

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

Reporte ejecutivo

Autor: SENAMHI-PERÚ

Cubas F., Rosas G., Acuña D., Oria C., 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: Desierto de Ocucaje, Paracas y Laguna Huacachina

Diseño: SENAMHI

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

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 : Clara Oria
Alan Llacza Rodríguez
Gerardo Jácome Vergaray
Christian Barreto Schuler

Contribuciones : Félix Cubas
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

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS	5
SIGLAS	6
RESUMEN EJECUTIVO	7
I. INTRODUCCION	8
II. CLIMA EN LA REGION ICA	9
2.1 Controladores Climáticos.....	9
2.2 Ecorregiones.....	10
2.3 Climatología.....	11
2.3.1 Precipitación.....	11
2.3.2 Temperatura máxima.....	12
2.3.3 Temperatura mínima.....	12
2.4 Tendencias e Índices de eventos extremos.....	13
2.4.1 Tendencias de la Precipitación.....	13
2.4.2 Índices de eventos extremos de la Precipitación.....	14
2.4.3 Tendencias de Temperatura del aire.....	16
2.4.4 Índices de eventos extremos de Temperatura del aire.....	17
III. METODOLOGIA -GENERACION DE ESCENARIOS DE CAMBIO CLIMÁTICO	19
3.1 Modelos Climáticos Globales y Escenarios de Emisión.....	19
3.2 Cálculo de proyecciones climáticas.....	20
IV. PROYECCIONES DEL CLIMA EN LA REGION ICA	22
4.1 Proyecciones de la Precipitación.....	22
4.2 Proyecciones de la Temperatura del aire.....	25
V. CAMBIO CLIMÁTICO	26
VI. CONCLUSIONES	28
VII. RECOMENDACIONES	29
VIII. BIBLIOGRAFIA	30
ANEXOS	32

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

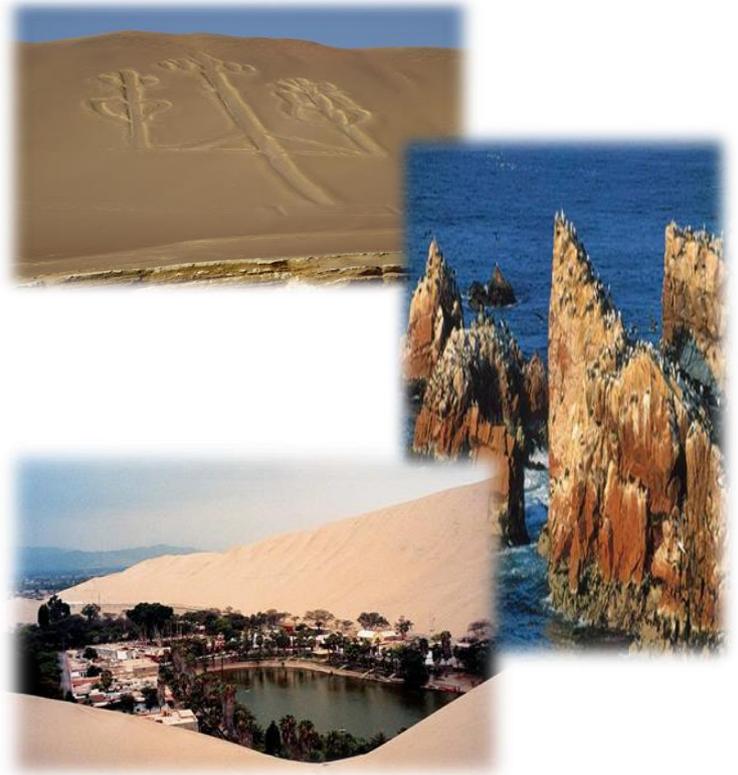
RESUMEN EJECUTIVO

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

1.0+°C a +1.6°C

Incremento de la temperatura del aire para el año 2030.



-8% 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 urgencia de planificar estrategias sólidas para prepararse para enfrentar el cambio climático, en vez de usar la incertidumbre como una razón para la inacción.

CAPITULO I.

INTRODUCCIÓN

Según el IPCC (2007) la temperatura del aire global de la Tierra tiene una tendencia creciente desde hace varias décadas. Desde comienzos de siglo XX la temperatura media global se ha incrementado en 0,74 °C, y los últimos doce años 2000-2011 son considerados como los más cálidos de los últimos 100 años, sin embargo, estos valores globales difícilmente explican los cambios del clima regional y local. Y es que diversas investigaciones hacen referencia de evidencias inequívocas de procesos de “cambios en el clima”, unos más acelerados y evidentes que otros, causando problemas críticos como escasez de agua, degradación de los suelos, pérdida de biodiversidad, etc.

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

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

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 Ica.

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.

CAPITULO II.

CLIMA EN LA REGIÓN ICA

Ica es la región costera por excelencia, formado por tres espacios geográficos bien definidos: el perfil costero, la planicie costera y las vertientes occidentales andinas. Tiene un superficie de 21.327,83 km² y se encuentra a 12°57'42" de latitud sur y entre los meridianos 75°36'43" y 76°23'48" de longitud oeste.

El perfil costero, está formado por el puerto de Pisco, la península de Paracas uno de los más amplios del litoral, bahía la Independencia, la caleta Laguna Grande, San Nicolás y San Juan. La planicie costera, formado por extensos desiertos abarcando una franja de unos 60 Km, disectados por los ríos San Juan, Ica, Palpa y Río Grande, los que irrigan fértiles valles. Las vertientes andinas, es un espacio territorial cuyo relieve alcanza 500 metros de altitud emplazados sobre los límites de los departamentos de Ayacucho y Huancavelica.

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 Ica 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 convectivas aisladas en la sierra iqueña.

❖ ANTICICLÓN DEL ATLÁNTICO SUR

Es un sistema de circulación antihorario próximo a la superficie terrestre, cuyo centro esta posicionado 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 Ica.

❖ ANTICICLÓN DE ATLÁNTICO NORTE

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

❖ ANTICICLÓN DEL OCÉANO PACIFICO SUR

Sistema meteorológico responsable del tiempo y clima del mar peruano, la costa peruana y gran parte de la región Ica, en épocas de lluvias el centro del anticiclón migra hacia el suroeste, por lo cual la subsidencia disminuye, igual que la cobertura de nubes estratos; el anticiclón en la estación de otoño e invierno se intensifica, el centro

anticiclónico se aproxima al continente y se ubica aproximadamente en 30°S y 90°W, posición que le permite transportar por debajo de la capa de inversión mas aire frio y húmedo hacia la costa y mar iqueños; ocasionalmente llegan a la costa de Ica perturbaciones frontales superficiales (surges en ingles), las cuales se manifiestan con nubes estratos extensas y lloviznas persistentes.

❖ **INVERSIÓN TÉRMICA**

Es una característica termodinámica de la atmosfera baja del territorio costero peruano, a cuya presencia se debe las características desérticas de la costa peruana y por consiguiente la lqueña. La inversión térmica es una capa de la atmosfera situada entre 800 y 1500 msnm aproximadamente, en la cual la temperatura del aire incrementa con la altura, es decir es una capa muy estable que limita fuertemente el ascenso del aire húmedo marino a mayores alturas, por lo tanto impide la formación de nubes generadoras de lluvias.

