIONES DEL CLIMA EN LA REGION PUNO
4.1	Proyecciones de la Precipitación
4.2	Proyecciones de la Temperatura del aire
V.	INCERTIDUMBRE DEL CAMBIO CLIMATICO
VI.	RECOMENDACIONES
VII.	CONCLUSIONES
VIII.	BIBLIOGRAFIA
	ANEXOS

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

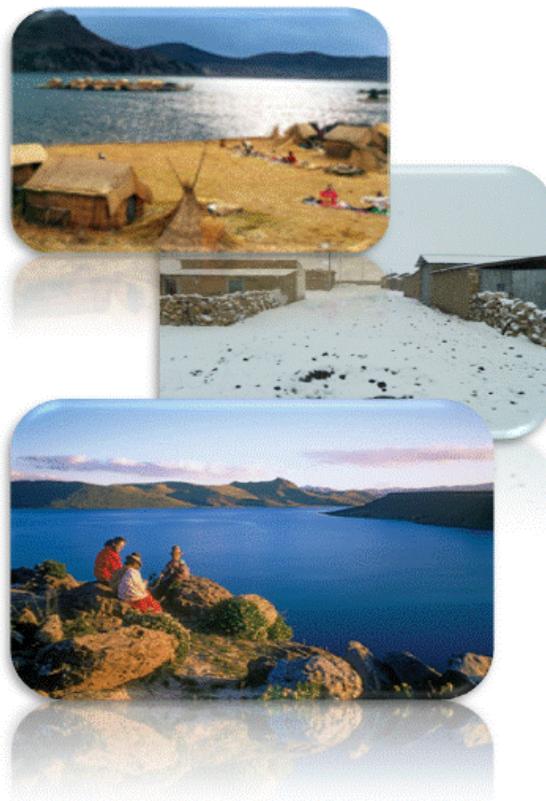
RESUMEN EJECUTIVO

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

+1,3 °C a +1,8 °C

Incremento de la temperatura del aire para el año 2030.



-15% a +9%

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.

CAPITULO I.

INTRODUCCION

Según el IPCC (2007) la temperatura del aire global de la Tierra está en tendencia creciente desde hace varias décadas. Desde comienzos de siglo XX la temperatura media global se ha incrementado en 0,74 °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 Puno.

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 de reducción de escala.

CAPITULO II.

CLIMA EN LA REGION PUNO

Puno está ubicado en el extremo sur y suroriental del territorio peruano. Su geografía está formada por extensas planicies altoandinas rodeando al lago Titicaca, el lago navegable más alto del mundo a 3800 msnm. Puno posee más de 72000 km² de superficie, en el cual existe una diversidad de ecosistemas que van desde las cumbres nevadas a tórridos valles tropicales. El 70% su territorio está constituido por la altiplanicie del Collao y el 30 % restante lo constituyen la Cordillera de Carabaya y zona de selva hacia el límite con Madre de Dios, lo que corresponde a las provincias puneñas de Carabaya y Sandía.

2.1 CONTROLADORES CLIMÁTICOS:

Son sistemas meteorológicos y/o geográficos que determinan el tiempo y clima de una determinada localidad, región o país. En el caso de la región Puno se consideran las 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 FRIOS
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 sobre el altiplano.
- ❖ ANTICICLÓN 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; este sistema a través de los vientos alisios de sureste trasporta grandes cantidades de humedad hacia la cuenca amazónica.
- ❖ 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; el transporte de humedad es llevado a cabo por los vientos alisios del noreste.
- ❖ EL LAGO TITICACA
El lago Titicaca es el lago más alto navegable en el mundo (3800 msnm) y posee una profundidad de 280 mts. Por su ubicación en la parte central de la meseta del Collao, sobre los Andes del sur del Perú, genera una diversidad de ecosistemas a su alrededor. Su

temperatura oscila entre 12 y 13°C, la cual regula la temperatura del aire circundante principalmente en la noche, es fuente de humedad para la precipitación que ocurre en las localidades aledañas.

2.2 ECOREGIONES

Una ecorregión es un área geográfica que se caracteriza por contar con similares condiciones climáticas, de suelo, hidrológicas, florísticas y faunísticas, en estrecha interdependencia, perfectamente delimitables y distinguible de otra. En la región de Puno se distinguen 5 ecorregiones (Anexo Mapa Ecorregiones), las cuales son:

- ❖ **Yungas Bolivianas:** entre la Selva amazónica y el Altiplano boliviano (incluye una pequeña parte del Perú, corresponde a una pequeña zona de la provincia de Sandia (Puno) que tiene continuidad con los Yungas de Bolivia, que incluye los pisos altitudinales entre 200 y 3500 msnm.
- ❖ **Yungas Peruanas:** o los Yungas peruanos como los "bosques montanos de la vertiente oriental de los Andes peruanos", que en promedio está a una altura entre 800-1,000 hasta los 3,500-3,600 msnm.
- ❖ **Punas Húmedas del Titicaca:** (Central Andean wet puna) consta de dos áreas discontinuas una extensa franja en la parte central del Perú y otra área desde las cabeceras de cuencas amazónicas del Apurímac y el Ucayali hasta las zonas circundantes al lago Titicaca en Bolivia.
- ❖ **Punas de los Andes Centrales** (Central Andean puna) tiene dos regiones discontinuas: las cabeceras de cuenca suroccidentales del pacífico peruano y algunas de las del río Pampas, y una segunda región en las estribaciones andinas bolivianas y argentinas.
- ❖ **Bosques Húmedos de la Amazonia Sur Occidental** ecorregion en la que predominan los bosques primarios, es una porción relativamente grande de territorio que contiene un conjunto de comunidades naturales que comparten una porción de sus especies, procesos y condiciones ambientales. Tiene un área de 12 millones de hectáreas aproximadamente.

2.3 EL CLIMA DE PUNO

El clima en la región de Puno es variado presentando del tipo muy lluvioso, húmedo y cálido con abundante precipitación todo el año sobre la región oriental de Sandia, en el límite con Madre de Dios, correspondiendo a la ecorregion Bosques Húmedos de la Amazonia Sur Occidental. En dirección sur se inicia la región de cordilleras de Carabaya, caracterizados por un clima lluvioso, semicálido, templado y con abundante precipitación correspondiente a la ecorregion de yungas. Sobre el altiplano, el clima se vuelve seco y frío, corresponde a este tipo de clima la mayor parte del territorio del departamento, dividiéndose en dos áreas diferenciadas, las circundantes al lago Titicaca o punas húmedas del Titicaca y las punas de los Andes Centrales.

El clima sobre la zona altiplánica en Puno está fuertemente influenciado por la presencia del lago Titicaca, debido al efecto termorregulador de este cuerpo de agua. Dicha influencia es mayor en las localidades circundantes al lago donde la temperatura mínima anual alcanza entre los 0 a 2°C principalmente durante las noches, llegando en junio a valores entre -1 a -2°C por debajo de cero, como en el caso de las ciudades de Puno, Yunguyo y Arapa; mientras que en ciudades más alejadas como Progreso la temperatura mínima puede llegar a -7 o -8°C como en Ayaviri, Juliaca y Lampa durante los meses de invierno. En el caso de las temperaturas máximas, estas se mantienen alrededor de los 15°C en las ciudades circundantes e islas del lago, y por encima de 15°C en ciudades más alejadas.

