

Vulnerabilidad actual y futura

ante el cambio climático y medidas de
adaptación en la Cuenca del Río Mantaro



Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro
Serie: Cambio Climático



VOLUMEN III

Foto de la portada:
Valle del Mantaro

VULNERABILIDAD ACTUAL Y FUTURA

ante el cambio climático y medidas de
adaptación en la Cuenca del Río Mantaro

Serie Cambio Climático

Sub serie: Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro

- Volumen I: Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire en la Cuenca del Río Mantaro
- Volumen II: Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del Cambio Climático
- Volumen III: Vulnerabilidad Actual y Futura ante el Cambio Climático y medidas de adaptación en la Cuenca del Río Mantaro

Sub serie: Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Piura

- Evaluación Local Integrada y Estrategia de Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca del Río Piura
- Escenarios del Cambio Climático en el Perú al 2050 - Cuenca del Río Piura

Otros títulos publicados

- Escenarios Climáticos Futuros y Disponibilidad del Recurso Hídrico en la Cuenca del Río Santa

Consejo Nacional del Ambiente - CONAM

Av. Guardia Civil 205, San Borja
Teléfono: (51-1) 225-5370, telefax: (51-1) 225-5369
<http://www.conam.gob.pe>
Correo electrónico: conam@conam.gob.pe

Comité Editorial CONAM:

Mariano Castro
César Cervantes
Maria Paz Cigarán
Andrés Millones
Cesar Villacorta

Título: Vulnerabilidad Actual y Futura ante el Cambio Climático y Medidas de Adaptación en la Cuenca del Río Mantaro
Autor: IGP - Instituto Geofísico del Perú
Año: 2005
Edición: CONAM - Consejo Nacional del Ambiente
ISBN: 9972-824-15-2

La presente edición forma parte de la serie:
Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro (O.C.)
ISBN: 9972-824-12-8

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2005-8235

Instituto Geofísico del Perú - IGP

Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo IV Etapa; Ate
Teléfono: (51-1) 317-2300, fax: (51-1) 317-2327
<http://www.igp.gob.pe>

Diseño: Enrique Limaymanta Sulca
Diagramación e Impresión: Millenium Digital s.r.l. Telefax: 424-9244

Copyright © Fondo Editorial del CONAM
Primera edición: diciembre de 2005
Tiraje: 500 ejemplares
Impreso en el Perú
2005

El contenido de este documento puede ser reproducido mencionando la fuente.
Su contenido no representa en su totalidad el punto de vista del CONAM.

Consejo Nacional del Ambiente - CONAM

Presidente	Carlos Loret de Mola
Secretario Ejecutivo	Mariano Castro
Jefa de Unidad de Cambio Climático	Patricia Iturregui

Unidad Ejecutora del Programa PROCLIM (UEP), CONAM

Dirección	Maria Paz Cigarán
Componente de Vulnerabilidad y Adaptación	Julio García (Coordinador) Carla Encinas Laura Avellaneda
Componente de Inventarios y Mitigación	Francisco Avendaño (Coordinador) Jorge Álvarez David García
Componente de Difusión y Capacitación	Leopoldo Macera (Coordinador) Pía Zevallos
Administración	Viviana Zaldívar Ana María Cerrón
Asistencia	Carmen Wilson

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Presidente Ejecutivo	Dr. Ronald Woodman Pollit
Director Técnico	Dr. Hernán Montes Ugarte
EQUIPO TÉCNICO	
Dirección	Dr. Pablo Lagos Enríquez
Equipo Investigador	Eco. Rosa Campos Ponce Mat. Raúl Chávez Aquino Mg. Nicolás Cruz Salvador Eco. Alejandra Martínez Grimaldo Fis. Kobi Mosquera Vásquez Geog. Elsa Nickl Alcócer Ing. Enma Núñez Muñoz Fis. Berlín Segura Curi Dra. Yamina Silva Vidal Fis. Ken Takahashi Guevara Ing. Grace Trasmonte Solo Met. José M. Gálvez Chavarri
Consultor	Ing. José Luis Rosales Vidal
Especialistas de apoyo SIG	Ing. Susan Cáceda Santillán Ing. Eloy Victoria Ayala Bach. Ricardo Zubieta Barragán
Personal de apoyo computacional	Ing. Guillermo Johnson Romero Ing. Javier Viglanzoni Cabello
Compilación	Sr. Víctor Hugo Velásquez
Redacción y edición	Eco. Alejandra Martínez Grimaldo Dra. Yamina Silva Vidal Fis. Ken Takahashi Guevara
Apoyo técnico, administrativo y secretarial	Srta. Susana Huaccachi Paullo

Participaron y apoyaron en la elaboración del presente documento las siguientes instituciones y profesionales:

Cámara de Comercio – Junín	Sra. Jaqueline Pérez Hilario
Centro Internacional de la Papa	Ing. Carolina Bastos Zúñiga Bach. Jérica Lourdes Huaroc Orellana
Colegio de Ingenieros del Perú - Filial Junín	Ing. Jhonnie Poma Romero
Gobierno Regional de Huancavelica	Ing. Ninfa Guerrero Rojas Dr. Rodrigo Sánchez Enríquez

Gobierno Regional de Junín	Ing. María Alarcón Medina Eco. Rosa Campos Ponce Ing. Javier Pautrat Guerra Ing. Elvira Vargas
INIEA	Ing. Carolina Girón Aguilar Dra. Noemí Zúñiga López
ININDETEC	Ing. Ana Contreras Marín Ing. Luis Suárez Salas
INRENA – OGATEIRN	Ing. Vilma Leonardo Fabián
MDCFCM-RJ	Ing. Misael Estrella Ingaruca
Municipalidad Provincial de Junín	Sr. Enrique Canorio Astete Sr. Aníbal Arsapalo Correa
Municipalidad de Pampas	Ing. Néstor Gonzáles Santivañez Eco. Oscar Zamudio Astete
Pastoral Ecológica - Arzobispado de Huancayo	Ing. Américo Mendoza Rojas
PRONAMACHS	Ing. Donald Berríos Martínez
SENAMHI JUNÍN	Bach. Nelson Pomahuali Jiménez Dra. Adam Ramos Cadillo
SEPAR	Ing. Carlos Alberto Balbín Rey Ing. Ana Lívano Herrera
SER CENTRO	Ing. Milagro Malpartida Reynoso Ing. Carlos Alberto Rojas Marcos
UNCP – Fac. de Agronomía y Forestales	Ing. Donato Hinostraza Cano
YANAPAI	Ing. Edgar Olivera Hurtado

Asimismo reconocemos el valioso aporte de las siguientes instituciones, consultores y profesionales que a través de su participación en numerosos talleres y grupos de trabajo permitieron enriquecer esta publicación:

ATFFS Sierra Central, ATR Mantaro, Cámara de Comercio de Huancayo, CEDEPAS, CEAR, Colegio de Abogados de Junín, Colegio de Biólogos de Junín, Comisión de Regantes Nro. 1 Chupaca, Comité del Distrito de Riego del Mantaro, CONACS Junín, DESA DIRESA Junín, Dirección Regional Agraria Junín, Dirección Regional de Vivienda, Federación de Comunidades Campesinas, Gobierno Regional de Pasco, IDRA, INEDRI, INRENA Junín, IST Privado Huancayo, Minag, Minsa, Pastoral Ecológica, Policía Ecológica, REDES, Reserva Nacional de Junin y Sanidad de la PNP Huancayo.

Eco. Carla Encinas y Arq. Julio García del Consejo Nacional del Ambiente, Ing. Sixto Miranda del Gobierno Regional de Junín, Sra. Amelia Fort Carrillo y Sra. Rosa García Garayar, y en especial al Dr. Leonidas Ocola Aquize del Instituto Geofísico del Perú y a Carlos Rodríguez Otero del Instituto de Planificación Física de Cuba, por sus sugerencias y revisión del presente trabajo.

ÍNDICE

PRESENTACIÓN	11
PRÓLOGO	13
INTRODUCCIÓN	15
1. ANTECEDENTES Y OBJETIVOS	18
Evaluaciones locales integradas	
Objetivos y estrategias	
2. CONCEPTOS BÁSICOS SOBRE VULNERABILIDAD Y ADAPTACIÓN	21
3. METODOLOGÍA	24
Zonas de estudio y subcuencas priorizadas	
Peligros naturales en la cuenca	
4. VARIABILIDAD Y TENDENCIAS CLIMÁTICAS EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO	29
4.1 Variabilidad interanual e intraestacional	
4.1.1 Periodos secos y lluviosos	
4.1.2 Circulación atmosférica asociada a periodos secos y lluviosos	
4.1.3 El Fenómeno de El Niño y las Lluvias	
4.1.4 Mecanismos de teleconexión	
4.1.5 Procesos físicos locales y su relación con la variabilidad de las Lluvias	
4.1.6 Variabilidad en la fecha de inicio de la temporada de lluvia en la zona sur-occidental de la cuenca del río Mantaro	
4.2 Tendencias	
4.2.1 Tendencias en la precipitación	
4.2.2 Tendencias en la temperatura del aire	
4.2.3 Tendencias en la frecuencia e intensidad de las heladas	
5. ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO	49
5.1 Downscaling dinámico	
5.2 Downscaling estadístico	
5.3 Resultados consolidados	
6. VULNERABILIDAD ACTUAL EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO	57
6.1 Vulnerabilidad biofísica y socioeconómica actual en la cuenca del Mantaro	
6.1.1 Vulnerabilidad biofísica	
6.1.2 Vulnerabilidad socioeconómica	
6.2 Vulnerabilidad actual en el sector agrosilvopastoril	
6.3 Vulnerabilidad actual en el sector de generación hidroeléctrica	
6.4 Vulnerabilidad actual en el sector salud	

7. VULNERABILIDAD FUTURA EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO	81
7.1 Vulnerabilidad futura en el sector agrosilvopastoril	
7.2 Vulnerabilidad futura en el sector de generación hidroeléctrica	
7.3 Vulnerabilidad futura en el sector salud	
8. PROPUESTA DE MEDIDAS DE ADAPTACIÓN PARA LA CUENCA DEL RÍO MANTARO	86
8.1 Propuestas para el sector agrosilvopastoril	
8.2 Propuestas para el sector de generación de energía hidroeléctrica	
8.3 Propuestas para el sector salud	
9. CONCLUSIONES	91
10. RECOMENDACIONES	94
11. REFLEXIONES FINALES	95
12. BIBLIOGRAFÍA	96
TABLAS	98
GRÁFICOS	100
MAPAS	102
ANEXO	103

PRESENTACIÓN

El Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), Autoridad Ambiental Nacional y rector del Sistema Nacional de Gestión Ambiental, es responsable de la ejecución en el país de la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre Cambio Climático (UNFCCC, por sus siglas en inglés). La Estrategia Nacional de Cambio Climático, aprobada por D.S. 086-2003-PCM y desarrollada multisectorialmente, expresa el nivel de prioridad política que el país le viene dando a los serios problemas que podría traer el cambio climático para el Perú.

