

Entendiendo el Clima de la Cuenca del Río Mantaro, Perú



Río Mantaro - Perú
Río Chinchiná - Colombia



Entendiendo el Clima de la Cuenca del Río Mantaro, Perú



CRÉDITOS

Sistematización

Juan José Nieto
Felipe Costa

Elaboración de Mapas

Felipe Costa

Coordinadora Regional del Proyecto

Elba Fiallo-Pantziou

Acciones locales del proyecto en Perú

Darío Fierro, Coordinador
Luisa Cortez, Asistente

Revisión y Edición

Elba Fiallo-Pantziou
Luisa Cortez

Fotografías

Valentina Álvarez Orejuela
Archivo fotográfico del CIIFEN - Proyecto Cuencas Climáticamente Resilientes

Diseño, Diagramación e Impresión

Publiasesores Cía. Ltda.
2555-140

Sugerencia de Cita: CIIFEN, 2018. Entendiendo el clima de la Cuenca del Río Mantaro, Perú. Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño, Guayaquil, Ecuador.

ISBN: 978-9942-8682-3-7

© CIIFEN 2018 todos los derechos reservados.

"Este documento fue preparado por el CIIFEN con el apoyo de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional - USAID, bajo el Acuerdo de Cooperación AID-518-A-13-00002. Las opiniones aquí expresadas no reflejan necesariamente la opinión ni de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional ni del Gobierno de los Estados Unidos."



Con el apoyo financiero de



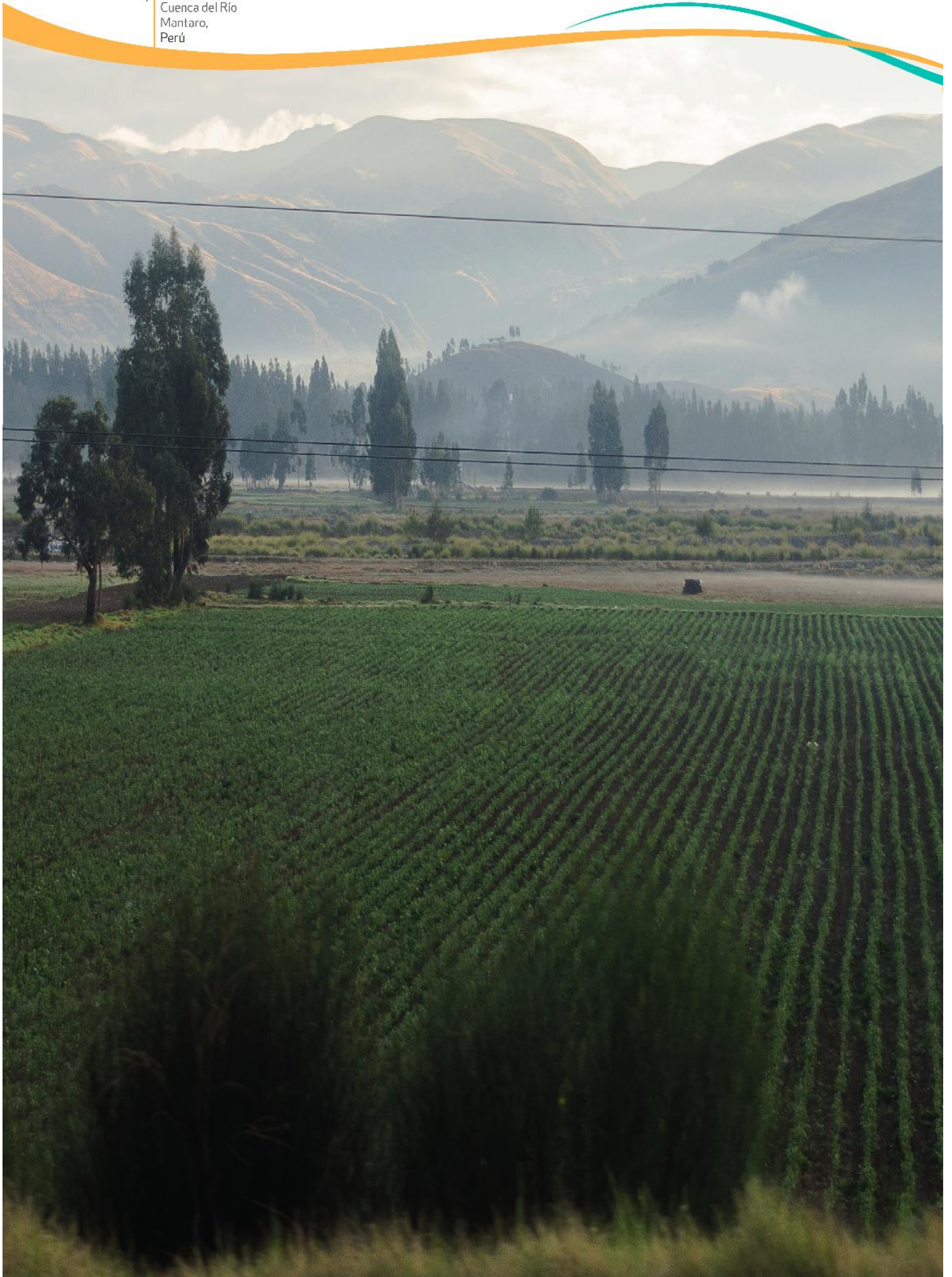
Un proyecto ejecutado por



Socios Estratégicos del Proyecto



PRESENTACIÓN	5
RESUMEN	7
INTRODUCCIÓN	9
ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE CLIMA	10
Climatología, Tendencias de Índices Climáticos y Proyecciones de Cambio Climático	10
Clima, Variabilidad Climática y Cambio Climático	11
LA CUENCA DEL RÍO MANTARO	13
UBICACIÓN	13
PISOS TÉRMICOS	14
CLIMA DE LA CUENCA	17
Precipitación	19
Temperatura	24
TENDENCIA DEL CLIMA EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS	26
Índices de Precipitación	29
Índices de Temperatura	36
Resumen de las tendencias	39
PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO	40
Precipitación	42
Temperatura	43
INFORMACIÓN NACIONAL	46
Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI	46
Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático	47
Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes tropicales - PRAA	48
Instituto Geofísico del Perú - IGP	49
Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres - CENEPRED	50
Sistema de Información Ambiental Regional - SIAR	51
ANEXOS	53
BIBLIOGRAFÍA	59



PRESENTACIÓN

A mediados de 2015, el Centro Internacional para la Investigación del Fenómeno de El Niño (CIIFEN) con financiamiento de la Agencia de los Estados Unidos para el Desarrollo Internacional (USAID) empieza la implementación, en territorio, del proyecto regional Cuencas Climáticamente Resilientes: Chinchiná (Colombia) y Mantaro (Perú). El proyecto tiene como objetivo general “Incrementar la resiliencia y reducir la vulnerabilidad al cambio climático (CC), en las cuencas de Chinchiná y Mantaro, a través del fortalecimiento del conocimiento base para la toma de decisiones en las políticas y con estrategias locales de adaptación al cambio climático.”

Para construir la resiliencia en las cuencas, el proyecto primero ha generado conocimiento sobre cómo el clima se está manifestando en ellas y cómo estaría cambiando a futuro; ha identificado las vulnerabilidades de estos territorios (social, ambiental y económica); fortalece las capacidades de los actores locales (gobiernos locales y comunidades) para enfrentar estas condiciones cambiantes de clima; y fortalece los servicios meteorológicos en apoyo a la gestión del riesgo. Es por ello que se plantearon tres objetivos específicos:

1. Identificar con mayor detalle y precisión la expresión regional de la variabilidad climática (VC) y del cambio climático (CC), los impactos asociados y los riesgos hidrológicos en las áreas de intervención; así como los niveles de vulnerabilidad total de la cuenca ante la VC y el CC.
2. Fortalecer las capacidades de los gobiernos regionales, locales y de otros actores de las áreas de estudio, para incorporar criterios de VC y CC en procesos e instrumentos de planificación.
3. Fortalecer los Servicios Meteorológicos locales en la cuenca y el CRC-OSA para apoyar la gestión de riesgos por las fases extremas de la VC y CC.

El proyecto trabaja con actores institucionales locales y aporta al fortalecimiento de procesos que se han venido dando en las cuencas. En Perú se trabaja estrechamente con los Gobiernos Regionales de Junín y Ayacucho, con el SENAMHI, el MINAM y la Dirección Regional Agraria de Junín. El presente documento incluye la información climática con que se cuenta para la cuenca del río Mantaro:

- climatología de la cuenca (es decir, como se ha presentado el clima en los últimos 30 años);
- tendencias climáticas con base en información oficial del SENAMHI que indica cómo ha ido cambiando el clima, utilizando información diaria de temperatura y precipitación; y
- proyecciones de cambio climático para el futuro.

Entregamos este documento que incluye toda esta información en un lenguaje sencillo para ponerla al alcance de los actores locales. Se incluye también la información que se produce en el servicio meteorológico de Perú, dónde se puede encontrar, cómo se la puede interpretar y cuál es el uso que los diferentes actores pueden darle. Se presentan también otras fuentes de información que pueden ser aprovechadas por los actores locales. Este documento está dirigido especialmente a los técnicos de los gobiernos locales e instituciones de la Cuenca del río Mantaro. Esperamos les sea de utilidad en sus actividades diarias de trabajo.

Elba Fiallo – Pantziou
Coordinadora Regional
Cuencas Climáticamente Resilientes



RESUMEN

La cuenca del Río Mantaro se extiende, de forma parcial, por los Departamentos de Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho. Está ubicada en la región de los Andes centrales de Perú y posee aproximadamente 340.000 hectáreas de tierras agrícolas, que proveen alimento a la gran demanda de la ciudad de Lima. Además, abastece a un 35% de la demanda nacional eléctrica. Debido a su importancia, la cuenca fue elegida para implementar el proyecto Cuencas Climáticamente Resilientes que busca fortalecer su resiliencia ante los fenómenos climáticos. El primer paso fue conocer las características climáticas actuales para luego analizar las proyecciones del clima a futuro.

El primer paso fue conocer las características climáticas actuales para luego analizar las proyecciones del clima a futuro.

En este sentido, el proyecto realizó un análisis de las condiciones climáticas típicas (predominantes) de la cuenca para establecer una línea base de lo que es el clima actual. Para la lluvia se determinó el promedio mensual, trimestral y anual, para lo que se utilizó la base de datos de precipitación del CHIRPS (*Climate Hazard group Infrared Precipitation with Stations*). Para la temperatura máxima y mínima se determinó el promedio anual y se utilizaron los resultados del estudio "Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del Río Mantaro".

Para establecer posibles cambios en el clima en las últimas décadas, se utilizaron datos diarios de lluvia, temperaturas máximas y mínimas, desde el año 1965 hasta el año 2014, registrados por estaciones meteorológicas ubicadas en la cuenca. Con esos datos se hizo el cálculo año por año de la cantidad de lluvia acumulada, intensidad de la lluvia, número de días secos consecutivos, días lluviosos consecutivos, días muy lluviosos y extremadamente lluviosos, tardes cálidas, noches frías y la variación de temperatura entre el día y la noche. Cada uno de estos elementos son estándares que se conocen como índices. Para cada uno de los índices se calculó la tendencia de cambio observada en los 49 años analizados.

Para establecer posibles cambios en el clima para el año 2030, se utilizaron las proyecciones de cambio de lluvia y temperatura realizadas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú en el año 2012.

De acuerdo a la recopilación de estudios y los análisis realizados, de manera general, en la cuenca existe un régimen de precipitación bien definido con mayor cantidad de lluvia entre diciembre y marzo, lo que coincide con la estación de verano. La región más lluviosa está en la cuenca baja, en el lado sureste, donde los valores anuales están alrededor de 2.000 mm. La temperatura del aire está condicionada por el relieve ya que la gran variación altitudinal propicia la existencia de varios escenarios térmicos. En las regiones bajas de la cuenca, los promedios de temperaturas máximas varían entre 25 y 28 °C, mientras que las mínimas están alrededor de 6 y 10 °C. Por otro lado, en la parte occidental, las máximas poseen promedios de 20 °C, mientras que las mínimas de -4 °C.

El análisis de cambio de clima, en las últimas décadas, determinó una tendencia de disminución de la precipitación en gran parte de la cuenca, tanto en número de días, como en intensidad. La temperatura del aire, por otro lado, ha presentado diferentes tendencias, siendo observados tanto aumentos como disminuciones. Sin embargo, la mayoría de estaciones, tanto para temperaturas máximas como mínimas, presentaron un incremento.

Para lo que se espera del clima a futuro, el promedio anual de precipitación podría presentar reducciones de 15% en el sector noroccidental y central de la cuenca, mientras que en el resto de la cuenca, se observarían incrementos de 15%, aunque los resultados obtenidos muestran que la precipitación no se simula tan fácilmente debido a la complejidad de los procesos locales. Se destaca en cuanto al incremento la región de Ayacucho, con valores de hasta 30%. A diferencia de la precipitación, la temperatura del aire presentaría un cambio más claro y homogéneo, con calentamiento en toda la cuenca. Los valores podrían llegar a 0,8 °C de incremento para las temperaturas máximas y 1 °C para las mínimas.



INTRODUCCIÓN

La cuenca del Río Mantaro, con una extensión de 34.550,15 km², se ubica en la región central del Perú, en la vertiente del Océano Atlántico. Políticamente comprende territorios correspondientes a los departamentos de Junín, Huancavelica, Pasco y Ayacucho así como 21 provincias. Es muy rica y amplia en belleza, diversidad natural y ecológica; comprende una gran cantidad de lagunas, donde sobresalen las lagunas Chichaycocha, Punrun o Antacoto por su gran volumen de almacenamiento de agua; igualmente tiene, aproximadamente, 1.180 manantiales. También se identifican un total de 1.076 bofedales, sumando una extensión de 1.417 km², siendo la mayoría de ellos de poca extensión. Cabe resaltar que la cuenca cuenta con una extensión de 1.035,51 km² de área de nevados, tanto en la sierra central como en la oriental.

Esta cuenca es una reserva energética muy importante para el abastecimiento eléctrico del país, donde se destacan las centrales del complejo Mantaro operadas por Electroperú, la central hidroeléctrica de Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución. El complejo Mantaro produce alrededor de un tercio de la energía de todo el Perú.

La actividad agrícola se desarrolla en aproximadamente 339.065 ha. de tierras agrícolas, de las cuales un 29% se encuentra bajo riego y el 71% es seco. En la zona sur de la cuenca se ubica la mayor cantidad de tierras agrícolas, que se dedican a la producción de tuna, papa, cebada, olluco y oca. La zona central cuenta con 95.643 ha. con cultivos importantes como papa, maíz, zanahoria, cebada, alfalfa y alcachofa. La zona norte de la cuenca cuenta aproximadamente con 60.862,6 ha. de tierras agrícolas (33% bajo riego y 67% en seco), dedicadas a la producción de maca, avena forrajera, papa, cebada, olluco y oca.

La mayor parte de la superficie de la cuenca son tierras de protección, entre las que se incluyen tierras de producción forestal y tierras aptas para

pastos; el uso más significativo en cuanto a extensión es el de pradera y arbusto, que se encuentra, prácticamente, extendido por toda la superficie de la cuenca.

La configuración geomorfológica, climática y de cobertura vegetal del ámbito de incidencia de la cuenca permite distinguir 30 zonas de vida correspondientes a 12 sistemas ecológicos. En éstos podemos encontrar, tanto áreas naturales protegidas en las que no se permite la extracción de recursos naturales ni transformaciones del ambiente natural (de uso indirecto), como son el Santuario Nacional de Huayllay y los Santuarios Históricos de Chacamarca y de la Pampa de Ayacucho. También existen zonas donde está permitida la extracción de recursos, siempre y cuando sean compatibles con los objetivos de conservación del área, como son la Reserva Nacional de Junín y la reserva Paisajística del Nor Yauyos-Cochas.

La cuenca del Mantaro tiene un papel importante en la región por lo que comprender su clima y las posibles afectaciones, por efecto del cambio climático, es importante para una adecuada gestión de la cuenca. Según la Organización Meteorológica Mundial (OMM), un período de diez años es el plazo mínimo para la evaluación del cambio climático. Por lo tanto, la OMM, a través del análisis del estado del clima mundial entre los años 2001 a 2010, observó un incremento de los fenómenos climáticos extremos. Este decenio fue el más caluroso en comparación al pasado, observándose el calentamiento, tanto de los continentes como del océano. Para este período, las precipitaciones también se presentaron más intensas en muchas regiones, en comparación con los registros desde 1901. Por otro lado, en otras regiones se pudo observar incremento en las sequías, lo que afecta a un gran número de personas debido a su carácter duradero (OMM, 2013).

Recientemente, se informó que el año 2016 fue el año más cálido desde que se tienen registros,

puesto que la temperatura del aire presentó valores de +1,1 °C por encima de los valores de la etapa preindustrial. Este valor observado superó el de 2015, que también había alcanzado ya un récord histórico (OMM, 2017). Además, los años 2015 y 2016 presentaron uno de los fenómenos de El Niño más intensos registrados desde el año 1950, comparado con los de 1982-1983 y 1997-1998, lo que contribuyó al agravamiento de los impactos climáticos extremos, sobre todo en Sudamérica (OMM, 2016; PRASDES, 2016).

En la región andina, los estudios climáticos se hacen necesarios a escala de cuencas hidrográficas, debido a la gran variabilidad que el clima presenta en el territorio. Entender la variabilidad climática local es un componente fundamental para el establecimiento de medidas de adaptación frente a los cambios en el clima (Marín et al., 2014).

En este sentido, el presente documento presenta, por medio de mapas de temperatura y precipitación, el clima típico de la cuenca del Río Mantaro, a través de algunos análisis, como el promedio de lluvias y temperatura del aire para un periodo de

30 años (climatología de precipitación para 1981-2010 y de temperatura del aire para 1971-2000); la tendencia de cambio de índices climáticos (1965-2014); y las proyecciones del clima (2020-2039, centrado en el año de 2030). Además, se incluyen algunos conceptos básicos sobre clima, variabilidad climática y cambio climático que contribuirán a una mejor comprensión de los resultados.

Esta información se constituye en una importante herramienta para la determinación de los riesgos actuales frente al clima y su variabilidad, con la finalidad de estimar los posibles impactos de los cambios del clima a futuro, reducir la vulnerabilidad del territorio y tomar medidas de adaptación y mitigación en las áreas prioritarias de gestión. Algunos ejemplos de sectores importantes, directamente afectados por condiciones extremas del clima, son: agricultura, energía, industria, producción y distribución de bienes de consumo, planificación técnica, transporte, turismo, gestión de recursos hídricos y pesca (OMM, 2011).

ALGUNOS CONCEPTOS SOBRE CLIMA

En este documento se introducen algunos conceptos que ayudan a entender mejor el contenido de este documento. Además, también se explican algunas metodologías que son ampliamente usadas para conocer, de mejor manera, el clima de una región y sus posibles cambios a lo largo del tiempo.

Climatología, Tendencias de Índices Climáticos y Proyecciones de Cambio Climático

La climatología (o normales climáticas) son los valores promedio de una variable¹ durante un periodo de tiempo, por lo general de 30 años, según las recomendaciones oficiales de la OMM (OMM, 2011). Estas normales sirven de referen-

¹ Cualquier variable ambiental (para este estudio se utilizó precipitación y temperatura)



cia para comparar el comportamiento del clima año a año y las proyecciones del clima varias décadas en el futuro.

A partir de registros diarios de precipitación y temperatura, de por lo menos tres décadas, se calculan índices o indicadores predefinidos por la OMM para detectar posibles tendencias de cambio en las características del clima en una zona determinada. Estos índices permiten establecer, año por año, por ejemplo, la cantidad de lluvia acumulada, la intensidad de la lluvia, el número de días secos consecutivos, días lluviosos consecutivos, días muy lluviosos y extremadamente lluviosos, tardes cálidas, noches frías, la variación de temperatura entre el día y la noche, entre otros más.

Para las proyecciones a futuro, los procesos climáticos se pueden representar en términos matemáticos basados en leyes físicas. Debido a la cantidad y complejidad de dichos cálculos, éstos deben realizarse en computadores con alta capacidad de procesamiento. La representación del sistema climático, mediante ecuaciones matemáticas, se realiza en un programa informático, al que se denomina "modelo climático". Los modelos del sistema climático son, fundamentalmente, diferentes de los modelos puramente estadísticos, pues éstos se basan en correlaciones de variables registradas en el pasado, mientras que los modelos climáticos se basan en un conjunto de leyes físicas. Los modelos de cambio climático estiman el clima futuro basándose en algunos parámetros como, por ejemplo, la concentración de los Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, que variaría en las próximas décadas de acuerdo al desarrollo que tenga la sociedad global. De esta forma es posible estimar algunos parámetros como el incremento o reducción de la temperatura del aire (SENAMHI, 2012).

Clima, Variabilidad Climática y Cambio Climático

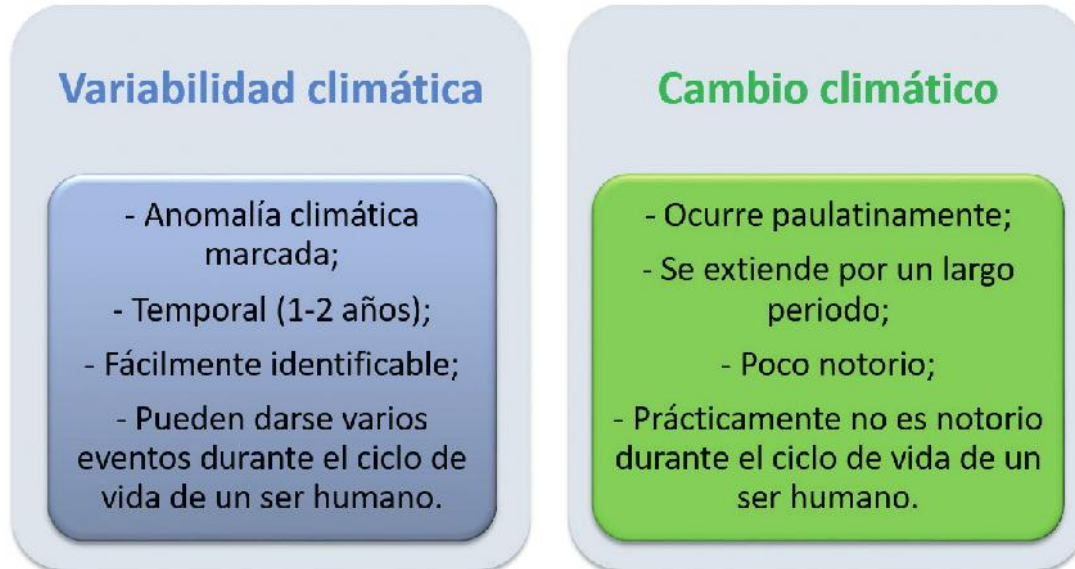
El clima es entendido, en su forma más simple, como el promedio de la medida de un parámetro en un tiempo y lugar determinado como, por ejemplo, la medida de temperatura en un mes o en muchos años. Es el resultado de la interacción de diferentes factores atmosféricos, biofísicos y geográficos. Estas interacciones determinan las características predominantes en una región.