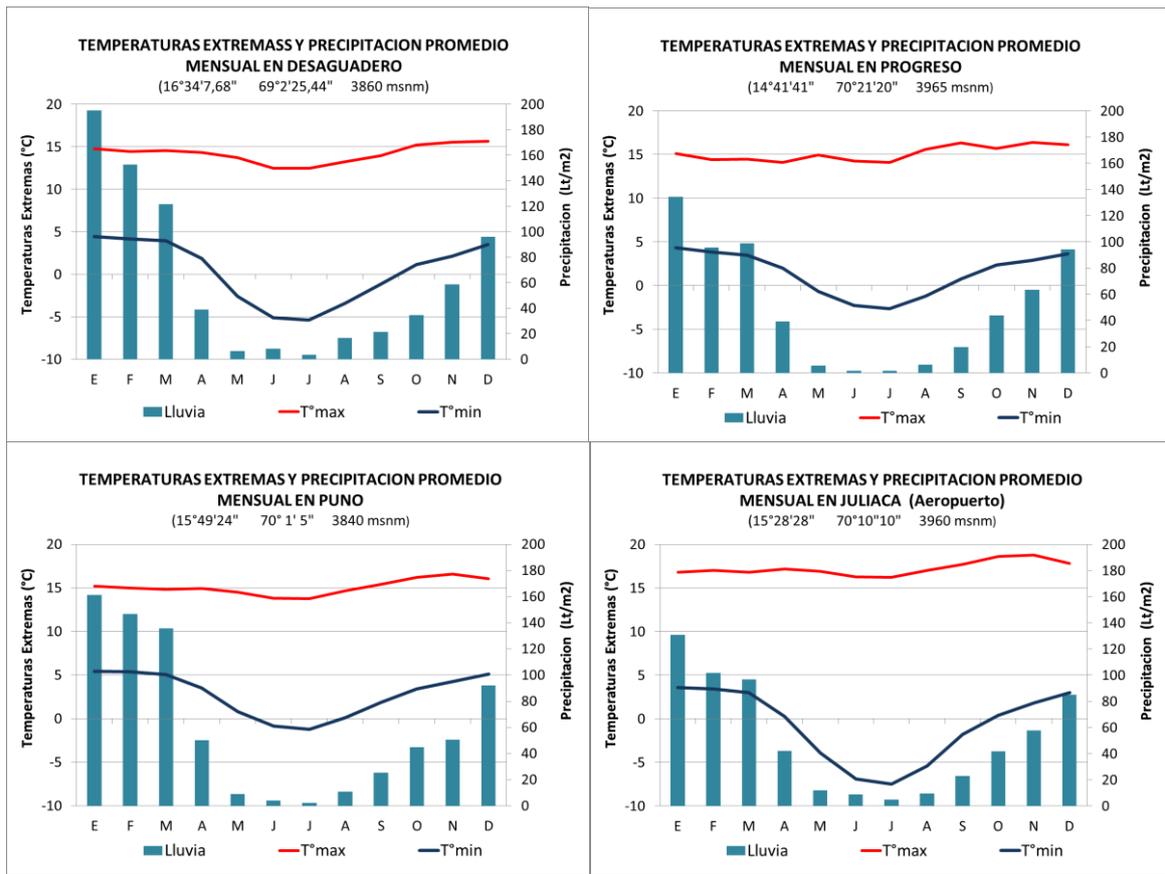


Figura 1. Ciclo anual de las temperaturas extremas del aire y la precipitación en la localidad: a. Desaguadero (3860 msnm); b. Progreso (3965 msnm); c. Puno (3840 msnm) y d. Juliaca Aeropuerto (3960 msnm)

La capacidad del efecto termorregulador del Lago Titicaca se pone en evidencia al comparar las temperaturas extremas en estaciones ubicadas en el lago y estaciones en áreas circundantes, el efecto es más notorio para el caso de las temperaturas mínimas, manteniéndose estas positivas y poco variables durante todo el año en las estaciones del lago mientras que en estaciones circundantes las temperaturas mínimas son menores y llegan a ser negativas durante los meses de invierno.

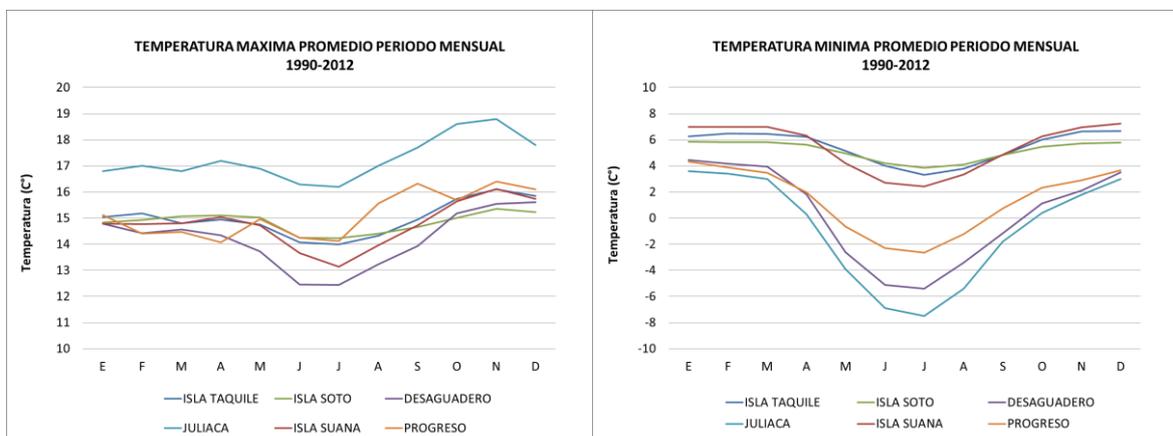


Figura 2. Comparación del ciclo anual de la temperatura máxima y mínima entre estaciones ubicadas en el Lago Titicaca y en áreas circundantes, para el período 1990-2012.

La temperatura de la zona norte de la región de selva baja, contrasta con la del altiplano, encontrando temperaturas mínimas entre 20 a 22°C como promedio anual.

Las lluvias en la región Puno acumulan anualmente entre 700 a 1000 mm entorno al lago Titicaca, mientras que en el resto del Altiplano, las mismas van gradualmente disminuyendo llegando a 300 y 500 mm de lluvia acumulada anual en el extremo sur, en el límite con Moquegua y Tacna. Sobre la región oriental hacia la amazonia, las lluvias pueden variar significativamente a valores por encima de los 3000 mm anuales.

El periodo de lluvias en el Altiplano se limita a los meses de verano donde ocurren más del 70% de la lluvia total anual. Durante el invierno la lluvias son mayormente escasas y mayormente sólida como nieve o granizo, los cuales se originan por el encuentro de masas de aire frías y secas provenientes de altitudes medias con más de aire cálidas y húmedas provenientes de la región de selva.

Diferentes estudios demuestran la directa influencia del lago Titicaca en las lluvias de la región cercana al lago y sobre el lago. (Galvez, 2005). La superficie del lago genera una amplia fuente de humedad con la generación de procesos convectivos, influenciando en el clima de las localidades circundantes. Es así que al evaluar la precipitación media mensual en estaciones del Lago, estas registran una mayor cantidad.

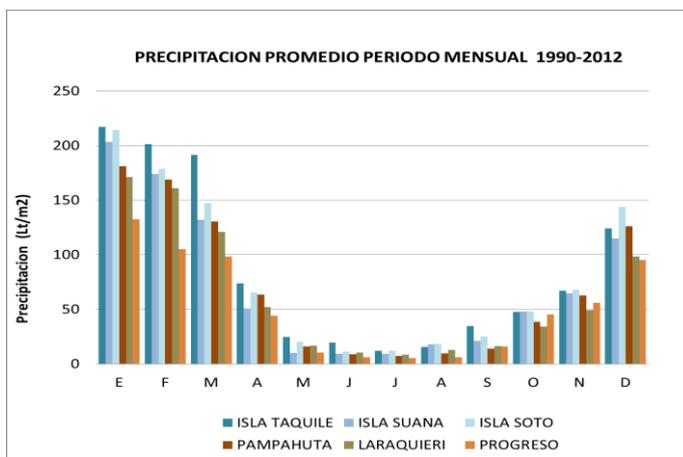


Figura 3. Comparación del ciclo anual de la precipitación entre estaciones ubicadas en el Lago Titicaca y en áreas circundantes, para el período 1990-2012.

La humedad relativa durante los días de verano puede llegar a 90% principalmente en hora de la noche mientras que en un día de invierno no llega al 70%. Los valores más bajos se registran pasado el mediodía llegando extremos en invierno con 10%. En el gráfico siguiente se presentan la variación horaria de la temperatura del aire y la humedad relativa para dos días típicos de febrero y junio en la localidad de Ayaviri.