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

La temperatura del agua de mar en las playas de la región Ica, son las más bajas de todo el Perú, debido a los afloramientos, frecuentes, considerados como las más intensos en el mundo. Las temperaturas promedios mensuales en los meses de invierno fluctúan alrededor de los 14 °C y en los meses de verano varían alrededor de los 16 °C, como puede apreciarse el rango anual es pequeño (-2°C), las aguas son poco transparentes, el oleaje es más intenso, debido a la predominancia de los vientos relativamente fuertes a excepción de las playas de la provincia de Pisco, donde son moderados o débiles, el rango diario de temperatura es pequeño.

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

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

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 o 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.

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 ECORREGIONES

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 Ica se distinguen 4 ecorregiones las cuales son:

EL MAR FRÍO.- La Corriente Peruana, conocido también como Corriente de Humboldt, baña con sus aguas las costas de nuestro litoral desde Tacna (límite con Chile) hasta Punta Pariñas, en el norteño departamento de Piura. Sus aguas son bastante frías debido a que provienen del extremo sur de América y la Antártida.

Su influencia sobre esta parte del continente es tan fuerte que impide que se produzcan lluvias en la costa, lo que favorece la formación de neblinas invernales. Sin embargo, sus aguas son extraordinariamente ricas; tanto, que algunos científicos la han definido como una verdadera «sopa de plancton». Ello, unido a la presencia de afloramientos subacuáticos, permite el desarrollo de una variada vida animal y vegetal.

EL DESIERTO DE SECHURA.- Es la formación natural más extendida a lo largo de la costa peruana. Se le encuentra desde el departamento de Piura, al norte, hasta Tacna, en el extremo sur del país, con un ancho variable, siendo su límite altitudinal promedio los 1000 msnm en el centro de Perú. Su clima es cálido en el verano y húmedo durante el invierno, época en que son frecuentes las garúas y una espesa capa de nubes impide el paso del sol. En ciertos lugares, donde las nieblas chocan contra las colinas, se forman unos singulares ambientes conocidos como «lomas»: verdaderos oasis de vida en medio del desierto que sirven como refugio a una abundante y variada flora y fauna silvestres. Los vientos son también importantes en esta región, y llegan a alcanzar su mayor intensidad en la costa de la región Ica, donde se les conoce como vientos paracas. El relieve desértico es mayormente plano, con extensas pampas, zonas de dunas y colinas que raramente superan los 700 metros de altura. La vida animal y vegetal en esta región es escasa; sin embargo, la monotonía de las pampas de arena y roca es interrumpida de tramo en tramo por los fértiles valles costeros.

LA ANDES CENTRALES.- Abarca los territorios del lado occidental de la Cordillera de los Andes, y se inicia alrededor de los 1.000 metros de altura, justo por encima de la capa de nubes que generalmente cubre la costa, hasta los 3800 msnm en promedio. Esta es una tierra de grandes montañas y precipicios; de fértiles valles y ríos torrentosos que han modelado el paisaje durante millones de años formando profundos cañones. Su clima es seco y muy soleado, pero frío durante las noches. Las lluvias son frecuentes en las zonas más altas, cercanas a la puna, pero disminuyen conforme se desciende hacia el desierto.

LA PUNA.- Ubicada principalmente en la serranía de la provincia de Chincha, sobre los territorios andinos por encima de los 3500-3800 msnm. Posee un clima muy duro, caracterizado por grandes variaciones de temperatura: frío intenso en las noches y calor durante el día. Cuenta con una temporada de lluvias, conocida como «invierno» en la sierra, que se inicia en diciembre y se prolonga hasta marzo, aunque fuera de ella no son poco comunes los aguaceros.

2.3 CLIMATOLOGÍA

2.3.1 Precipitación

El clima de la región Ica, casi en el 80%, se caracteriza por ser extremadamente árido (hiperárido - según el índice de aridez desarrollado por las Naciones Unidas), siendo la precipitación deficiente durante casi todo el año, con precipitaciones ligeras y esporádicas, que ocurren principalmente en los meses de verano cuando los vientos cálidos y húmedos del este se intensifican y atraviesan los andes (trasvases). El territorio iqueño ha generado una región climática peculiar caracterizado por presentar el área adyacente a la línea de costa desde la península de Paracas hasta el límite con el departamento de Arequipa, en el cual se encuentran remanentes de la cordillera de cerros que superan los 800 metros de altitud el cual canaliza el flujo del aire hacia el noreste. En el sector de la sierra, considerada como zona árida, las lluvias son estacionales y de mayor intensidad, cuyos valores van de 100 a 250 mm, y cubren el 20% de la región.

Durante eventos EL NIÑO, dependiendo de la intensidad, la frecuencia e intensidad de las lluvias se 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.

2.3.2. Temperatura Máxima

Las temperaturas máximas promedio mensual en la ciudad de Ica registran valores de 32°C en verano y de 22°C en invierno, en ciertos días las temperaturas máximas pueden superar los 33°C en épocas del evento del fenómeno El Niño o cuando el viento cambia de dirección, es decir proceden del noreste. Las temperaturas máximas son más altas a las que ocurren en la costa de la región Lima; esto se debe a la ruptura de la capa nubosa por los fuertes procesos de mezcla que ocurre entre el aire marítimo húmedo de niveles bajos y el aire cálido y seco de la capa de inversión ubicada sobre el tope de las nubes.

La distribución espacial de la temperatura máxima 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; la temperatura disminuye gradualmente hacia la ecorregión Puna.

La distribución temporal en la región Ica no tiene muchas diferencias durante las diferentes estaciones del año, así se tiene que para la estación de verano (dic-ene-feb) en la ecorregión Desierto de Sechura las temperaturas máximas oscilan entre 28 a 32°C, en los Andes entre 22 a 28°C y en la zona de Puna entre 16 a 20°C.

En la estación de invierno (jun-jul-ago) se tiene que en la ecorregión de Desierto las temperaturas máximas van entre 22 a 24°C, hacia los valles entre 24 a 28°C, en la ecorregión de los Andes entre 20 a 22°C y en la Puna desciende entre 14 a 18°C.

La distribución anual en general en la ecorregión Desierto oscila entre 24 a 28°C, en la zona de valle va entre 28 a 32°C, descendiendo en los Andes entre 20 a 24°C y observándose un mayor descenso en la ecorregión Puna, donde las temperaturas máximas oscilan entre 16 a 20°C (Ver mapa de Ecorregiones).

2.3.3. Temperatura Mínima

Las temperaturas mínimas promedio mensuales en la ciudad de Ica registran valores de 18°C en verano y de 9°C en invierno. Las temperaturas mínimas ocurren en la estación de invierno, principalmente en el mes de agosto, los valores más bajos ocurren cuando está de por medio el fenómeno de La Niña (enfriamiento del mar) o cuando hay enfriamientos locales del mar principalmente.

De Mayo a Octubre pueden ocurrir vientos muy fuertes llamados Paracas, cuya velocidad supera los 20m/seg., ocurren generalmente cuando una fuerte inversión térmica persiste por varios días, la cual genera un fuerte gradiente de presión a lo largo de la costa.