Sin embargo, *cambios temporales* en la interacción de estos factores generan alteraciones en estas características predominantes del clima. A estos cambios temporales se les denomina **variabilidad climática**. Los eventos El Niño y La Niña, por ejemplo, son fenómenos que perturban las condiciones predominantes del clima en el planeta y es un factor clave para entender la variabilidad climática.

Por otro lado, el **cambio climático** se refiere a una variación gradual y permanente de las condiciones predominantes y de la variabilidad del sistema climático, que se mantiene durante varias décadas de manera sostenida. A pesar de que el cambio climático también está relacionado a factores naturales, las causas de las manifestaciones actuales estarían más asociadas a las actividades humanas que llevan a un incremento en la concentración de los GEI en la atmósfera, causados por cambios en el uso de la tierra, actividades industriales, transporte, entre otros. En la Figura 1 se muestra un resumen de los puntos clave para diferenciar la variabilidad climática del cambio climático.

Por lo tanto, la diferencia entre variabilidad climática y cambio climático se da en la *escala de tiempo*. La variabilidad ocurre en escalas de tiempo de meses, estaciones o hasta en algunos años, mientras que el cambio climático considera las diferencias que ocurren en un largo período de tiempo.

Figura 1. Diferencias claves entre los conceptos de variabilidad climática y el cambio climático.

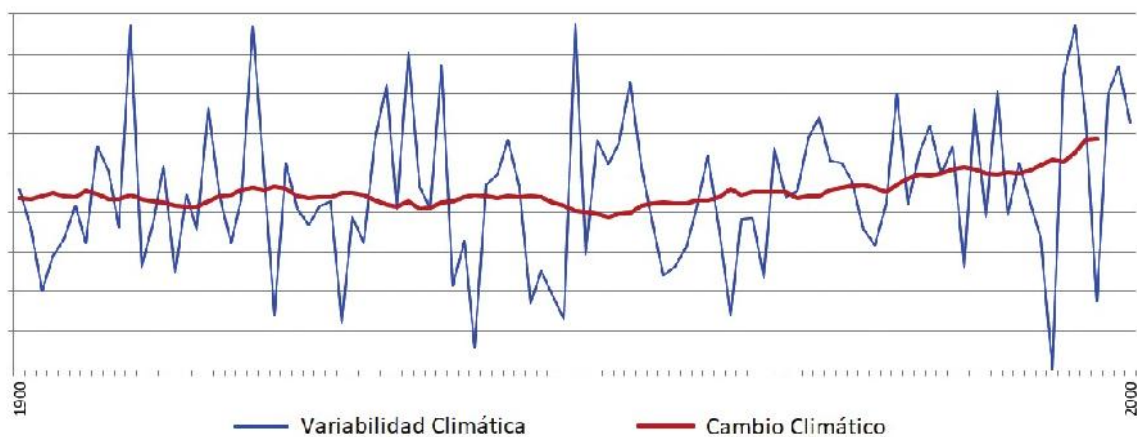


La clave para diferenciar las dos definiciones es la persistencia de la condición anómala, es decir, si no se da con mucha frecuencia y persistencia, es considerada variabilidad, pero si esta anomalía presenta frecuentes recurrencias e inclusive incremento gradual a largo plazo, se caracteriza como cambio climático (OMM, 2017a).

En la Figura 2, se puede observar un ejemplo de un gráfico con las líneas de evolución de la va-

riabilidad climática y del cambio climático. En el ejemplo se aprecia los cambios bruscos en la precipitación, a corto plazo, representado por la línea azul. Por otro lado, la línea roja muestra la evolución de las precipitaciones que ya evidencian un cambio climático. Se puede notar que al principio del siglo XX, el nivel promedio de precipitación era menor que al final del siglo, es decir, la precipitación promedio fue en aumento.

Figura 2. Ejemplo de gráfico mostrando las variaciones en la precipitación en el siglo XX en una región indeterminada. La línea azul representa la variabilidad climática, mientras que la línea roja el cambio climático.



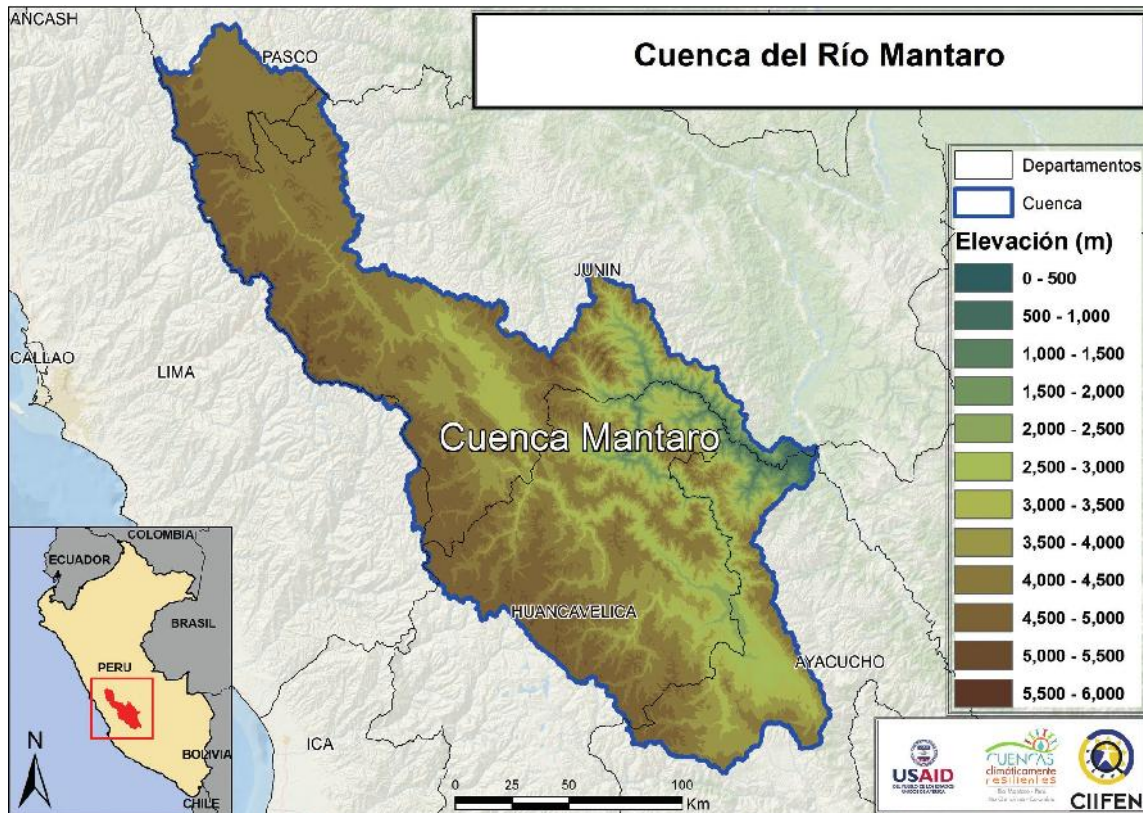


LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

UBICACIÓN

La cuenca del Río Mantaro se ubica en los Andes centrales del Perú y tiene una extensión aproximada de 35.000 Km² (Figura 3). Políticamente comprende territorios correspondientes a los departamentos de Junín, Huancavelica, Lima, Ayacucho, y Pasco así como 21 provincias. Pasco con dos provincias (Daniel Alcides Carrión y Pasco) que reúnen 12 distritos corresponde a la cuenca alta. Lima con una provincia (Yauyos) que reúnen dos distritos, el Departamento de Huancavelica con siete provincias (Huancavelica, Acobamba, Churcampa, Angares, Castrovirreyna, Huaytara y Tayacaja) que reúnen 68 distritos, Junín con ocho provincias (Huancayo, Concepción, Jauja, Chupaca, Tarma, Junín, Yauli, Satipo) que reúnen 100 distritos y que corresponde a la cuenca media. El departamento de

Ayacucho posee 3 provincias (Huanta, Huamanga y Cangallo) que reúnen 24 distritos pertenecientes al ámbito de la cuenca baja (ANA, 2015). Posee aproximadamente 340.000 hectáreas de tierras agrícolas que proveen alimentos para satisfacer, principalmente, la demanda de Lima. Menos de un tercio de estas tierras está provistas de riego, en la superficie restante se realizan cultivos de secano (sin irrigación). La cuenca, además, abastece con aproximadamente el 35% de la demanda del Sistema Nacional Interconectado Eléctrico (SEIN). En la cuenca se destacan, desde el punto de vista geomorfológico, la cordillera occidental, la cordillera oriental, depresiones como el lago Chinchaycocha, conos volcánicos y algunos valles interandinos (IGP, 2005a)

Figura 3. Localización de la cuenca del Río Mantaro en los Andes centrales de Perú.

PISOS TÉRMICOS

Debido a la variedad de altitud en la cuenca, también se observan gran variedad de pisos térmicos, que es un sistema de medida que indica el rango de temperatura de una región según la altura sobre el nivel del mar. Entre 500 y 1.000 metros sobre el nivel del mar (m.s.n.m.), la temperatura se acerca a los 27 °C. Al otro extremo, a más de 4.000 m.s.n.m., están las regiones con temperaturas inferiores a 7 °C (Tabla 1). Aunque haya variaciones estacionales en la temperatura del aire, a lo largo del año, la influencia de la altitud también es un factor influyente en el clima de una región.

De acuerdo a la temperatura del aire, en la cuenca se encuentran los cinco tipos de pisos térmicos: cálido, templado, frío, páramo bajo y páramo alto (Figura 4). A parte de los pisos térmicos, la humedad, presión, vientos, altitud, latitud,

Tabla 1.

Pisos térmicos y su relación con la temperatura del aire.

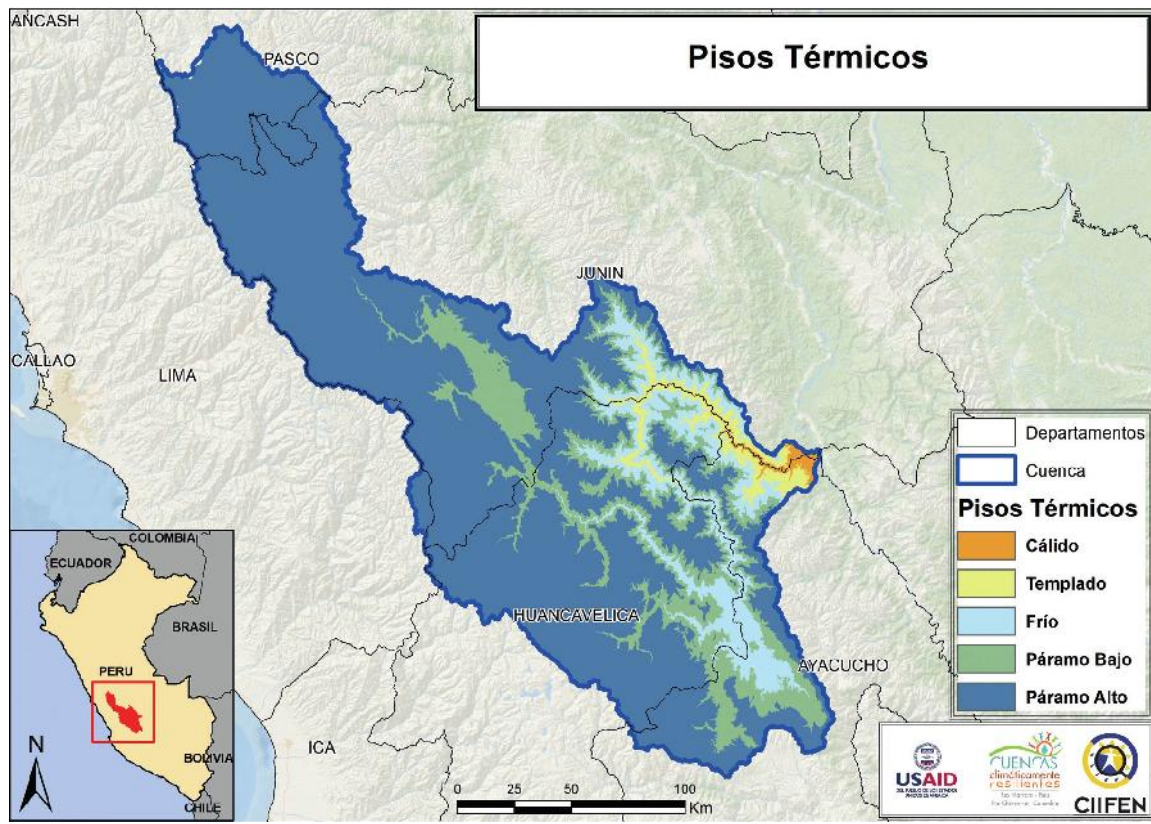
Piso Térmico	Altitud aproximada (m.s.n.m.)	Temperatura aproximada (°C)
Páramo alto	entre 700 y 4.200	menos de 7
Páramo bajo	entre 3.000 y 3.700	entre 12 y 7
Frío	entre 2.000 y 3.000	entre 12 y 18
Templado	entre 1.000 y 2.000	entre 18 y 24
Cálido	hasta 1.000	más de 24

Fuente: Ocampo, 2012.

relieve, influencia del océano y precipitación también son variables que influyen en el clima. Sin embargo, la temperatura del aire y la precipitación son las dos variables más importantes a considerarse en la vida cotidiana.



Figura 4. Mapa de pisos térmicos en la cuenca del Río Mantaro.



Fuente: Ocampo, 2012.





CLIMA DE LA CUENCA

En la cuenca del Río Mantaro, debido a su ubicación y extensión, se observa una gama de climas. El Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y el Instituto Geofísico del Perú (IGP) han realizado varios trabajos para la definición climática de la cuenca con base en datos de estaciones meteorológicas.

La clasificación del clima de la cuenca del río Mantaro se ha realizado siguiendo la metodología de clasificación de climas de *Thorntwaite* (1948). De acuerdo a esta clasificación, en la cuenca se observan los siguientes tipos de clima:

Al norte.- Clima semifrío² húmedo con lluvias, principalmente, entre diciembre y marzo; y seco, principalmente, entre abril y noviembre. Ciudades grandes como Cerro de Pasco, Junín y La Oroya se encuentran en esta zona.

Al sur.- Clima semifrío húmedo hacia el lado oriental, templado húmedo y frío húmedo al centro y semifrío húmedo al lado occidental de la región sur de la cuenca. Ciudades grandes como

Huancavelica, Churcampa, Acobamba, Huanta, Lircay y Ayacucho se encuentran en esta zona.

El régimen de precipitación en la cuenca del Río Mantaro tiene un ciclo anual bien definido dado por la migración de la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT)³, la corriente de Humboldt o corriente de Perú, el centro de alta presión atmosférica del Pacífico sureste y el centro de alta presión de Bolivia, entre los más importantes.

Por otro lado, la temperatura del aire tiene una variación diaria según las condiciones atmosféricas y la fluctuación de la radiación recibida. Las temperaturas máximas, usualmente, se registran después del mediodía, mientras que las mínimas se dan un poco antes de la salida del sol. Sin embargo, la variación de altitud también es un factor importante para la variación de temperatura. La gran variación altitudinal propicia la existencia de varios escenarios térmicos contrastantes, desde climas fríos de alta montaña hasta valles interandinos (IGP, 2005; SENAMHI, 2011).

² Semifrío - Clima propio de la sierra, se presenta entre los 3.000 y 4.000 metros sobre el nivel del mar. Es caracterizado por veranos lluviosos e inviernos con heladas.

³ La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) es la región del globo terrestre donde convergen los vientos alisios del hemisferio norte con los del hemisferio sur. Esta zona migra desde Centroamérica hasta Sudamérica durante el año.

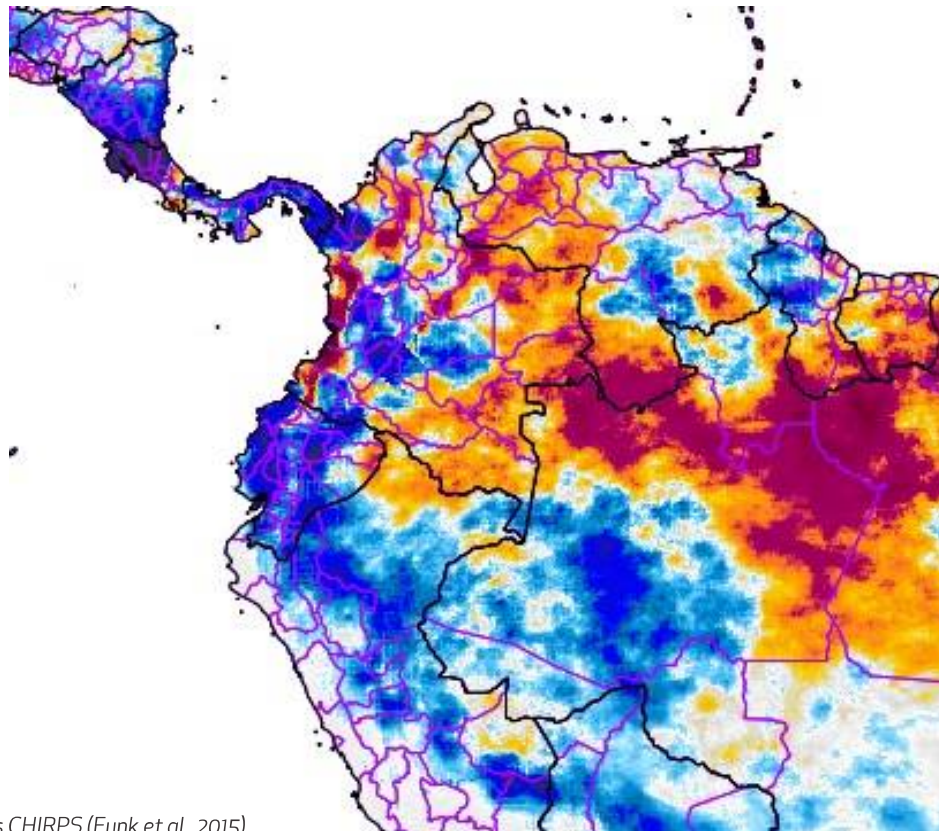


PRECIPITACIÓN

Los datos de precipitación, para el cálculo de promedios del clima mensual, fueron obtenidos de la base de datos "Climate Hazard group Infrared Precipitation with Stations" (CHIRPS), que combina datos de lluvia registrados por estaciones meteorológicas y datos de satélites meteorológicos (Figura 5). Los datos de estaciones meteorológicas provienen de las bases de datos de "Agromet Group of Food and Agriculture Organization" (FAO) y de "Global Historical Climate Network" (GHCN). CHIRPS también integra

datos de precipitación del "Tropical Rainfall Measuring Mission" (TRMM) y de "CMORPH microwave-plus-infrared". Estos datos son combinados con datos públicos y privados de estaciones meteorológicas alrededor del mundo, a través de una interpolación IDW (*Inverse Distance Weighting*). El producto final es una base de datos de lluvias desde 1981 hasta el presente. Los datos están organizados en cuadrículas de, aproximadamente, 6x6 kilómetros que cubren casi todo el planeta (50°S y 50°N) (Funk et al., 2015).

Figura 5. Imagen de exceso (azul) o déficit (rojo) de precipitaciones en Centroamérica y noroeste de Sudamérica (ejemplo para mayo de 2017).



Fuente: Base de datos CHIRPS (Funk et al., 2015)

Debido a la combinación de estos factores y otros más, en promedio, la mayor cantidad de lluvias en la cuenca se presentan desde diciembre hasta marzo (Figura 6). La mayor cantidad de precipitación se produce hacia el lado sureste de la cuenca, en donde durante el período de lluvias, en promedio llueve cerca de 280 mm⁴ por mes. Por otro lado, el noreste y sur de la cuenca presentan menos precipitación. En esta zona, durante el periodo de lluvia, en promedio llueve entre 80 y 120 mm por mes. Esta distribución espacial de la precipitación en la cuenca refleja el ingreso de los vientos cálidos y húmedos de la Amazonía en el extremo oriente de la cuenca y también la influencia de la topografía. Los valores de precipitación anual están alrededor de 2.000 mm en las partes más bajas de la cuenca.

Los meses de octubre a abril son responsables por aproximadamente 80% de la precipitación total anual, mientras que los meses de junio y julio corresponden al 5%. La variación mensual es muy marcada: en junio, julio y agosto se presentan los menores valores entre 0 y 80 mm.

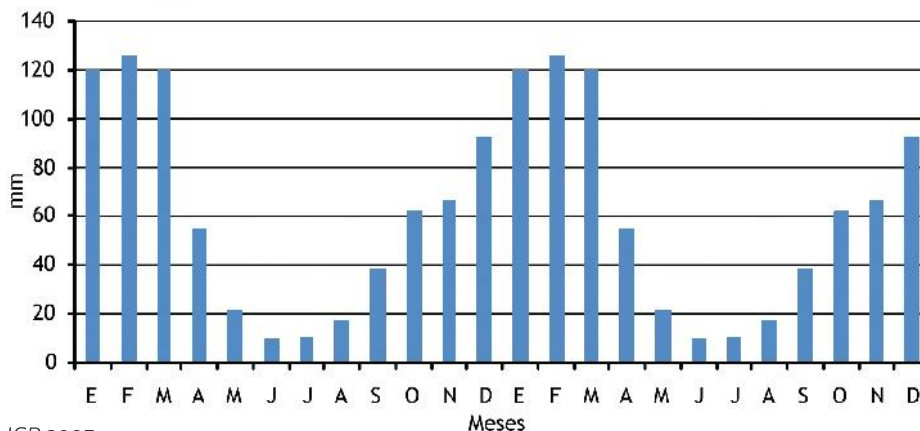
A partir de esta estación, la precipitación en la cuenca se incrementa, gradualmente, pasando a ser más significativa a partir de octubre, con valores de aproximadamente 140 mm.