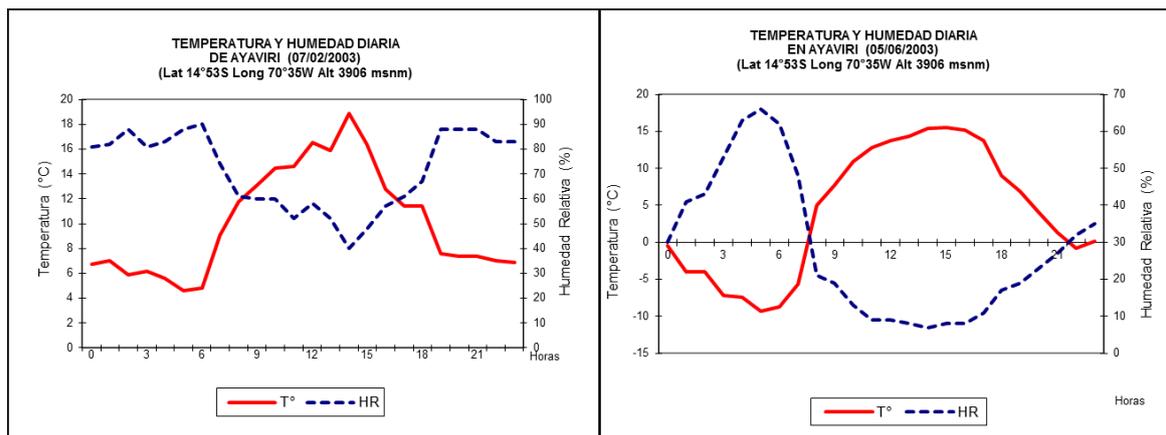


Figura 4. Ciclo diario de la temperatura del aire y la humedad relativa en la localidad de Ayaviri

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 han escogido dos estaciones con las series más larga y completas, y de alguna manera representativa de la región. 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).

Según un estudio desarrollado por el SENAMHI (2009) en el marco de la SCNCC y del periodo 1965-2006, las temperaturas extremas del aire en las zonas adyacentes del lago Titicaca presentan tendencias mayormente positivas para la temperatura máxima y negativas para temperatura mínima. Existe además para la temperatura mínima un comportamiento bipolar entre las estaciones localizadas en las zonas altas al oeste de Puno con tendencias positivas y estadísticamente significativas y aquellas ubicadas cerca al Lago como el caso de Puno donde las tendencias son negativas y estadísticamente significativas. La ciudad de Puno presenta tendencia positiva del orden de $+0.5$ °C/década para la temperatura máxima y 0.08 °C/década para la temperatura mínima, sin embargo la localidad de Progreso presento disminución de las temperaturas mínimas a razón de $-0,28$ °C/década.

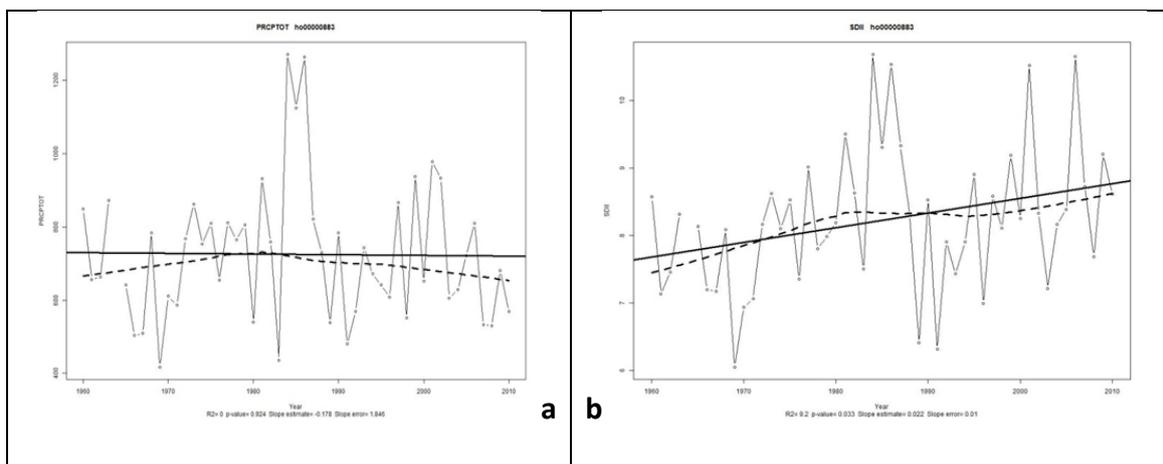
Por otro lado, los eventos ENOS parecen ser la principal fuente dinámica que modula, con mayor intensidad la región del Altiplano. Pues en el caso de la precipitación la ciudad de Puno, presentan una suave tendencia positiva de incremento (estadísticamente no significativo), observándose variabilidad interanual, con bajas precipitaciones en los años de 1983 y 1992, aparentemente, asociados a los eventos positivos del ENOS, y altas precipitaciones en 1984 relacionadas a la fase negativa del ENOS.

2.4.1 Tendencias de la precipitación e indicadores

En el estudio de la Segunda Comunicación Nacional Existe se indicaba la poca coherencia espacial entre las tendencias de la precipitación y que no existe un patrón claro de incremento o decrecimiento de las lluvias a nivel nacional (SENAMHI, 2009). Incluso gran parte de la sierra central y sur evidencia tendencias muy variables y poco significativas para el periodo analizado, sin embargo es evidente que hay una marcada variabilidad interanual donde los eventos ENOS parecen ser la principal causa.

Analizando dos estaciones en Puno, Desaguadero y Progreso, observamos que en el caso en la localidad Desaguadero, no existe una tendencia clara para la precipitación acumulada anual (PRCPTOT) aunque esta se presenta negativa, no es significativa, sin embargo la intensidad (SDII) es positiva y significativa, es decir, es más evidente que las lluvias con menores cantidades al año tienen eventos de lluvia cada año más intensos. Asimismo, se observa una mayor intensidad y mayor frecuencia de días extremadamente húmedos (R99p), sin embargo, la tendencia del número de días secos consecutivos (CDD) va en aumento, lo que de alguna manera se entendería como lluvias más intensas y frecuentes se vienen presentando en períodos lluviosos, aparentemente más cortos (Figura 4).

En el caso de la localidad de Progreso, tampoco se tiene robustez en la información disponible para indicar si efectivamente hay una tendencia clara de aumento o disminución, sin embargo la intensidad de la lluvia si es significativa con incrementos a razón de 0.4 mm/década, lo que daría cuenta de una mayor ocurrencia de lluvias intensas concordante con el indicador de eventos de lluvias muy húmedos (R95p) el cual señala una tendencia positiva en Progreso.