En este contexto, gracias al aporte de la Cooperación Holandesa, ha dirigido el Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM), programa que cuenta con la participación de trece instituciones públicas y privadas con el objetivo de lograr una gestión efectiva de los recursos humanos y financieros ante los posibles efectos del Cambio Climático en el Perú.

Dentro del componente temático de Vulnerabilidad y Adaptación (V&A), el Programa identificó tres áreas focales de estudio: la Cuenca del Río Mantaro, la Cuenca del Río Piura y la Cuenca del Río Santa. El trabajo realizado en estas áreas se orientó a sistematizar y ampliar el conocimiento sobre las condiciones climáticas actuales y a generar escenarios de cambio climático futuros. Se evaluaron los impactos del Cambio Climático y la vulnerabilidad de los aspectos físicos y sociales, identificando opciones viables de adaptación en los principales sectores económicos de las cuencas de Piura y Mantaro, para ser incorporadas en los planes de desarrollo local y regional, en la perspectiva de alcanzar un desarrollo sostenible.

Las tareas necesarias para el desarrollo de los estudios e información de base en la cuenca del Río Mantaro fueron encomendadas al IGP, dada su trayectoria y vínculos orientados al desarrollo de dicha región. El proceso desarrollado tomó en cuenta las expectativas e inquietudes de las poblaciones, instituciones, profesionales y autoridades locales, involucrándolos participativamente como actores principales de su propio desarrollo.

El resultado de ese esfuerzo se plasma en la serie «Evaluación Local Integrada de la Cuenca del Río Mantaro» donde el presente tercer volumen «Vulnerabilidad actual y futura ante el Cambio Climático y medidas de adaptación para la Cuenca del Río Mantaro», tiene como principal objetivo evaluar los aspectos climáticos, físicos y sociales de su vulnerabilidad, así como identificar opciones viables de adaptación en los sectores agricultura, recursos hídricos, generación de energía y población.

Esta información completa la serie iniciada con los volúmenes «Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del Río Mantaro» y «Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la

visión de Cambio Climático», que sentaron la línea base tanto climática como temática sobre la cual se han desarrollado los aspectos de vulnerabilidad actual y futura.

Finalmente el CONAM desea expresar su agradecimiento al equipo técnico y científico del Instituto Geofísico del Perú por los resultados de la presente investigación, que sin duda constituye una herramienta fundamental para la planificación de un desarrollo sostenible a nivel regional y local, ante los impactos del Cambio Climático.

CARLOS LORET DE MOLA
Presidente del CONAM

PRÓLOGO

Se anticipa que el calentamiento global tendrá un impacto significativo en nuestro planeta en general y en el Perú en particular, y que será necesario adoptar medidas para contrarrestarlo, para lo cual se requiere evaluar la vulnerabilidad del territorio peruano y proponer medidas de adaptación al cambio climático producido por efectos naturales o inducidos por el hombre.

Para determinar las medidas que permitan contrarrestar este calentamiento en el Perú, será necesario de un lado conocer la variabilidad y los cambios climáticos en nuestro territorio, y los efectos sobre los grupos humanos en sus oportunidades, de acuerdo a sus condiciones específicas; y de otro lado los comportamientos humanos que favorecen el incremento de los gases de efecto invernadero. Debido a la extensión territorial y a la complejidad de su topografía es necesario seleccionar áreas para realizar estos estudios, por lo que el Instituto Geofísico del Perú propuso que uno de los estudios piloto se realizara en la cuenca del río Mantaro, ubicada en la región central de los Andes.

Este estudio pretende conocer mejor la variabilidad climática interanual en la cuenca del Mantaro y extender el estudio al cambio climático, identificando áreas críticas o vulnerables y proponer medidas de adaptación que puedan ser adoptadas por las autoridades regionales del Mantaro. Objetivo que se buscó a través de un mayor conocimiento de los grupos humanos de la zona para precisar deficiencias y potencialidades, a fin de poder definir una estrategia de entrada para que neutralicen los impactos y lograr su participación activa en las medidas de adaptación al cambio climático.

La cuenca del Mantaro abarca territorios pertenecientes a las regiones de Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho. El río Mantaro es uno de los ríos más importantes de la región, su caudal depende de las precipitaciones en toda la cuenca, del nivel del lago Junín, y de las lagunas ubicadas al pie de los nevados de la cordillera occidental y del nevado Huaytapallana. En la sierra, la cuenca del Mantaro es la mejor instrumentada con equipos hidrometeorológicos ubicados en toda su extensión, y cuenta con una de las series de tiempo más largas del Perú.

La cuenca del Mantaro es de gran importancia económica por ser el principal centro de generación de energía eléctrica del país, ya que abastece el 34,3% de la demanda del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional (SEIN); por su gran producción agrícola que provee de alimentos a Lima, y por contar con una población que supera los 700 000 habitantes. En este sentido, la cuenca juega un rol estratégico en la economía del país, por lo que sus poblaciones requieren de especial atención para participar activamente en las medidas de adaptación al cambio climático que este estudio propone.

Las sequías, heladas, lluvias torrenciales, nevadas y granizadas son los eventos climáticos extremos que más afectan el equilibrio ambiental de la cuenca, con consecuencias en el bienestar social y el desarrollo regional. Con el calentamiento global estos eventos extremos podrían intensificarse, siendo los más

vulnerables los sectores de menores recursos, los que tienen sus viviendas cerca de los cauces de los ríos y los pequeños agricultores. Esperamos que los pobladores de estas zonas sean los directamente beneficiados con el resultado del presente estudio, a través de una mayor y adecuada información sobre sus condiciones de vulnerabilidad.

**Centro de Predicción Numérica del Tiempo y Clima
Instituto Geofísico del Perú**

INTRODUCCIÓN

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), en coordinación con el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), a través del Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM), desarrolló el estudio “Evaluación Local Integrada de la cuenca del Río Mantaro”, que tuvo como principal objetivo sistematizar y ampliar el conocimiento sobre el cambio climático en la cuenca, y evaluar los aspectos climáticos, físicos y sociales de su vulnerabilidad, así como identificar opciones viables de adaptación en los sectores de agricultura, recursos hídricos, generación de energía y población para incorporar en los planes de desarrollo local y regional.

La cuenca del Mantaro está expuesta en mayor magnitud y frecuencia a eventos climáticos extremos, como son las heladas, sequías, lluvias intensas y granizadas, debido a su ubicación geográfica. Estos fenómenos producen interrupciones de las vías de comunicación, destrucción de las viviendas, generación de focos infecciosos, presencia de plagas sobre los cultivos y pérdidas en la agricultura y la ganadería. La frecuencia de estos eventos genera efectos negativos sobre la población, especialmente a los más pobres, debido a que estos sectores están ubicados en los lugares más vulnerables.

Con la publicación de los dos primeros volúmenes “Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la Cuenca del Río Mantaro” y “Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión de cambio climático”, se sentó la línea base tanto climática como temática sobre la cual se desarrollan los aspectos de vulnerabilidad actual y futura en el presente volumen, tomando en cuenta los aspectos biofísicos y socioeconómicos, por lo que consideramos que una lectura completa de los dos volúmenes anteriores es importante a fin de contar con la información base que da marco a este estudio.

Asimismo, en este volumen se desarrolla el tema de variabilidad climática en sus tópicos más relevantes, y que responden a interrogantes nacidas en los numerosos talleres y reuniones de trabajo que se llevaron a cabo: ¿Cuáles son los factores físicos que afectan la variabilidad de las lluvias en el Mantaro?, ¿Qué tanto afectan los patrones de circulación a escala global?, ¿Qué importancia tiene el fenómeno de El Niño?, ¿Existe cambio climático en la cuenca?, entre otras.

La proyección de los escenarios climáticos futuros en la cuenca del Mantaro constituye una de las principales actividades del estudio. Limitaciones en la disponibilidad de los escenarios climáticos futuros globales, la adaptación del modelo numérico regional y la capacidad de cómputo han originado que las metas de esta actividad se reduzcan. Se han proyectado escenarios climáticos sólo para los años 2045 al 2055, pero los resultados indican que es suficiente para los propósitos del estudio. Para complementar la generación de los escenarios futuros utilizando modelos numéricos se utilizaron herramientas estadísticas para la regionalización de los escenarios climáticos globales a la escala de la cuenca del Mantaro.

La respuesta de la sociedad a los impactos del clima para reducir los daños o aprovechar los potenciales beneficios se consideran como medidas de adaptación. En el proceso de formular las medidas de adaptación se consideraron que ellas estén dirigidas a los responsables de la política local y regional y a los tomadores de decisiones en los sectores prioritarios seleccionados en el estudio. Estas propuestas están dirigidas principalmente a los sectores agrosilvopastoril, generación de energía hidroeléctrica y salud, priorizados al inicio del trabajo.

La Real Embajada de los Países Bajos financió el desarrollo del estudio de “Evaluación Local Integrada en la cuenca del río Mantaro” y la publicación de los resultados.



Vista del valle del
Mantaro desde
Concepción

Antecedentes y objetivos

El presente estudio buscó evaluar la vulnerabilidad física, social y económica, y formular medidas de adaptación a ser incorporadas en los planes de desarrollo locales y regionales, mediante un análisis conocido como evaluación local integrada, cuyos antecedentes son presentados a continuación.

EVALUACIONES LOCALES INTEGRADAS

La evaluación integrada es un proceso interdisciplinario que combina, interpreta y comunica conocimientos de diversas disciplinas científicas en forma tal que la cadena de causa-efecto de un problema pueda ser evaluada desde una perspectiva sinóptica con dos características (Rotmans y Dowlatabadi, 1998):

- Que pueda agregar valor agregado comparado a una evaluación orientada por una sola disciplina.
- Que pueda proveer de información útil para los tomadores de decisiones.

La evaluación integrada se ha venido utilizando desde hace casi tres décadas¹ para evaluar las implicancias de problemas como la lluvia ácida, pérdida de la capa de ozono, pérdida de biodiversidad y el cambio climático antropogénico. Por ejemplo en 1994, el presupuesto del Global Change Research Program de los Estados Unidos solicitó fondos para “permitir que el Gobierno de los Estados Unidos conduzca evaluaciones end-to-end

(integradas) de temas relacionados al cambio climático, para que políticas puedan ser identificadas, adoptadas, implementadas y mantenidas a niveles regionales, nacionales e internacionales” (Parson, 1994).