El incremento en la precipitación sigue de forma gradual por los siguientes meses hasta alcanzar los valores máximos, de hasta 280 mm, en marzo. Enero, febrero y marzo son los meses de máxima precipitación en la cuenca; en abril la precipitación disminuye bruscamente, alcanzando valores mínimos nuevamente en junio y julio.

En consecuencia, las épocas lluviosas y secas en la cuenca son bien definidas, coincidiendo la primera con el verano y la segunda con el invierno, respectivamente. Sin embargo, en los meses de primavera, se inician las primeras lluvias y éste es el indicador que ha definido la temporada de siembra en la región andina de Perú, por lo tanto, el monitoreo de la precipitación en esta época también es importante (Figura 7.1 - 7.4) (IGP, 2005; SENAMHI, 2011). Para más detalles sobre la precipitación, referirse al Anexo 1, donde están disponibles todos los mapas mensuales de precipitación.

Figura 6. Gráfico de climatología de precipitación promedio para la cuenca del Río Mantaro (mm/mes).

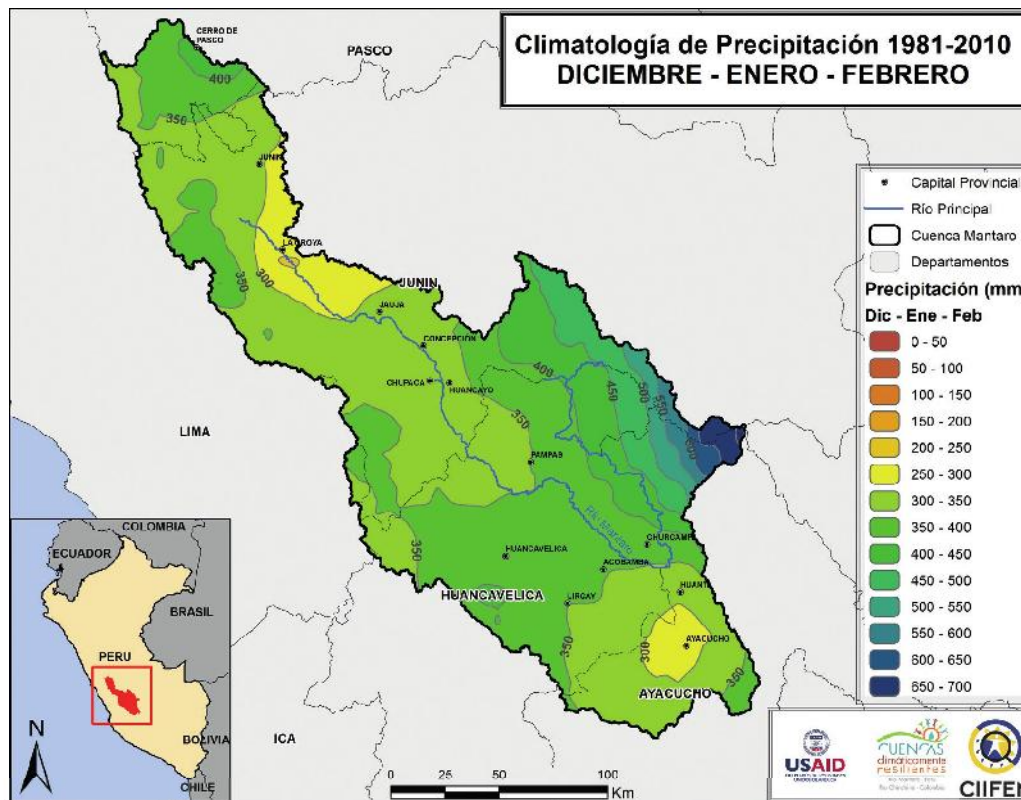
En el eje X se representan los meses, repitiendo los valores por dos años.



Fuente: IGP, 2005.

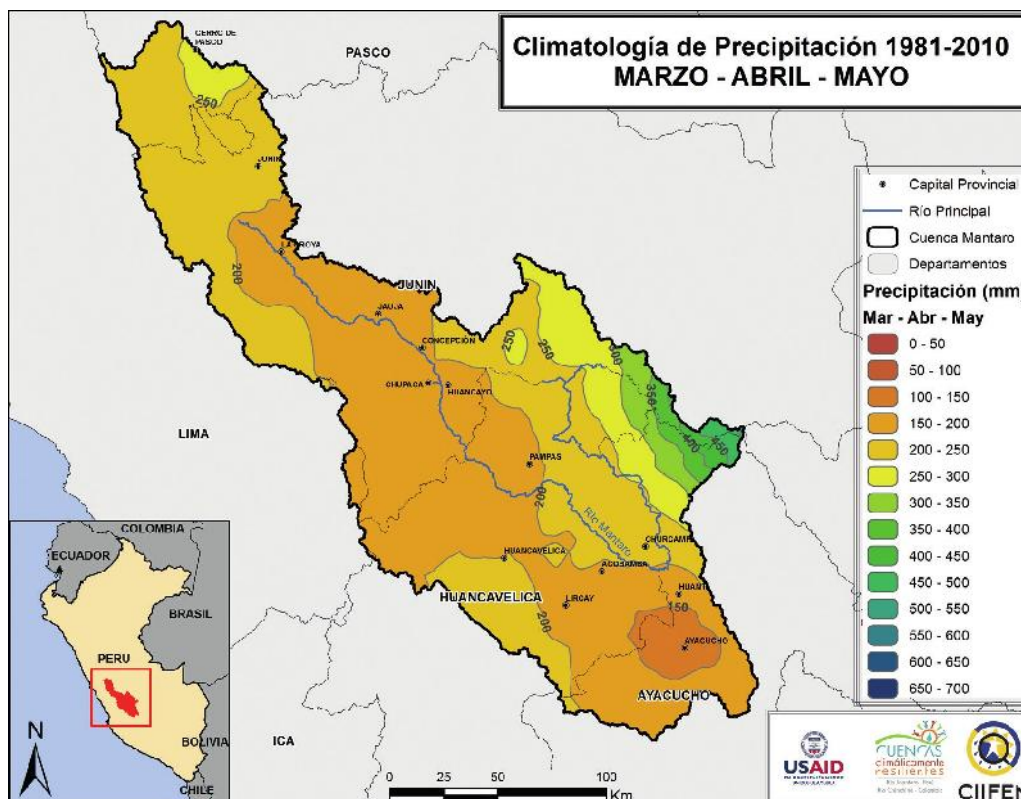
4 1 mm (milímetro) de lluvia equivale a 1 litro de agua por metro cuadrado.

Figura 7.1. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/trimestre) cuenca del Río Mantaro, para el período de 1981 a 2010 en el trimestre diciembre-febrero.



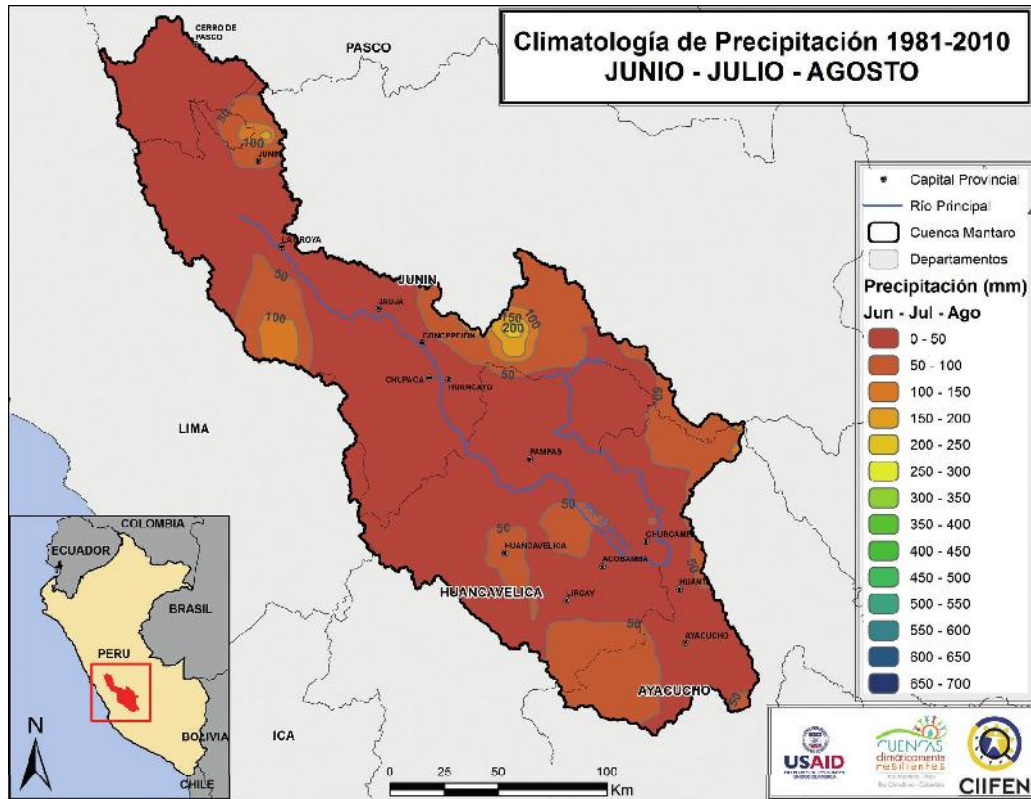
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 7.2. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/trimestre) cuenca del Río Mantaro, para el período de 1981 a 2010 en el trimestre marzo-mayo.



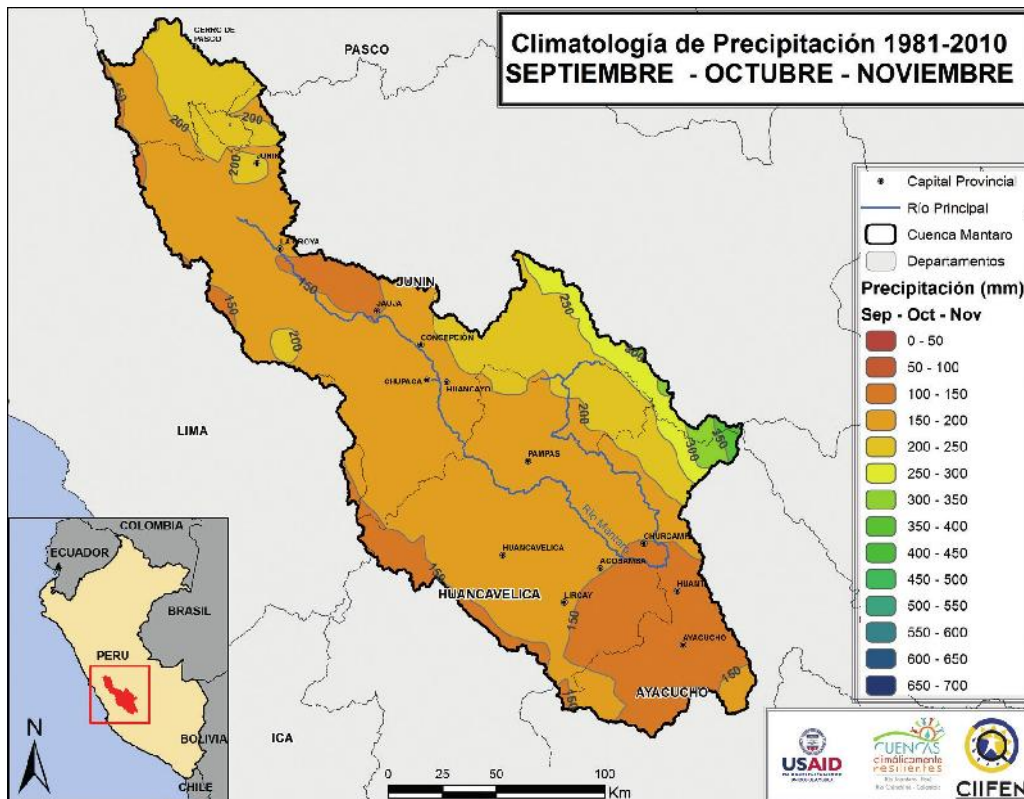
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 7.3. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/trimestre) cuenca del Río Mantaro, para el período de 1981 a 2010 en el trimestre junio-agosto.



Fuente: Funk et al., 2015.

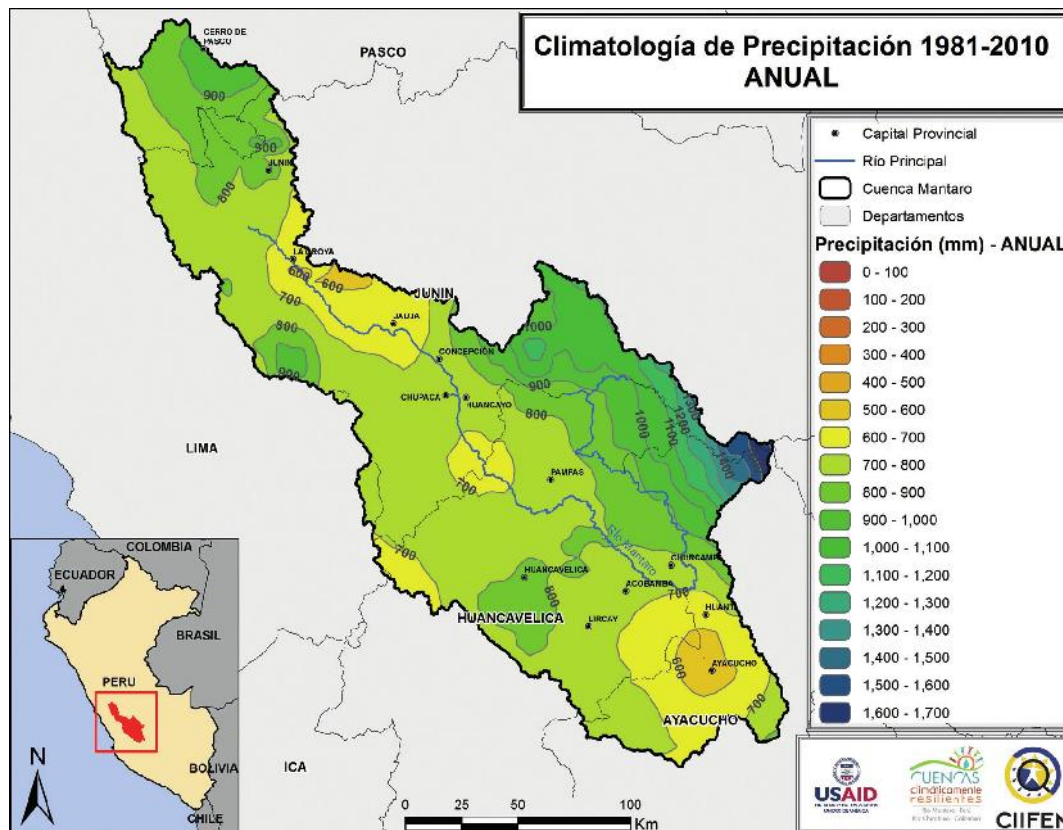
Figura 7.4. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/trimestre) cuenca del Río Mantaro, para el período de 1981 a 2010 en el trimestre septiembre-noviembre.



Fuente: Funk et al., 2015.



Figura 8. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/año) para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



Fuente: Funk et al., 2015.

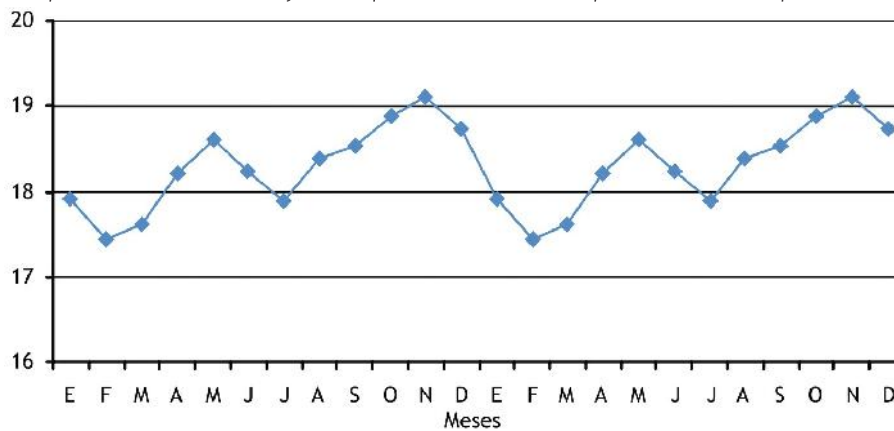
TEMPERATURA

Los datos de temperatura máxima y mínima del aire fueron obtenidos de estaciones meteorológicas del SENAMHI. Estos datos fueron procesados a partir de los cálculos del promedio multianual publicados en el estudio técnico-científico realizado por la misma institución en el Atlas Climático de Precipitación y Temperatura del Aire en la Cuenca del Río Mantaro, en el marco del Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales (SENAMHI, 2011).

La temperatura del aire en la cuenca, condicionada por las formas del relieve debido a su gran variación altitudinal, posee varios escenarios tér-

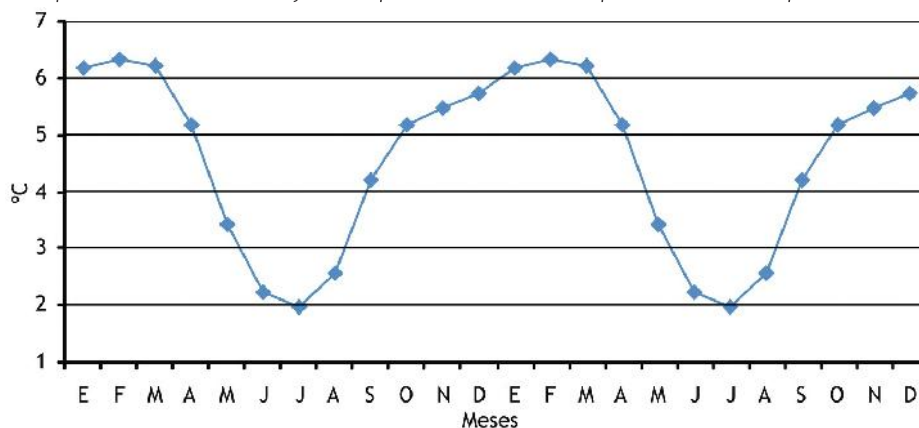
micos. Esto puede ser observado en los mapas de temperaturas máximas y mínimas, donde la variación de temperatura representada por la escala de colores, prácticamente reproduce la estructura geomorfológica de la cuenca, que acompaña el tramo del Río Mantaro hasta su desembocadura en el extremo oriente de la cuenca. Tanto las temperaturas máximas, cuanto las mínimas, presentaron sus mayores valores en el extremo sureste de la cuenca, en su parte más baja. En esta región, el promedio anual de la temperatura máxima para el período 1971-2000 presentó valores entre 25 y 28°C, con las temperaturas máximas disminuyen-

Figura 9. Gráfico de climatología de temperatura máxima del aire promedio en superficie (°C) para la cuenca del Río Mantaro para el período 1971-2000. En el eje X se representan los meses, repitiendo los valores por dos años.



Fuente: SENAMHI, 2011.

Figura 10. Gráfico de climatología de temperatura mínima del aire promedio en superficie (°C) para la cuenca del Río Mantaro para el período 1971-2000. En el eje X se representan los meses, repitiendo los valores por dos años.

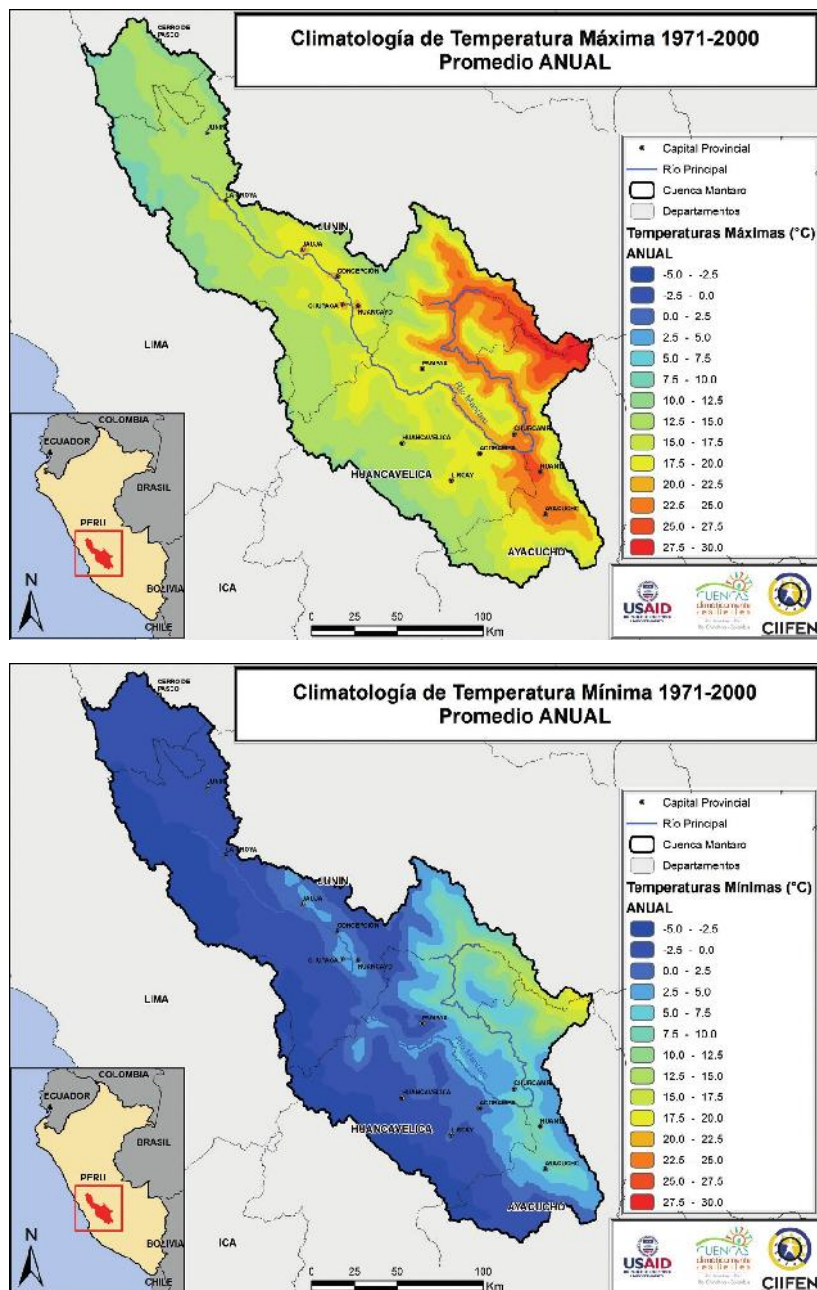


Fuente: SENAMHI, 2011.

do a medida que se eleva la altitud. En el otro extremo de la cuenca, en la región más occidental, se observaron los menores valores de temperatura máxima, entre 6 y 10°C. Las temperaturas mínimas extremas tienen un comportamiento semejante, es decir, también tienen una gran influencia

de la altitud. De la misma forma, los mayores valores de temperatura mínima de la cuenca se encuentran en el extremo oriental, alcanzando hasta 20°C, mientras que, del otro lado, en la parte más oriental, las temperaturas mínimas registraron -4°C (Figuras 9, 10 y 11) (IGP, 2005; SENAMHI, 2011).