La configuración espacial de esta temperatura depende principalmente de la altitud, la mayor parte de la zona costera sur de la región presenta un tiempo soleado y seco casi todos los meses del año, esto debido a que se encuentra protegida de la brisa marina por la cordillera de costa al oeste y sur, con temperaturas mínimas promedio que fluctúan alrededor de 18 °C y de 9 °C entre verano e invierno; en invierno es también soleado con temperaturas confortables en el día, pero en la noche el tiempo es frío especialmente en cielos despejados o cuando hay muy poca cantidad de vapor de agua en el aire, así mismo

cuando los vientos débiles catabáticos pueden desarrollarse desde la medianoche hasta las 07 de la mañana en el lado este de las planicies costeras.

La distribución temporal de la temperatura mínima sufre cambios importantes estacionalmente, así se tiene que durante la estación de verano (dic-ene-feb) en la ecorregión de Desierto las temperaturas mínimas van entre 16 a 20°C, en Los Andes de 6 a 10°C y en la parte más alta en la ecorregión Puna los valores descienden entre 2 a 6°C.

En la época de invierno en la ecorregión de Desierto la temperatura mínima oscila entre 8 a 12°C, en los Andes entre 2 a 6°C y en la Puna entre -4 a 0°C (Mapa N° 13).

A nivel anual los valores que presenta la temperatura mínima en la ecorregión de Desierto es de 12 a 16°C, en los Andes entre 6 a 10°C y en la Puna varía entre 2 a 6°C.

2.4 Tendencias e Índices de Eventos Extremos

Para determinar las tendencias anuales y estacionales tanto de la precipitación como de las temperaturas máximas y mínimas en la región y sus niveles de significancia de forma porcentual durante la segunda mitad del siglo XX, se ha escogido la estación con serie más larga y completa, y de alguna manera representativa de la región, principalmente de la ecorregión Desierto del Pacífico. 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 Ica, 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.

2.4.1 Tendencias de la precipitación

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

En el presente estudio solo se ha evaluado la estación San Camilo (Tabla N° 01), pero conociendo la alta variabilidad de la precipitación se hace necesario realizar un análisis

en otros puntos de observación para tener una evaluación más detallada sobre la región.

Tabla N° 01: Tendencia anual y estacional de la precipitación (mm) y significancia al 99% (en negrita) en la estac. San Camilo. ST: Sin tendencia

Estaciones	Tendencia Anual (mm/década)	Tendencia Verano (mm/década)	Tendencia Otoño (mm/década)	Tendencia Invierno (mm/década)	Tendencia Primavera (mm/década)
San Camilo	- 1	- 0.3	- 0.9	+ 0.3	ST

Existe una tendencia en general de disminución (negativas) de la precipitación en la zona costera de la región Ica, representada por la estación San Camilo (398 msnm).

A nivel estacional, la tendencia de la precipitación en el verano presenta un comportamiento similar al del periodo anual con valores negativos durante el verano y otoño de hasta (0.9 mm/década). En el invierno, época de mínimas precipitaciones, presentan una tasa de incremento (0.3 mm/década) estadísticamente significativa. Finalmente en primavera, época de inicio del periodo lluvioso no se observa alguna tendencia en el comportamiento de esta variable.

2.4.2 Índices de eventos extremos de la precipitación

Seis índices de precipitación fueron calculados y son enumerados en la Tabla N° 02 en la estación Huamaní. 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° 02: 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

En la localidad de Huamaní, la tendencia media de las lluvias (PRCPTOT) y su intensidad (SDII) son negativas; es decir las lluvias acumuladas anuales vienen disminuyendo a la par de una disminución de la intensidad (R95P); mientras que la frecuencia de días muy húmedos (R99P) no presenta. Paralelamente, la tendencia del

número de días secos consecutivos (CDD) va en aumento; mientras que, el número de días húmedos consecutivos (CWD) tuvo una disminución entre los años 1980 y 1990, a partir de esa década, viene aumentando según la tendencia.

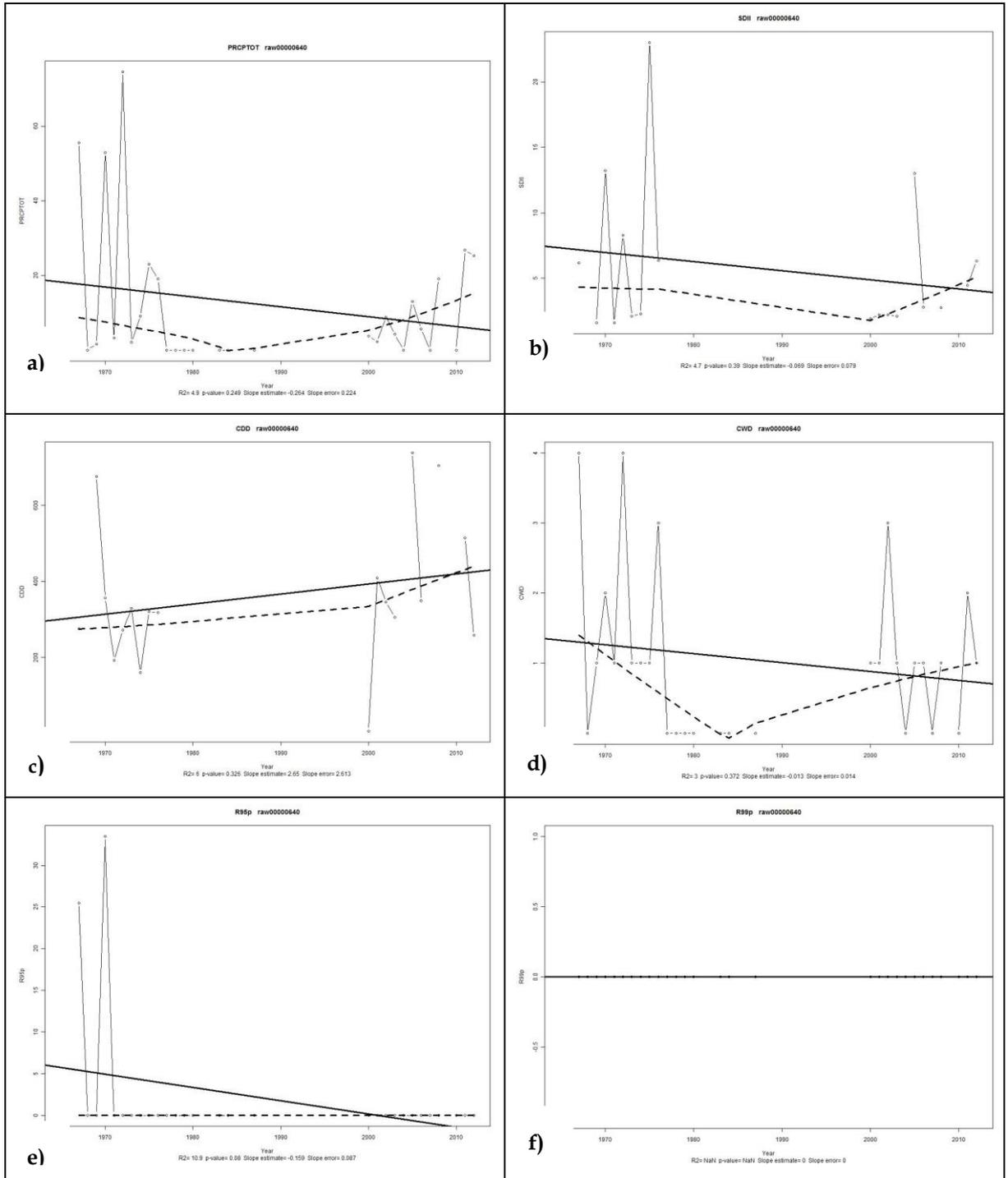


Figura 1. Tendencia de índices de eventos extremos de la precipitación en la estación de Huamaní, para el periodo de 1965-2012. (a) Días húmedos; (b) Intensidad de lluvias; (c) Días secos consecutivos; (d) Días húmedos consecutivos; (e) Días muy húmedos; (f) Días extremadamente húmedos.