La más simple metodología utilizada para realizar una evaluación local integrada se refiere al modelo de impacto climático lineal, el cual liga uno a uno eventos climáticos, unidades expuestas, impactos y consecuencias con respuestas de ajuste.

Considerando que los impactos del cambio climático son productos de la interacción entre el clima y la sociedad, la importancia del entendimiento de los efectos en una región en sus aspectos sociales, económicos y ambientales y su sensibilidad y vulnerabilidad al clima, y la utilidad del aprovechamiento análogo han sido incorporados desde hace casi una década en las evaluaciones integradas. Por ejemplo el trabajo de Michael Glantz y sus colaboradores (1996) enfatiza el análisis de eventos climáticos similares, llegando a proponer que la sociedad debía prepararse para el cambio climático reduciendo su vulnerabilidad a la variabilidad climática.

1. La primera evaluación integrada de un tema ambiental global fue el Climatic Impacts Assessment Program (CIAP), a cargo del Departamento de Transportes de los Estados Unidos para evaluar los impactos ambientales de la aviación estratosférica supersónica (Weyant et al. 1996)

Los procesos de evolución integrada del cambio climático fueron más ampliamente definidas por el Panel Intergubernamental en Cambio Climático (IPCC), en su Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptation (Carter et al. 1994; Parry y Carter, 1998). Bajo el esquema del IPCC la evaluación de impactos climáticos busca cuatro objetivos bien definidos: la detección de las causas del cambio climático; la medida de sus efectos (biofísicos y socioeconómicos), la identificación de vulnerabilidades y el análisis de ajustes y respuestas. Las metodologías para este análisis no sólo incluyen modelaje de la evaluación integrada, también incluyen el juicio experto de analogías climáticas regionales. Muchos de los proyectos de evaluación integrada evaluados por el IPCC en 1996 (Weyant et al. 1996) fueron optimizaciones de políticas o evolución de modelos de políticas operando a una escala global o continental.

Cuando el énfasis de la evolución del cambio climático cambió del tópico de la mitigación de emisiones a la de adaptación, la escala de evolución geográfica también tuvo que cambiar, de global a regional. Mas que los líderes nacionales son las poblaciones y sus autoridades a un nivel local y regional las que se ven afectadas por la variabilidad climática y se verán afectadas por el cambio climático. En un principio, muchas evaluaciones regionales tendían a ser metodológicamente limitadas, por ejemplo ignorando la variabilidad climática natural inherente a cada región estudiada, o fallando en considerar las interdependencias entre sectores afectados por el cambio climático.

Tres notables proyectos de evaluación localizados en escalas temporales de tiempo fueron los que durante la década pasada dieron las pautas para realizar estos análisis en forma integral, considerando las interrelaciones entre sectores: el proyecto MINK (Missouri, Iowa, Nebraska y Kansas); la evaluación integrada de la cuenca McKenzie en el Norte de Canadá y la evaluación Integrada de los Impactos del Clima en Egipto (Miles et al, 2004). Estos proyectos se orientaron hacia una evaluación integrada del impacto económico regional agregado del cambio climático con un análisis detallado de impactos biofísicos y socioeconómicos específicos en una región.

El proyecto MINK realizó una evaluación multisectorial, estimando los impactos de un clima más cálido y seco en los sectores de agricultura, forestales, recursos de agua y energía, así como la economía de los cuatro



estados involucrados, estimando cómo los cambios económicos y tecnológicos podrían afectar la sensibilidad al clima.

El estudio de los impactos en la cuenca McKenzie fue el esfuerzo conjunto de cerca de 40 pequeñas iniciativas de investigación orientadas a evaluar las implicancias del cambio climático y las tendencias socioeconómicas futuras de una variedad de recursos y componentes relacionados con el uso del agua. Este estudio fue uno de los primeros en ser conducidos enteramente en un “joint venture” entre investigadores y actores de la cuenca.

La evaluación egipcia trabajó sobre los impactos de cambios en sistemas regionales climáticos y sociales. El estudio usó un modelo integrativo para evaluar los impactos del clima en la hidrología regional, la agricultura y la disponibilidad de tierras en términos de una variedad de medidas económicas y sociales. Su análisis demostró que un análisis integrado de

Cultivos de panllevar en la cuenca del río Mantaro. La más simple metodología utilizada para realizar una evaluación local integrada se refiere al modelo de impacto climático lineal, el cual liga uno a uno eventos climáticos, unidades expuestas, impactos y consecuencias con respuestas de ajuste.

impactos da un nivel de información significativamente diferente al obtenido por los estudios sectoriales.

Durante esa década, la ocurrencia del fenómeno de El Niño 1997-98 despertó en científicos de todo el mundo el deseo de pronosticar eficientemente la variabilidad climática natural y su entendimiento de las consecuencias sociales, dando un apoyo a los estudios de evaluaciones integradas relacionados tanto a la variabilidad climática como al cambio climático.

Actualmente una de las metodologías más exitosas utilizadas es la formulada por el Climate Impacts Group (CIG) del Joint Institute for the Studies of Atmosphere and Ocean (JISAO), que toma al recurso agua como eje transversal de estudio. A pesar de que el término “Evaluación Integrada” varía dependiendo del contexto, consideramos que la definición del CIG es la que más se ajusta al caso de la Evaluación Local Integrada en la cuenca del río Mantaro, refiriéndonos al proceso de sintetizar conocimiento relevante a un tema específico – como puede ser el recurso hídrico – permitiendo la investigación que llena numerosos vacíos en el conocimiento (como ocurre con la información de oferta, demanda y calidad de agua en la cuenca del Mantaro), y comunica sus resultados para apoyar la planificación y la toma de decisiones.

OBJETIVOS Y ESTRATEGIAS

El objetivo general del estudio fue el de sistematizar y ampliar el conocimiento sobre el cambio climático en la cuenca del río Mantaro y evaluar los aspectos climáticos, físicos y sociales de su vulnerabilidad e identificar opciones viables de adaptación en los sectores de agricultura, recursos hídricos, generación de energía y población para incorporarlos en los planes de desarrollo local y regional.

Por otro lado, los objetivos específicos del presente estudio fueron:

- Generar información y desarrollar herramientas de base para evaluar el impacto local del Cambio Climático en la cuenca del Mantaro.
- Identificar a los grupos humanos locales que intervienen en la cuenca, evaluar los posibles

impactos del cambio climático en los sistemas de vida, y proponer medidas de adaptación para reducir la vulnerabilidad. Por ejemplo, conocer qué efectos tendrían el incremento en la intensidad y frecuencia de las heladas en los diferentes sectores socio-económicos ante un escenario de calentamiento global.

- Evaluar la vulnerabilidad y los riesgos del cambio climático en la cuenca del río Mantaro, formular y presentar a los actores locales las propuestas de adaptación identificadas.
- Elaborar un documento que contuviera en forma ágil y amena información sobre la vulnerabilidad actual y futura de la cuenca, así como propuestas de medidas de adaptación.

Durante el desarrollo de todo el estudio se trabajó en torno a varias estrategias, que fueron base para el éxito de la Evaluación Local Integrada, y que resumimos en el siguiente listado:

- Lograr la participación interinstitucional y multidisciplinaria
- Utilizar la experiencia del Instituto Geofísico del Perú en los estudios del clima y de la gestión de riesgos² y sus vínculos con instituciones de la región.
- Sistematizar la amplia información relevante y disponible en la cuenca del Mantaro para su utilización en la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático.
- Aplicación de métodos para la evaluación de la vulnerabilidad y adaptación al cambio climático tomando en cuenta las sugerencias del IPCC.
- Implementar mecanismos que permitan capacitar personal con la finalidad de propiciar la sostenibilidad del subprograma y sensibilizar sobre género a los grupos sociales involucrados.
- Propiciar la incorporación de los resultados de la evaluación de la vulnerabilidad al cambio climático y propuestas de medidas de adaptación en la formulación de políticas y toma de decisiones en la región.

2. El Instituto Geofísico del Perú tiene dentro de sus objetivos realizar estudios para la prevención de los desastres naturales y desarrollar los procedimientos que permitan prever y reducir el impacto destructor de los desastres naturales o inducidos por el hombre, como son aquellos que se pudieran dar a causa del calentamiento global.

Conceptos básicos sobre vulnerabilidad y adaptación

A continuación señalamos los principales términos básicos utilizados en el presente Diagnóstico, tomados del Third Assessment Report (TAR), el cual fue producido por el Grupo de Trabajo II (WGII) del IPCC (2001) y que se enfoca en las consecuencias ambientales, sociales y económicas del cambio climático y las respuestas potenciales de adaptación.

Adaptación.- Ajuste en los sistemas naturales o humanos en respuesta a estímulos climáticos previstos o a sus efectos, que mitiga el daño o explota las oportunidades beneficiosas. Pueden distinguirse diversos tipos de adaptación, incluyendo la adaptación anticipatoria y reactiva, privada y pública, autónoma y planificada:

Adaptación anticipadora.- Adaptación que se produce antes de que se observen impactos del cambio climático. También se denomina adaptación preactiva.

Adaptación autónoma.- Adaptación que no constituye una respuesta consciente a estímulos climáticos, sino que es provocada por cambios ecológicos en los sistemas naturales y cambios en el mercado o el bienestar en los sistemas humanos. También se denomina adaptación espontánea.

Adaptación planificada.- Adaptación que resulta de una decisión política deliberada, basada

en la comprensión de que las condiciones han cambiado o están por cambiar y de que se requieren medidas para volver a un estado deseado, mantenerlo o lograrlo.

Adaptación privada.- Adaptación iniciada y ejecutada por personas, familias o empresas privadas. La adaptación privada suele responder a un interés fundado de quienes la realizan.

Adaptación pública.- Adaptación iniciada y ejecutada por cualquier nivel de gobierno. La adaptación pública suele orientarse a necesidades colectivas.

Adaptación reactiva. Adaptación que se produce después de haberse observado los impactos del cambio climático.

Antropógeno.- Resultante de la actividad del ser humano o producido por éste.

Beneficios de la adaptación.- Costos de los daños evitados o beneficios acumulados como resultados de la adopción y la aplicación de medidas de adaptación.

Cambio Climático.- Todo cambio producido en el clima a lo largo del tiempo, ya sea debido a la variabilidad natural o como resultado de la actividad humana. Este uso difiere del adoptado en la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC), de las Naciones Unidas donde se define el “cambio climático” como: “un cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante periodos de tiempo comparables”.