Figura 11. Promedio multianual de la temperatura máxima (superior) y temperatura mínima (inferior) (°C) para el período de 1971-2000 en la cuenca del Río Mantaro.





TENDENCIA DEL CLIMA EN LAS ÚLTIMAS DÉCADAS

Investigaciones sugieren que el cambio climático puede ocasionar incrementos en el número e intensidad de eventos extremos en las zonas tropicales (Messerli e Ives, 1997; Lenderink, 2012). A fin de establecer tendencias de eventos extremos en el clima, en las últimas décadas, se tiene como consideración utilizar, por lo menos 30 años de datos diarios, generalmente de precipitación y de temperatura. Se recomienda esta cantidad de años para disminuir la posibilidad de analizar solo un segmento de un ciclo de largo plazo en el clima (ciclo que puede extenderse varias décadas). El clima puede presentar oscilaciones donde, durante varios años, las condiciones climáticas son predominantemente de una manera; y otros varios años en que predomina una condición opuesta. Pueden presentarse períodos donde, durante varios años, predominan estaciones con precipitaciones altas o temperaturas altas y luego períodos donde predominan estaciones con precipitaciones bajas o temperaturas bajas. De ahí la necesidad de abarcar la mayor cantidad de años que puedan cubrir ambas fases de un ciclo de largo plazo.

Otra consideración importante en este estudio es la utilización de resultados que provengan de fuentes u organismos oficiales. Para el caso del Perú, el SENAMHI es la institución a cargo de la observación meteorológica. El registro de datos meteorológicos requiere que las estaciones cumplan con los estándares establecidos por la OMM que, entre otras cosas, establece parámetros para la instalación de la estación, altura y ubicación de los instrumentos, períodos de calibración, horas de lectura de datos, formas de transmisión, formas de registro de datos, entre otras recomendaciones que permiten que los datos sean comparables entre las estaciones que cumplen con este procedimiento. Las estaciones y sus respectivas

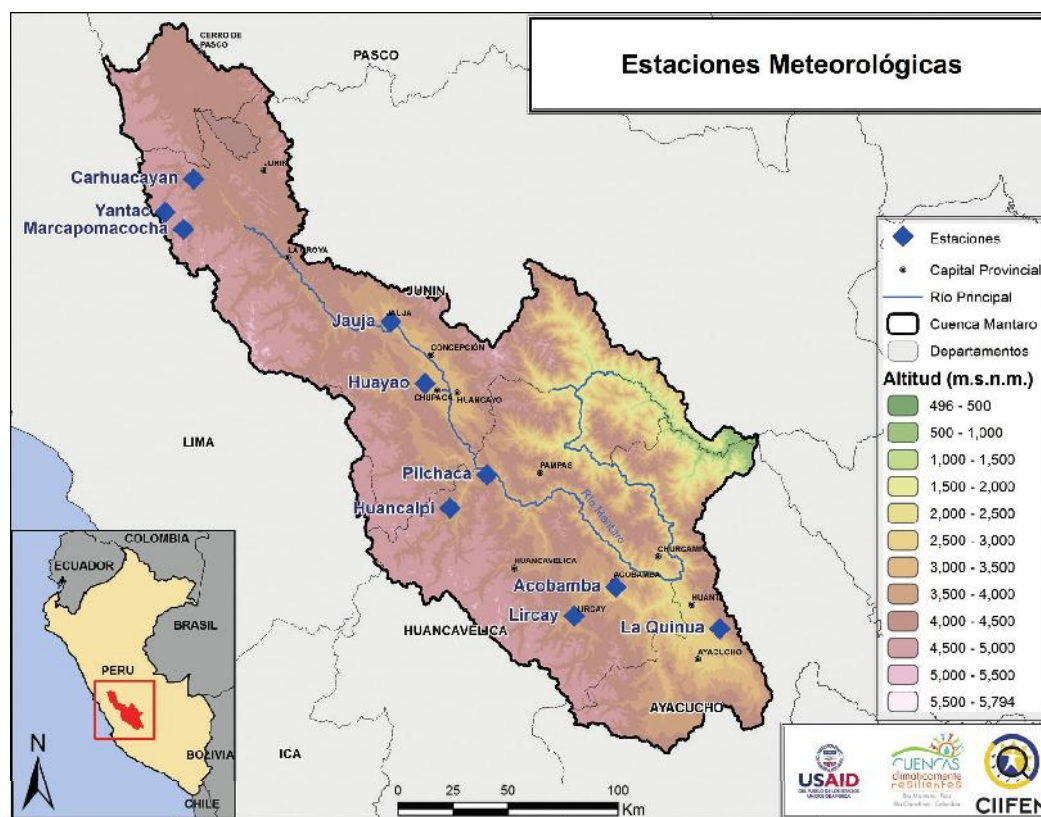
ubicaciones, utilizadas en el análisis, pueden ser observadas en la Figura 12. Los resultados son presentados de forma cualitativa y representan tendencias de aumento o disminución del respectivo índice.

La cobertura espacial y temporal de las estaciones en la cuenca permitió que se hiciera el análisis de los índices de tendencias, ya que cumplen los requisitos básicos, como por ejemplo, la cobertura temporal de, por lo menos 30 años de datos. Para el caso de las estaciones utilizadas, se analizó el período entre 1965 y 2014. Aunque los datos hayan sido satisfactorios, siempre se recomienda tener más registros pluviométricos, sobretodo en territorios irregulares y con grandes variaciones de altitudes, como lo es la cuenca del Río Mantaro. En el territorio analizado hay un déficit de datos de estaciones en la parte más baja de la cuenca, por lo tanto, los análisis de tendencias de índices no serán considerados para esta región.

Los resultados que se muestran fueron obtenidos por el SENAMHI-Perú en un estudio sobre índices de extremos climáticos desarrollado mediante el software libre RClmDex⁵, el cual permite el análisis de datos globales por medio de índices que representan los aspectos más extremos del clima. Este software calcula los 27 índices climáticos que han sido definidos y recomendados por el “Equipo de Expertos en Índices y Detección del Cambio Climático (ETCCDI, por sus siglas en inglés) de la “Comisión de Climatología” (CCI, por sus siglas en inglés) y del “Programa de Variabilidad y Predicibilidad Climática” (CLIVAR, por sus siglas en inglés). Para el presente estudio, se analizaron los diferentes índices asociados con eventos extremos de lluvia y temperatura. En la Tabla 2, se describen los nueve (9) índices calculados con RClmDex, su definición y unidades (Zhang et al., 2004).

5 RClmDex - <http://etccdi.pacificclimate.org/software.shtml>

Figura 12. Mapa con la ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas para el cálculo de tendencia de índices climáticos de precipitación con RCLimDex.



Fuente: SENAMHI, 2011.

Tabla 2. Listado de los 9 índices calculados con RCLimDex. Se relacionan a las variables de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima.

ID	NOMBRE DEL INDICADOR	DEFINICIÓN	UNIDAD
PRCPTOT	Precipitación total anual en los días lluviosos	Precipitación anual total en los días lluviosos (PRCP ≥ 1 mm)	mm
SDII	Índice simple de intensidad diaria	Precipitación anual total dividida para el número de días lluviosos (definidos por PRCP ≥ 1 mm) en un año	mm/día
CDD	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con PRCP < 1 mm	días
CWD	Días lluviosos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con PRCP ≥ 1 mm	días
R95p	Días muy lluviosos	Precipitación anual total en que PRCP > percentil 95	mm
R99p	Días extremadamente lluviosos	Precipitación anual total en que PRCP > percentil 99	mm
TXx	Máxima temperatura máxima	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria	°C
TNn	Mínima temperatura mínima	Valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria	°C
DTR	Rango diario de temperatura	Diferencia media mensual entre temperatura máxima (TX) y temperatura mínima (TN)	°C

Fuente: Zhang et al., 2004.



ÍNDICES DE PRECIPITACIÓN

En Sudamérica, desde 1970, la frecuencia e intensidad de las precipitaciones se han incrementado, sobre todo en la región norte de Perú, Ecuador, sur de Brasil, Paraguay, Uruguay y algunas regiones de Argentina. Mientras que, por otro lado, se observó una disminución en el centro-sur de Perú, norte de Bolivia, centro-sur de Chile y centro-sur de Argentina (Khan et al., 2007; Skansi et al., 2013). Sin embargo, no existe un patrón claro de incremento o decrecimiento. En Perú, se ha observado incrementos en el norte en las regiones costa y sierra, mientras que decrecimientos fueron observados en la Amazonía y sierra central. Estos patrones fueron, posiblemente, generados por los eventos intensos de El Niño 1982-83, 1997-98 y otros (SENAMHI, 2011).

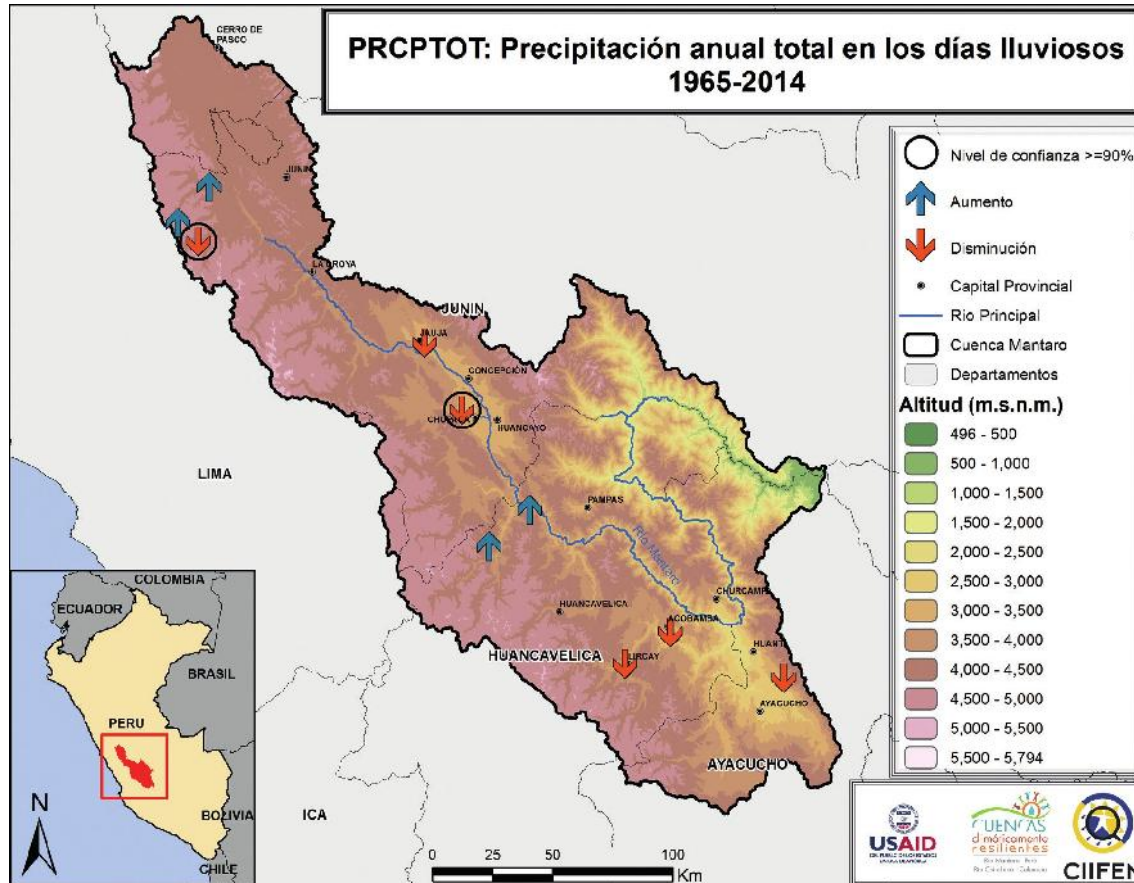
En las estaciones analizadas, las tendencias de precipitación para el periodo 1965-2014 fueron, por lo general, de disminución, donde los promedios anuales para las estaciones de Marcapomacocha y Huayao fueron las únicas que presentaron significancia estadística, ambas del 95%, y con tendencia de disminución de -7,3 mm/año y -2,8 mm/año, respectivamente. En las demás estaciones meteorológicas, las tendencias fueron igualmente de disminución, aunque sin la significancia estadística necesaria que permita concluir si la tendencia se debe realmente a un factor climático. La tasa de disminución en estas estaciones fue mayor de junio a agosto (invierno) (Tabla 3).

Tabla 3. Tendencia de precipitación total en mm/año para el periodo 1965-2014 en promedios anuales y estacionales, donde (+) representa 90% de significancia; (*) 95%; (**) 99%; (***) >99% y (NS) no hay significancia.

ESTACIÓN		ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
CARHUACAYAN	Significancia	NS	NS	+	NS	NS
	Tendencia	1.73	0.74	1.31	-0.15	0.15
YANTAC	Significancia	NS	NS	NS	NS	NS
	Tendencia	3.07	0.57	0.01	0.13	1.29
MARCAPOMACOCHA	Significancia	*	NS	NS	NS	NS
	Tendencia	-7.27	-4.16	-1.36	-0.28	-0.49
JAUJA	Significancia	NS	NS	NS	+	NS
	Tendencia	-2.53	-1.38	0.26	-0.25	-0.44
HUAYAO	Significancia	*	NS	+	NS	NS
	Tendencia	-2.77	0.58	-1.13	-0.18	-0.80
PILCHACA	Significancia	NS	NS	NS	NS	NS
	Tendencia	-2.04	-0.03	-0.64	-0.37	-0.33
HUANCALPI	Significancia	NS	NS	NS	NS	NS
	Tendencia	0.80	1.88	0.03	-0.24	0.88
ACOBAMBA	Significancia	NS	NS	NS	NS	*
	Tendencia	-1.45	1.18	-0.80	-0.25	-1.50
LIRCAY	Significancia	NS	NS	NS	NS	**
	Tendencia	-0.44	0.91	-0.30	-0.21	-1.51
LA QUINUA	Significancia	NS	NS	NS	NS	NS
	Tendencia	-1.34	-0.06	-0.18	-0.03	0.61

Fuente: SENAMHI, 2011.

Figura 13. Tendencia de la precipitación anual total para los días lluviosos en el período 1965-2014 calculado con RCLimDex.



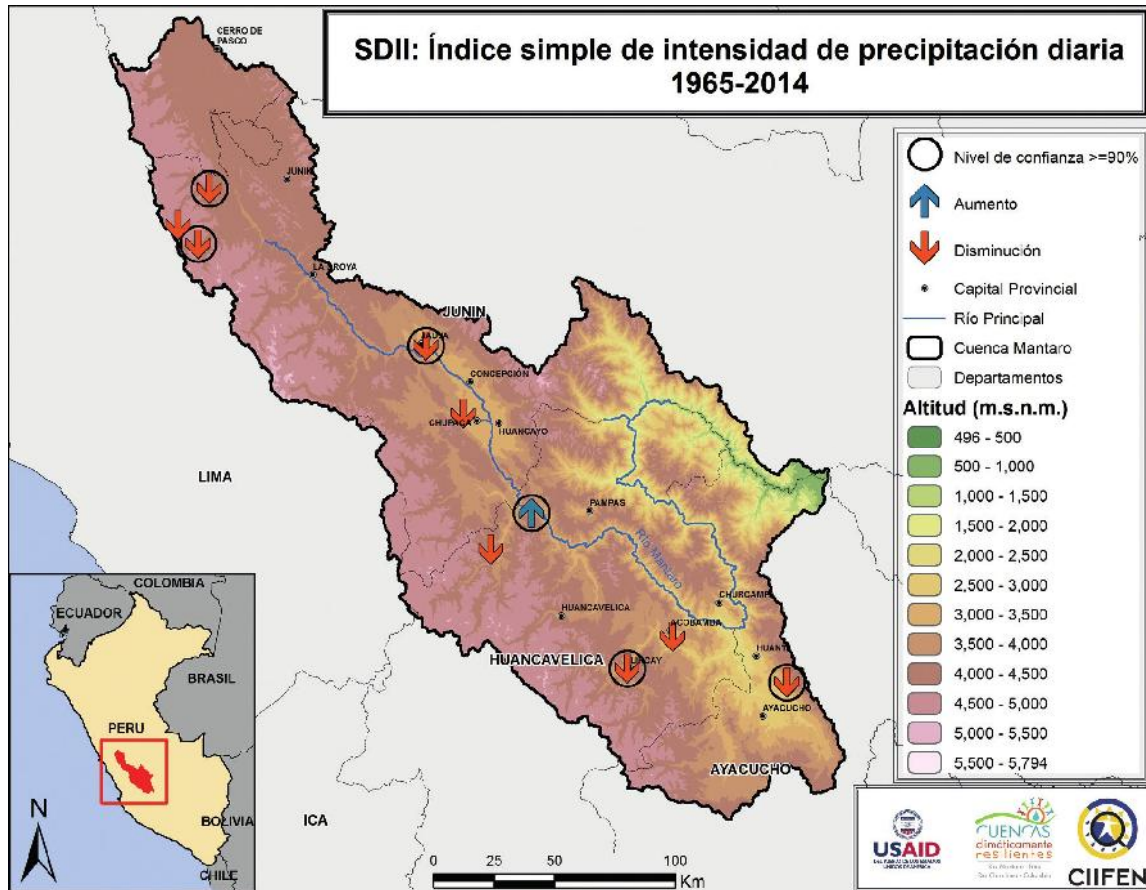
Fuente: SENAMHI, 2011.

En las siguientes figuras se muestran las tendencias encontradas para varios índices climáticos relacionados con la precipitación. En la Figura 13 se muestran los resultados para el índice PRCPTOT (Precipitación anual total en los días lluviosos) que indica la suma de la precipitación total de un año en milímetros; para considerar un día con precipitación es necesario que la suma de precipitación en el día sea de, por lo menos, 1 mm. Este índice sirve para evaluar si los años han sido más o menos lluviosos. De esta forma, se puede observar que la precipitación total anual en el período 1965-2014 ha mostrado una

tendencia a disminuir (flechas naranjas hacia abajo) en la mayoría de las estaciones meteorológicas analizadas, excepto en la zona central y norte de la cuenca (flechas azules hacia arriba). Las flechas encerradas en círculo son aquellas que tienen una tendencia con significancia estadística superior al 95%.

En la Figura 14 se muestra el mapa con los resultados del SDII (Índice simple de intensidad de precipitación diaria) que es la suma de la precipitación total de un año en milímetros, dividida por el número de días lluviosos en el año; para

Figura 14. Tendencia del Índice simple de intensidad de precipitación diaria en el período 1965-2014 calculado con RClímDex.



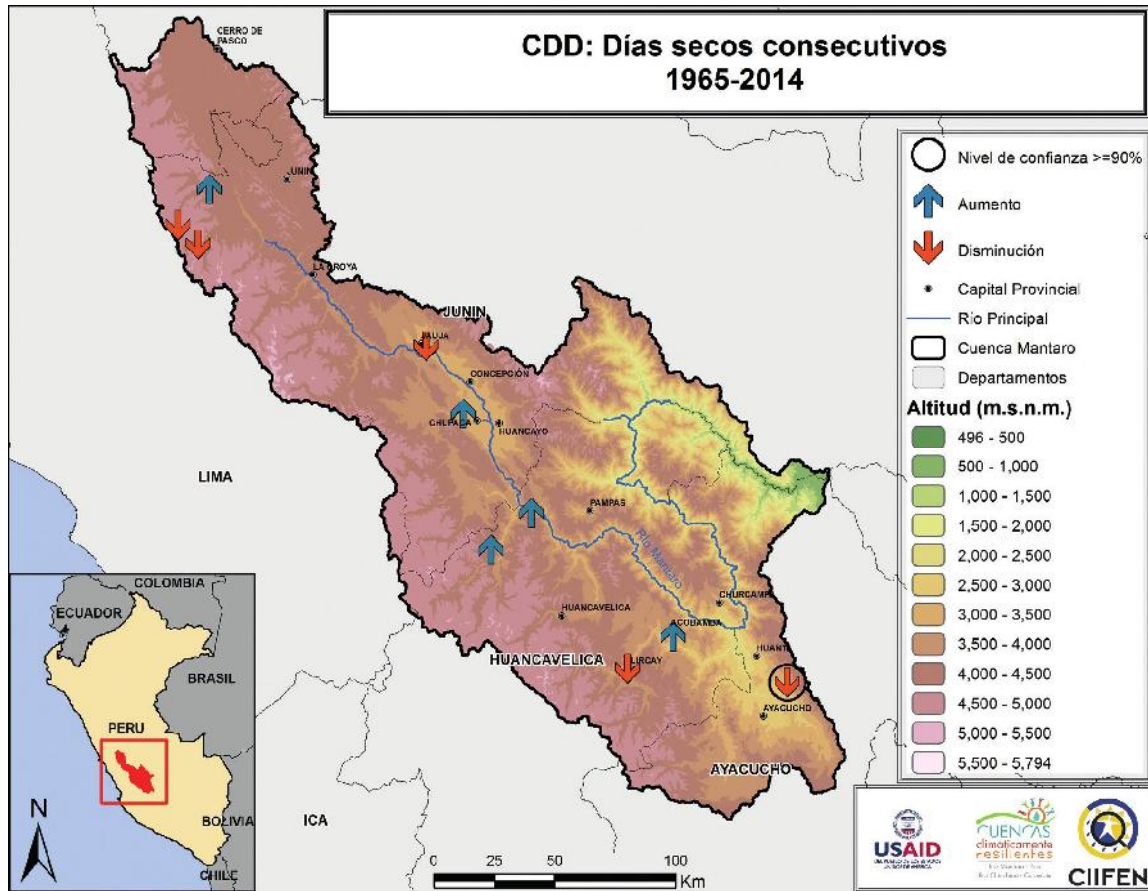
Fuente: SENAMHI, 2011.

considerar un día con precipitación es necesario que la suma de precipitación en el día sea de, por lo menos, 1 mm. Este índice sirve para evaluar si la intensidad de las lluvias ha incrementado o disminuido a lo largo de los años. El resultado ha mostrado una tendencia a disminuir la intensidad de las lluvias en casi toda la cuenca, con excepción de una única estación en la región central.