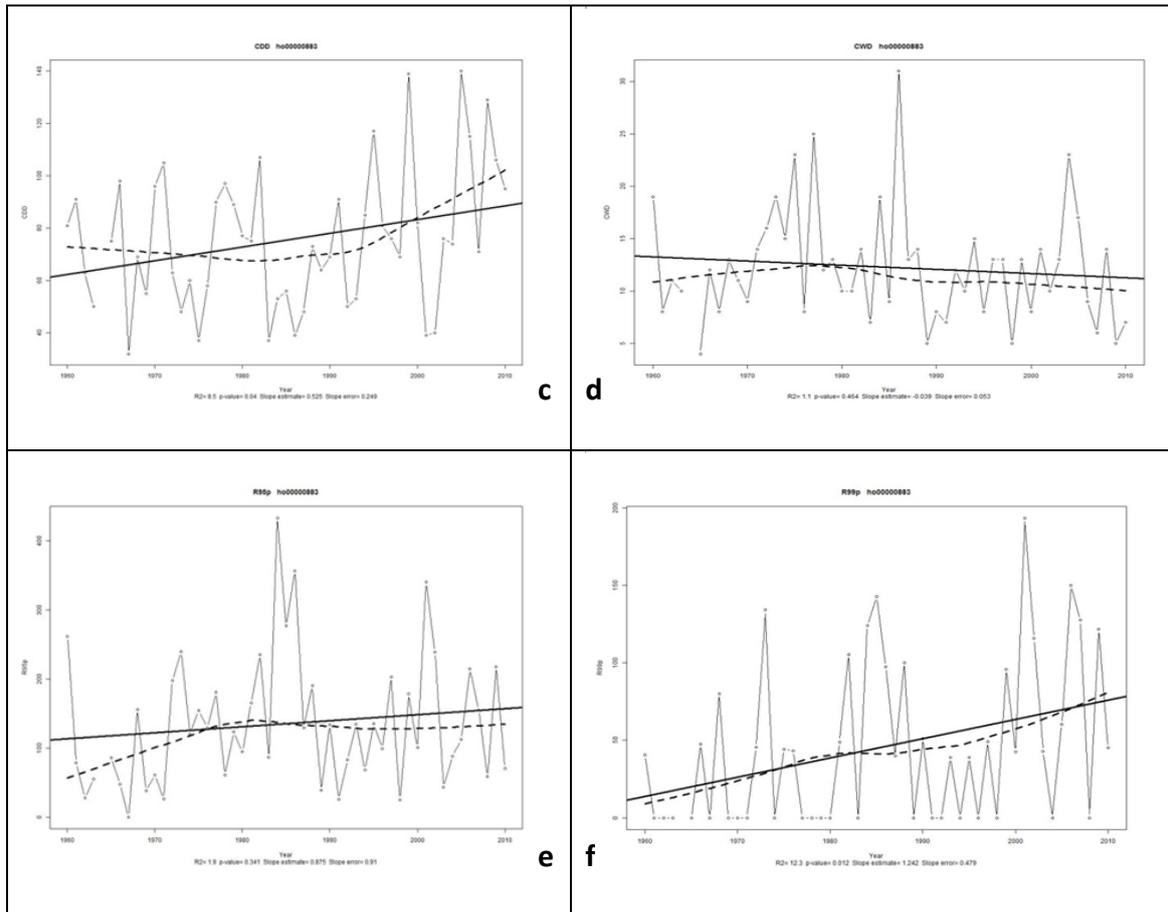


Figura 5. Tendencia de índices de eventos extremos de la precipitación en la estación Desaguadero, para el período 1965-2012. (a) Días húmedos; (b) Intensidad de lluvias; (c) Días secos consecutivos; (d) Días húmedos consecutivos; (e) Días muy húmedos; (f) Días extremadamente húmedos.

Tendencia de índices de eventos extremos de la precipitación en la estación Moyobamba, para el período 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.

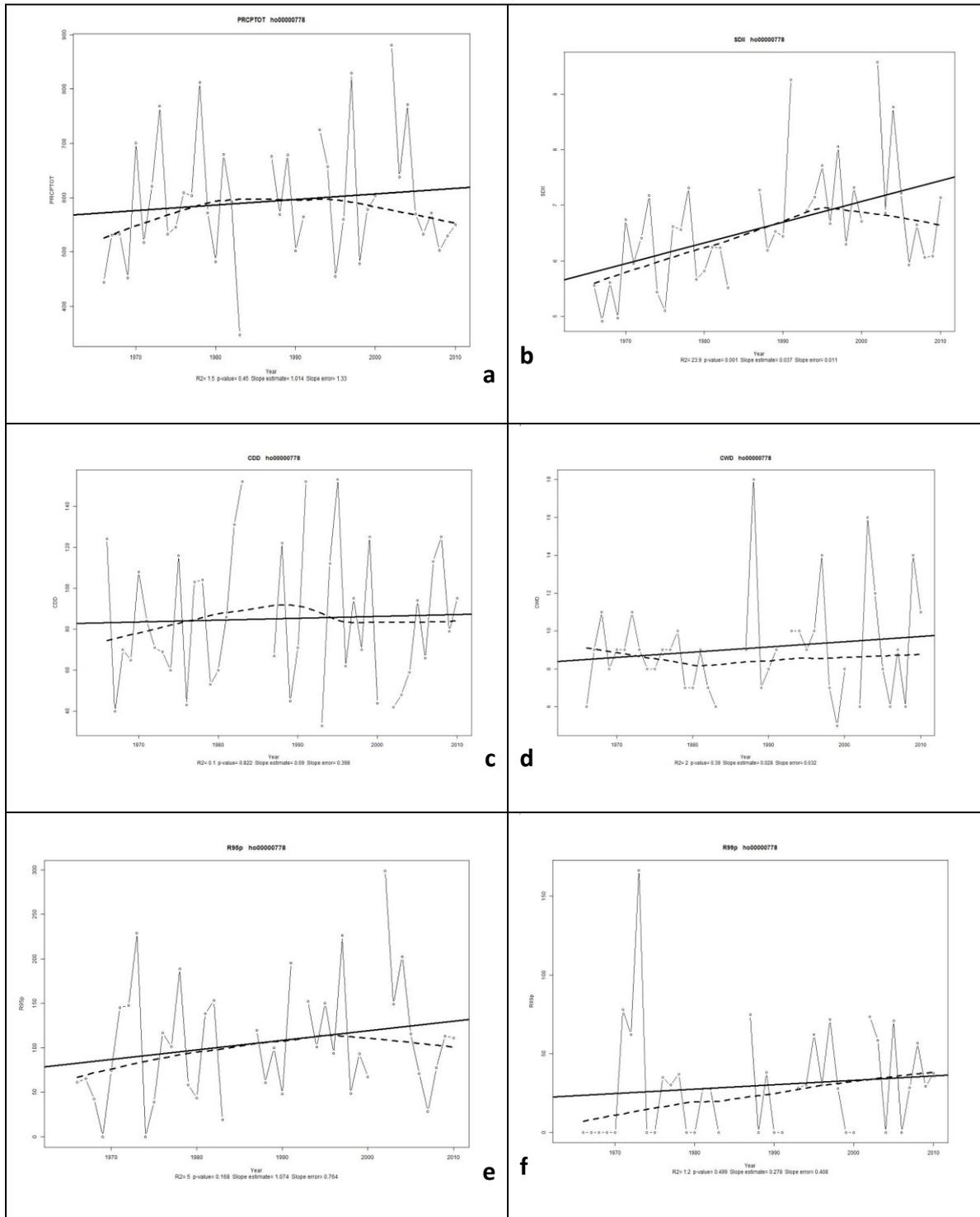


Figura 6. Tendencia de índices de eventos extremos de la precipitación en la estación Progreso, para el período 1965-2012. (a) Días húmedos; (b) Intensidad de lluvias; (c) Días secos consecutivos; (d) Días húmedos consecutivos; (e) Días muy húmedos; (f) Días extremadamente húmedos.

2.4.1 Tendencias de la temperatura del aire e indicadores

Las tendencias observadas de las temperaturas máxima y mínima, en promedio, en todo el Perú para los 41 años (1965-2006) analizados (Senamhi, 2009) es de 0,1 °C/década a 0,2 °C/década. Estos valores se encuentran dentro del rango calculado para todo el globo terrestre por el IPCC4, entre los años de 1981 a 2005, que es de 0,18 °C/década. Como se indicó anteriormente, las tendencias de las temperaturas presentan valores regionales muy particulares que, posiblemente, además de la influencia antropogénica existen otras en algunas estaciones, como las islas de calor, debido al crecimiento de las ciudades y a alteraciones en las propiedades del suelo por alteraciones en el medio ambiente, como deforestación, etc. Los índices de los extremos climáticos de las temperaturas, muestran tendencia negativa del índice de número de días con heladas meteorológicas (FD) y las noches frías (TN10p) en zonas adyacentes del Lago Titicaca. Este patrón indica que las regiones más altas son cada vez más cálidas.

Respecto a la localidad de Desaguadero, la limitada calidad de datos históricos no ha permitido alcanzar adecuados niveles de significancia estadística en los indicadores de extremos. Sin embargo en cuanto a las tendencias para los valores máximos de las temperaturas mínima y máxima media anual se aprecian valores positivos a razón de +0.34°C/década en el caso de la temperatura máxima (TXX), lo cual evidencia el continuo incremento observado en los últimos 30 años de las temperaturas máximas. Asimismo, se advierte que los últimos 15 años la tendencia de incremento es mayor en concordancia con la tendencia de la última década 2000-2010, considerada la década más caliente a nivel mundial. (Figura 5).