Capacidad de adaptación.- Capacidad de un sistema para ajustarse al cambio climático (incluso a la variabilidad climática a los episodios extremos) para mitigar posibles daños, aprovechar las oportunidades o afrontar las consecuencias.

Clima.- Se suele definir el clima, en sentido estricto, como el “promedio del estado del tiempo”, o más rigurosamente, como una descripción estadística en términos de valores medios y de variabilidad de las magnitudes durante un periodo que puede abarcar desde algunos meses hasta miles de años. El periodo clásico es de 30 años, según la definición de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Dichas magnitudes son casi siempre variables de superficie, como la temperatura, las precipitaciones o el viento. En un sentido más amplio, el clima es el estado del sistema climático, incluida una descripción estadística de éste.

Escenario (en sentido genérico).- Descripción verosímil y a menudo simplificada de la forma en que puede evolucionar el futuro, sobre la base de una serie homogénea e intrínsecamente coherente de hipótesis sobre fuerzas determinantes y relaciones fundamentales. Los escenarios pueden derivarse de proyecciones, pero a menudo se basan en información adicional de otras fuentes, en ocasiones combinada con una “descripción de la línea evolutiva”.

Escenario climático.- Representación verosímil y a menudo simplificada del clima futuro, sobre la base de una serie intrínsecamente coherente de relaciones climatológicas, elaborada para ser expresamente usada en la investigación de las posibles consecuencias de los cambios climáticos antropógenos, y que suele utilizarse como instrumento auxiliar para la elaboración de modelos de impacto. Las proyecciones climáticas

sirven a menudo como materia prima para la creación de escenarios climáticos, pero estos suelen requerir información adicional, como datos sobre el clima observado en la actualidad. Un “escenario de cambio climático” es la diferencia entre un escenario climático y el clima actual.

Escenario de emisiones.- Representación verosímil de la evolución futura de las emisiones de sustancias que pueden ser radiativamente activas (por ejemplo, gases de efecto invernadero, aerosoles), sobre la base de una serie homogénea e intrínsecamente coherente de hipótesis sobre las fuerzas determinantes (como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico y los cambios tecnológicos) y las relaciones fundamentales entre ellas. En el IPCC (1992) figura una serie de escenarios de emisiones que se utilizaron como punto de partida para la elaboración de proyecciones climáticas en el Segundo Informe de Evaluación (IPCC, 1995). A esos escenarios de emisiones se les conoce con el nombre de IS92. En el Informe especial sobre los escenarios de emisiones del IPCC (Nakicenovic et. Al, 2000) se publicaron nuevos escenarios de emisiones: los llamados escenarios del IE_EE.

Evaluación de la Adaptación.- Práctica de identificar opciones para adaptarse al cambio climático y evaluarlas en términos de criterios tales como la disponibilidad, los beneficios, los costos, la efectividad, eficiencia y la factibilidad.

Impactos (climáticos).- Consecuencias del cambio climático sobre los sistemas naturales y humanos. Dependiendo de la consideración de la adaptación se puede distinguir entre impactos potenciales e impactos residuales.

Incertidumbre.- Grado de desconocimiento de un valor (por ejemplo el estado futuro del sistema climático). La incertidumbre puede derivarse de la falta de información o de las discrepancias en cuanto a lo que se sabe o incluso en cuánto a lo que es posible saber. Puede tener muy diversos orígenes, desde errores cuantificables en los datos hasta ambigüedades en la definición de conceptos o en la terminología, o inseguridad en las proyecciones del comportamiento humano. La incertidumbre puede, por lo tanto, representarse con medidas cuantitativas (por ejemplo una serie de valores calculados con distintos modelos) o con expresiones cualitativas (por ejemplo que reflejen la opinión de un grupo de expertos).

Mitigación.- Intervención humana para reducir las fuentes o ampliar los sumideros de gases de efecto invernadero.

Modelo climático.- Representación numérica del sistema climático sobre la base de las propiedades físicas, químicas y biológicas de sus componentes, sus interacciones y procesos de retroacción, y que tiene en cuenta todas o algunas de sus propiedades conocidas. El sistema climático puede representarse con modelos de distinta complejidad (de manera que en cada componente o combinación de componentes se puede identificar una jerarquía de modelos, que difieren entre sí en aspectos como el número de dimensiones espaciales; el grado de detalle con que se representan los procesos físicos, químicos o biológicos, o el grado de utilización de parametrizaciones empíricas. Los modelos acoplados de circulación general atmósfera-océano-hielo maridón (MCGAO) permiten hacer una representación integral del sistema climático. Hay una evolución hacia modelos más complejos, con participación activa de la química y la biología. Los modelos climáticos se utilizan como método de investigación para estudiar y simular el clima, pero también con fines prácticos, entre ellos las predicciones climáticas mensuales, estacionales e interanuales.

Predicción climática.- Una predicción climática o un pronóstico climático es el resultado de un intento de establecer la descripción o la estimación más probable de la forma en que realmente evolucionará el clima en el futuro (por ejemplo, en escalas temporales estacionales, interanuales o a más largo plazo).

Resiliencia.- Cantidad de cambio que un sistema puede soportar sin cambiar de estado.

Sensibilidad.- Grado en que un sistema resulta afectado, negativa o ventajosamente, por estímulos relativos al clima. El efecto puede ser directo (por ejemplo un cambio en el rendimiento de las cosechas en respuesta a un cambio en la temperatura media, su margen de variación o su variabilidad) o indirecto (por ejemplo los daños causados por un aumento en la frecuencia de las inundaciones costeras debido a la elevación del nivel del mar).

Sinóptico.- Relativo a las condiciones atmosféricas y meteorológicas tal como existen simultáneamente sobre una amplia zona o la forma en que se presentan.

Variabilidad del clima.- La variabilidad del clima se refiere a variaciones en las condiciones climáticas medias y otras estadísticas del clima (como las desviaciones típicas, los fenómenos extremos, etc.) en todas las escalas temporales y espaciales que se extienden más allá de la escala de un episodio meteorológico en particular. La variabilidad puede deberse a procesos naturales internos que ocurren dentro del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones en el forzamiento externo natural o antropógeno (variabilidad externa).

Vulnerabilidad.- Medida en que un sistema es capaz o incapaz de afrontar los efectos negativos del cambio climático, incluso la variabilidad climática y los episodios extremos. La vulnerabilidad está en función del carácter, la magnitud y el índice de variación climática a que está expuesto un sistema, su sensibilidad y su capacidad de adaptación.

Metodología

Durante el desarrollo de la investigación, se apostó por un trabajo interdisciplinario e interinstitucional, el cual tuvo como herramienta fundamental la realización de talleres participativos con las instituciones colaboradoras, que dieron numerosos y útiles aportes a la recolección de información, análisis, modelado de datos y aplicación de resultados.

El desarrollo de los temas tratados en el presente volumen fue realizado en paralelo por dos grupos de trabajo:

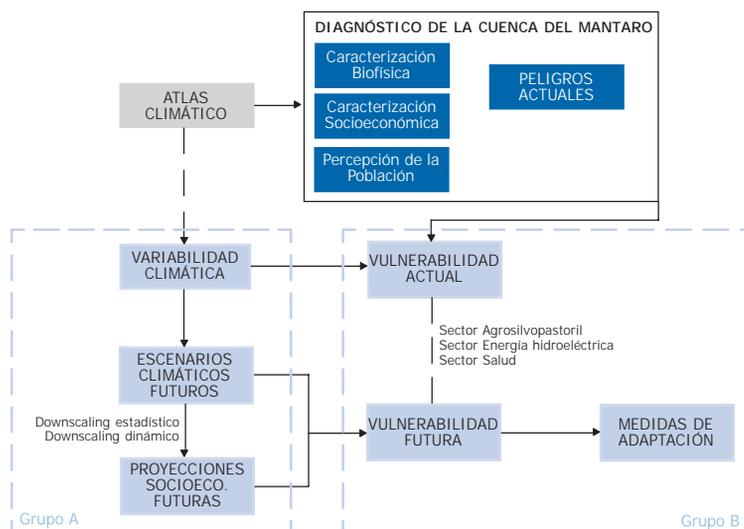
- **Grupo de trabajo A:** Encargado del estudio de las características climáticas (variabilidad climática y tendencias), así como de la producción de los escenarios climáticos futuros.
- **Grupo de trabajo B:** Encargado del estudio de la vulnerabilidad actual y futura de los diferentes sectores socioeconómicos en la

cuenca, así como de la elaboración de medidas de adaptación.

El Gráfico Nro. 01 muestra el flujograma metodológico del proceso de elaboración del estudio de Evaluación Local Integrada en la cuenca del Mantaro.

Para la elaboración de este trabajo se utilizó el “Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro” (en gris), y el “Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la

Gráfico Nro. 01: Flujograma metodológico de la Evaluación Local Integrada en la cuenca del Río Mantaro



visión de Cambio Climático” (en azul), ambos elaborados por el mismo equipo investigador, y que sentaron la línea base del estudio.

El Grupo A realizó el análisis sobre la variabilidad climática en la cuenca, principalmente referida a periodos lluviosos y secos, su relación con El Niño, mecanismos de teleconexión, y los procesos físicos locales y su relación con la variabilidad de las lluvias. Asimismo se hace el análisis de las tendencias de precipitación y de frecuencia e intensidad de heladas.

Parte fundamental del estudio fue el desarrollo de escenarios climáticos futuros, bajo dos tipos de análisis: downscaling³ estadístico y downscaling dinámico, esta información fue posteriormente utilizada para el análisis de vulnerabilidad futura.

El Grupo B analizó la vulnerabilidad actual y futura en la cuenca, teniendo en cuenta los tres sectores priorizados de estudio: agrosilvopastoril, energía hidroeléctrica y salud, teniendo como insumo la información generada por el Grupo A. Finalmente, en sucesivos talleres y reuniones de trabajo se elaboraron las medidas de adaptación para cada uno de los sectores priorizados.

Debido a la mayor diversidad de temas tocados en el presente volumen, la metodología de los diferentes estudios específicos será descrita en las secciones correspondientes junto con los resultados y su análisis para una mayor claridad.

ZONAS DE ESTUDIO Y SUBCUENCAS PRIORIZADAS

Dada la extensión y complejidad geográfica de la cuenca, ésta se dividió en zona norte, centro y sur, teniendo en cuenta aspectos como el clima, la fisiografía, hidrología y aspectos socio-económicos. En la Tabla Nro. 01 se presenta la división realizada por zonas, así como las subcuencas que corresponden a cada zona y su área en kilómetros cuadrados.