En la Figura 15 se observa el mapa de tendencia

del CDD (Días secos consecutivos) que contabiliza el número máximo de días seguidos sin precipitación. Un día sin precipitación es cuando no se observa, por lo menos, la suma de 1 mm de precipitación acumulada. Sirve para indicar si los años han presentado mayores o menores períodos secos. La parte central de la cuenca muestra, en general, una tendencia al aumento de días al año. Sin embargo, en algunas estaciones se puede observar lo contrario, como por ejemplo en la región de Ayacucho.

Figura 15. Tendencia de número máximo de días secos consecutivos en el período 1965-2014 calculado con RCLimDex.

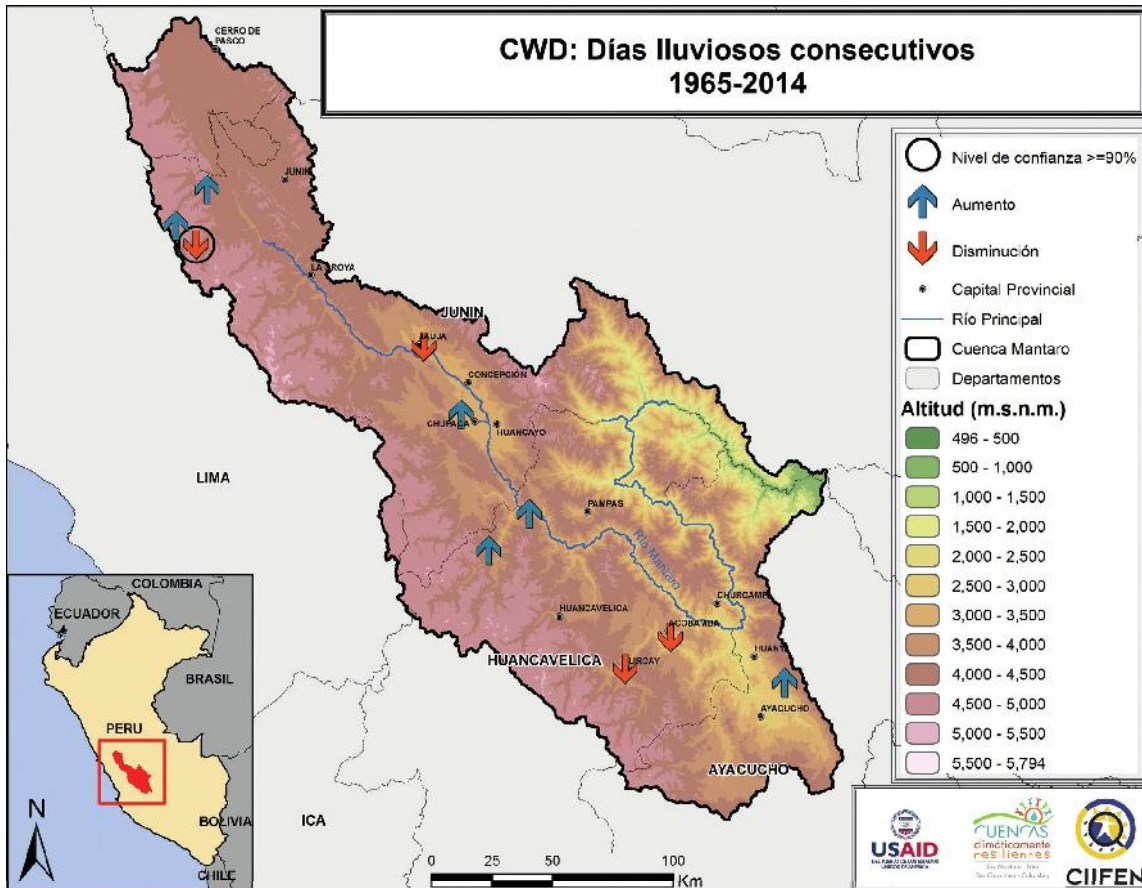


Fuente: SENAMHI, 2011.

En la Figura 16, el índice CWD (Días Lluviosos consecutivos) al contrario del anterior (Días secos consecutivos), contabiliza el número máximo de días continuos en un año donde se observaron precipitaciones que suman, por lo menos, 1 mm. Es utilizado para indicar si los años

han incrementado el número de días con lluvia. De esta forma, se pudo observar que en la parte central, en el norte y en la región de Ayacucho, hubo predominio de aumento de días lluviosos consecutivos, mientras que dos estaciones al sur presentaron disminución.

Figura 16. Tendencia de número máximo de días lluviosos consecutivos en el período 1965-2014 calculado con RCLimDex.



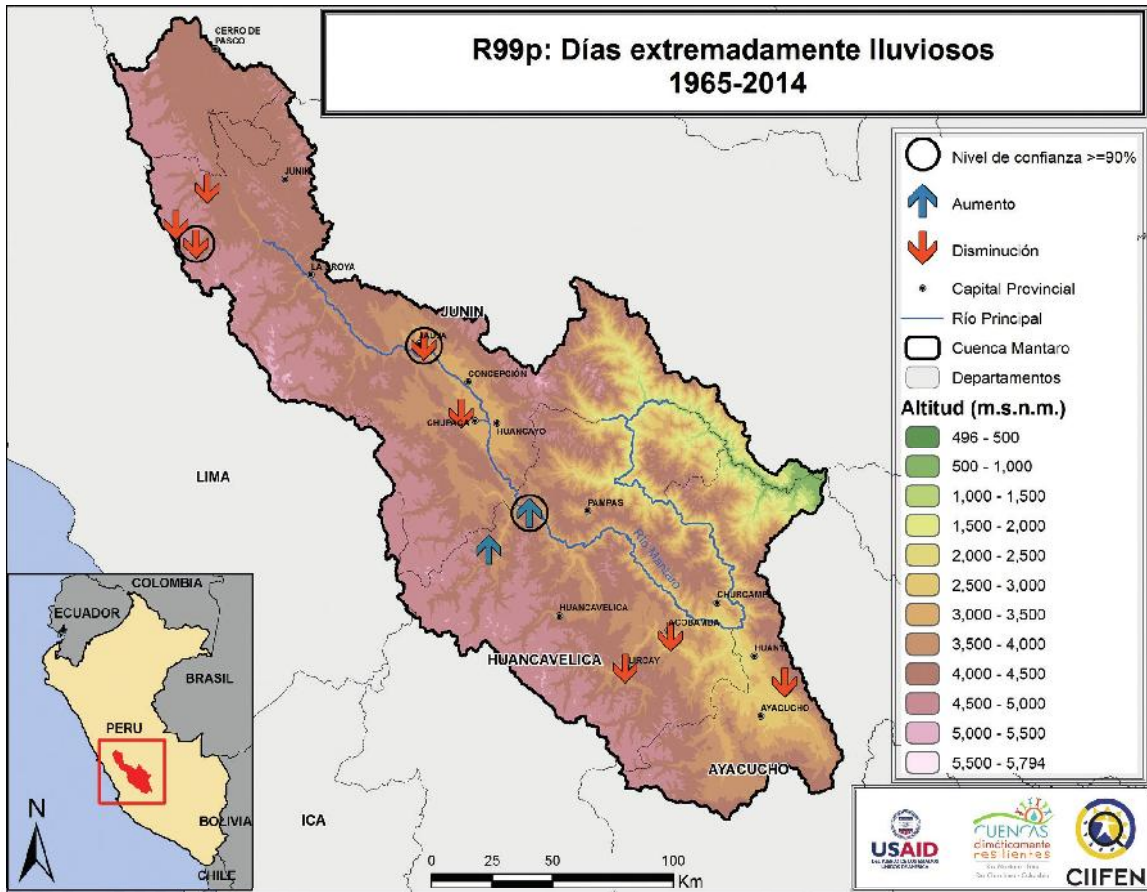
Fuente: SENAMHI, 2011.

El índice R95p (Días muy lluviosos) nos indica la tendencia de números de días con lluvias intensas en el año. Para entender este índice, primero hay que considerar todos los datos de precipitación de un año. Luego se organiza los días por cantidad de precipitación, es decir, el día o los días con más precipitación van a ser el R100, mientras que el día o los días con menor precipitación van a ser el R1. Así que el R95p re-

presenta los días muy lluviosos en el año. Este índice sirve para indicar la tendencia a disminuir o aumentar los días muy lluviosos en el año. El resultado permitió identificar una tendencia de disminución de los días muy lluviosos en casi toda la cuenca, con excepción de dos estaciones centrales que presentaron incremento (Figura 17).



Figura 18. Tendencia de días extremadamente lluviosos en el período 1965-2014 calculado con RClmDex.



Fuente: SENAMHI, 2011.

ÍNDICES DE TEMPERATURA

Para el análisis de tendencia de los índices de temperatura, la cantidad de estaciones con datos era menor: de las diez (10) utilizadas, solamente siete (7) poseían datos de temperatura. Los valores observados en las Tablas 4 y 5 indican que en cinco (5) de las siete (7) estaciones

analizadas, la temperatura del aire presentó tendencia a incremento en sus valores, tanto para las temperaturas máximas como mínimas en el período 1965-2014. Las únicas excepciones fueron las estaciones Jauja y Lircay, que presentaron disminución en las temperaturas

Tabla 4. Tendencia de temperatura máxima en °C/año para el período 1965-2014 en promedios anuales y estacionales, donde (+) representa 90% de significancia; (*) 95%; (**) 99%; (***) >99% y (NS) no hay significancia.

ESTACIÓN		ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
MARCAPOMACOCHA	Significancia	***	*	*	**	***
	Tendencia	0.03	0.02	0.03	0.03	0.03
JAUJA	Significancia	NS	*	NS	NS	NS
	Tendencia	-0.01	-0.02	-0.01	0.01	-0.01
HUAYAO	Significancia	***	**	***	***	***
	Tendencia	0.03	0.03	0.03	0.03	0.03
PILCHACA	Significancia	***	**	**	***	***
	Tendencia	0.04	0.04	0.04	0.04	0.03
ACOBAMBA	Significancia	***	**	**	*	***
	Tendencia	0.04	0.03	0.04	0.04	0.06
LIRCAY	Significancia	**	***	*	NS	NS
	Tendencia	-0.01	-0.03	-0.02	-0.01	-0.01
LA QUINUA	Significancia	NS	NS	NS	NS	*
	Tendencia	0.01	0.00	0.00	0.01	0.02

Fuente: SENAMHI, 2011.

Tabla 5. Tendencia de temperatura mínima en °C/año para el período 1965-2014 en promedios anuales y estacionales, donde (+) representa 90% de significancia; (*) 95%; (**) 99%; (***) >99% y (NS) no hay significancia.

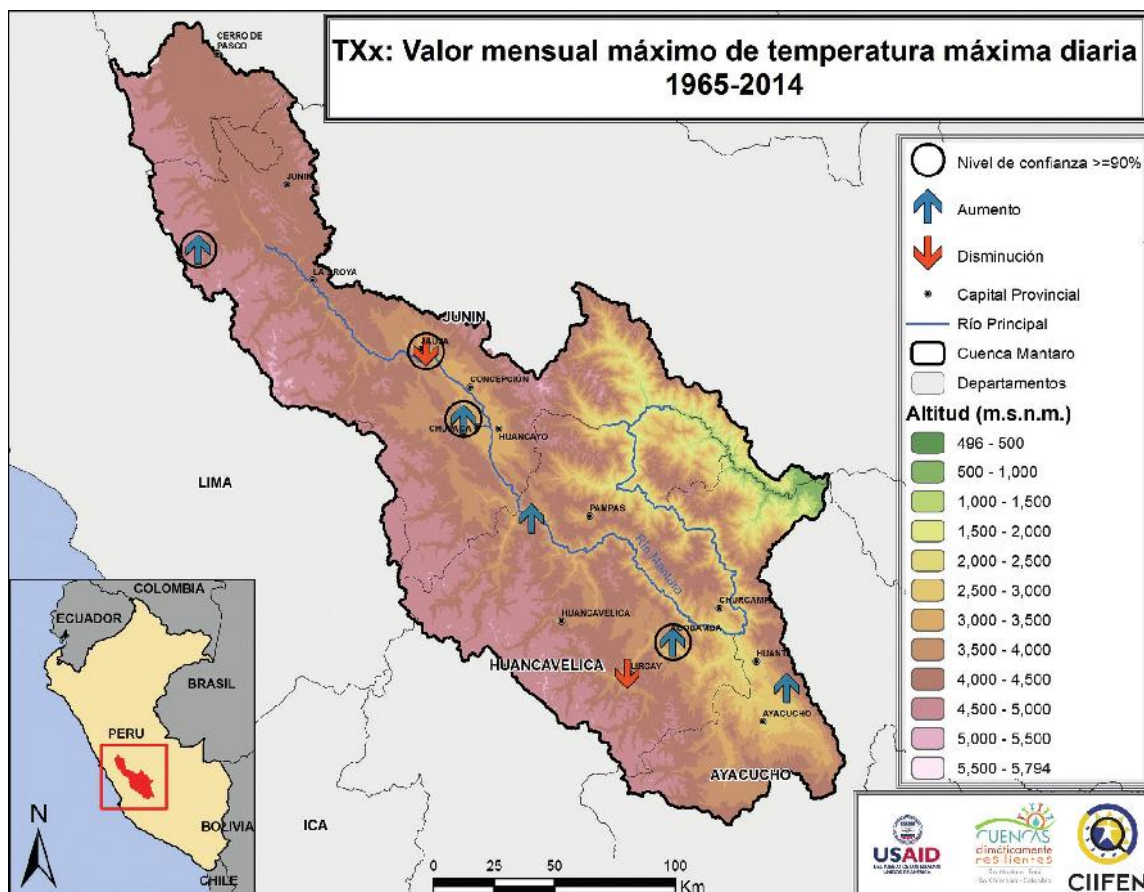
ESTACIÓN		ANUAL	DEF	MAM	JJA	SON
MARCAPOMACOCHA	Significancia	NS	**	NS	NS	NS
	Tendencia	0.01	0.03	0.01	0.00	0.01
JAUJA	Significancia	NS	NS	+	***	+
	Tendencia	-0.01	0.01	-0.01	0.06	-0.02
HUAYAO	Significancia	*	*	*	NS	NS
	Tendencia	0.01	0.01	0.02	0.01	0.00
PILCHACA	Significancia	*	**	NS	NS	NS
	Tendencia	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01
ACOBAMBA	Significancia	***	***	***	***	***
	Tendencia	0.07	0.10	0.08	0.04	0.07
LIRCAY	Significancia	*	***	+	NS	*
	Tendencia	0.02	0.03	0.02	0.01	0.03
LA QUINUA	Significancia	**	**	***	***	**
	Tendencia	-0.06	-0.06	-0.06	-0.07	-0.05

Fuente: SENAMHI, 2011.

Para entender el índice TXx (Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria) debe considerarse que en un mismo día se tienen temperaturas máximas y mínimas. El índice TXx considera solamente las temperaturas máximas del día utilizando la media mensual de las mismas. Lo que hace es comparar los promedios mensuales de

las temperaturas máximas para identificar si a lo largo de los años han incrementado o disminuido los valores máximos. La cuenca del Mantaro presentó tendencia creciente en los valores máximos mensuales en cinco (5) de las siete (7) estaciones analizadas (Figura 19).

Figura 19. Tendencia del valor mensual máximo de temperatura máxima para el período 1965-2014 calculado con RCLimDex.

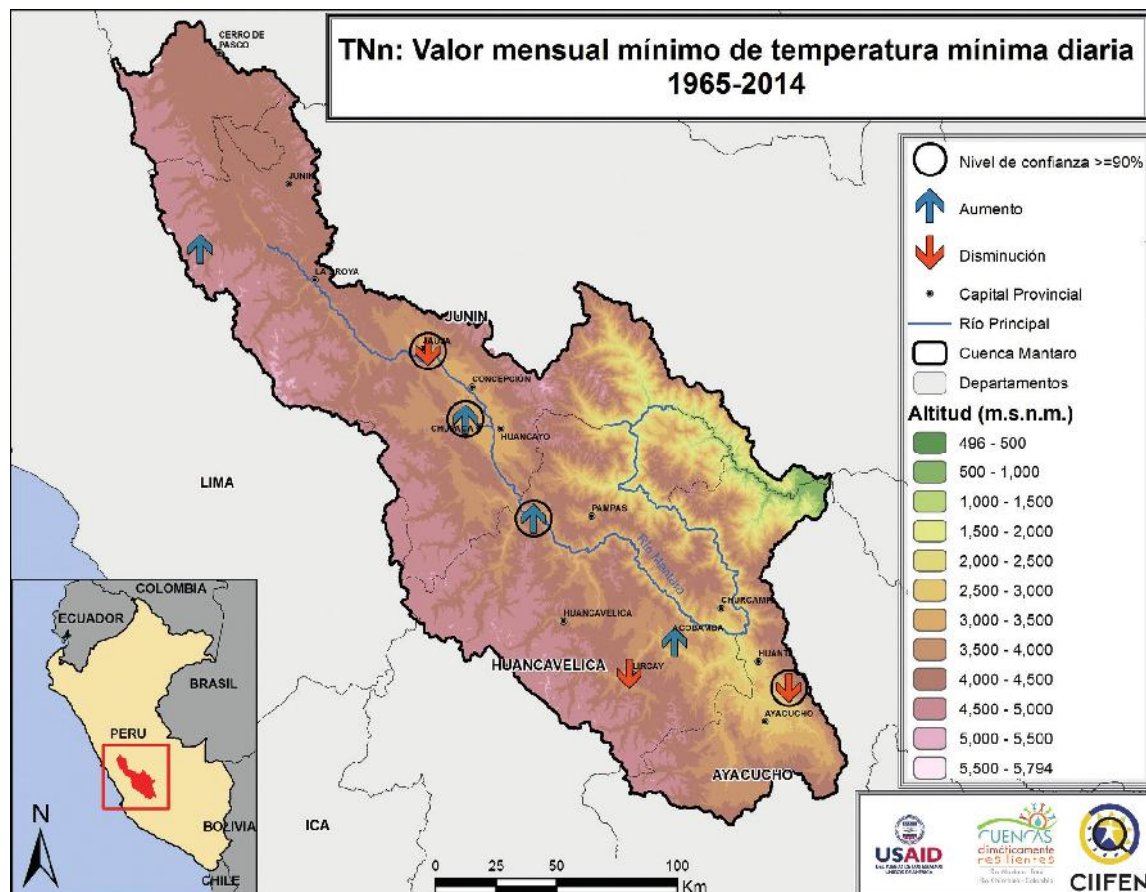


Fuente: SENAMHI, 2011.

El TNn (valor mensual mínimo de temperatura mínima diaria) sigue el mismo principio del índice anterior (TXx), sin embargo, utiliza las temperaturas mínimas. Por lo tanto, utiliza solamente las temperaturas más bajas del día para generar un promedio mensual. Su resultado va a ser la tendencia de incremento o disminución de

las temperaturas mínimas entre los años. En la cuenca del Mantaro se observó un aumento de los valores mínimos mensuales en cuatro (4) de las siete (7) estaciones analizadas. En la región sur de la cuenca, dos (2) estaciones presentaron tendencia a incrementos (Figura 20).

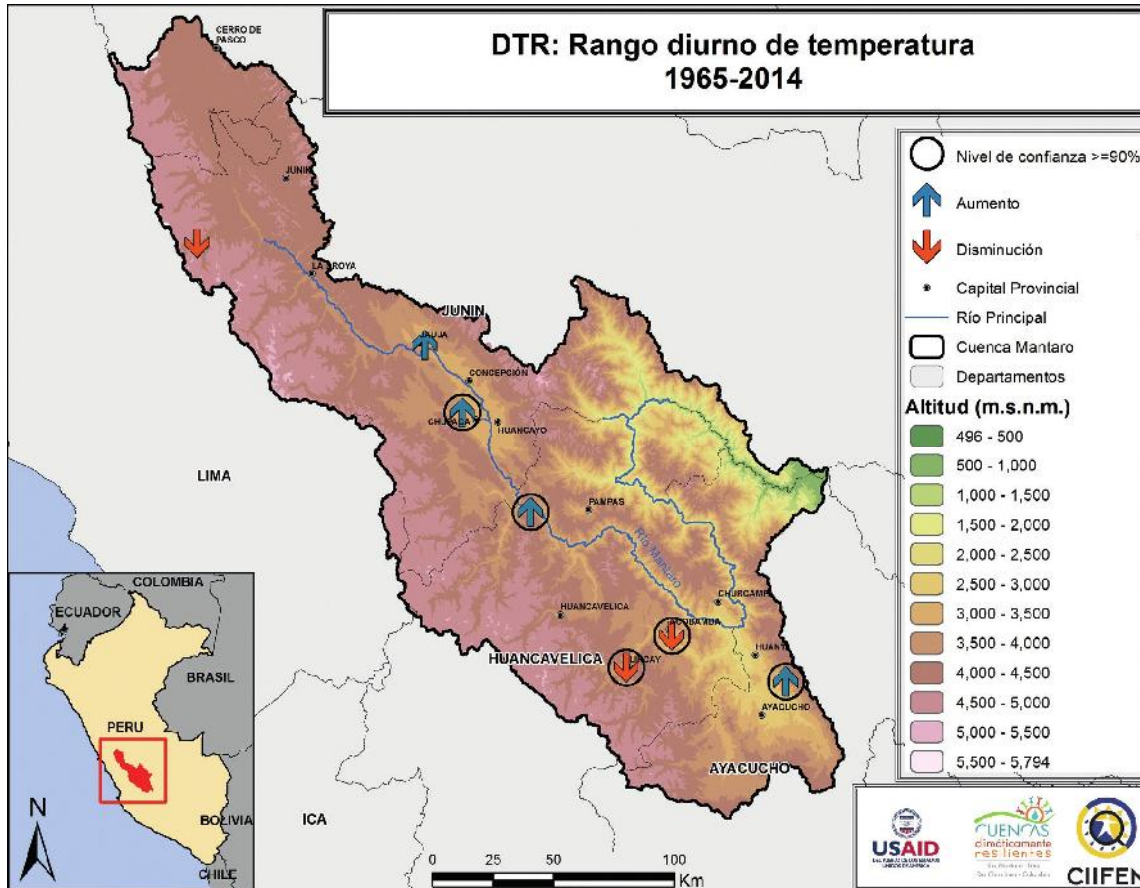
Figura 20. Tendencia del valor mensual mínimo de temperatura mínima en el período 1965-2014 calculado con RCLimDex.