Los resultados para 1 estación en la región Ica, se muestran en la Tabla N° 03.

Tabla N° 03: Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de precipitación en 1 estación de la región Ica.

ESTACIONES	SDII	CDD	CWD	R95p	R99p	PRCPTOT
Huamaní	-	+	-	-		-

Leyenda:

Tendencia positiva sin significancia (+), Tendencia positiva con significancia (+),
Tendencia negativa sin significancia (-), Tendencia negativa con significancia (-)

En los últimos 48 años, evaluando este punto de observación que caracteriza la región desde los 0 hasta aproximadamente los 1000 msnsm, se podría decir que en esta zona de la región la tendencia media de las lluvias (índice de precipitación acumulada en un año PRCPTOT) ha decrecido a una tasa promedio de 0.5 mm/día/año, representando un acumulado de disminución de 24 mm en esta zona.

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 en esta zona de la región, reflejando una disminución en la intensidad de precipitación de 2.4 mm/año.

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), son muy variables para determinar alguna tendencia en la región, se necesitaría la evaluación de más puntos de observación para detectar alguna señal de cambio.

Las tendencias del número de días muy lluviosos (R95p) es negativa en ambas estaciones, lo que nos podría dar una señal que en los últimos 48 años se observa un decremento de precipitaciones extremas en esta zona de la región, tendencia que sigue el mismo patrón de comportamiento que el índice de precipitación acumulada anual (PRCPTO).

2.4.3 Tendencias de temperatura del aire

Los antecedentes de observación desde 1965 a la fecha demuestran que en la región Ica, como en el resto del mundo, se ha estado calentando prácticamente durante toda la segunda mitad del siglo XX. En la Tabla N° 04 se aprecia que la tendencia anual de la temperatura máxima en el punto de observación, estación San Camilo (398 msnm), es ascendente (calentamiento) y presentando significancia estadística con 0.3°C/década de calentamiento.

Tabla N° 04: Tendencia anual de las Temperaturas Máxima y Mínima (°C) y significancias al 99% (en negrita) en la estac. San Camilo (1965-2012).

Estación	Altitud	TMÁX (°C/década)	TMÍN (°C/década)
San Camilo	398	0.3	ST

Las tendencias estacionales tanto máximas como mínimas se corresponden con la tendencia anual; es decir, son predominantemente de calentamiento (positivas). En la región de Ica (estac. San Camilo) la temperatura máxima presenta una tasa de calentamiento de hasta 0.4°C/década en otoño y de 0.3°C/década en verano. (Tabla N° 05)

Tabla N° 05: Tendencia estacional de las temperaturas máxima y mínima del aire (°C) y significancias al 99% (en negrita) en la estac. San Camilo (1965-2012)

Estación	Unidades	Verano		Otoño		Invierno		Primavera	
		Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín	Tmáx	Tmín
San Camilo	°C/década	0.3	0.1	0.4	0.1	0.2	0.1	0.3	-0.1

Las tendencias estacionales de la temperatura mínima presentan el mismo patrón que la temperatura máxima, aunque con valores ligeramente inferiores con una tasa de calentamiento que llega hasta 0.1°C/década en todas las épocas del año.

2.4.4 Índices de eventos extremos de temperatura del aire

Las tendencias de siete índices de temperaturas extremas, seleccionados para estas 2 estaciones, son definidas 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° 06: Índices de eventos extremos de temperatura del aire con su definición y unidades. Todos los índices son calculados anualmente de enero a diciembre

Indicador (en inglés)	Nombre del Indicador	Definición	Unidades
Txx	Temperatura Máxima Máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
Tnn	Temperatura Mínima Mínima	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
DTR	Rango diurno de temperatura	Diferencia media mensual entre Tx y Tn	°C
Tx10p	Días fríos	Porcentaje de días cuando Tx < 10 percentil	días
Tx90p	Días calientes	Porcentaje de días cuando Tx > 90 percentil	días
Tn10p	Noches frías	Porcentaje de días cuando Tn < 10 percentil	días
Tn90p	Noches calientes	Porcentaje de días cuando Tn > 90 percentil	días

Los resultados para 2 estaciones en la región Ica, se muestran en la Tabla N° 07.

Tabla N° 07: Tendencia y niveles de significancia de los índices extremos de temperatura del aire en 2 estaciones de la región Ica.

Estaciones	Txx	Tnn	DTR	Tx10p	Tx90p	Tn10p	Tn90p
San Camilo		+					
Huamaní	+	+	-	-	+	-	+

El índice de temperatura máxima (Txx), que es el valor máximo mensual de la temperatura máxima diaria, es de tendencia positiva en la estación Huamaní, es decir los días están tendiendo a ser más calientes.

El análisis del índice de temperatura mínima (Tnn), presenta tendencia positiva en ambas estaciones, es decir las noches frías están tendiendo a ser más cálidas en estas zonas de la región.

Los índices basados en percentiles sólo se ha calculado en la estación Huamaní (cuenca del río Ica), encontrándose que el índice del número de días muy fríos (Tx10p) presenta una tendencia negativa, la cual se corresponde con el patrón de tendencias positivas del índice de días cálidos (Tx90p), lo que nos indica que durante las últimas cuatro décadas los días fríos están disminuyendo paulatinamente, mientras que los días cálidos vienen aumentando en esta localidad.

En relación a las noches frías (Tn10p) están disminuyendo, mientras que el índice días con noches cálidas (Tn90p) va en aumento, lo que nos indica en base solo a esta estación que existe una señal de calentamiento durante el periodo nocturno en esta localidad.

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.

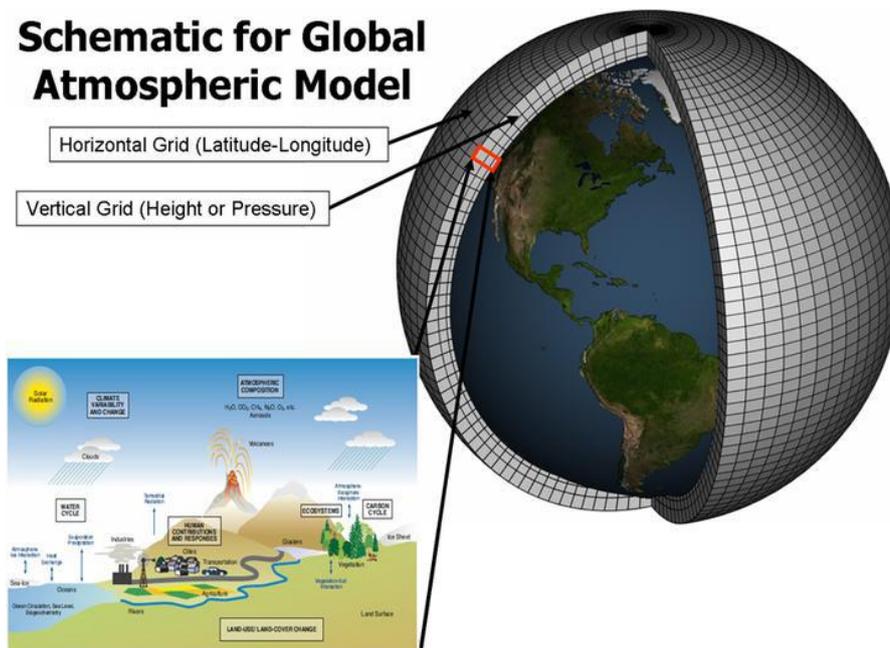


Figura 2. Esquema de un modelo climático global. Fuente NOAA.