Asimismo, se decidió escoger algunas subcuencas y microcuencas como unidades muestrales de estudio, teniendo en cuenta factores como: representatividad dentro de la cuenca, existencia de información meteorológica, capacidad de gestión de sus actores e instituciones, posibilidades de organización, acceso a vías de comunicación, significancia socio-ambiental de su problemática o sus potencialidades, etc.

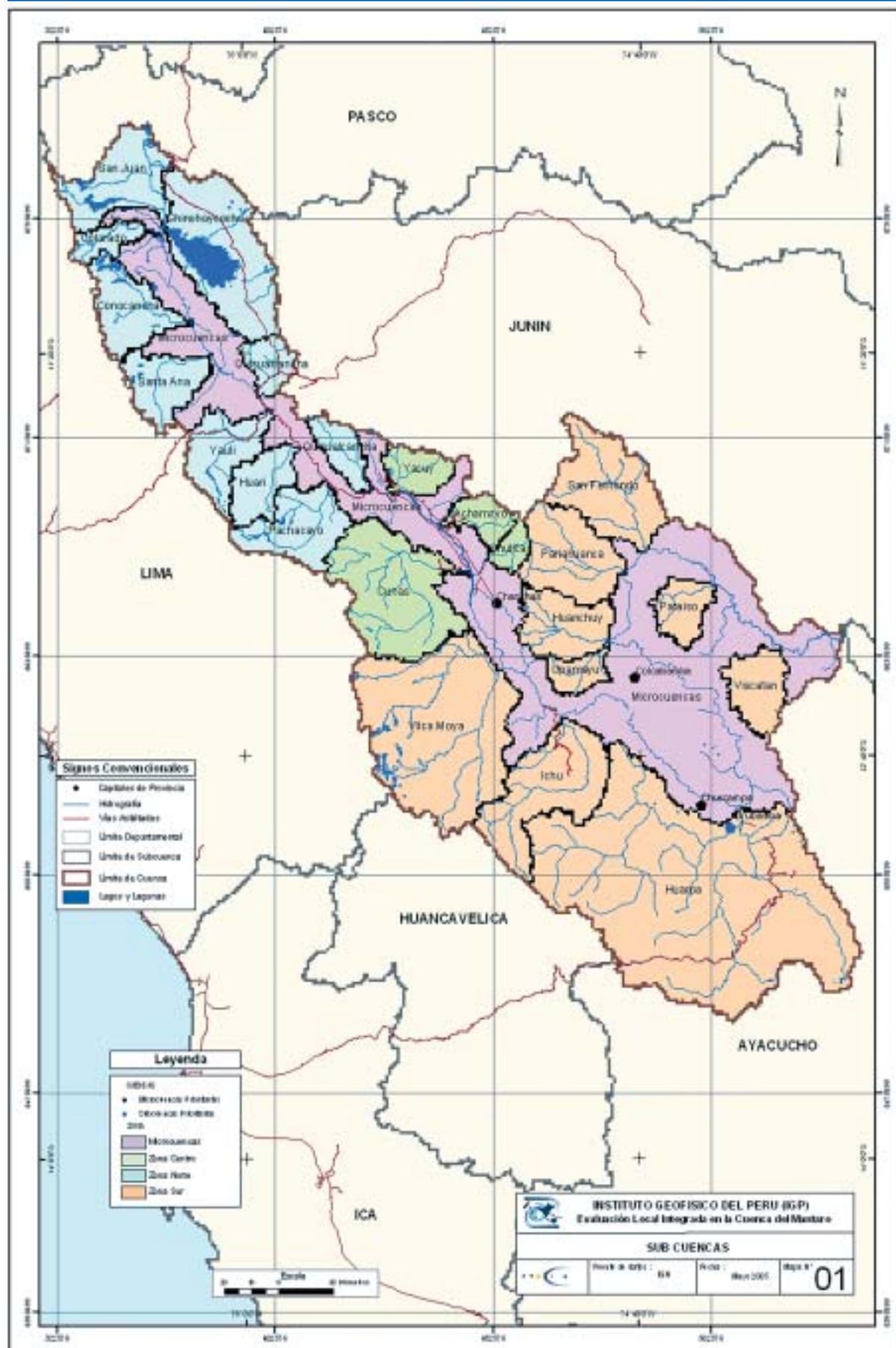
Tabla Nro. 01:
Zonas de estudio y subcuencas correspondientes

	ZONA	SUBCUENCA	ÁREA EN KM ²
1	NORTE	Atoc Huayco	307 102
2		Chinchaycocha	1692 579
3		Colorado	261 838
4		Conocancha	714 027
5		Huari	493 448
6		Pachacayo	821 771
7		Quisualcancha	335 271
8		Santa Ana	600 191
9		San Juan	924 281
10		Yauli	688 460
11	CENTRO	Achamayo	306 052
12		Cunas	1701 648
13		Shullcas	180 978
14		Yacus	367 677
15	SUR	Huanchuy	705 787
16		Huarpa	6 813 838
17		Ichu	1 381 941
18		Paraíso	392 312
19		Pariahuanca	988 785
20		San Fernando	1 205 173
21		Upamayu	265 049
22		Vilca Moya	3 048 927
23		Vizcatán	539 100
		Microcuencas ⁴	9 813 797

En el Mapa Nro. 01 se aprecia la división por zonas de la cuenca, así como la división por subcuencas. Adicionalmente se indican aquellas subcuencas y microcuencas utilizadas como unidades de estudio. Las subcuencas seleccionadas fueron: Chinchaycocha, Yacus, Achamayo, Shullcas, Cunas, Upamayu, Vilca Moya y Urubamba, y las microcuencas de Yanamarca, Chanchas, Colcabamba y Churcampa.

3. Regionalización de datos globales para la zona de estudio.

4. La zona indicada como «Microcuencas», abarca las muchas microcuencas localizadas en las riberas del río Mantaro, y a lo largo de todo su recorrido.



PELIGROS NATURALES EN LA CUENCA

Metodológicamente, para el análisis de la vulnerabilidad actual y futura se tuvieron en cuenta los peligros naturales⁵ más importantes en la cuenca, los mismos que fueron identificados y descritos en el “Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión de cambio climático” (IGP, 2005).

La población de la cuenca del río Mantaro es vulnerable a numerosos fenómenos meteorol-

ógicos y geodinámicos, que constantemente atentan contra la seguridad y bienestar de la población de la cuenca. A pesar de ser “naturales”, estos peligros tienen cierto grado de participación humana. Son estos peligros los que se verían exacerbados por el cambio climático, incrementando aún más el riesgo de la población. En la Tabla Nro. 02 se presentan los principales peligros, la definición utilizada y las características que presentan en la cuenca.

Tabla Nro. 02:
Principales peligros naturales en la cuenca del río Mantaro y sus características

PRINCIPALES PELIGROS NATURALES EN LA CUENCA DEL MANTARO	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL FENÓMENO EN LA CUENCA DEL MANTARO
Heladas	Sobreenfriamiento atmosférico y la subsiguiente congelación del agua y de la humedad ambiental, que produce irreparables daños a las plantas por la ruptura de los tejidos vegetales, como consecuencia de la formación de cristales de hielo en la savia, y en casos extremos, podría ocasionar la mortandad en los animales que permanecen a la intemperie.	<p>Se presentan heladas en climas de tipo frío y seco. Son frecuentes en zonas altas, que tienen una fuerte oscilación térmica diaria y pueden presentar bruscos o fuertes enfriamientos del aire especialmente por irradiación, durante las noches o madrugadas.</p> <p>En las partes altas de la cuenca como laderas, vertientes y pampas de altitud mayor a los 3000 msnm., el grado de exposición a la intemperie es mayor. Mientras que las zonas bajas de las vertientes (valles o quebradas), se encuentran relativamente protegidas por las laderas aunque siempre llegan las masas de aire frío por gravedad. El tipo de suelo determina las condiciones de conductividad calorífica entre las capas de los suelos y la vegetación o sembríos que se encuentran en ellos y la capa superficial del aire frío.</p> <p>El uso de la tierra también es un factor a ser tomado en cuenta, ya que los efectos de las heladas dependen en gran medida de los tipos de cultivos que se incluyen en el calendario agrícola, debido a los diferentes grados de resistencia a las heladas durante su periodo vegetativo (germinación, floración y fructificación).</p>
Sequías	Periodos prolongados sin lluvia en los ciclos climáticos naturales. Los ciclos de periodos secos y húmedos presentan problemas serios para los campesinos que se arriesgan con	La temporada de lluvias en la cuenca se inicia en general en setiembre y termina en abril de cada año. Muchos de las actividades productivas están supeditados a las lluvias y los territorios de pastoreo dependen de la vegetación que producen las precipitaciones.

Continúa en la pag. siguiente

5. Se denomina peligro natural a todos los fenómenos atmosféricos, hidrológicos, geológicos de superficie, u originados por el fuego, que debido a su severidad y frecuencia afectan de manera adversa a los seres humanos, sus estructuras o actividades (Manual de Peligros Naturales, OEA, 1993).

**Continuación de la Tabla Nro. 02:
Principales peligros naturales en la cuenca del río Mantaro y sus características**

PRINCIPALES PELIGROS NATURALES EN LA CUENCA DEL MANTARO	DEFINICIÓN	CARACTERÍSTICAS DEL FENÓMENO EN LA CUENCA DEL MANTARO
	<p>estos ciclos. Durante periodos húmedos, el tamaño de los rebaños aumenta y los cultivos se proyectan hacia áreas más secas. Mas tarde, la sequía destruye las actividades humanas que han sido extendidas más allá de los límites de capacidad de sostenimiento de la región.</p>	<p>Las sequías afectan principalmente la actividad agropecuaria, la producción de hidroenergía eléctrica e incluso el abastecimiento normal de agua potable en las ciudades.</p> <p>Los que habitan por encima de los 3,500 msnm son directamente afectados durante las sequías ya que el 80% de las tierras son de pastoreo, las tierras de cultivo son escasas a pesar de lo cual el 70% de la población económicamente activa de esos lugares se dedica a la agricultura y la ganadería.</p>
<p>Fenómenos geodinámicos externos</p>	<p>Conjunto de procesos que ocasionan modificaciones de la morfología de la superficie terrestre por acción o esfuerzos externos que resultan en la denudación, destrucción o desgaste y la deposición, sedimentación o formación. Dichos agentes actúan raramente por separado; no obstante, en una determinada área, alguno de ellos predomina sobre el otro.</p>	<p>Los principales fenómenos geodinámicos externos que actúan en la cuenca del río Mantaro son:</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <i>Deslizamientos de tierra.</i> Incluye deslizamientos, caídas y flujos de materiales no consolidados, estos pueden iniciarse por terremotos, erupciones volcánicas, suelos saturados por lluvias intensas, o por el acercamiento de la capa freática a la superficie y por erosión causadas por ríos. ● <i>Huaycos.</i> O llocllas (nombre original en el idioma quechua), es un proceso de remoción en masa de flujo rápido que se da en cuencas colectoras (quebrada seca o torrentera) de fuerte pendiente, ubicadas en las zonas áridas y semiáridas, que se caracteriza por arrastrar materiales de todo tipo en forma caótica. ● <i>Erosión de suelos.</i> Acción combinada de diversos procesos mediante los cuales la roca es descompuesta y desintegrada, transportada y acumulada o depositada, debido a la acción continua de los agentes atmosféricos y fluviales. ● <i>Sedimentación de ríos.</i> Acumulación en el lecho de ríos y reservorios de materiales de sedimentación generalmente acarreados por los cursos de agua desde sus nacientes y a través de su recorrido.