El DTR (rango diario de temperatura) mide la diferencia media mensual entre la temperatura máxima y mínima, es decir, es un índice para medir la diferencia entre estos dos extremos diarios. Se sustrae la temperatura mínima de la máxima en el día y con este valor se hace un promedio mensual. Los promedios son comparables entre los años analizados para identificar si ha habido incrementos o disminución en los

extremos, sin embargo, no indica si la diferencia está en la temperatura máxima o en la mínima, por lo tanto, se sugiere acompañar este análisis de los dos índices anteriores TXy y TNn. En Mantaro se presenta una tendencia al aumento en la amplitud del rango en la zona central de la cuenca y en la región de Ayacucho. Mientras que la estación ubicada en la región norte y dos en el sur presentaron reducción. (Figura 21).

Figura 21. Tendencia del rango diario de temperatura en el período 1965-2014 calculado con RCLimDex.



Fuente: SENAMHI, 2011.

Resumen de las tendencias

De esta forma, se pudo observar que para el período comprendido entre 1965 y 2014, en distintos puntos de la cuenca del Río Mantaro, hubo una tendencia a la disminución de las precipitaciones, principalmente, en los índices de precipitación anual total, intensidad de precipitación diaria, días muy lluviosos y extremadamente lluviosos. Según el SENAMHI (2011), en la estación más lluviosa (verano), la tendencia de las precipitaciones fue decreciente, al igual que en la estación menos lluviosa (invierno) donde también hubo predominio de

reducción de la precipitación. Este resultado fue observado, igualmente, para las otras dos estaciones (otoño y primavera), que son las dos más importantes para definir la temporada de siembra.

En relación a la temperatura, se observaron tanto aumentos como disminuciones en los valores. Sin embargo, el incremento en los valores de temperaturas, tanto máximas como mínimas, se presentó en la mayoría de la cuenca, lo que quiere decir que, en general, la cuenca presentó tendencia a calentarse en el período entre 1965-2014 (SENAMHI, 2011).

PROYECCIONES DE CAMBIO CLIMÁTICO

Perú como parte de la región andina tropical es uno de los países más afectados por las consecuencias del cambio climático. Por esta razón, hay una mayor necesidad en tratar de cuantificar y reconocer las proyecciones a futuro del clima, a fin de tener una buena planificación de estrategias de adaptación y mitigación. Estudios previos en la región mencionan cambios, tanto en la temperatura cuanto en la precipitación, de la región sur de Perú. Los patrones térmicos, por lo general, presentaron calentamiento, mientras que la precipitación no presentó un patrón definido; es decir, se observaron tanto incrementos como reducciones. Además, las tendencias de cambios en los eventos extremos, tanto en frecuencia como intensidad, han generado afectaciones severas en la productividad del sector agropecuario, en la biodiversidad y la disponibilidad del recurso hídrico.

La forma de conocer los posibles impactos del cambio climático en una región específica es a través de las proyecciones, a escalas regionales, con la menor escala posible, lo que genera más detalle para que se puedan realizar análisis de riesgo y vulnerabilidad locales.

En este sentido, las proyecciones que han tenido más desarrollo son las obtenidas de modelos climáticos que se basan en ecuaciones que simulan las características físicas, químicas y biológicas de los ecosistemas y también las interacciones con la geografía local, considerando distintos escenarios de desarrollos demográficos, sociales, económicos, tecnológicos y ambientales. Estos modelos también incluyen información de las emisiones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) futuras que son generados por modelos socio-económicos utilizados para

explorar la posible evolución de emisiones (Nakicenovic et al., 2000)

Los modelos utilizados son una combinación de modelos climáticos globales y regionales del IPCC, donde se implementaron técnicas de regionalización dinámicas y estadísticas. Las proyecciones dinámicas están disponibles a una resolución espacial de 20 km. Estas fueron complementadas con un downscaling estadístico multivariado, es decir, se realizó una relación empírica entre una variable predictora (independiente) y una variable a ser predicha (dependiente), que en este caso fueron, la Temperatura Superficial del Mar (independiente) y la precipitación y temperatura del aire (dependiente). Los valores fueron obtenidos para el período 2020-2039, centrado en el año 2030 con referencia al período entre 1971-2000 (SENAMHI, 2012).

Para la proyección del clima a largo plazo, los modelos climáticos requieren información de las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI), que son obtenidas a través de modelos socio-económicos. Los escenarios de emisión son proporcionados por el IPCC en el Informe Especial sobre los Escenarios de Emisión -IE-EE (SRES, por sus siglas en inglés) (Nakicenovic et al., 2000). Las etiquetas (o familias) son definidas como A1, A2, B1 y B2, de acuerdo con las condiciones que evolucionarían en los distintos escenarios de emisiones. Estas líneas evolutivas históricas representan diferentes desarrollos sociales, económicos, tecnológicos y ambientales de la sociedad humana que podrían influir en las emisiones futuras (SENAMHI, 2012). De las cuatro familias (Figura 22), se tienen seis grupos de escenarios: A2, B1 y B2 con un escenario cada una; y tres para A1: A1F1 caracterizado por el uso

de energías fósiles; A1B caracterizado por el equilibrio entre energías fósiles y renovables; y A1T donde predominan las energías renovables.

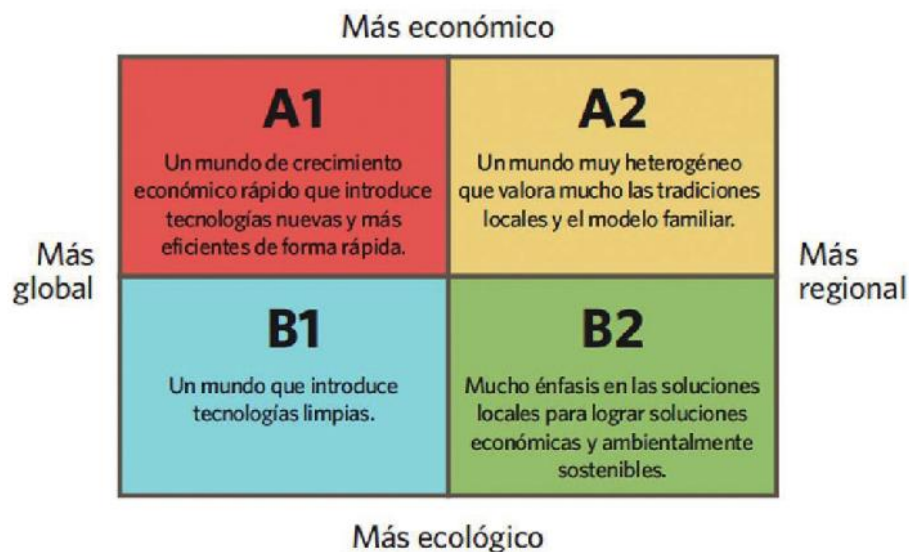
El A1 describe el mundo con un crecimiento económico rápido, población global que llega a su pico en la mitad del siglo y luego decae y con nuevas y eficientes tecnologías. También se consideran mayores convergencias entre las regiones, es decir, menos diferencias culturales y sociales y con más capacidades. Dentro de esta familia están los tres grupos con diferentes sistemas energéticos.

El A2 describe un mundo bastante heterogéneo, con autosuficiencia y la preservación de las identidades locales. La población seguiría incrementándose, el desarrollo económico sería regionalizado y la tecnología se desarrollaría de forma más lenta y fragmentada.

Para la familia B1, la población tendría su pico de crecimiento en la mitad del siglo y luego se reduciría, sin embargo, la economía sufriría cambios estructurales y tendría la introducción de tecnologías más eficientes. Se daría énfasis en soluciones globales a la economía, en la sostenibilidad, pero sin iniciativas climáticas.

La familia B2 describe el mundo en el cual se enfatizan las soluciones locales para la economía, la sociedad y la sostenibilidad ambiental. Con continuo crecimiento poblacional a una tasa no tan alta, niveles intermedios de desarrollo económico y cambios tecnológicos menos rápidos y más diversos. Este escenario es orientado a la protección ambiental y equidad social (Nakicenovic et al., 2000).

Figura 22. Grupos de escenarios de cambio climático.



Fuente: Nakicenovic et al., 2000.

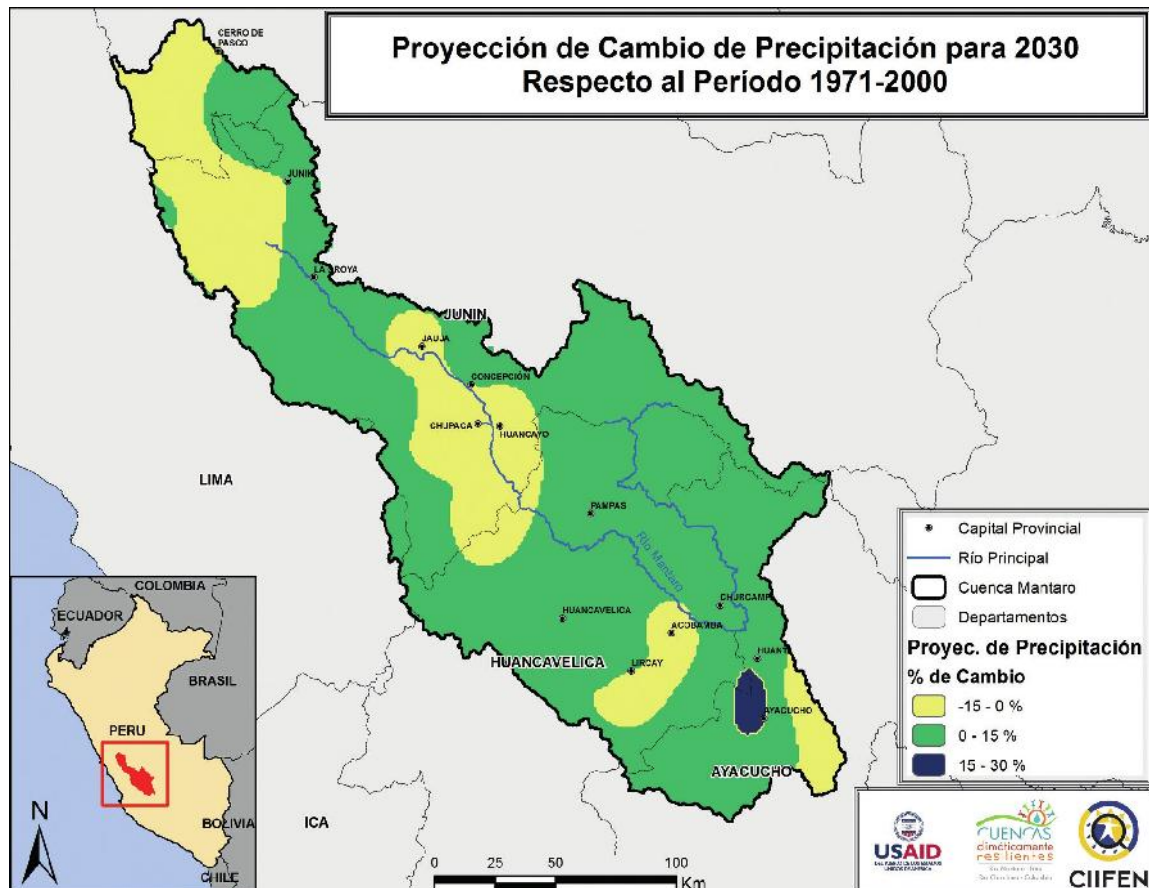
El escenario utilizado por SENAMHI (2012) y, por lo tanto presentado en este trabajo, fue el A1B, de la familia de los A1 del IE-EE del IPCC, donde se espera que en el futuro haya un rápido crecimiento económico, con tecnologías nuevas y más eficientes, y un equilibrio entre las fuentes de energías fósiles y renovables.

Precipitación

Los resultados muestran que la precipitación no se simula tan fácilmente como la temperatura, debido a que involucra procesos locales complejos. En el caso de la cuenca de Mantaro, la geodiversidad de la región andina es el factor limitante. Los resultados muestran que para el final del período lluvioso (otoño), las precipita-

ciones se incrementarían entre 30 y 45% en la parte baja de la cuenca, en el sector más oriental. Mientras que se presentaría una reducción entre 30 y 45% al final del período seco (invierno) en la parte alta de la cuenca, en el sector más occidental. En las otras estaciones (verano y primavera), los cambios estarían dentro de su variabilidad natural que sería entre -15 y 15% en distintas áreas de la cuenca, destacándose un incremento más puntual en el sur. Por lo tanto, en el promedio anual de la precipitación se presenta reducción en el sector noroccidental y central de la cuenca. Por otro lado, el incremento de hasta 15% se presenta en el resto de la cuenca, destacándose la región de Ayacucho, al sur, con cambios de hasta 30% (Figura 23) (IGP, 2005a; SENAMHI, 2012).

Figura 23. Proyección del cambio de la precipitación (%) para el año 2030 en base a la climatología del período 1971-2000.



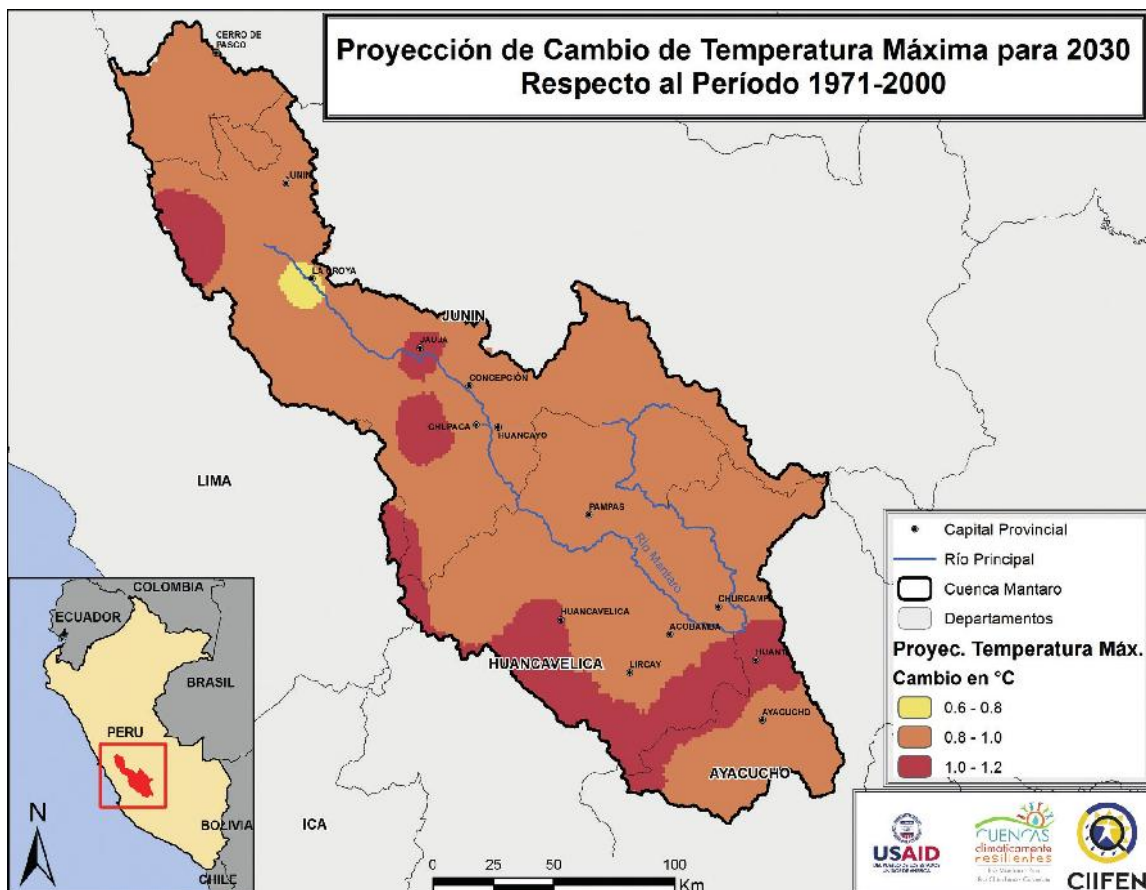
Fuente: SENAMHI, 2012.

Temperatura

A diferencia de la precipitación, el cambio de temperatura es más claro y homogéneo, y los resultados muestran un patrón de calentamiento de, aproximadamente, $0,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ para las temperaturas máximas y 1°C para las mínimas en promedio, en comparación con el período de referencia de 1971-2000. En las distintas estaciones se presentaría el mismo patrón

de calentamiento, sin embargo, no todas las regiones lo harían en el mismo grado. Para la temperatura máxima, el cambio más pronunciado sería en el invierno y primavera en la faja occidental, en tanto que la temperatura mínima se incrementaría más en otoño y primavera en la región sur de la cuenca. En toda el área de análisis, la temperatura mínima tiene una mayor tendencia a incrementar, hasta en $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ más (Figuras 24 y 25) (SENAMHI, 2012).

Figura 24. Proyección del cambio de la temperatura máxima ($^{\circ}\text{C}$) para el año 2030 con base en la climatología del período 1971-2000.



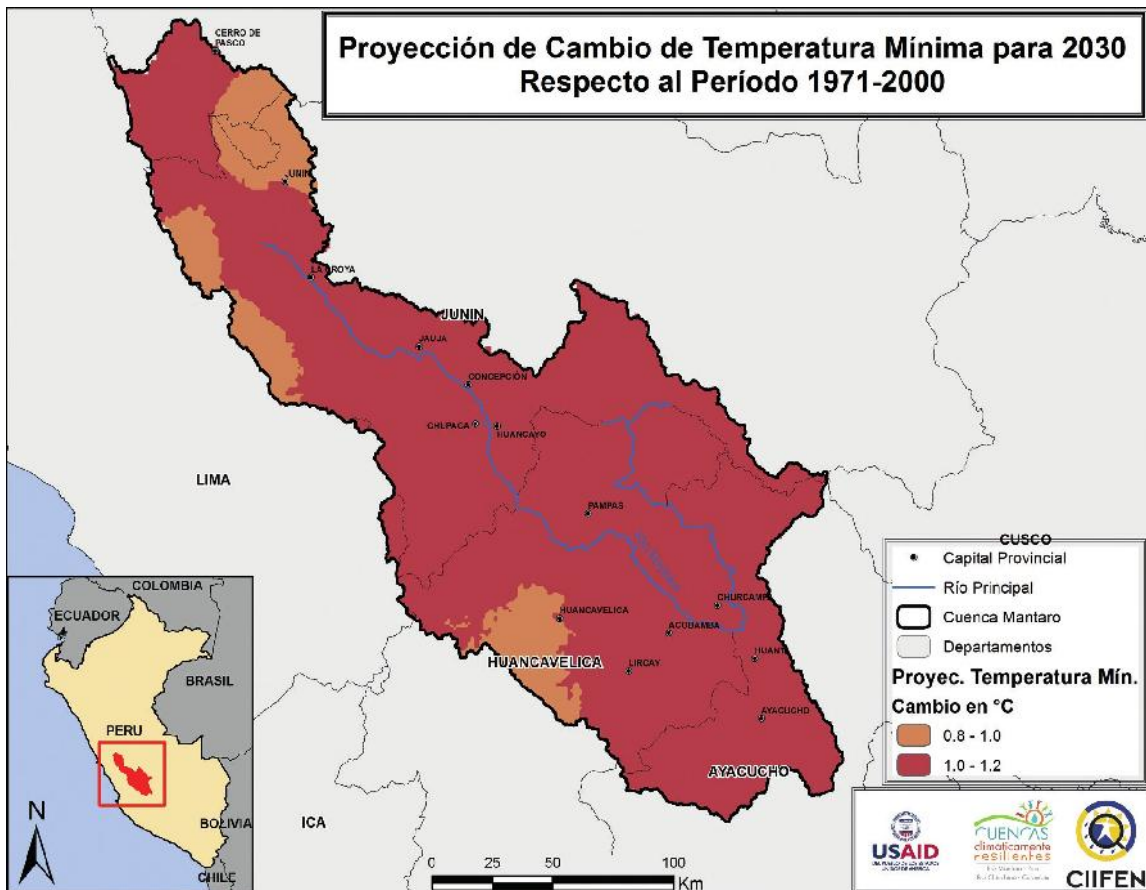
Fuente: SENAMHI, 2012.

De acuerdo a la recopilación de estudios, y a través de los análisis realizados, se concluye que, de manera general, la cuenca presenta un régimen de precipitación bien definido, con más lluvias entre diciembre y marzo, lo que coincide con el verano. La región más lluviosa está en la cuenca baja. Por otro lado, la temperatura del aire está condicionada por las formas del relieve. En las regiones bajas, las temperaturas máximas varían entre 25 y 28 °C, mientras que las mínimas están alrededor de 6 y 10°C. Por otro lado, en la parte occidental las temperaturas máximas poseen promedios de 20°C, mientras

que las mínimas de -4°C. El análisis de cambio del clima en las últimas décadas determinó una tendencia a la disminución de las precipitaciones en gran parte de la cuenca, tanto en número de días, como en intensidad. La temperatura del aire, por otro lado, ha presentado diferentes tendencias, ya que se observan tanto aumentos como disminuciones. Sin embargo, lo predominante en las estaciones meteorológicas indica que, tanto para temperaturas máximas como mínimas, se presentaron incrementos.

En relación al clima a futuro, el promedio de precipitación podría presentar reducciones del

Figura 25. Proyección del cambio de la temperatura mínima (°C) para el año 2030 con base en la climatología del período 1971-2000.



Fuente: SENAMHI, 2012.



15% en el sector noroccidental y central de la cuenca, mientras que en el resto de la cuenca se observarían incrementos del 15%. El incremento más importante se daría para la región de Ayacucho, con valores de hasta 30%. A diferencia de la precipitación, la temperatura del aire presentaría un cambio más claro y homogéneo, con calentamiento entre 0,8 y 1°C.

Estos cambios en la precipitación traerían impactos significativos en la cuenca ya que el territorio tiene gran cantidad de cuerpos de agua que se alimentan de la lluvia. Entre las más destacadas, se pueden mencionar tres lagunas con gran volumen de almacenamiento: Chinchaycocha y Punrun en zonas altas, en la región de Pasco; y la laguna Antacoto en la región de Junín. Estas lagunas, por estar ubicadas en la región alta de la cuenca, donde se espera que haya reducciones en la precipitación durante el invierno, podrían representar afectaciones en la recarga de los glaciares.

Sumados a los ya mencionados, están presentes otros cuerpos de agua como bofedales y

manantiales, cuya agua se destina en un 56% a uso pecuario, 10% a uso de los habitantes, 9% uso agrícola, 5% sin uso o uso desconocido, 1% a uso recreativo, y el resto se destina a usos industrial, minero o piscícola.