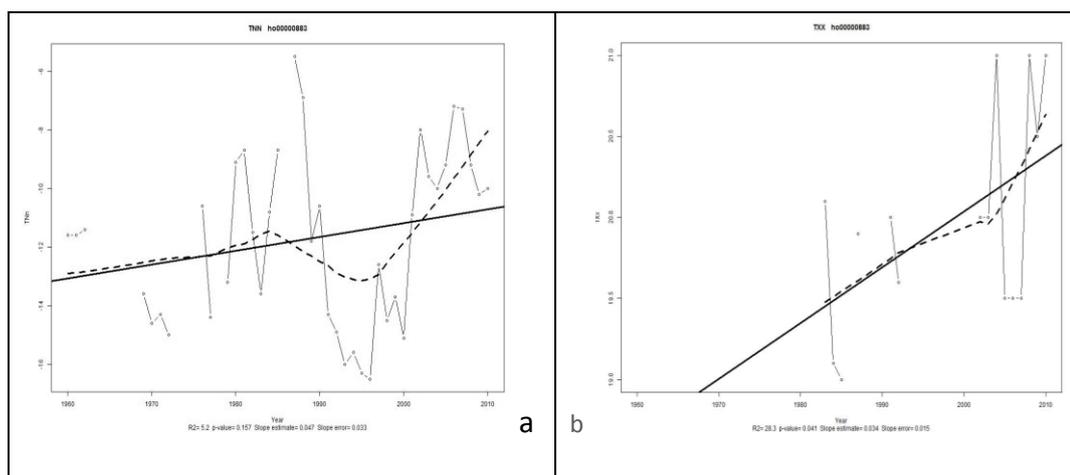


Figura 7. Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación Desaguadero, para el período 1965-2012. (a) Temperatura mínima; (b) Temperatura máxima.

La localidad de Progreso, de manera similar a Desaguadero, presenta valores extremos de la temperatura máxima el cual se viene incrementando a razón de 0.4°/década, es decir, los días están siendo más cálidos.

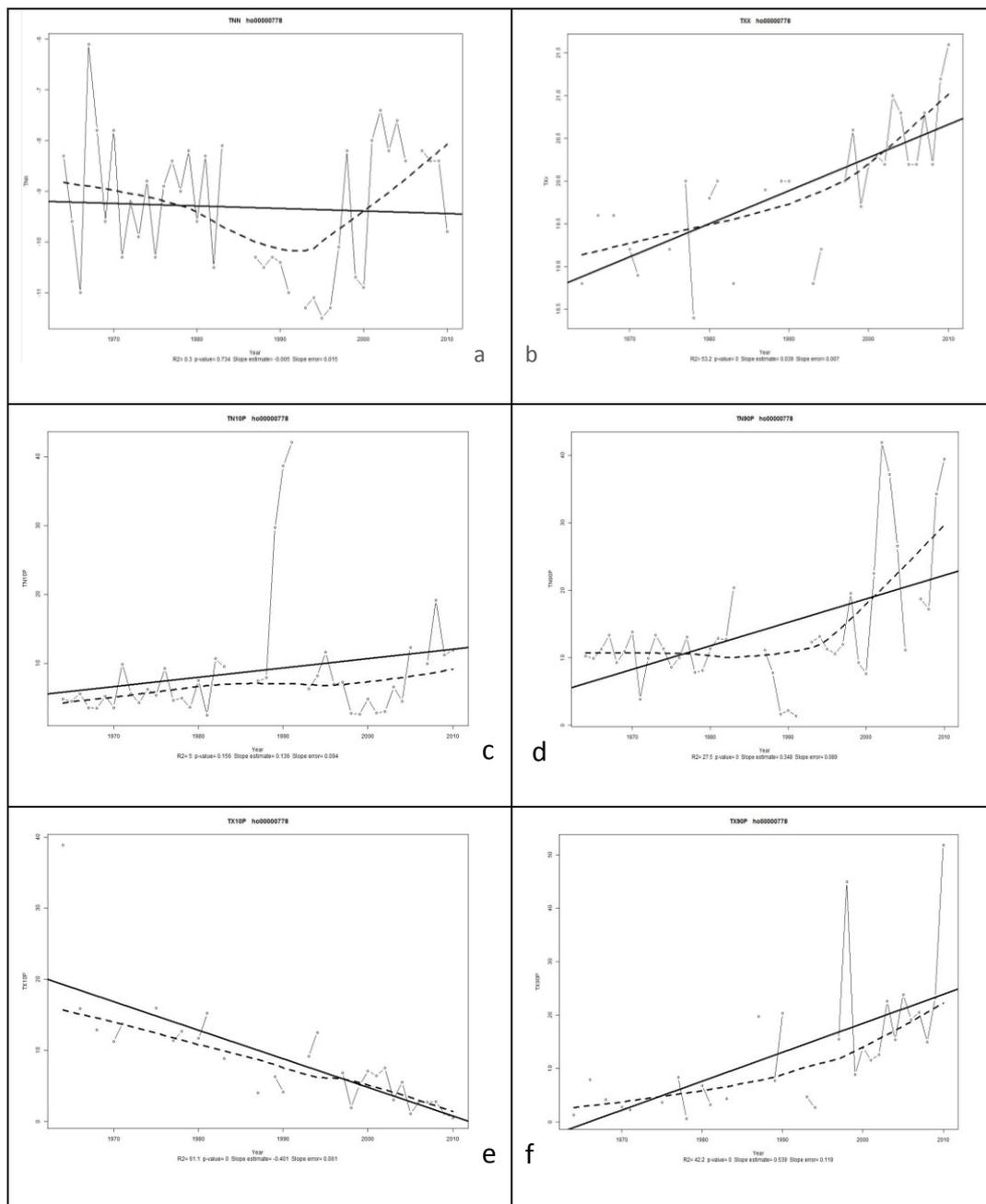


Figura 8. Tendencia de índices de eventos extremos de la temperatura del aire en la estación Progreso, para el periodo 1965-2012. (a) Temperatura mínima; (b) Temperatura máxima; (c) Noches frías; (d) Noches calientes; (e) Días fríos; (f) Días calientes.

En relación a los días cálidos (TX90p), éstos vienen en aumento particularmente desde la década del 90. Estas tendencias se corresponden con el incremento de las noches cálidas (TN90p) las que vienen incrementándose significativamente principalmente desde mediados de la década de los 90, asimismo los días cálidos (TX90p) están también en aumento. Por otro lado, la disminución de días fríos (TX10p) es correspondiente con el aumento de días cálidos. (Figura 5).

CAPITULO III.

METODOLOGIA - GENERACION DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMATICO

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.

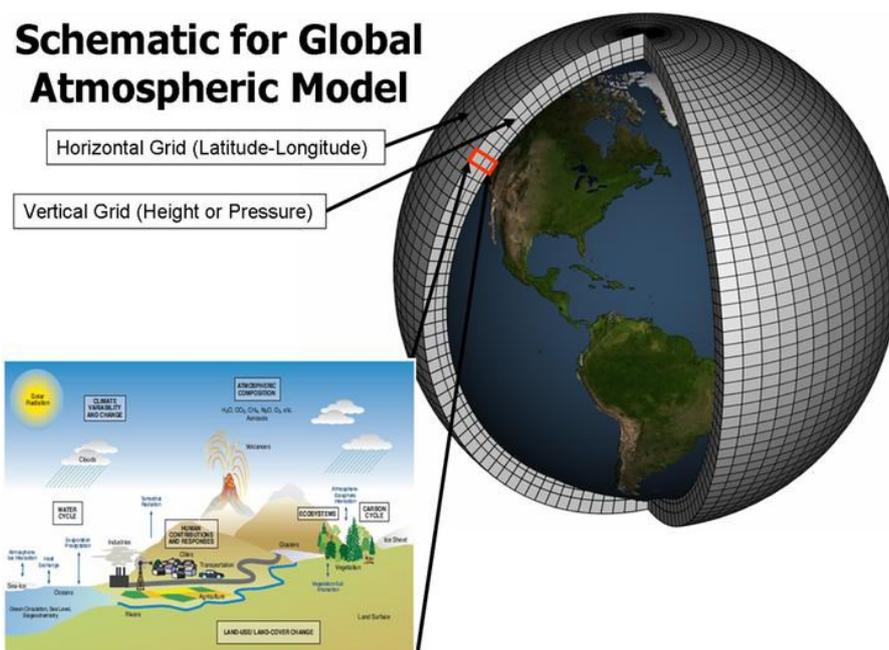


Figura 9. Esquema de un modelo climático global. Fuente NOAA.