Variabilidad y tendencias climáticas en la cuenca del río Mantaro

4.1 VARIABILIDAD INTERANUAL E INTRAESTACIONAL

La variabilidad interanual es la variabilidad climática en escalas de tiempo de unos cuantos años. Así por ejemplo, en algunos años tenemos que las lluvias son más intensas que otros, lo mismo puede suceder con las temporadas secas. También pueden encontrarse años más cálidos o fríos que otros. Por otro lado, la variabilidad intraestacional es aquella que tiene escalas de tiempo menor a la de las estaciones (por ejemplo, dentro de la estación de lluvia), pero mayor que las de eventos meteorológicos específicos. En el presente capítulo, se analiza la variabilidad interanual e intraestacional de la precipitación y temperatura del aire.

Los datos utilizados para el estudio de variabilidad climática en la cuenca del Mantaro pertenecen a la red de estaciones meteorológicas del SENAMHI, Electro Perú, Electro Andes e IGP. La ubicación de las estaciones meteorológicas utilizadas puede verse en el Mapa Nro. 02. La lista de las estaciones y su ubicación geográfica está presentada en el anexo Nro. 1 (Pág. 103).

4.1.1 Periodos secos y lluviosos

Con el objetivo de identificar los periodos secos y lluviosos ocurridos entre los años 1970 al 2004, se utilizaron los datos mensuales de precipitación en 38 estaciones, seleccionadas de manera que éstas cuenten en lo posible con registros para un mismo periodo. Se analizó la temporada de lluvias (septiembre-abril), para lo que se seleccionaron todos los meses comprendidos en este periodo entre los años 1970 a 2004. También se analizó en forma independiente los periodos de septiembre-diciembre y enero-abril. Posteriormente se identificaron los periodos lluviosos o secos utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés).

El SPI se calcula mediante el ajuste de los datos históricos a una distribución probabilística, la cual es transformada a una distribución normal, de tal modo que, la media del SPI para la estación es cero (McKee et al. 1993). Valores positivos del SPI (Tabla Nro. 03) indican precipitaciones mayores que la media, y valores negativos indican precipitaciones menores que la media. Este índice es muy usado por la National Drought Mitigation Center de los EEUU para la vigilancia de sequías. También se utiliza para vigilar periodos secos y lluviosos.



**Tabla Nro. 03:
Pluviosidad según valores
del SPI**

VALORES DEL SPI	EVENTOS ASOCIADOS
2,0+	Extremadamente lluvioso
1,5 a 1,99	Muy lluvioso
1,0 a 1,49	Moderadamente lluvioso
-0,99 a 0,99	Cerca de lo normal
-1,0 a -1,49	Moderadamente seco
-1,5 a -1,99	Severamente seco
- 2,0 y menos	Extremadamente seco

Fuente: Adaptado de Mckee et al. 1993.

Las precipitaciones en la cuenca del río Mantaro tienen un ciclo anual caracterizado por una temporada lluviosa bien marcada durante los meses de enero-marzo, una temporada seca marcada entre mayo y agosto y un inicio de la temporada de lluvias gradual, lenta y variable, que ocurre entre los meses de setiembre y diciembre. Por ello puede dividirse el ciclo lluvioso en tres partes: La temporada seca de mediados de abril a agosto; la temporada de inicio de las lluvias de setiembre a diciembre y la temporada de lluvias de enero a marzo.

La distribución espacial del acumulado anual de la precipitación en la cuenca del Mantaro, muestra los valores máximos en el extremo norte y sur occidental de la cuenca (1 000 mm/año); y en la región oriental, en la selva de los departamentos de Junín y Ayacucho, donde la precipitación anual alcanza los 1 600 mm/año. Las zonas con menor precipitación se ubican en la parte centro-sur de la cuenca (entre Pampas y Huanta) con valores del orden de 550 mm/año, y en el centro-norte (entre La Oroya y Jauja) con 650 mm/año (Para mayor detalle, ver: Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del Mantaro, IGP Vol. I, 2005).

Si bien el ciclo anual de la precipitación en la cuenca del Mantaro está bien definido, sin embargo existe mucha variabilidad interanual, registrándose periodos largos de sequías o de lluvias intensas.

Clasificación de periodos secos y lluviosos

Sobre la base de los valores del SPI (Tabla Nro. 03) se calculó, para cada año, el número de estaciones que mostraron valores del SPI positivos y negativos, y, de éstas, cuántas tienen valores superiores a +1, +2 y +3 e inferiores a -1, -2 y -3. Para la determinación de los periodos secos/lluviosos se consideró que al menos el 70% de las estaciones registren valores negativos/positivos, salvo excepciones en los cuales, al menos la mitad de las estaciones con valores positivos del SPI, tengan valor mayor o igual a -(+)1. Los cálculos se realizaron para el periodo completo: setiembre-abril, así como para los meses: setiembre-diciembre y enero-abril.

Para los años analizados (1970-2004), se encontraron 8 periodos lluviosos ocurridos y 6 periodos secos. El año 1973 fue el más lluvioso, ya que el exceso de lluvias se presentó tanto en los meses de inicio de temporada (setiembre-diciembre), como en los meses de enero-abril. Por otro lado los años 1991 y 1992, fueron los más secos (Tabla Nro. 04).

Del análisis de los datos de precipitación registrados en los últimos 30 años en 38 estaciones de la cuenca del Mantaro, se concluye que los años con excesos de precipitaciones se dieron a principios de los años 70, así como durante los primeros 5 años de la década del ochenta, siendo 1973 el año con lluvias más intensas y generalizadas en la cuenca. Por otro lado, los déficit de precipitaciones, ocurrieron en la segunda mitad de la década de los setenta y ochenta e inicios de la década del noventa, siendo los años 1991 y 1992 cuando se registraron los déficit más significativos.

Puede notarse en la Tabla Nro. 04 (página siguiente) que algunos periodos identificados como lluviosos en los meses de setiembre-abril, podrían deberse básicamente al aporte de lluvias de sólo el periodo de máximas precipitaciones: enero-marzo, como ocurre para el periodo 1983/84. Ya que en este periodo los meses de enero-abril de 1984 fueron lluviosos, mientras que de setiembre a diciembre de 1983, fueron secos.

4.1.2 Circulación atmosférica asociada a periodos secos y lluviosos

La variabilidad interanual de las lluvias, está relacionado a variaciones en los patrones de circulación atmosférica a escala regional y global. Es por ello, que se plantea como objetivo encontrar las variaciones en los sistemas

Tabla Nro. 04:
Relación de periodos secos y lluviosos

PERIODOS LLUVIOSOS								
Setiembre-abril	1972/73	1973/74	1980/81	1981/ 82	1983/ 84	1985/ 86	1993/ 94	2002/ 03
Enero-abril	1972	1973	1974	1984	1986	1988	1989	1994
Setiembre-diciembre	1973	1975	1977	1981	1982	1990	1993	2002
PERIODOS SECOS								
Setiembre-abril	1976/ 77	1979/80	1986/87	1989/ 90	1991/ 92	2003/ 04		
Enero-abril	1980	1983	1987	1990	1991	1992	2004	
Setiembre-diciembre	1974	1976	1983	1991	1992			

atmosféricos que tengan relación con los periodos lluviosos y secos en la cuenca del Mantaro identificados en la Tabla Nro. 04.

Se utilizaron datos de las variables atmosféricas provenientes del NCEP⁶/NCAR⁷ Reanálisis (Kalnay et al., 1996). El periodo de análisis de acuerdo a la disponibilidad de los datos fue: 1970-2000, y la zona de estudio a nivel regional abarcó un área comprendida entre los 50° de latitud Sur a 20° de latitud Norte y de 120° a 20° de longitud Oeste.

Se analizó el comportamiento promedio (climatología) de la atmósfera a escala regional para los meses de verano (época de lluvias) e invierno (época seca) en los niveles bajos (850 mb, aprox. 1 500 msnm), medio (500 mb, aprox. 5 000 msnm) y alto (200 mb, aprox. 12 000 msnm) de la atmósfera. Para los años identificados como lluviosos y secos, se analizó el comportamiento promedio de las variables atmosféricas en los niveles mencionados. El análisis está centrado en los meses de verano (enero-marzo) y se basa en anomalías, que son las diferencias entre los periodos lluviosos/secos y la climatología.

Sistemas físico-atmosféricos que influyen en las precipitaciones de la cuenca

En el Gráfico Nro. 02, se muestran en forma esquemática los principales sistemas físico-

geográficos y atmosféricos que influyen en el clima del Perú y por ende en las lluvias. La Corriente de Humboldt o Corriente Peruana juega un papel importante, no sólo para el clima de la costa, sino también de todo el continente, pues con ella se relacionan los sistemas atmosféricos sobre el océano Pacífico oriental. La cordillera de los Andes es un factor físico muy importante que permite que el aire húmedo y cálido proveniente del Atlántico se condense mediante una convección forzada por efecto orográfico, haciendo que las laderas del borde oriental de los Andes tengan más precipitación que las del borde occidental.