El agua en la cuenca también es de gran importancia para la producción de energía: se identifica un total de 25 centrales hidroeléctricas en la cuenca del río Mantaro. Las principales centrales, en cuanto a producción eléctrica, pertenecen a Electro Perú (Complejo Mantaro) y a Statkraft. La Cuenca del Mantaro es una reserva energética muy importante para el abastecimiento eléctrico del país, ya que corresponde a 35% de la producción nacional. Es importante destacar que las centrales del complejo Mantaro operadas por Electro Perú, la central hidroeléctrica de Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución son dos centrales, en serie, que turbinan el agua trasvasada desde la cuenca media del Mantaro hasta la cuenca Baja, aprovechando la topología de la cuenca del río Mantaro.



INFORMACIÓN NACIONAL

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú - SENAMHI

La información oficial sobre meteorología, hidrología y el clima en Perú, tanto para análisis pasados como para las proyecciones a futuro, son provistas por el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI⁶).

Esta entidad es un organismo público, ejecutor adscrito al Ministerio del Ambiente, que tiene el propósito de generar y proveer conocimiento de manera confiable, oportuna y accesible en beneficio de la sociedad peruana. El SENAMHI mantiene una red nacional de más de 900 estaciones meteorológicas e hidrológicas de conformidad con las normas técnicas de la OMM.

En la página web del SENAMHI está disponible información específica de pronóstico climático

para la agricultura. En esta sección⁷, se puede acceder a los boletines del riesgo agroclimático que consideran diferentes cultivos como el maíz, la cebada, la papa, el trigo, entre otros, en las diferentes cuencas del país (Figura 26).

Además, la institución cuenta con una sección de "Información para el agro"⁸ donde, a parte de los pronósticos climáticos, también se pueden encontrar otras informaciones relevantes, cómo la del monitoreo agrometeorológico, cuya finalidad es suministrar a las entidades públicas y privadas vinculadas con la actividad agrícola, información actualizada y confiable para la producción y productividad agrícola. Su objetivo es generar alertas a ni-

Figura 26. Imagen de la Página web del SENAMHI donde se muestra el menú de temas relacionados al clima.



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

6 SENAMHI - <http://www.senamhi.gob.pe>

7 Pronósticos agroclimáticos - <http://www.senamhi.gob.pe/?p=pronostico-agroclimatico>

8 Información para el agro - <http://www.senamhi.gob.pe/?p=informacion-agrometeorologica>

vel nacional a partir de las informaciones de estado de los cultivos, tiempo, clima, disponibilidad de recursos y modelos agrometeorológicos de rendimiento de cultivos.

Tercera Comunicación Nacional de Cambio Climático

Este documento es una publicación importante de ámbito nacional que cumple con los compromisos asumidos por el Gobierno del Perú como parte de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC). Ha sido elaborado por el Ministerio del Ambiente, desde el Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales, y contó con estudios específicos en sectores vulnerables y también con los inventarios nacionales de los Gases de Efecto Invernadero (GEI). Es un avance que se destaca por el continuo trabajo de incorporar el cambio climático en las polí-

ticas nacionales y que brinda a los tomadores de decisiones, sean técnicos o políticos, información confiable.

En esta publicación se puede encontrar información relacionada al cambio climático en el Perú. En ella se detallan las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) por categoría; también se detallan las proyecciones de las emisiones en el país, que brinda una idea de lo que se podría esperar en el futuro para el Perú. Otra información relevante que incluye es el conocimiento sobre el estado de los riesgos y la vulnerabilidad asociada al cambio climático. El documento también presenta detalles sobre los avances de la educación y fortalecimiento de capacidades y financiamiento para la gestión del cambio climático. Por último, se incluye la agenda pendiente, es decir, lo que hay por hacer todavía en materia de cambio climático en el Perú (Figura 27).

Figura 27. Portada de la Tercera Comunicación de Cambio Climático del Perú.



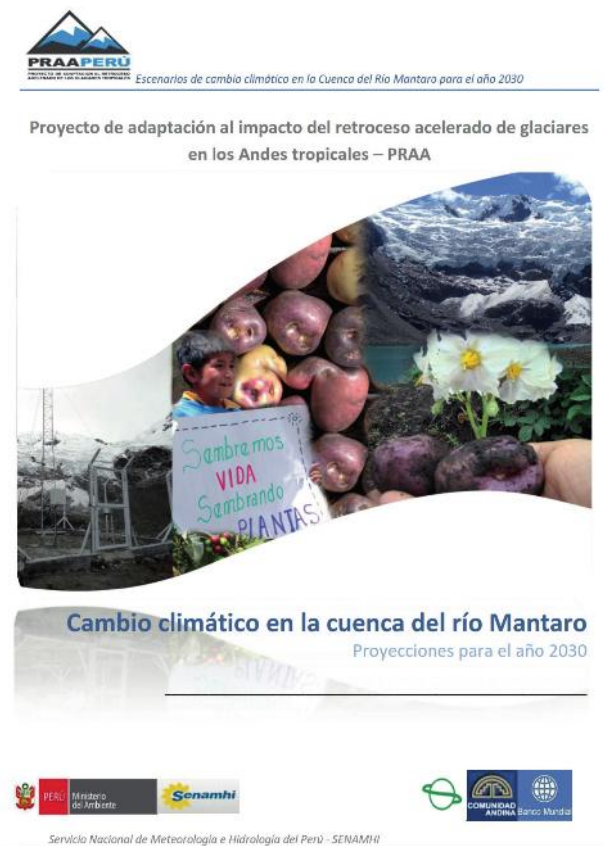
Fuente: MINAM, 2016.

Proyecto de adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes tropicales – PRAA

Este proyecto, de carácter regional, que se implementó en varios países andinos, entre ellos el Perú, tuvo como finalidad generar información técnico-científica sobre la evolución del clima a futuro para una toma de decisiones más efectiva en las regiones de implementación, sea a nivel local o regional. Entre las varias actividades realizadas, se llevó a cabo un análisis de cambio climático en la cuenca del Río Mantaro con proyecciones para el período 2020-2039, centrado en el año de 2030. A

parte de los resultados climáticos, también se pueden encontrar algunas recomendaciones y conclusiones sobre el cambio climático en la cuenca. En el Perú este estudio estuvo a cargo del SENAMHI y contó con los modelos globales desarrollados por el IPCC y con técnicas de reducción de escala para el territorio. En este trabajo también se pueden encontrar información sobre la metodología empleada para la corrida de los modelos regionales, así como también información complementaria sobre los resultados, como, por ejemplo, los cambios proyectados para las distintas estaciones del año (Figura 28).

Figura 28. Portada de la publicación Escenarios de Cambio Climático en la Cuenca del Río Mantaro para el año de 2030.



Instituto Geofísico del Perú – IGP

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) es un Organismo Público Descentralizado del Ministerio del Ambiente que fue creado con la primordial función de estudiar todos los fenómenos relacionados con la estructura, condiciones físicas e historia evolutiva de la Tierra. El IGP tiene la capacidad de servir a las necesidades del país en áreas tan importantes como: Sismología, Vulcanología y el Estudio de El Niño. Es una institución de gran relevancia a nivel regional y nacional, productora, entre otras cosas, de información climática en el Perú. La Subdirección de Ciencias de la Atmósfe-

ra e Hidrósfera⁹ del IGP genera, promueve, coordina y ejecuta investigaciones científicas con la finalidad de ampliar los conocimientos para la gestión de riesgo. Sus líneas de investigación abarcan la climatología, la física atmosférica, hidrología y suelos y la oceanografía. Asociados a estos temas está el monitoreo de las diferentes variables climáticas, las informaciones de modelado climático, los impactos climáticos y gestión de riesgos y el cambio climático. En la página de esta subdirección, el usuario también puede encontrar diversos estudios realizados específicamente para la cuenca del río Mantaro.

Figura 29. Imagen tomada de la página web principal de la Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del Instituto Geofísico del Perú.



Fuente: <http://scah.igp.gob.pe/>

⁹ Subdirección de Ciencias de la Atmósfera e Hidrósfera del Instituto Geofísico del Perú - <http://scah.igp.gob.pe/>

Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED¹⁰

Este organismo público elabora normas técnicas y de gestión y brinda asistencia técnica especializada a las entidades públicas y privadas en los procesos de estimación, prevención y reducción del riesgo de desastres. En esta institución se utiliza la información climática del SENAMHI para generar escenarios de riesgo climático para todo el país. Estos pueden ser

encontrados en forma de boletines en la página principal del CENEPRED, como se muestra en la Figura 30. Otra información relevante está disponible en el portal del Sistema de Información para la Gestión del Riesgo de Desastres – SIGRID¹¹, donde se encuentran diversos mapas dinámicos de elementos expuestos, riesgos, peligros, informaciones complementarias como límite de cuencas, emergencias registradas, caracterizaciones diversas, etc. La información se presenta para todo el país.

Figura 30. Imagen tomada de la página web del Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres.



Fuente: <http://www.cenepred.gob.pe/web/>

¹⁰ Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres – CENEPRED - <http://www.cenepred.gob.pe/web/>

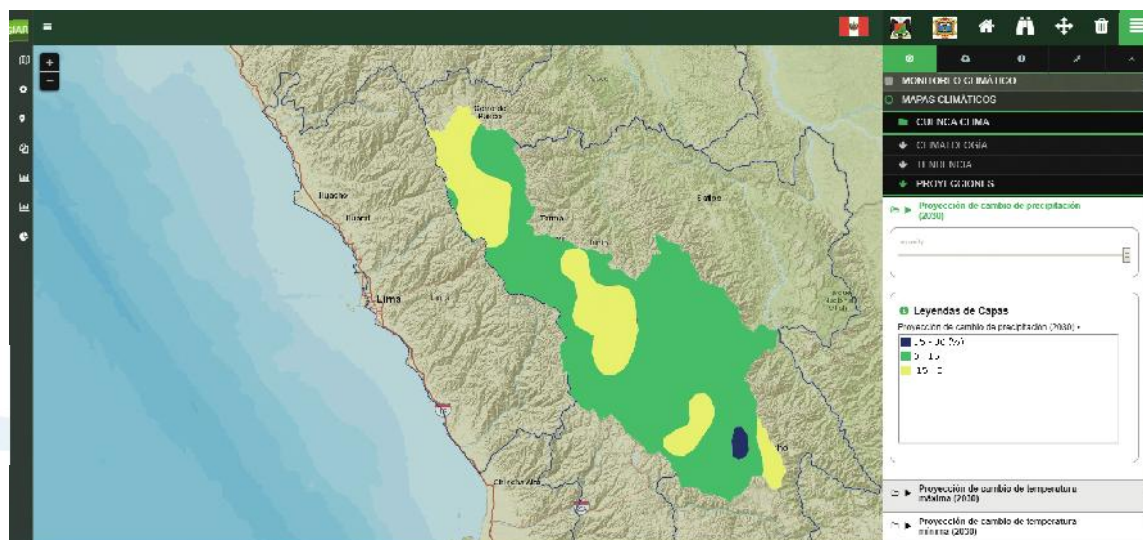
¹¹ Portal SIGRID - <http://sigrid.cenepred.gob.pe/sigrid/>

Sistema de Información Ambiental Regional - SIAR¹²

Uno de los objetivos del proyecto Cuencas Climáticamente Resilientes es el fortalecimiento de las capacidades técnicas y tecnológicas de los gobiernos locales de la cuenca del río Mantaro, lo cual incluye, entre otros, el mejoramiento de las herramientas y sistemas de apoyo a la toma de decisiones. En este contexto, el CIIFEN ha desarrollado el Sistema de Información Ambiental Regional GEO-SIAR, plataforma que integra información territorial, ambiental, climática, de vulnerabilidad, gestión de riesgos y recursos hídricos, y que puede ser consultada en tiempo real, a través de un servidor, desde las instituciones proveedoras de la información.

Este desarrollo tecnológico del CIIFEN, ha permitido la potenciación de los sistemas de información ya existentes en la cuenca del Mantaro, específicamente en las regiones de Junín y Ayacucho, y está articulado al Sistema Nacional de Información Ambiental del Perú-SINIA. El GEO-SIAR desarrollado por el CIIFEN, diseñado en fuentes de código abierto para su sostenibilidad, fue presentado a nivel nacional en el X Encuentro de Desarrolladores SIAR-SIAL, y sería tomado como referencia para el desarrollo de nuevos modelos geo-informáticos para la gestión territorial en el Perú, ya que permite la interoperabilidad de bases de datos geoespaciales y provee al tomador de decisiones una visión sistémica y dinámica del territorio.

Figura 31. Imagen tomada de la página de Sistema de Información Ambiental Regional desarrollado en el proyecto Cuencas Climáticamente Resilientes para la cuenca del Río Mantaro.



Fuente: http://200.110.94.18/geo_siarp/

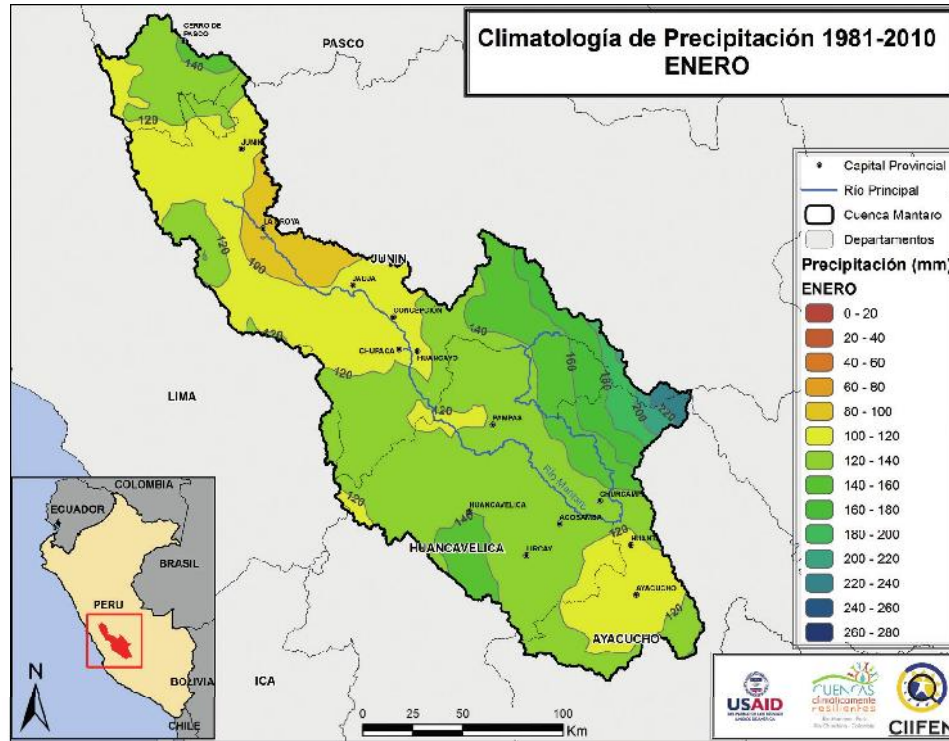
12 Sistema de Información Ambiental Regional - http://200.110.94.18/geo_siarp/



ANEXOS

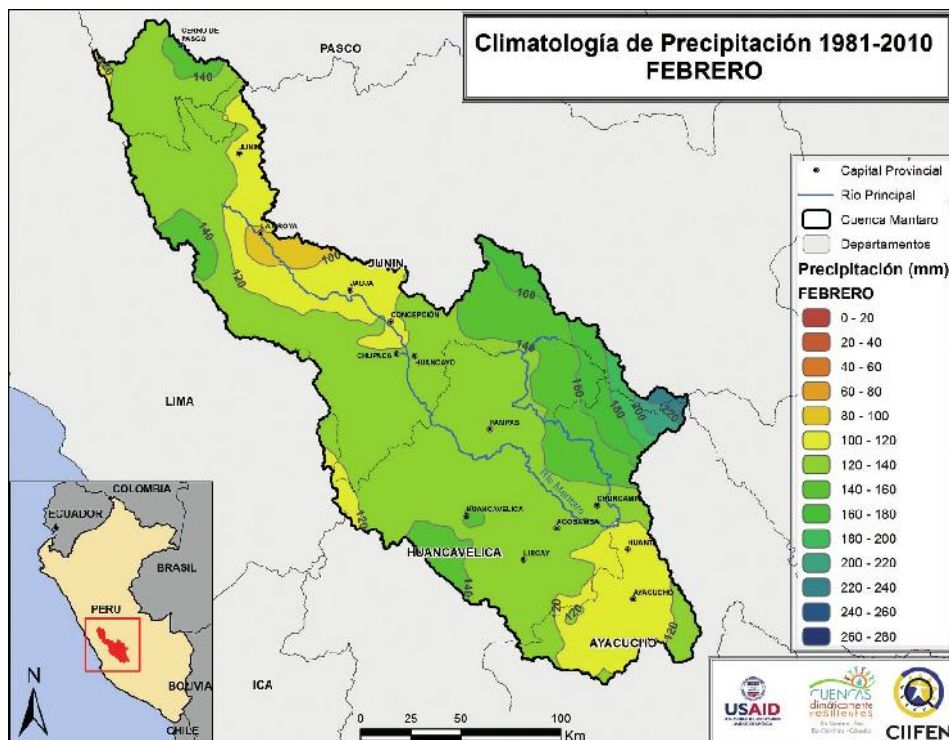
Valores mensuales de precipitación de enero a diciembre.

Figura 31. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de enero para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



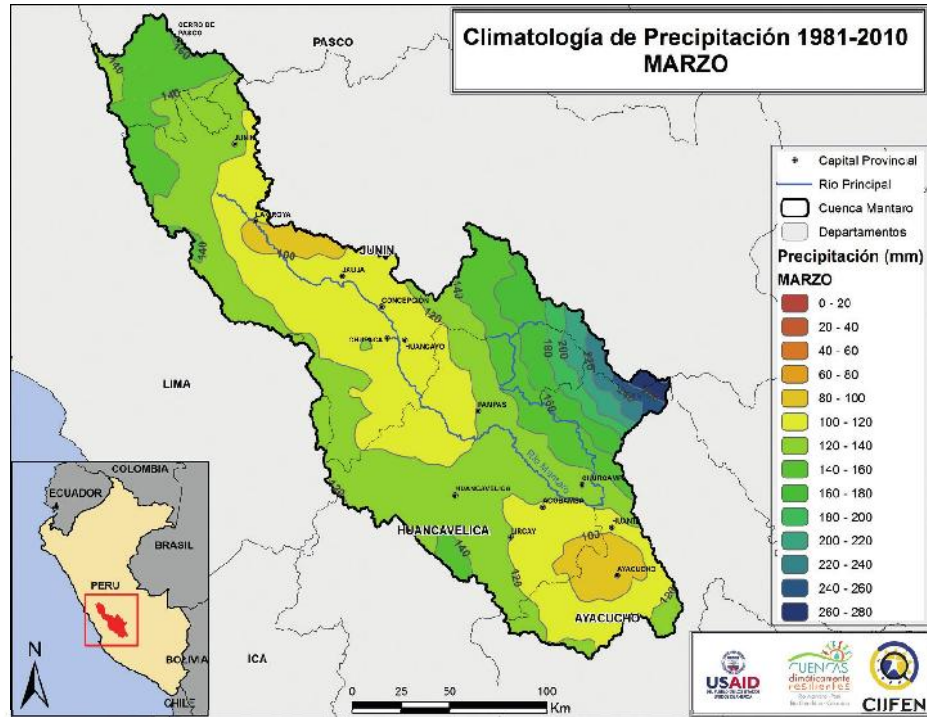
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 32. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de febrero para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



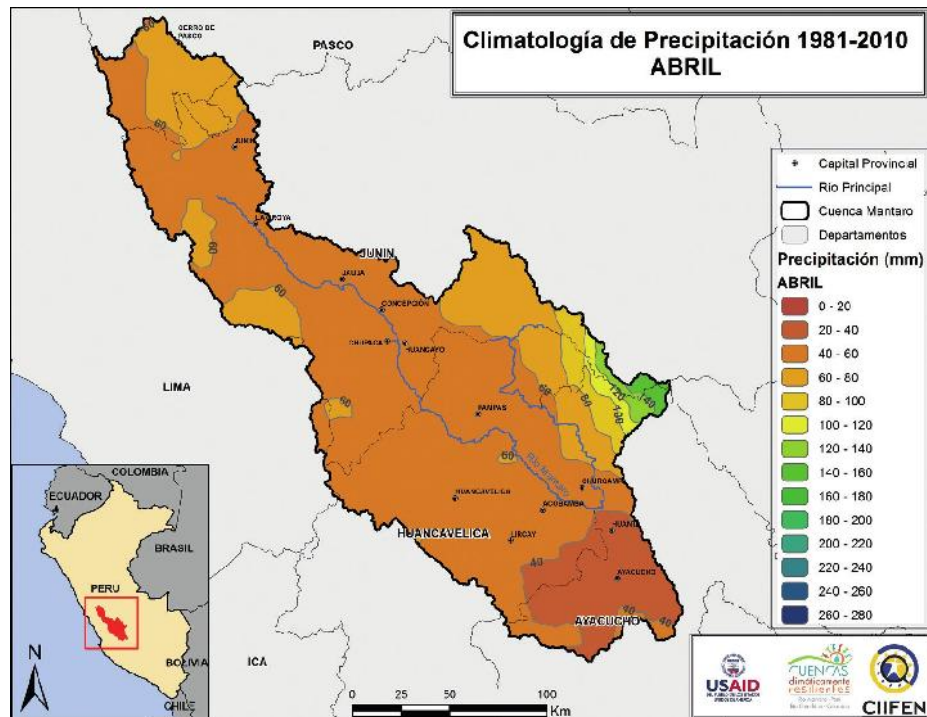
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 33. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de marzo para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