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).

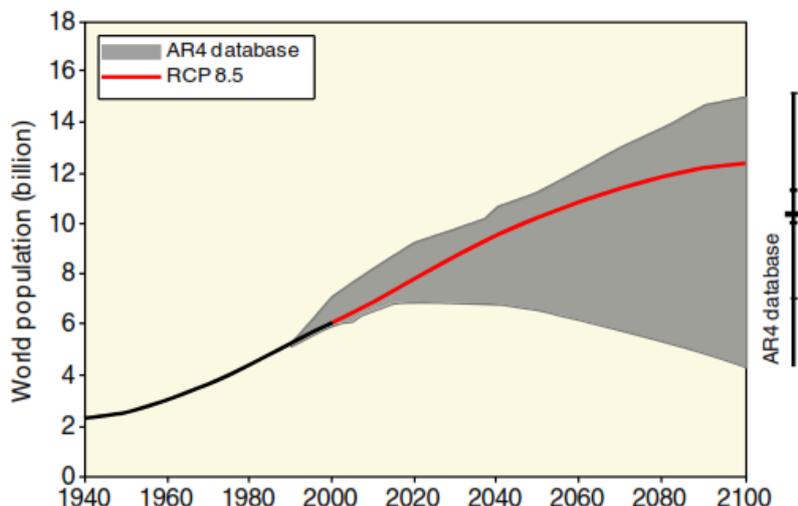


Figura 10. Escenario de emisión RCP8.5. Fuente IPCC.

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 N° 01: 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. CALCULO 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° 02: Calculo de los cambios de precipitación y temperaturas extremas

$PREC. \text{ camb} = \left(\frac{PREC. \text{ fut} - PREC. \text{ hist}}{PREC. \text{ hist}} \right) \times 100\%$	$T. \text{ camb} = T_{\text{fut}} - T_{\text{hist}}$
<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 REGION PUNO

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 Puno, 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.

En la Figura 10 se muestra las sub-regiones donde se ha analizado la línea de tiempo o tendencia de cambio hasta el año 2030.

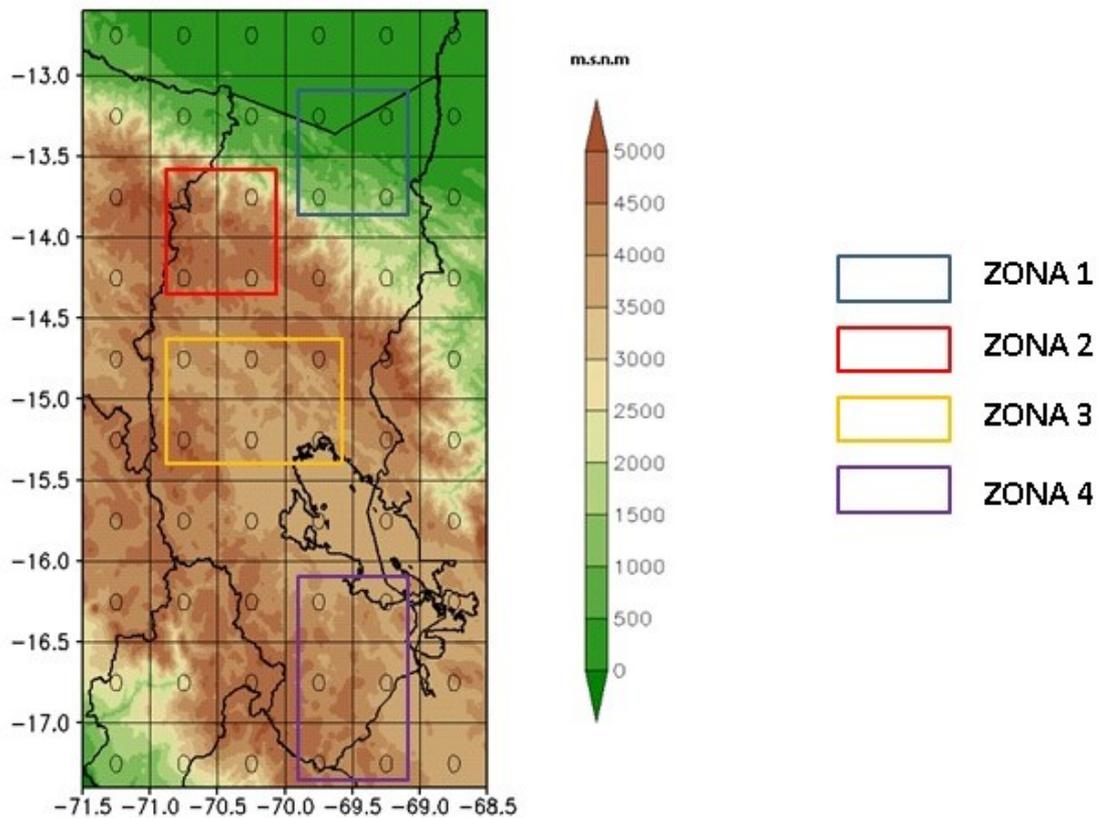


Figura 11. Subregiones analizadas para determinar la tendencia de cambio. Zona 1 (amazonia); Zona 2 (altiplano norte); Zona 3 (altiplano central) y Zona 4 (altiplano sur). Fuente SENAMHI.

4.1 PROYECCIONES DE LA PRECIPITACIÓN

En general, la precipitación es una variable no muy bien simulada como la temperatura debido a que involucra procesos locales muy complejos, en consecuencia, las proyecciones de la precipitación son menos robustas que las de la temperatura del aire (Christensen et al., 2011, citado en SENAMHI 2011).

La discusión se restringe al cambio relativo promedio de la precipitación estacional y anual para el año 2030, expresado en términos porcentuales (%). Se ha considerado que los cambios dentro del intervalo +/-30% están dentro de la variabilidad multianual de la precipitación en esta región. La tonalidad verde de la escala indica incrementos, mientras que la escala en amarillo indica reducciones (Mapa N° 20).

Los Mapas N° (16 - 20) resumen los cambios estacionales y cambio anual de la precipitación en la región Puno. En la proyección anual se observan valores por debajo de 9% que indican aumento de lluvias hacia el 2030, y ligera disminución hacia el extremo norte oriental. Se observa un patrón definido de incremento de la precipitación entre verano y otoño principalmente en las proximidades del lago de hasta 12% en verano, así como disminuciones ligeras hacia la región amazónica menores al -3%. En cambio hacia el invierno y primavera se evidencia una predominancia de disminución de lluvias hasta -15% principalmente hacia el extremo sur de la región.