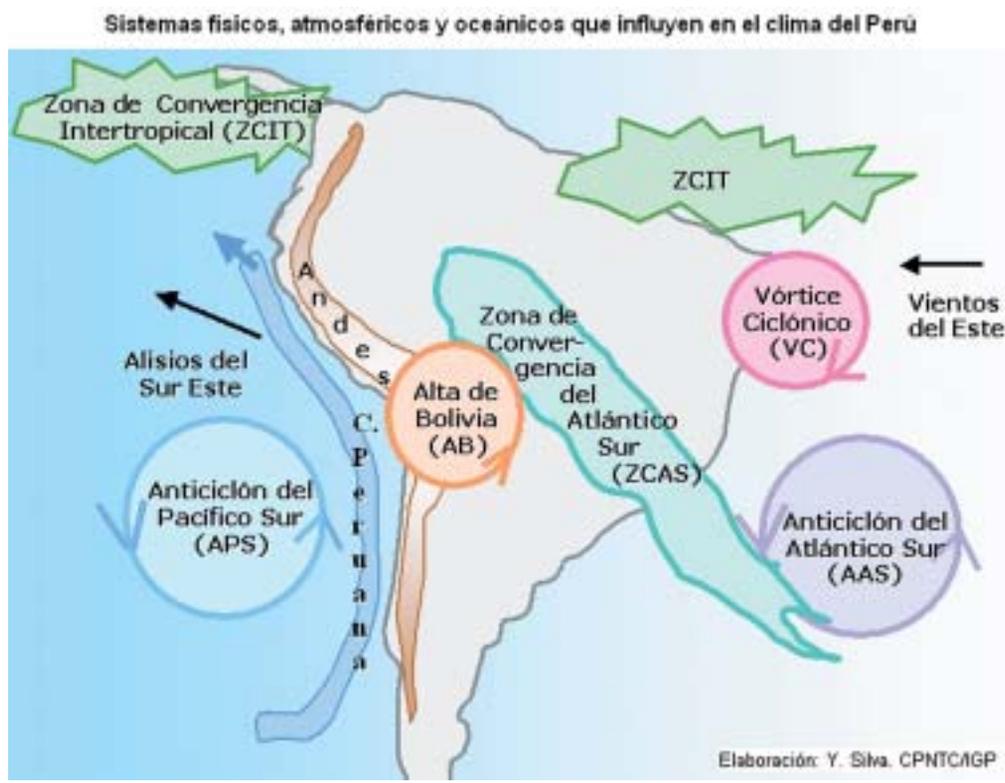
Los sistemas atmosféricos como la Alta del Pacífico Sur (APS) y la Alta del Atlántico Sur (AAS) son sistemas casi permanentes, dinámicos. La Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT), donde convergen el aire que es traído por los alisios del sur este (del hemisferio sur) y los traídos por los alisios del noreste (del hemisferio norte), está presente todo el año, pero al igual que el APS y el AAS varían su intensidad y posición de acuerdo a la estación del año. Por lo general los sistemas atmosféricos se desplazan hacia el hemisferio donde se ubica el verano, es decir en los meses del invierno austral (junio-agosto) estos tendrán su mayor desplazamiento hacia el norte, ocurriendo lo contrario para el verano austral (enero-marzo). La Zona de Convergencia del Atlántico Sur (ZCAS) es un

6. National Center for Environmental Prediction (www.ncep.noaa.gov/)
7. National Center for Atmospheric Research (www.ncar.ucar.edu/)

sistema de convergencia de los vientos en niveles bajos de la atmósfera, como consecuencia del cual se genera gran cantidad de nubosidad de tipo convectivo, haciendo que se generen lluvias fuertes por espacio de algunos días. Es un sistema que sólo se presenta en los meses de verano. En los niveles altos de la atmósfera, durante los meses de verano se forma un sistema anticiclónico

conocido como la “Alta de Bolivia” (AB) y un vórtice ciclónico (VC) ubicado en el extremo noreste de Brasil. Un análisis detallado sobre la climatología de los sistemas atmosféricos en América del sur se encuentra en el Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro (IGP Vol. I, 2005).

Gráfico Nro. 02: Sistemas físico-atmosféricos que influyen en el clima del Perú.



Comparación entre periodos lluviosos y secos

Niveles bajos de la atmósfera: 850mb

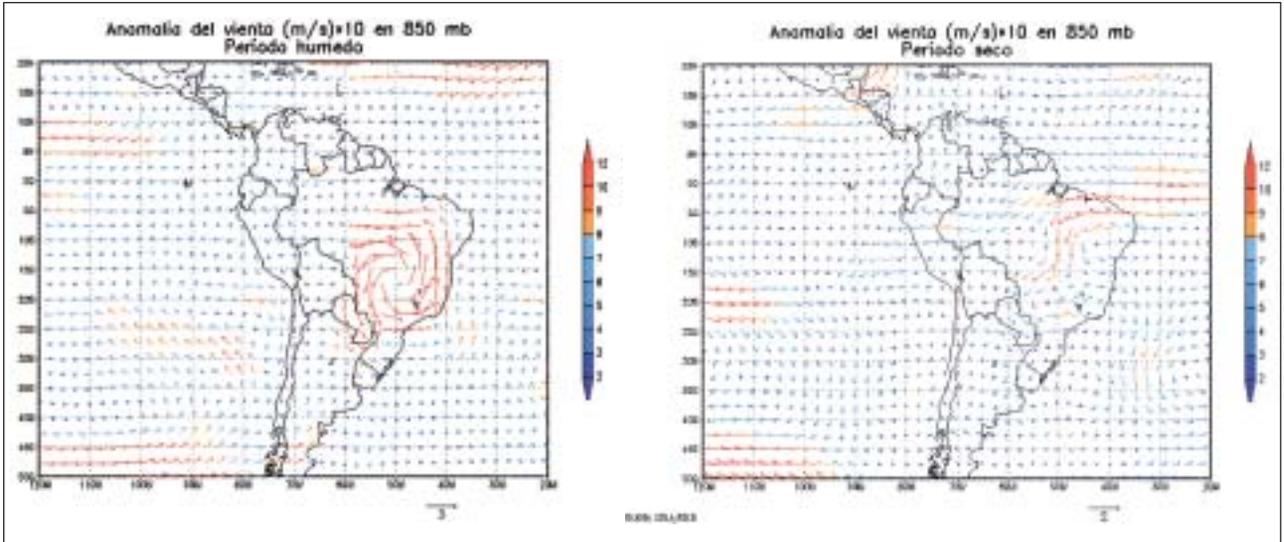
Analizando los flujos de humedad y vientos en niveles bajos vemos que para los periodos lluviosos el APS se encuentra más intenso y se ubica a los 40°S/100°O frente a la costa norte y central de Chile y sur de Perú. Sobre el extremo central-oriental de América del Sur se observa una anomalía anticiclónica durante los periodos

lluviosos (Gráfico Nro. 03), la cual podría favorecer al ingreso de humedad del Atlántico hacia la Amazonía.

Niveles medios de la atmósfera: 500mb

En 500 mb (no mostrado) se observa una anomalía anticiclónica en el extremo centro-oriental hacia el Atlántico durante los periodos lluviosos similar a la de 850 mb. Además, se observa una anomalía ciclónica al noreste del continente hacia el Atlántico ecuatorial.

Gráfico Nro. 03: Anomalía de los vientos en 850mb. Para los años lluviosos (izquierda) y secos (derecha)



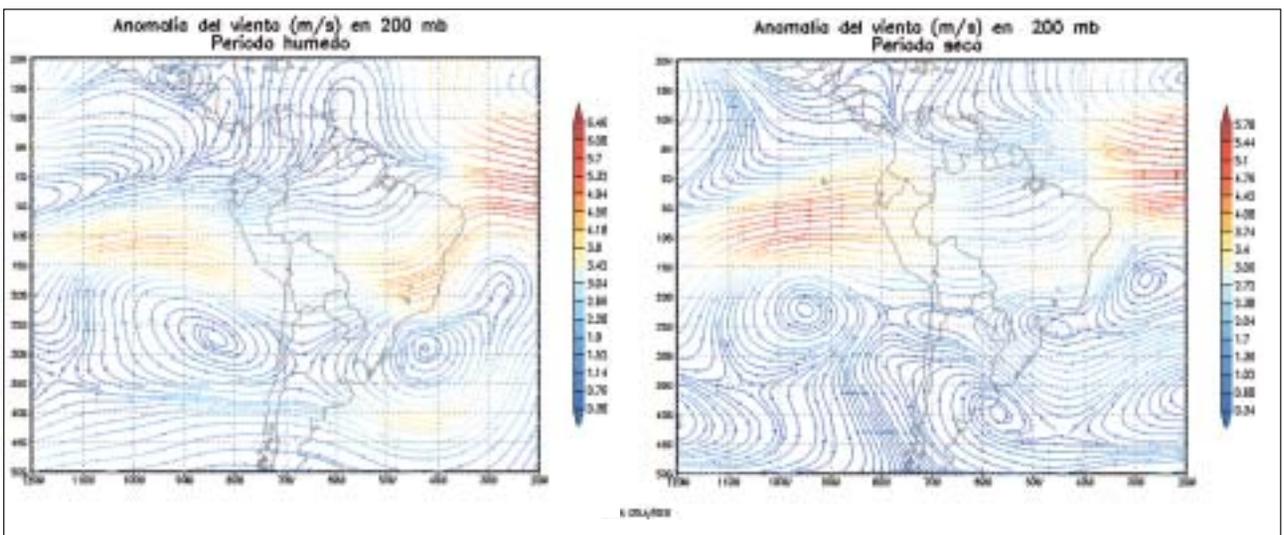
Fuente de datos NCEP/NCAR reanálisis. Procesamiento y elaboración: IGP

Niveles altos de la atmósfera: 200mb

La circulación en los niveles altos de la atmósfera presenta diferencias significativas en la ubicación de la Alta de Bolivia (AB) durante los periodos lluviosos y secos. La AB se encuentra desplazada hacia el suroeste durante los periodos lluviosos y hacia el noreste en los

periodos secos. El desplazamiento del centro de la AB genera anomalías del oeste sobre la sierra central del Perú en los años secos y del este en los años lluviosos (Gráfico Nro.04). En las figuras puede verse que durante los periodos lluviosos la circulación anticiclónica abarca mayor área llegando su influencia hasta los 90°O por el Oeste y 35°O por el Este.

Gráfico Nro. 04: Anomalía de los vientos en 200mb. Para los años lluviosos (izquierda) y secos (derecha)



Fuente de datos NCEP/NCAR reanálisis. Procesamiento y elaboración: IGP

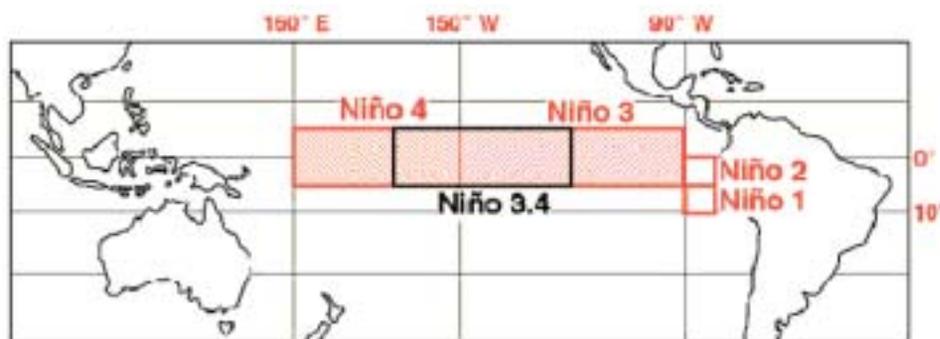
4.1.3 El Fenómeno de El Niño y las Lluvias

Existe mucha confusión por parte de la población con respecto a la relación entre las lluvias en el Perú y el Fenómeno de El Niño (FEN). Zonas como la costa norte del Perú, donde el evento se desarrolla y la influencia del FEN es directa, han sido bastante estudiados (Woodman, 2005). Lagos et al. (2005), por otro lado, encontraron escasa relación entre los eventos Niño y las lluvias en la sierra central del Perú. Estos autores, sin embargo, contaron con pocos datos en la cuenca del Mantaro. En el presente trabajo se extiende este estudio con un número

mayor de registros de lluvias para establecer con más confiabilidad la influencia del FEN en la cuenca del Mantaro.