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).

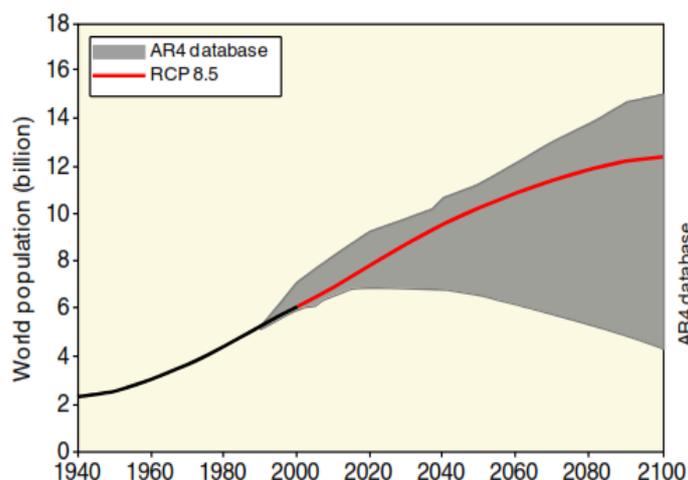


Figura 3. Escenario de emisión RCP8.5. Fuente IPCC.

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°08.

Tabla N° 08: Modelos climáticos globales del proyecto CMIP5

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

3.2. CÁLCULO DE PROYECCIONES CLIMÁTICAS

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

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

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

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

Tabla N° 09: Cálculo de los cambios de precipitación y temperaturas extremas

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

CAPITULO IV.

PROYECCIONES CLIMÁTICAS EN LA REGIÓN ICA

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

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 Ica. Se observa un patrón definido de incremento al final e inicios del periodo lluvioso (otoño y primavera, respectivamente), y un incremento ligero en el periodo de estiaje (invierno) y reducción durante el periodo de lluvias (verano). En el otoño y primavera los incrementos serían del orden de +3% a +9% principalmente en el sector norte de la región, en las proximidades de las localidades de límite con la región Huancavelica; mientras que en invierno este aumento es de +3% a +6% y lo destacado es la reducción durante el verano de la precipitación de hasta -8% principalmente en la parte sur de la región, y si bien estos cambios estarían dentro de su variabilidad (+/- 30%) es importante observar el sesgo o tendencia que presentan ya sea hacia el incremento o reducción.

En la **figura 4** se muestra las subregiones donde se ha analizado la línea de tiempo o tendencia de cambio hasta el año 2030.

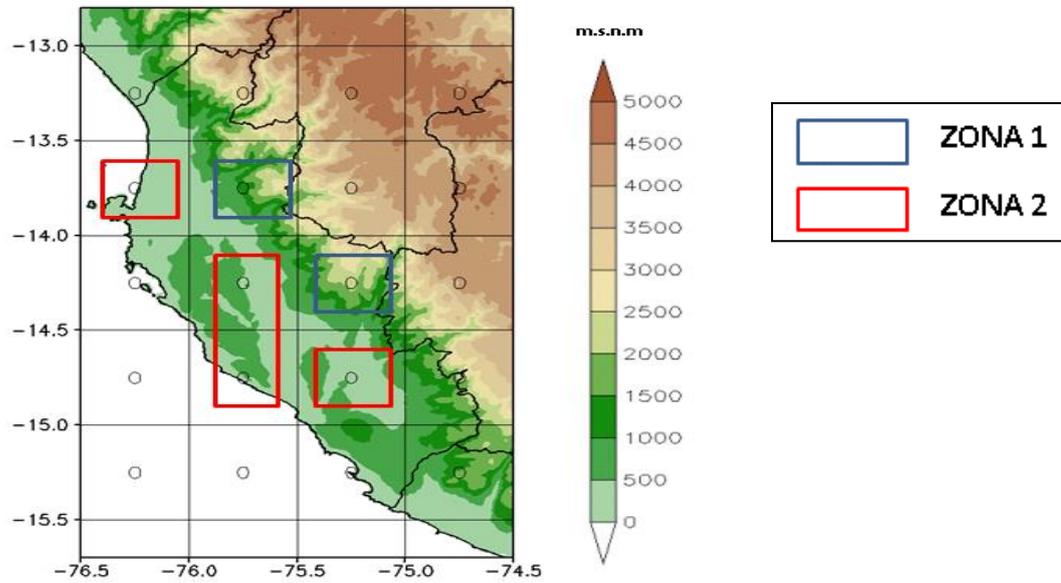
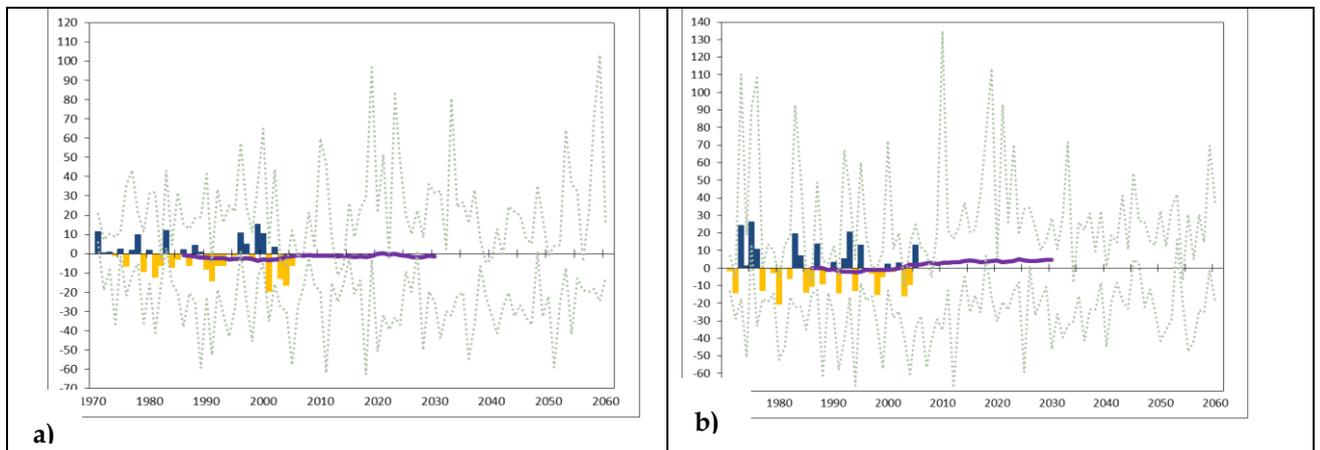


Figura 4. Subregiones analizadas para determinar la tendencia de cambio. Zona 1 (parte costera norte, centro y sur), zona2 (oriental, parte alta).

En la **Figura 5 y 6** se observa el cambio medio de la precipitación en la zona 1 y 2, respectivamente, expresado en porcentajes (%). 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 bastante discretos de la precipitación dentro de su variabilidad).