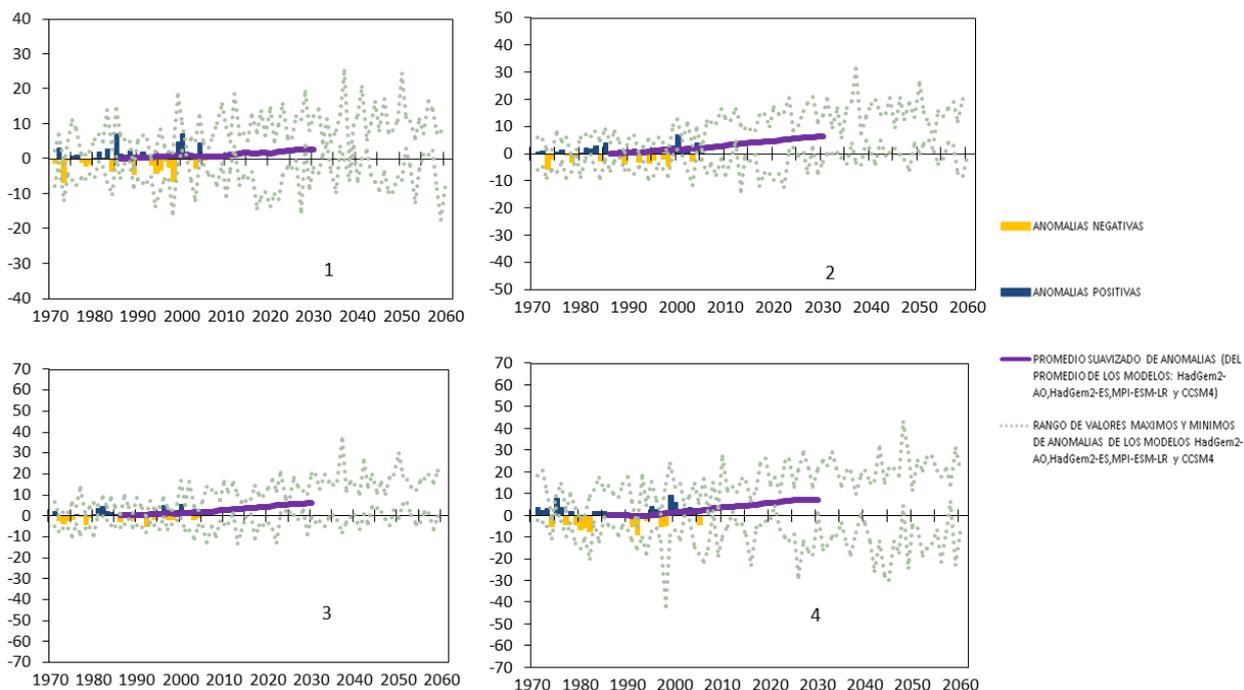


Figura 12. Evolución del cambio de la precipitación en las zonas o sub-regiones (regrilladas o ajustadas con datos observados del CRU4). Cambio expresado en porcentaje (%).

En la Figura 11 se observa el cambio medio de la precipitación en las cuatro sub-regiones, expresados en porcentajes (%), de todos ellos es la zona 1 o área que corresponde a la amazonia puneña donde los cambios son de menor intensidad con respecto a las demás regiones.

4.2 PROYECCIONES DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

Los patrones de cambio de las temperaturas extremas del aire anuales son más claros, homogéneos y progresivos a diferencia de las precipitaciones, es decir, los resultados muestran un patrón de calentamiento a nivel anual en promedio para todas las zonas de la región de Puno, con incrementos de alrededor de $+1,7^{\circ}\text{C}$, tanto para la temperatura máxima como para la temperatura mínima (Mapas N° 25 y 30, respectivamente), en relación al periodo de referencia 1971-2000, principalmente sobre la zona suroeste de la región.

Estacionalmente, se mantiene el patrón anual aunque no todas las zonas de la región experimentarían el mismo grado de calentamiento. Para la temperatura máxima (Mapas N° 21 - 25), el cambio sería más notable ($+1,9^{\circ}\text{C}$) en invierno, principalmente al sur oeste de la región; mientras que en verano, otoño y primavera los incrementos estarían entre $+1,4^{\circ}\text{C}$ y $+1,8^{\circ}\text{C}$. En cuanto al comportamiento estacional de la temperatura mínima (Mapas N° 26 - 30), se observa que el mayor incremento se daría en invierno y primavera en un orden de $+1,9^{\circ}\text{C}$ principalmente en la zona sur oeste de la región; mientras que en verano y otoño el incremento en general estaría alrededor de $+1,7^{\circ}\text{C}$.

En promedio la temperatura mínima tiende a incrementarse algo más que la temperatura máxima, durante invierno y primavera, aproximadamente en $0,2^{\circ}\text{C}$ más. Puede mencionarse entonces que hacia el 2030 el rango térmico (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) disminuya durante estas estaciones del año.

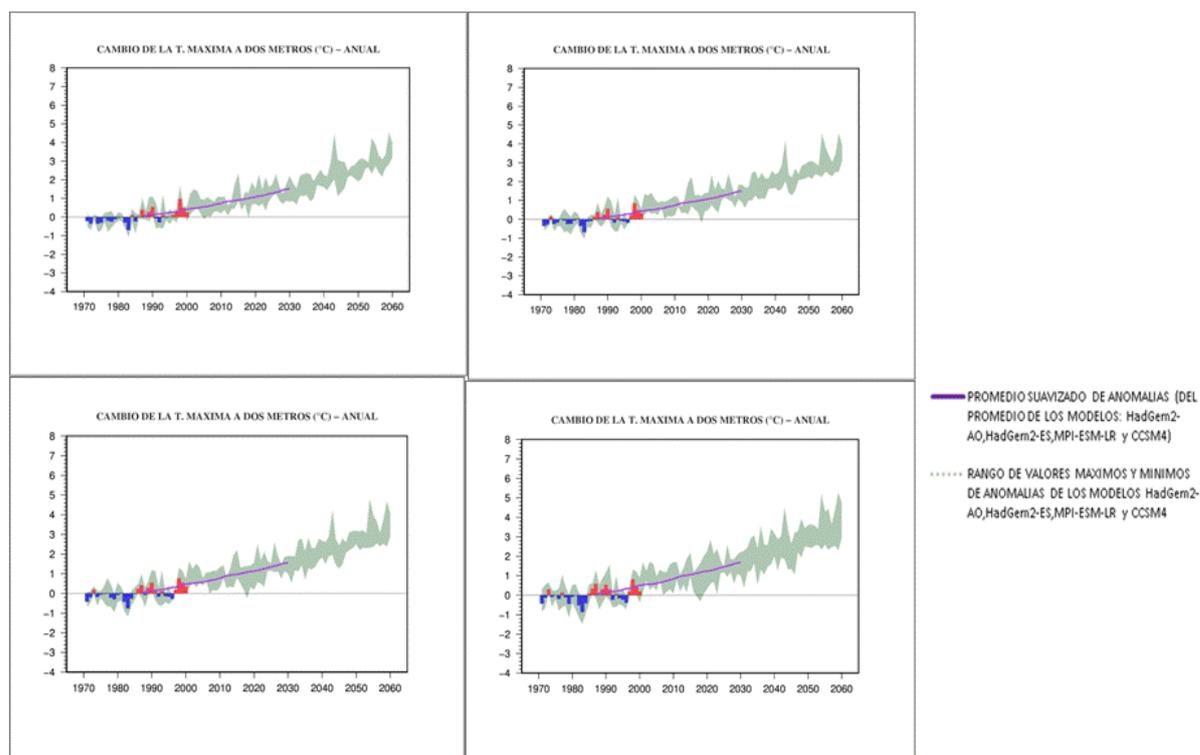


Figura 13. Evolución del cambio de la temperatura máxima en las zonas o sub-regiones (regrilladas o ajustadas con datos observados del CRU4). Cambio expresado en $^{\circ}\text{C}$.

CAPITULO V.

CAMBIO CLIMATICO

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 Puno. 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 +1,2 °C a +1,9 °C y de +1,1 °C a +1,6 °C en la mínima, aunque se observa una mayor dispersión en verano e invierno (de +1,0 °C a +2,2 °C) 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 (0-15%), sin embargo, la mayor dispersión se da en invierno con valores entre -15% a +30% según el modelo HadGEM2-ES.