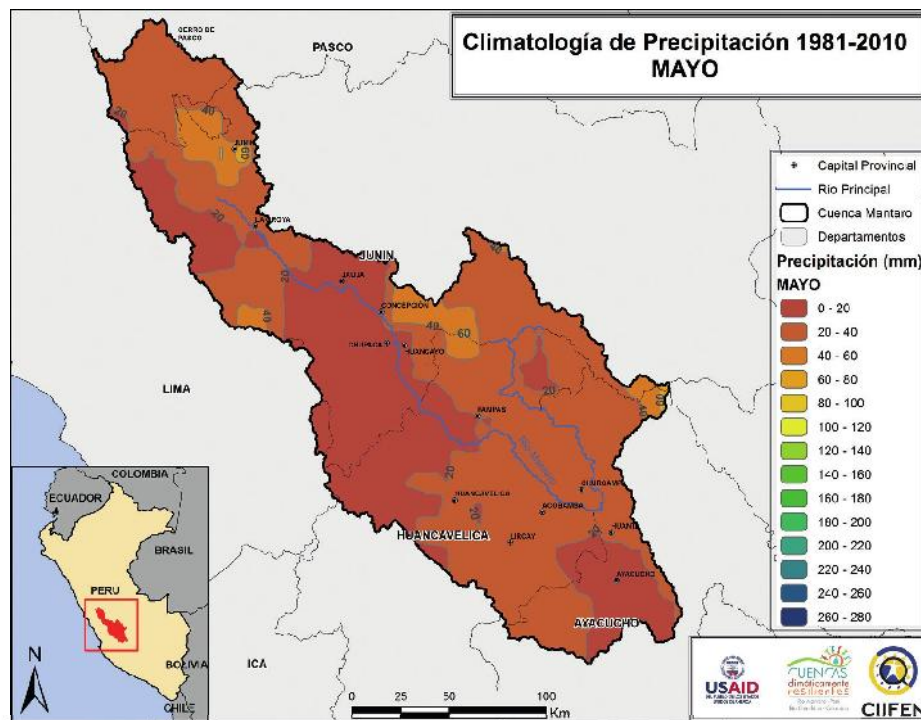
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 34. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de abril para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



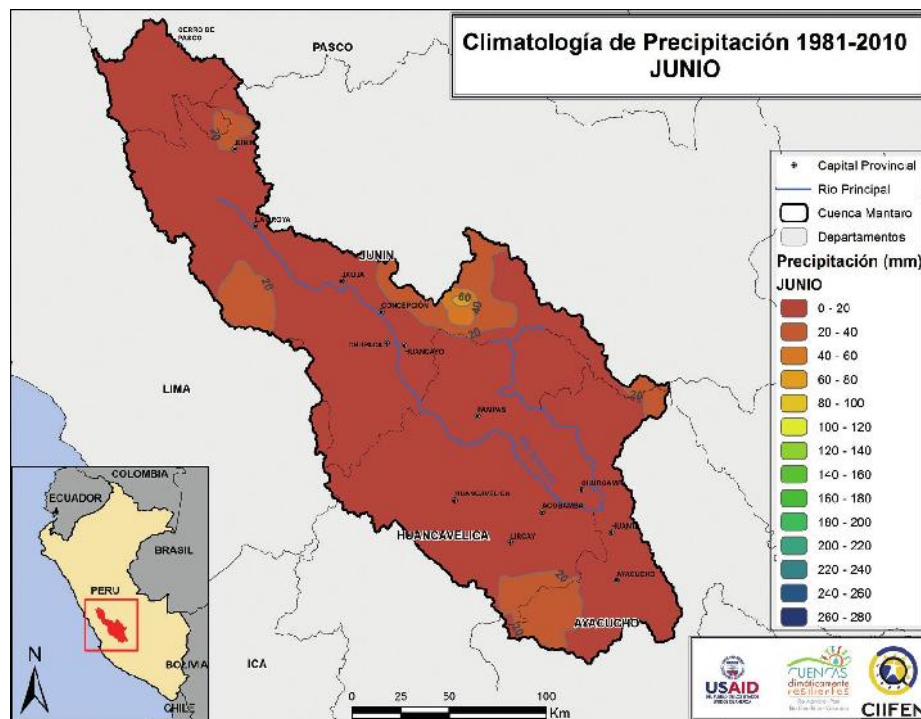
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 35. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de mayo para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



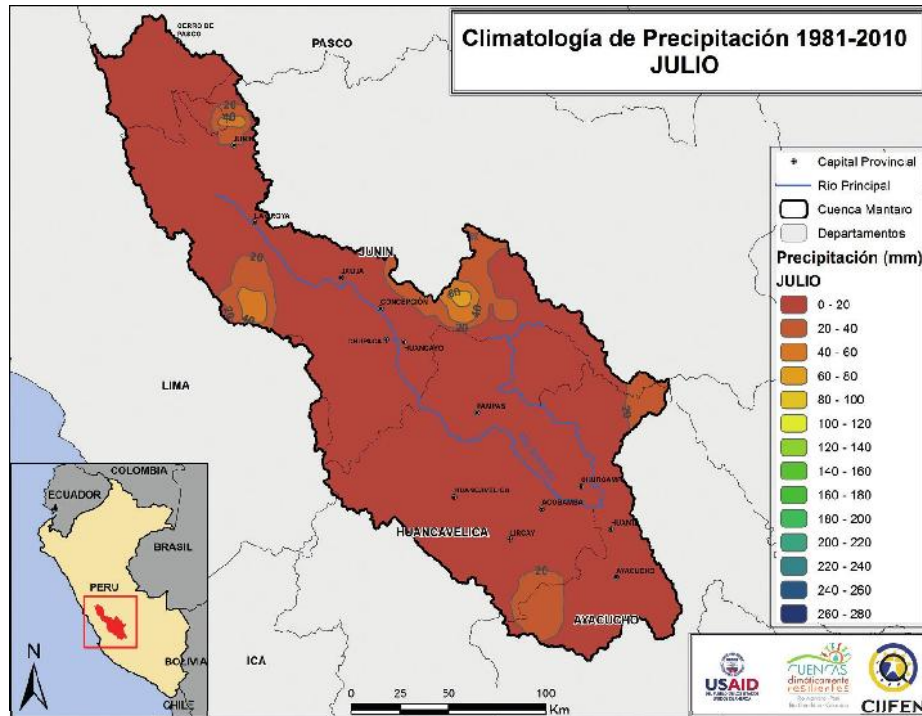
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 36. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de junio para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



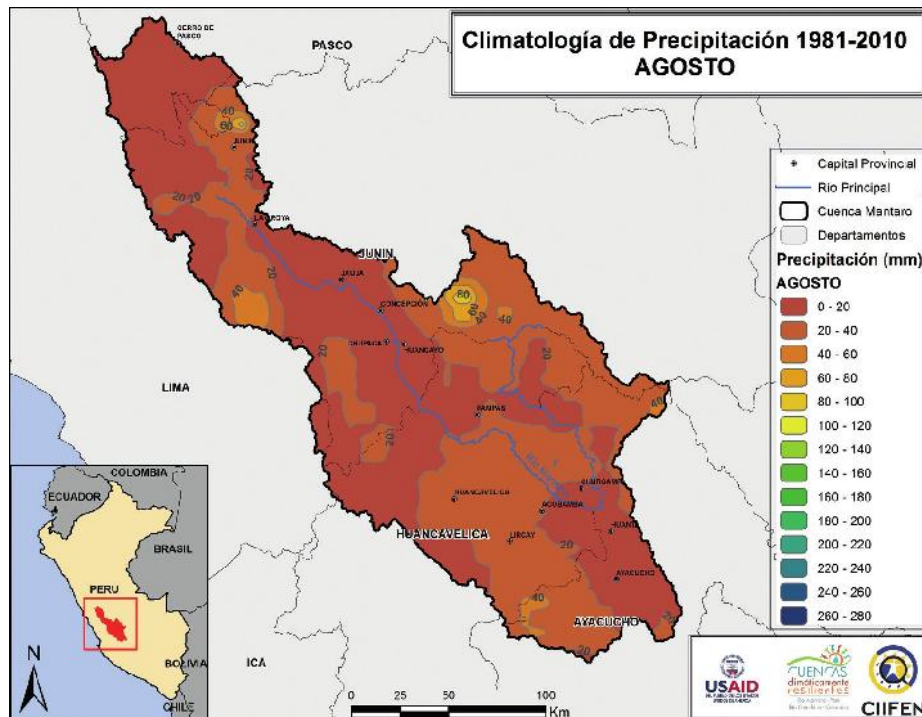
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 37. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de julio para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



Fuente: Funk et al., 2015.

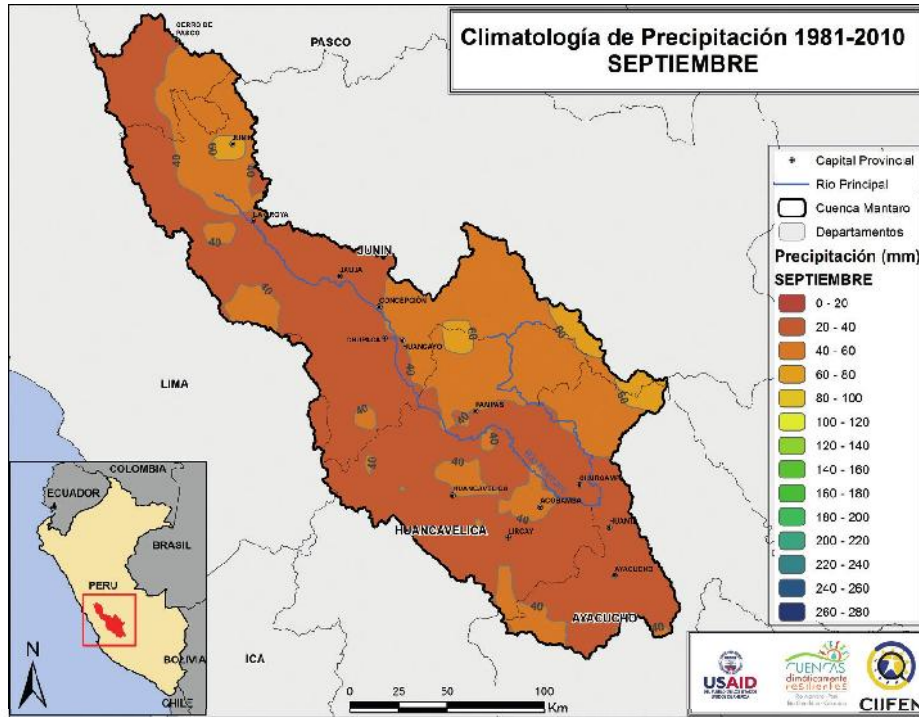
Figura 38. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de agosto para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



Fuente: Funk et al., 2015.

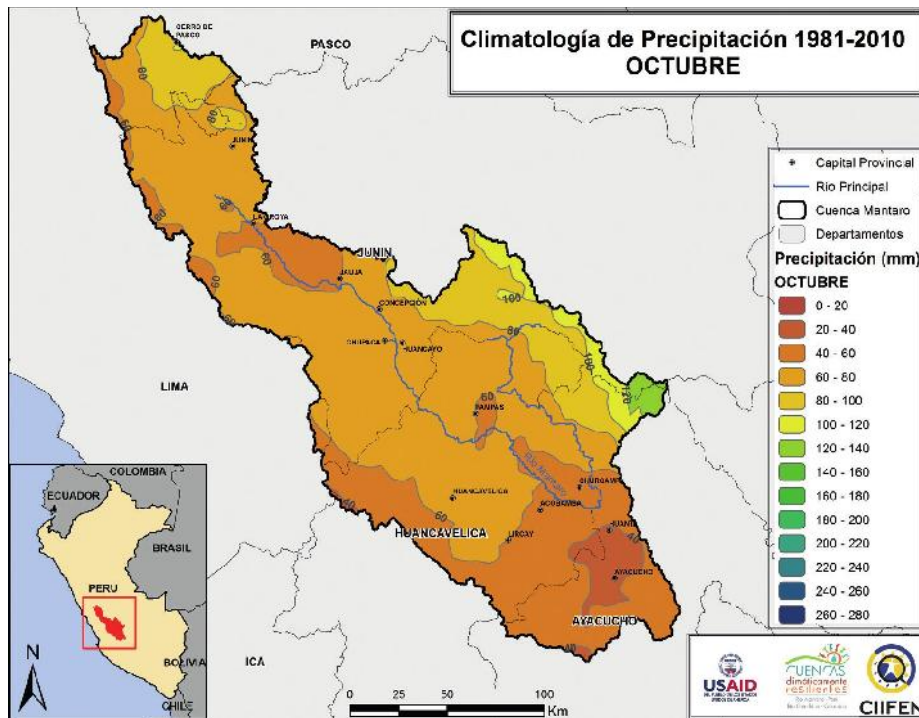


Figura 39. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de septiembre para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



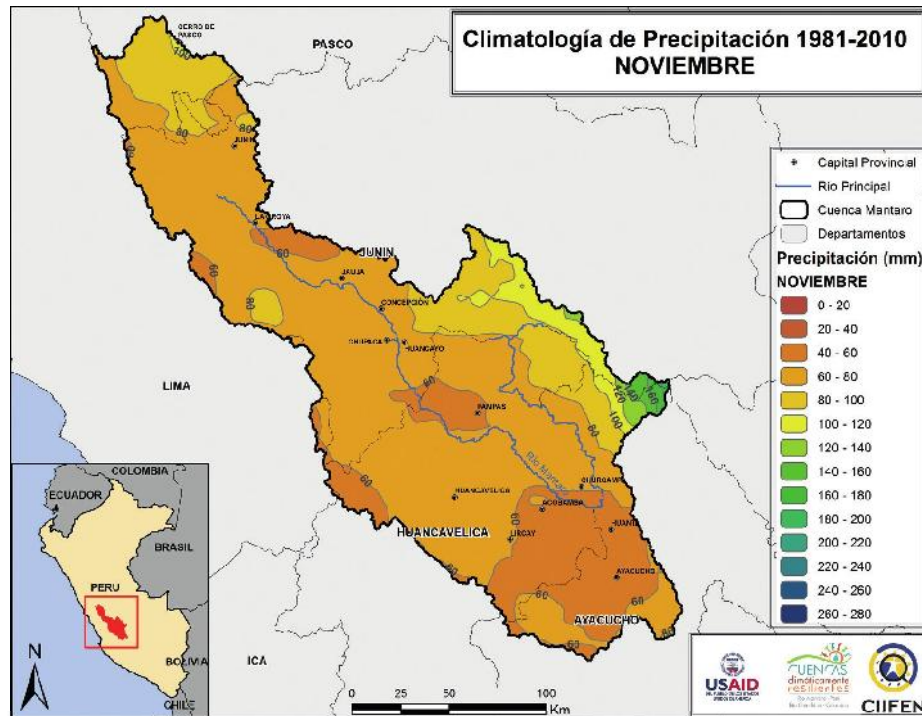
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 40. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de octubre para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



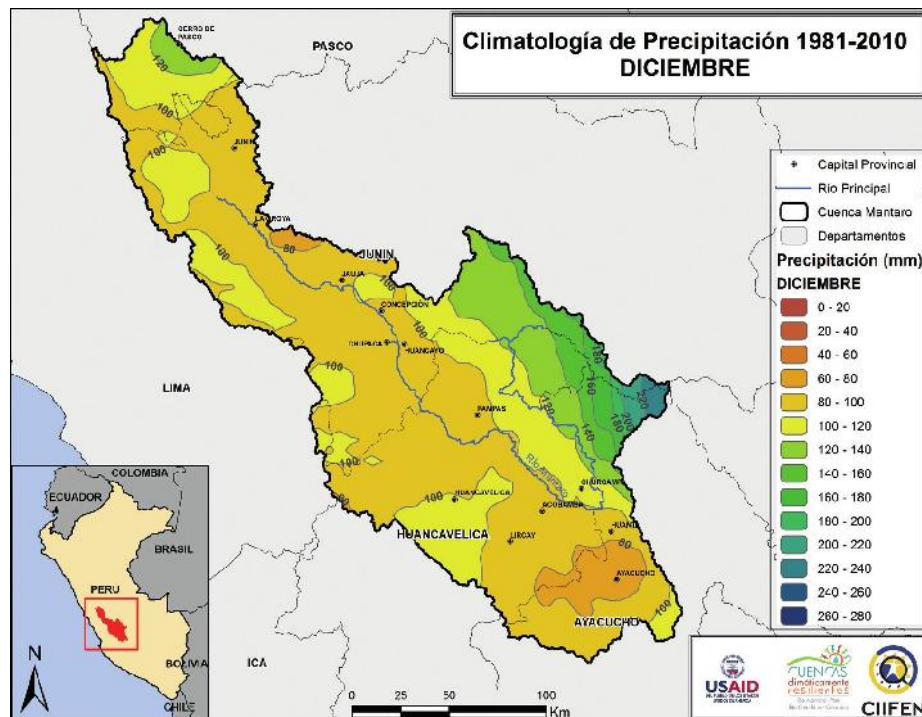
Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 41. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de noviembre para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



Fuente: Funk et al., 2015.

Figura 42. Promedio multianual de la precipitación acumulada (mm/mes) para el mes de diciembre para el período de 1981-2010 en la cuenca del Río Mantaro.



Fuente: Funk et al., 2015.



BIBLIOGRAFÍA

ANA (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la Cuenca de Mantaro. Autoridad Nacional del Agua. Disponible: http://siar.regionjunin.gob.pe/sites/default/files/archivos/public/docs/evaluacion_mantaro-ed02.pdf

Funk, C., P. Peterson, M. Landsfeld, D. Pedreros, J. Verdin, S. Shukla, G. Husak, L. Rowland, L. Harrison, A. Hoell & J. Michaelsen. (2015). The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes. *Scientific data*, 2, 150066. doi:10.1038/sdata.2015.66 2015.

IGP (2005). Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro. Volumen 1: Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire de la Cuenca del Río Mantaro. Instituto Geofísico del Perú. ISBN: 9972-824-13-6. CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.

IGP (2005a). Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro. Volumen 2: Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro Bajo la Visión del Cambio Climático. Instituto Geofísico del Perú. ISBN: 9972-824-13-6. CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.

IPCC (2013). Resumen para responsables de políticas. En: Cambio Climático 2013: Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. [Stocker, T. F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S. K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Khan, S., G. Kuhn, A. R. Ganguly, D. J. Erickson, & G. Ostrouchov (2007). Spatio temporal variability of daily and weekly precipitation extremes in South America. *Water Resources Research*, 43(11)..

Lenderink, G. (2012). Climate change: Tropical extremes. *Nature Geoscience*, 5(10), 689-690.

Marín, J. P., O. L. Ocampo & J. J. Vélez (2014). Eventos hidrológicos extremos en cuencas andinas: caso de estudio cuenca del Río Chinchiná. XXI Seminario Nacional de Hidráulica e Hidrología Villa de Leyva, Boyacá.

Messerli, B., & J. D. Ives (1997). *Mountains of the World*. New York et Londres.

MINAM (2016). El Perú y el Cambio Climático. Tercera Comunicación Nacional del Perú a la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático. Ministerio del Ambiente. Lima, Perú.

Nakicenovic, N., J. Alcamo, A. Grubler, K. Riahi, R.A. Roehrl, H.H. Rogner & N. Victor (2000). Special report on emissions scenarios (SRES), a special report of Working Group III of the intergovernmental panel on climate change. Cambridge University Press.

Ocampo, O. L. (2012). Análisis de vulnerabilidad de la cuenca del Río Chinchiná para condiciones estacionarias y de cambio climático. Tesis de Maestría. Manizales. Universidad Nacional de Colombia Sede Manizales.

OMM (2011). Guía de prácticas climatológicas. Organización Meteorológica Mundial. Disponible: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf

OMM (2013). El estado del clima mundial 2001-2010. Un decenio de fenómenos climáticos extremos. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza.

OMM (2016). Boletín El Niño/La Niña Hoy. 18 febrero 2016. Organización Meteorológica Mundial (OMM). Recuperado de: http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/wcasp/documents/WMO_ENSO_Feb16_Esp.pdf

OMM (2017). El clima bate varios récords en 2016 que repercuten a escala mundial. Comunicado de Prensa. Organización Meteorológica Mundial. Ginebra, Suiza. Disponible: <https://public.wmo.int/es/media/comunicados-de-prensa/el-clima-bate-varios-r%C3%A9cords-en-2016-que-repercuten-escala-mundial>

OMM (2017a) Commission for climatology – frequently asked questions. Disponible: <http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/faqs.php>

PRASDES (2016). Informe de evaluación de impactos del Fenómeno de El Niño 2015 2016. Programa Regional Andino para el Fortalecimiento de los Servicios Meteorológicos, Hidrológicos y Climáticos y el Desarrollo (PRASDES). Pp. 56. Recuperado de http://www.prasdes-ciifen.org/index.php/publicaciones/doc_download/46-estudio-tecnico-sobre-impactos-del-enso-2015-2016.

SENAMHI (2007). Escenarios de cambio climático en la Cuenca del río Mantaro para el año de 2100. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Proyecto de Adaptación al Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales.

SENAMHI (2011). Atlas Climático de Precipitación y Temperatura del Aire en la cuenca del Río Mantaro. Avalos G., F. Cubas, C. Oria, A. Díaz, N. Quispe, G. Rosas, A. Cornejo, O. Solís y S. Guerra. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales.

SENAMHI (2012). Cambio Climático en la Cuenca del Río Mantaro. Proyecciones para el año 2030. Avalos G., C. Oria, G. Jácome, D. Acuña, A. Llacza. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú – SENAMHI. Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA.

Skansi, M., M. Brunet, J. Sigró, E. Aguilar, J. Groening, O. J. Bentancur, Y. Geier, R. Amaya, H. Jácome, A. Ramos, C. Rojas, A. Pasten, S. Mitro, C. Jiménez, R. Martínez, L. Alexander & P. Jones. (2013). Warming and wetting signals emerging from analysis of changes in climate extreme indices over South America. *Global and Planetary Change*, 100, 295-307.

Thorntwaite, C. W. (1948). An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1), 55-94.

Zhang, X. & F. Yang (2004). RCLimDex (1.0) Manual del Usuario. Climate Research Branch Environment Canada. Downsview, Ontario, Canadá. Recuperado de http://etccdi.pacificclimate.org/RCLimDex/RCLimDex_Manual_Usuario.doc.

ISBN: 978-9942-8682-3-7



9 789942 868237

Construimos resiliencia **generando conocimiento** sobre el clima actual y futuro, **identificando la vulnerabilidad** social, ambiental y económica de los territorios; **fortaleciendo las capacidades** de los actores locales (gobiernos y comunidades) para enfrentar las condiciones cambiantes del clima; y **fortaleciendo los servicios meteorológicos locales** en apoyo a la gestión del riesgo.



USAID
DEL PUEBLO DE LOS ESTADOS
UNIDOS DE AMÉRICA



CIIFEN

www.cuencasresilientes-ciifen.org
www.ciifen.org

Contacto e.fiallo@ciifen.org
Escobedo 1204 y Av. 9 de Octubre
Telef: + 593 4 251 4770
Guayaquil – Ecuador

Contacto: p.cabrera@ciifen.org
Jr. 20 de Enero N° 136 Plaza Juan Bolívar Crespo - Yauyos,
Telef.: +51 988361518
Jauja - Junín - Perú