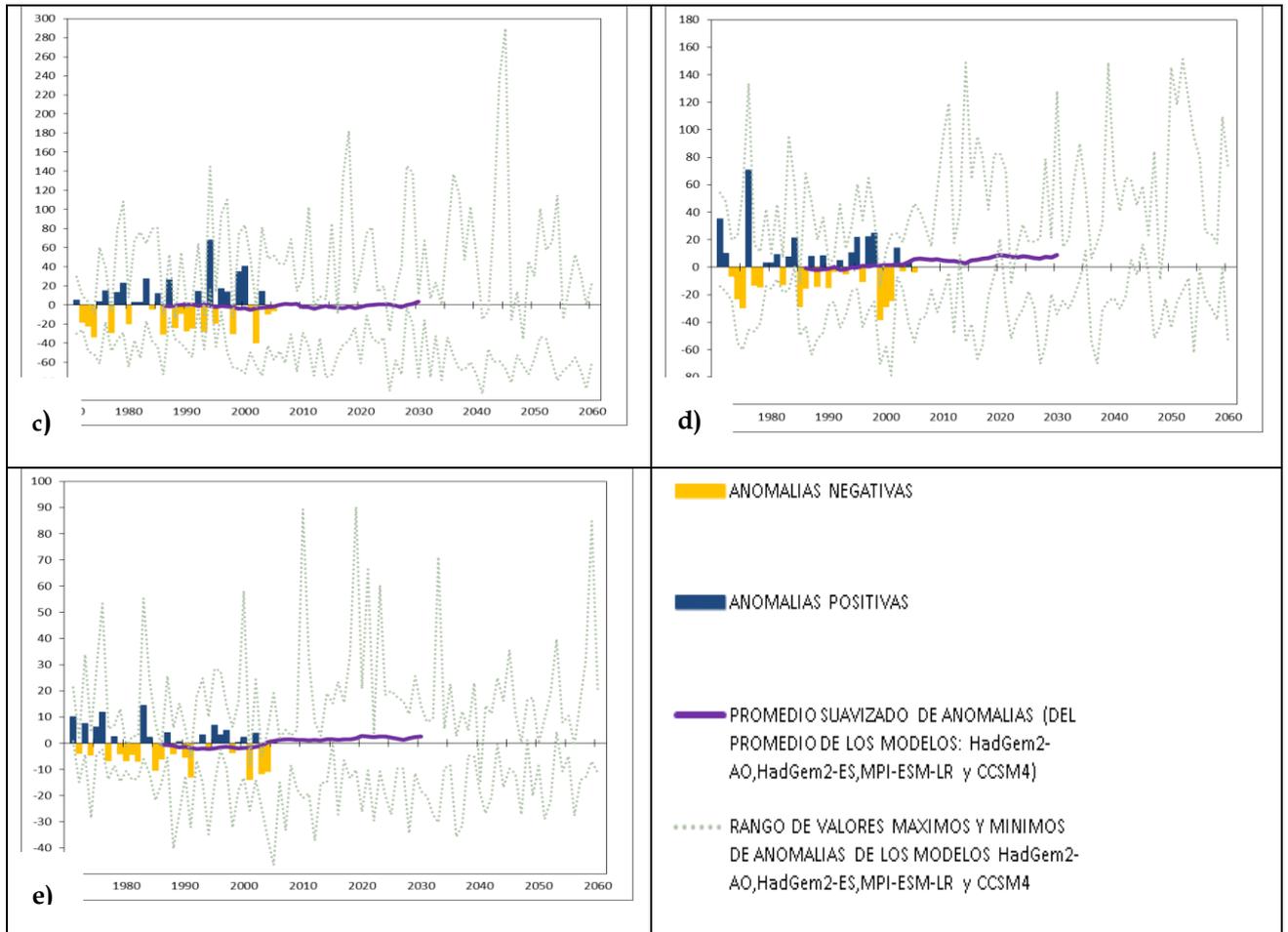
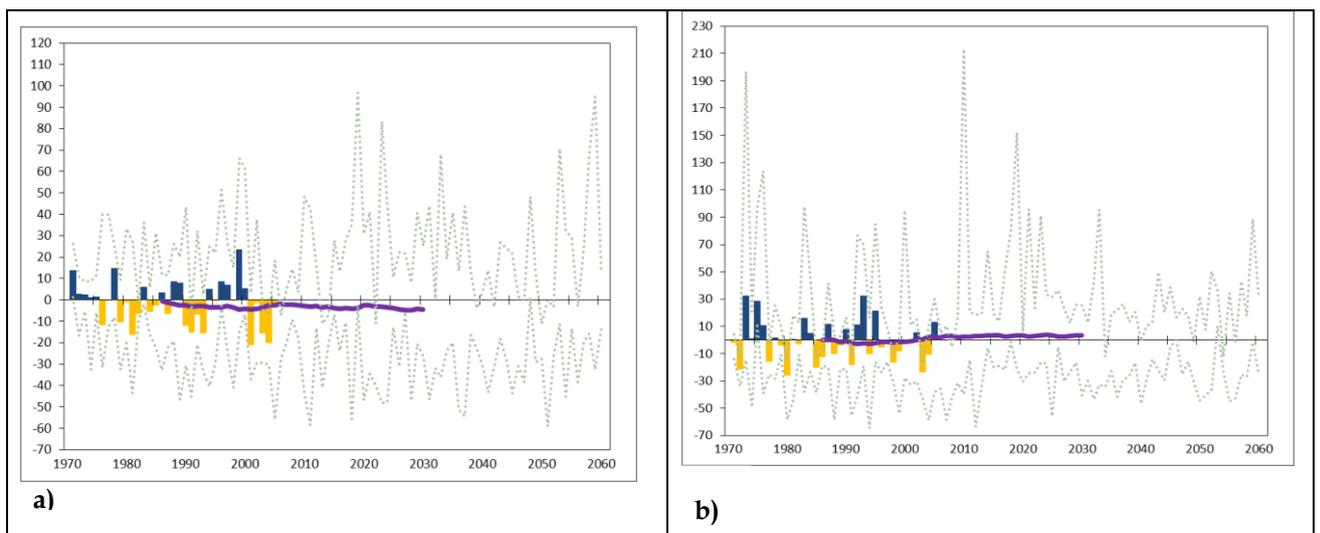


Figura 5. Evolución del cambio de la precipitación en la zona 1 (regrillada o ajustada con datos observados del Climate Resesarch Unit de la Universidad de East Anglia. (a) D-E-F; (b) M-A-M; (c) J-J-A; (d) S-O-N; (e) Anual.