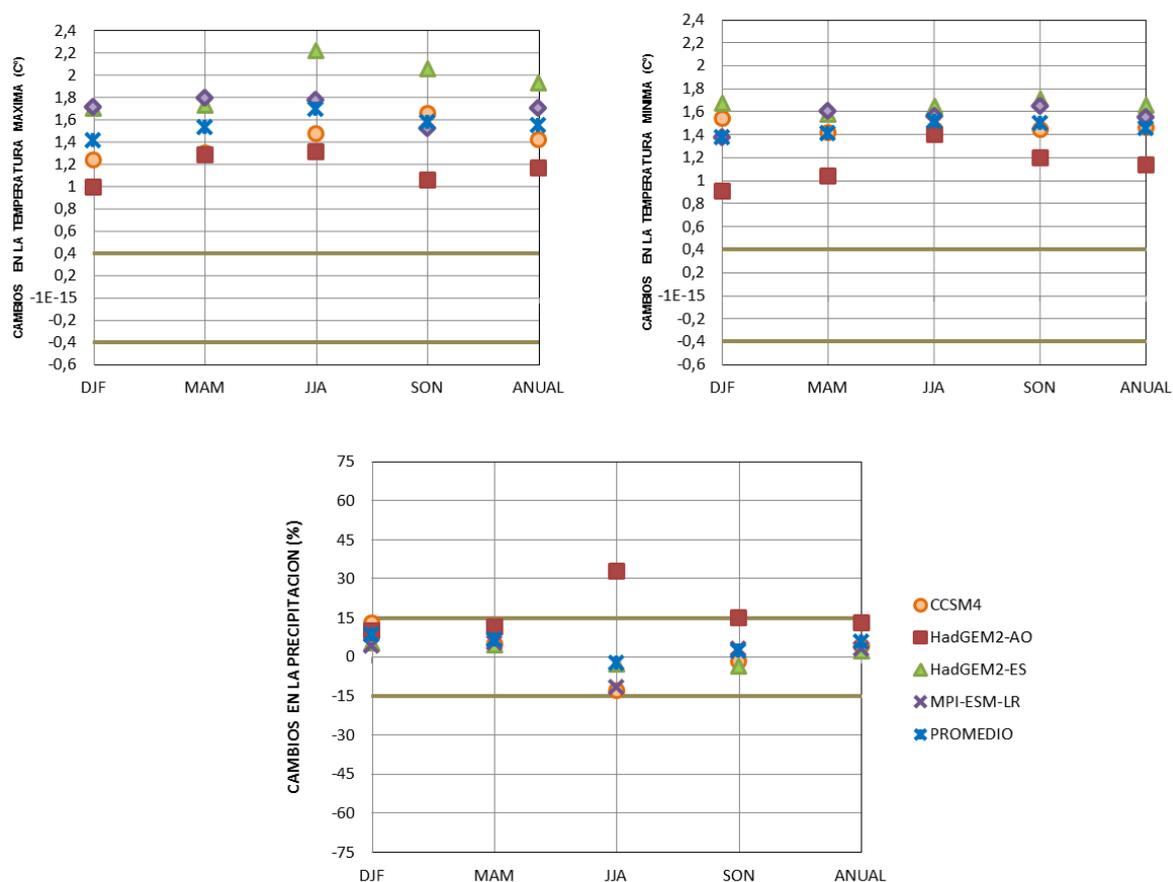


Figura 14. Cambios proyectados a nivel anual y estacional de la temperatura del aire máxima (a), mínima (b) en °C, y de la precipitación (c) en porcentajes en la Región Puno para el time-slice centrado en el año 2030, relativo al período de referencia 1971-2000. Los modelos son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES 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 un futuro incierto, en vez de usar la incertidumbre como una razón para la inacción (Kropp y Schoize, 2011).

CAPITULO VI.

CONCLUSIONES

1. En relación al diagnóstico del clima actual:

- ❖ La información histórica observada, en este caso en base a solo dos estaciones (Desaguadero y Progreso), que podrían representar la zona en el entorno del lago Titicaca en el Altiplano, establece que las precipitaciones en los últimos 48 años no presenta una clara tendencia sin embargo la intensidad si se observa con tendencia positiva por lo que las lluvias se estarían presentando cada vez más intensas.
- ❖ Los índices de eventos extremos de la precipitación en las 2 estaciones de la región (Desaguadero y Progreso), se observa una mayor intensidad y mayor frecuencia de días extremadamente húmedos (R99p), sin embargo, la tendencia del número de días secos consecutivos (CDD) va en aumento, lo que de alguna manera se entendería como lluvias más intensas y frecuentes se vienen presentando en períodos lluviosos, aparentemente más cortos.
- ❖ En cuanto a las tendencias para los valores máximos de las temperaturas mínima y máxima media anual se aprecian valores positivos a razón de $+0.34^{\circ}\text{C}/\text{década}$ en el caso de la temperatura máxima (TXX), lo cual evidencia el continuo incremento observado en los últimos 30 años de las temperaturas máximas.
- ❖ En relación a los días cálidos (TX90p), éstos vienen en aumento particularmente desde la década del 90. Estas tendencias se corresponden con el incremento de las noches cálidas (TN90p) las que vienen incrementándose significativamente principalmente desde mediados de la década de los 90, asimismo los días cálidos (TX90p) están también en aumento, esto es correspondiente con la disminución de días fríos (TX10p).

2. En relación al clima para el 2030:

- ❖ Las proyecciones del clima en la región Puno serian de incrementos por debajo de 9% que indican aumento de lluvias hacia el 2030, con ligera disminución hacia el extremo norte oriental. Se observa un patrón definido de incremento de la precipitación entre verano y otoño principalmente en las proximidades del lago de hasta 12% en verano, así como disminuciones ligeras hacia la región amazónica menores al -3%. En cambio hacia el invierno y primavera se evidencia una predominancia de disminución de lluvias hasta -15% principalmente hacia el extremo sur de la región.
- ❖ En promedio para todas las zonas de la región de Puno, se proyectan incrementos de alrededor de $+1,7^{\circ}\text{C}$, tanto para la temperatura máxima como para la temperatura mínima, en relación al periodo de referencia 1971-2000, principalmente sobre la zona suroeste de la región. Para la temperatura máxima y mínima, el cambio sería más notable ($+1,9^{\circ}\text{C}$) en invierno, principalmente al sur oeste de la región.

CAPITULO VII.

RECOMENDACIONES

El reconocimiento inequívoco del cambio climático por la comunidad científica se establece bajo un enfoque global, pero considera claramente que en la escala regional aún se requiere de mayores estudios y detalles pues los cambios pueden presentarse en concordancia o contrarios a las tendencias globales. Los Modelos Climáticos Globales (MCG) no pueden representar explícitamente detalles regionales que caracterizan el clima de una localidad, a una escala que sea de utilidad para estudios de impactos y evaluación de vulnerabilidad, debido a su aún baja resolución horizontal (aprox. 100 – 300 km); de allí la necesidad de regionalizar. Los Modelos Regionales de Clima (RCM), el downscaling estadístico o modelos globales de alta resolución son útiles para generar escenarios climáticos con una resolución espacial más alta para estudios de impactos, siendo importante considerar los modelos globales que mejor representen el clima actual de gran escala. La recomendación útil es: combinación de downscaling dinámico y estadístico para llegar a resoluciones aún mayores.

En el capítulo anterior se han determinado las incertidumbres que existen en el uso de MCG, que afectan al proceso de generación de proyecciones de cambio climático. Algunas de las incertidumbres, pueden evaluarse mediante la utilización de varios escenarios de emisiones, varios modelos globales, varias técnicas de regionalización o un solo modelo global forzando varios modelos regionales. Este informe no presenta un análisis riguroso basado en ensembles de proyecciones por la limitación de recursos y tiempo. Sin embargo, se ha intentado mostrar los resultados de una variedad de modelos globales (4), que mejor representan el clima actual del país para mostrar al tomador de decisiones por lo menos un rango de variación de las proyecciones de cambio climático en la Región Puno, según los nuevos modelos del IPCC y bajo un nuevo escenario de emisiones.

En el marco de la SCNCC el SENAMHI (2009) hizo hincapié en la necesidad de más y mejor información climática en importantes zonas del país, como por ejemplo, en las zonas altoandinas, por ello es necesario recopilar mayor cantidad de información, incluyendo la red de observación privada, verificar la calidad de ésta red con la finalidad de complementar los resultados de este trabajo. Fomentar la implementación de un mayor número de estaciones o fortalecer las existentes pueden ser claramente acciones necesarias para mejorar el entendimiento de los factores físicos que modulan el clima local, identificar los procesos de retroalimentación y, principalmente, para determinar la proporción de la variabilidad del clima de largo plazo atribuida a los efectos antropogénicos.

Considerando las limitaciones de la información histórica, la representación limitada y simplificada del clima regional por los modelos y conociendo además que existen incertidumbres asociadas, los resultados del presente estudio deben ser considerados como una primera evaluación de los nuevos modelos CMIP5 del IPCC en algunas regiones del país para disponer de una primera aproximación del clima futuro, haciéndose énfasis en las señales de cambios potenciales identificados más que en los valores absolutos. Debe por lo tanto, complementarse el presente estudio en el plazo más próximo con técnicas de regionalización dinámicas y estadísticas que permitan ver la señal de cambio a nivel local.

CAPITULO VIII.

BIBLIOGRAFIA

- 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.
- Gálvez, J.M.,** Douglas, M., 2006, Modulation of rainfall by lake Titicaca using the WRF model. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguacu, Brazil, April 24-28, 2006, INPE, p. 745-752.
- 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 Puno.

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 Set-Oct-Nov.

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.