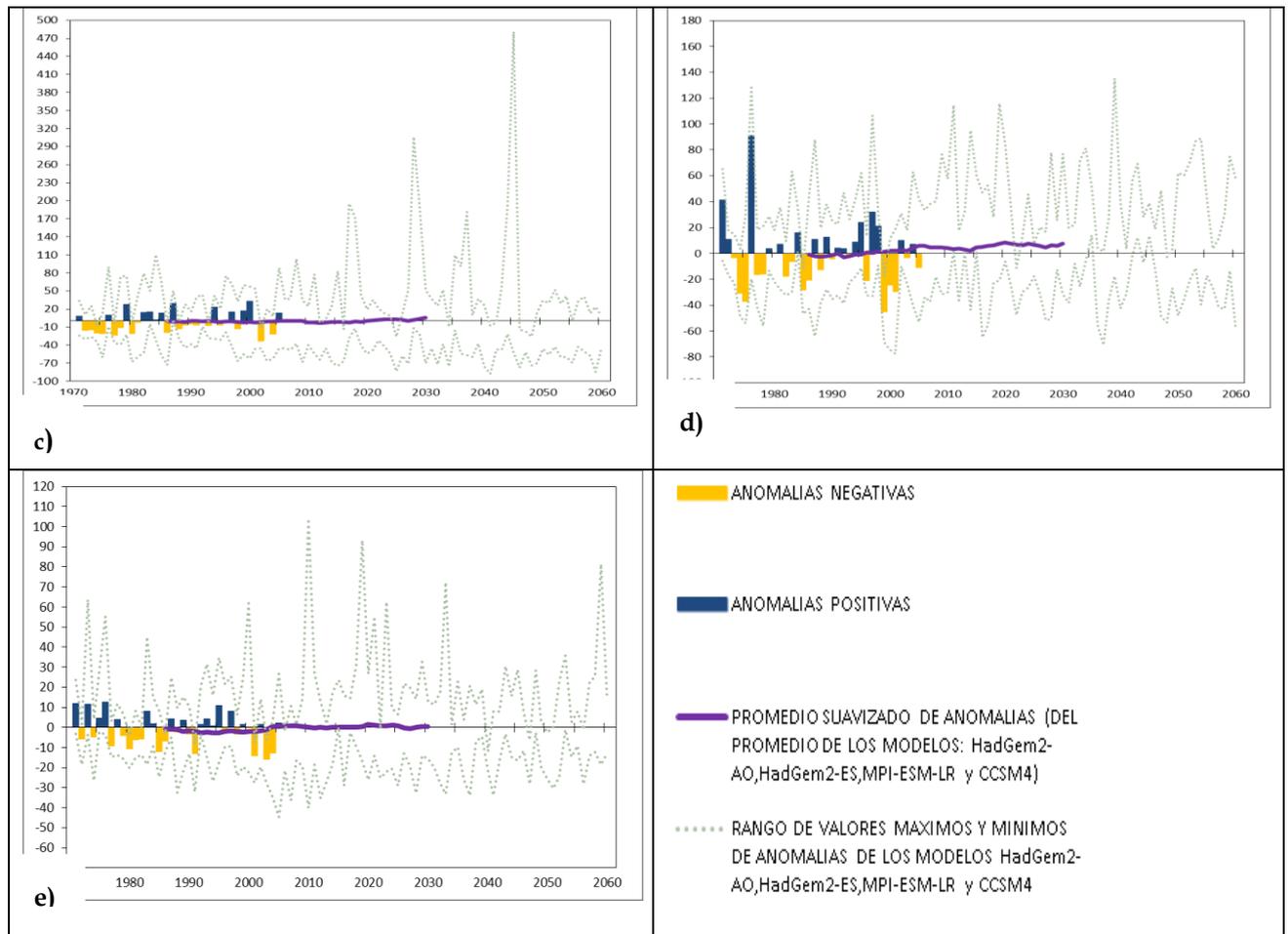


Figura 6. Evolución del cambio de la precipitación en la zona 2 (regrillada o ajustada con datos observados del Climate Research Unit de la Universidad de East Anglia. (a) D-E-F; (b) M-A-M; (c) J-J-A; (d) S-O-N; (e) Anual.

4.2 PROYECCIONES EN LA TEMPERATURA DEL AIRE

A diferencia de las precipitaciones, los patrones de cambio de las temperaturas extremas del aire anuales son más claros, homogéneos y progresivos; es decir, los resultados muestran un patrón de calentamiento a nivel anual en promedio para toda la región de alrededor $+1,4^{\circ}\text{C}$, tanto para la temperatura máxima como para la temperatura mínima (Mapas N° 25 y 30, respectivamente), en relación al periodo de referencia 1971-2000.

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 ($+1,5^{\circ}\text{C}$) en invierno (en gran parte de la región); mientras que en verano, otoño y primavera los incrementos estarían entre $+1,0^{\circ}\text{C}$ y $+1,3^{\circ}\text{C}$. 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 $+1,4^{\circ}\text{C}$ y $+1,6^{\circ}\text{C}$, respectivamente y principalmente en la zona norte de la región; mientras que en verano y otoño el incremento en general estaría alrededor de $+1,2^{\circ}\text{C}$.

En toda la cuenca, la temperatura mínima tiende a incrementarse algo más que la temperatura máxima, durante invierno y primavera, aproximadamente en $0,1^{\circ}\text{C}$ más. Puede mencionarse entonces que hacia el 2030 el rango térmico (diferencia entre la temperatura máxima y mínima) disminuiría durante estas estaciones del año.

CAPITULO V.

CAMBIO CLIMÁTICO

Escenario Futuro e Incertidumbres

Los modelos climáticos son las mejores herramientas que tienen los científicos del clima para predecir cambios futuros del clima. Ellos están basados en principios sólidos de la ciencia física y están rápidamente incrementando en sofisticación, asimismo la precisión de las proyecciones están mejorando. Sin embargo, la atmósfera es caótica, esto es, altamente sensitiva a muy pequeños cambios, si en las condiciones iniciales se efectúa un pequeño cambio, la subsecuente evolución podría ser completamente diferente. Entonces no importa que tan bueno sea el modelo, siempre habrá un grado de incertidumbre en las proyecciones climáticas.

El uso de un ensamble de modelos es particularmente importante en escalas de tiempo largas, donde los efectos del error de un modelo particular son significativos. Para escalas estacionales y más largas, los ensambles multimodelo pueden traer ventajas substanciales. Un ensamble hecho de la combinación de varias proyecciones con diversos experimentos, usando diversos 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 solo 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, saber usar estas incertidumbres y aplicarlas a las medidas de adaptación en las planificaciones regionales.

En el presente estudio se hizo necesario usar técnicas de regionalización tanto dinámicas como estadísticas que ayudan a disminuir estas incertidumbres asociadas a la generación de escenarios de cambio climático.

En la **Figura 7**, cada punto es el valor del cambio proyectado por cada modelo a nivel estacional y anual, en la grilla común sobre la región Ica. 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 van de +0.8 °C a +2°C (**Figura 7a**) y de +0.8°C a 2.2°C en la mínima (**Figura 7b**), aunque se observa una mayor dispersión en invierno-JJA (de +0.8°C a 1.9°C. En lo que respecta a la precipitación (**Figura 7c**), la dispersión es menor y los cuatro modelos indican cambios muy discretos en el acumulado anual (+/-15%); sin embargo, en invierno-JJA la dispersión es mayor, con cambios de hasta (+30% y -15%) según el modelo MPI-ESM-LR.

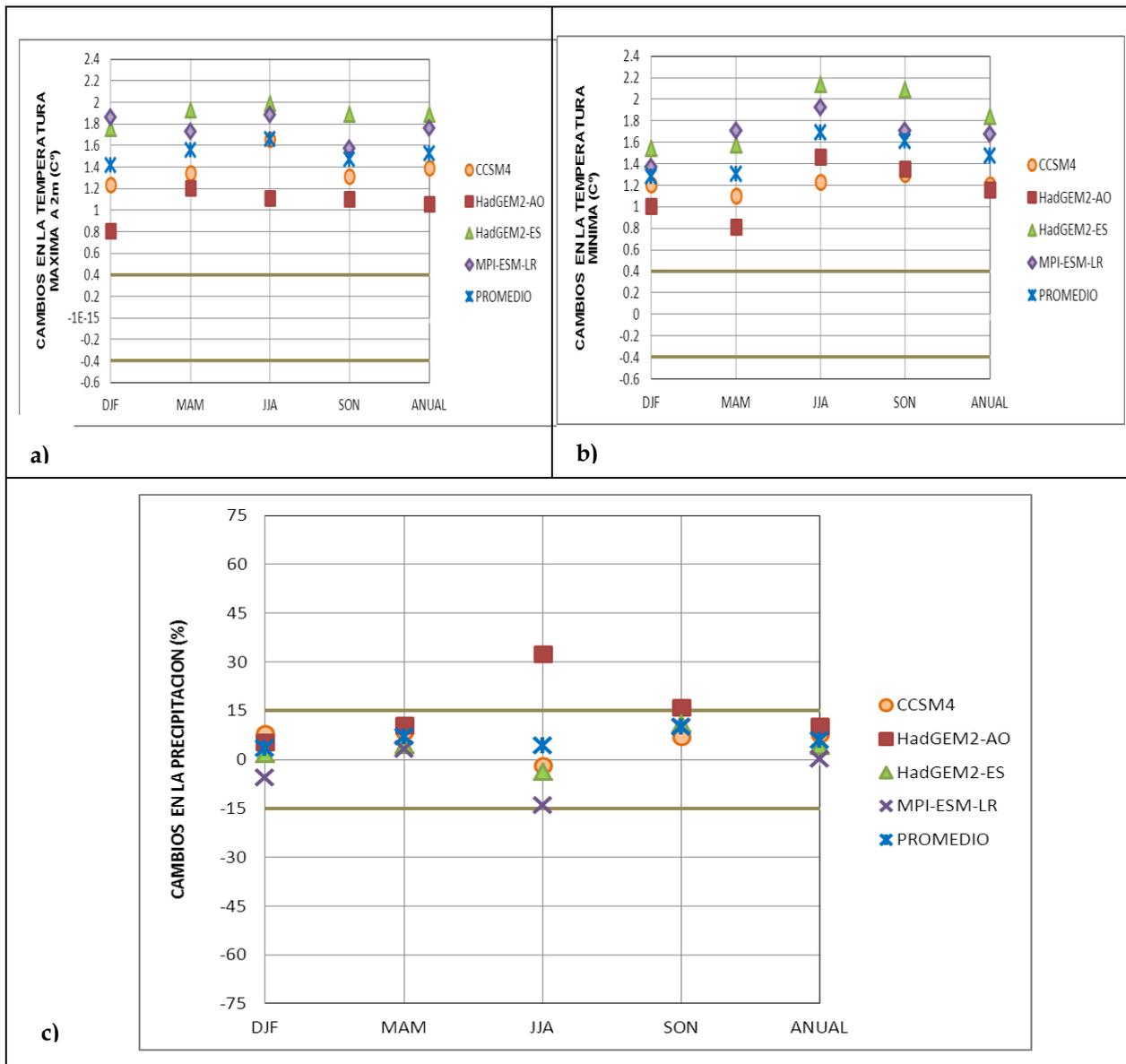


Figura 7. Cambios proyectados a nivel anual y estacional de la temperatura del aire máxima (a), mínima (b) en °C, y de la precipitación (c) en porcentaje en la Región de Huancavelica para el time-slice centrado en el año 2030, relativo al período de referencia 1971-2000. Los modelos son: CCSM4, HadGEM2-AO, HadGEM2-ES y MPI-ESM-LR, para el escenario de las emisiones RCP8.5. Se muestra el promedio de los modelos (X azul) y los rangos de la variabilidad actual (líneas marrones horizontales).

CAPÍTULO VI.

CONCLUSIONES

1. En relación al diagnóstico del clima actual:

- La información histórica observada, en este caso en base a solo una estación (San Camilo), que podría representar la zona costera de la región Ica, se tiene que las precipitaciones en los últimos 48 años viene presentando una tendencia negativa (disminución) principalmente en las estaciones de verano y otoño de hasta 0.9 mm/década; mientras que en invierno presentan una tasa de incremento de hasta 0.3 mm/década.
- Los índices de eventos extremos de la precipitación en 2 estaciones de la región (San Camilo y Huamani), vienen disminuyendo a una tasa promedio de 0.5 mm/día/año como se observa en la precipitación acumulada en un año (PRCPTOT), al igual que en el índice de intensidad diaria de precipitación (SDII) y el índice de días muy lluviosos (R95p), por lo que se tiene que en las últimas 4 décadas se está observando un decremento de las precipitaciones extremas tanto en su frecuencia e intensidad en esta zona de la región Ica.
- Las tendencias de las temperaturas extremas (máximas y mínimas) tanto anuales como estacionales presentan una tendencia hacia el calentamiento de hasta 0.3°C/década, siendo las temperaturas máximas ligeramente superiores a las temperaturas mínimas.
- En relación a los índices de eventos extremos de temperaturas se tiene una clara señal en esta zona de la región que hay un aumento de los días y noches cálidos (TX90p y Tn90p, respectivamente) en relación a los días y noches frías (TX10p y Tn10p, respectivamente).

2. En relación al clima para el 2030:

- Las proyecciones de la precipitación en la región Ica indican un incremento al final e inicios del periodo lluvioso entre +3% a +9% y de disminución durante el periodo lluvioso (verano) de hasta -8%, principalmente en la parte sur de la región; cuyos valores se consideran que están dentro de su rango de variabilidad climática.
- Los patrones de cambio de las temperaturas son más consistentes con señales más claras hacia el calentamiento tanto de máximas como de mínimas a nivel anual hasta de +1,4°C, en relación a al periodo de referencia 1971 – 2000. Estacionalmente la temperatura máxima tendría una tasa mayor de incremento en invierno de hasta +1,5°C en relación a los otros periodos que están entre +1,0°C y +1,3°C; e igual comportamiento tendría la temperatura mínima de mayor tasa de cambio en invierno, principalmente de la zona norte de la región de hasta +1,6°C en comparación al verano y otoño que sería alrededor de +1,2°C.

CAPÍTULO VII.

RECOMENDACIONES

Aunque el cambio climático es de carácter global, no se puede esperar que los cambios potenciales sean globalmente uniformes; más bien, puede haber diferencias regionales dramáticas. En tal sentido, los Modelos Climáticos Globales (MCG) no pueden representar explícitamente detalles regionales que caracterizan el clima de una región, 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 5 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 la región.

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 aproximación del clima futuro, haciéndose énfasis en las señales de cambios potenciales identificados más que en los valores absolutos. Debiéndose complementar 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.

CAPÍTULO VIII.

BIBLIOGRAFÍA

- Brack, A.** Ecología del Perú. Editorial Bruño, 2da edición 2004. Lima, Perú.
- Frich, P.,** Alexander. L., Della-Marta, P., Gleason, B., Haylock, M., Klein, A., y Peterson, T., 2002. Observed coherent changes in climatic extremes during the second half of the twentieth century. *Clim. Res.*, 19, 193-212.
- 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 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.