En el presente análisis se utilizaron datos de precipitación de 50 estaciones ubicadas en la cuenca del Mantaro. El periodo considerado en el estudio es de 1960 al 2004, sin embargo hay muchas estaciones que cuentan con datos para periodos más cortos. Se utilizaron también los índices de Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el océano Pacífico Ecuatorial, conocidas como regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 (Gráfico Nro. 05), estos datos provienen de la NOAA⁸.

Gráfico Nro. 05: Regiones Niño en el océano Pacífico ecuatorial



Fuente: Lagos, et. al. 2005

La metodología usada es la misma que se describe en Lagos et al. (2005), es decir se calculan los coeficientes de correlación lineal de Pearson entre los datos normalizados de precipitación y TSM. Los datos de TSM considerados son promedios sobre las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 3.4 y Niño 4 (Gráfico Nro. 05). Se realiza el análisis primero considerando todos los años y luego considerando los años identificados con eventos El Niño de acuerdo a las definiciones de SCOR (1983) y de la NOAA (2002). El análisis se realiza en forma mensual, así como estacional para el periodo de lluvias (entre setiembre y abril). También se analizaron algunos años particulares que coinciden con eventos extremos como sequías o lluvias intensas para determinar la relación entre estos y el Niño.

Las correlaciones obtenidas individualmente para los meses comprendidos entre setiembre a diciembre son insignificantes. Por ello, mostraremos solamente

los resultados obtenidos para los meses de máximas precipitaciones, enero-marzo.

En el Gráfico Nro. 06 se puede observar que no hay relación entre las lluvias en la cuenca del Mantaro y el calentamiento del mar frente a la costa norte de Perú (región Niño 1+2). Conforme consideramos la TSM en regiones más lejanas de la costa de Perú, vemos que los valores del coeficiente de correlación se incrementan. Específicamente, las relaciones son más fuertes con la TSM en la región de Niño 4. Esta relación es inversa, es decir, que un calentamiento del mar en el Pacífico ecuatorial central inhibe las precipitaciones.

Las correlaciones son mayores en la parte central y sur de la cuenca (Gráfico Nro. 06) y las estaciones que presentan las correlaciones más significativas son La Oroya, San Juan de Jarpa y San Lorenzo (Tabla Nro. 05). La parte norte de

8. National Oceanic and Atmospheric Administration

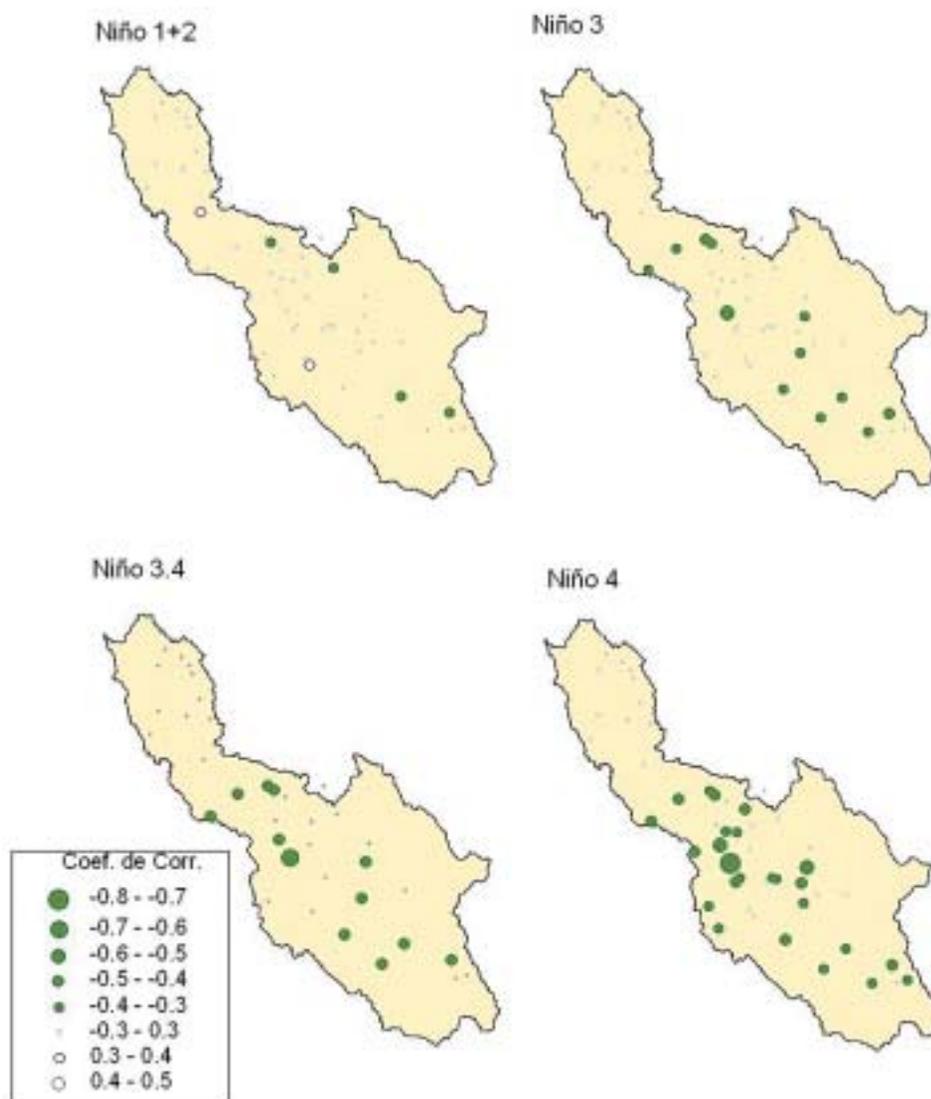
la cuenca no muestra ninguna relación entre el Niño y las lluvias.

En general se puede decir que existe una relación negativa significativa entre las variaciones de la TSM en el Pacífico ecuatorial central (Niño 3.4 y Niño 4) y las precipitaciones en la

cuenca del Mantaro, que el estudio de Lagos et al. (2005) pudo parcialmente detectar debido a que la base de datos usada fue limitada; debido a que estas relaciones no son perfectas. Por ejemplo, el periodo 1997-1998, quizás el FEN más intenso del que se tiene memoria, no fue un periodo seco en la cuenca del Mantaro.

Gráfico Nro 06: Relación entre la temperatura superficial del mar en las regiones Niño y las lluvias en la cuenca del río Mantaro. Para los meses de verano: enero marzo

Relación entre la TSM en las regiones Niño y las lluvias en la cuenca del río Mantaro, Enero-marzo.



Fuente de datos: SENAMHI, ElectroPerú, ElectroAndes, IGP. Procesamiento y elaboración: IGP

Tabla Nro 05:
Valores de los coeficientes de correlación más significativos entre la TSM en las regiones Niño y las lluvias en la cuenca del río Mantaro

Estación	Niño 1 +2	Niño 3	Niño 3.4	Niño 4
La Oroya	-0,29	-0,50	-0,62	-0,72
S. J. de Jarpa	-0,18	-0,28	-0,40	-0,52
San Lorenzo	-0,20	-0,36	-0,48	-0,51
Cercapuquio	0,02	-0,22	-0,38	-0,49
Huancavelica	-0,22	-0,37	-0,47	-0,48
Yauricocha	-0,14	-0,31	-0,42	-0,47
Pachacayo	-0,21	-0,34	-0,44	-0,47
Pampas	-0,18	-0,28	-0,39	-0,47
Jauja	-0,30	-0,34	-0,43	-0,45
Chichicocha	-0,12	-0,22	-0,35	-0,42
Huanta	-0,30	-0,43	-0,44	-0,42

4.1.4 Mecanismos de teleconexión

El objetivo de estudiar los mecanismos de teleconexión consiste en analizar con mayor detalle el comportamiento espacial y temporal de los patrones océano-atmosféricos que podrían estar asociados con el clima de la cuenca del Mantaro. Con este propósito, se calcularon mapas de los coeficientes de correlación entre los campos globales de anomalías de TSM, presión a nivel del mar y altura geopotencial (500mb) con datos mensuales de anomalías de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro para el periodo 1964-1999. Del mismo modo se calcularon las correlaciones entre diversos índices de teleconexión (Wallace and Gutzler, 1981): Oscilación del Atlántico Norte, Pacífico-Norte América, Pacífico Oeste, Pacífico Este y Atlántico Este y las anomalías de precipitación y temperatura del aire en la cuenca, a fin de identificar si alguno de estos índices tiene relación con el clima de la cuenca.

Se utilizaron datos de precipitación mensual de 22 estaciones y de temperatura del aire de la estación de Huayao; datos globales de TSM de Reynolds (1994), y datos globales de presión a nivel del mar y altura geopotencial a 500 mb de NCEP Reanálisis (Kalnay et. al, 1996). También fueron utilizados datos mensuales de los siguientes índices: oscilación del Atlántico norte, Pacífico-norte América, Pacífico oeste, Pacífico este y Atlántico este.

Identificación de sub-regiones e índices de precipitación

Con el fin de identificar sub-regiones con características similares de precipitación, se realizó un análisis de coherencia espacial. Para ello, se aplicó una matriz de correlación entre las precipitaciones (periodo enero-marzo) de todas las estaciones, y la técnica de Análisis de Componentes Principales (PCA, por sus siglas en inglés).

Se identificaron cuatro sub-regiones (Tabla Nro. 06): sub-región norte (cuenca alta), sub-región central (cuenca media), sub-región sur (cuenca baja) y sub-región alta occidental. Como la sub-región norte es la que presenta menor coherencia espacial, se aplicó la técnica de PCA un índice de precipitación representativo de la sub-región. Para el caso de las otras sub-regiones se eligió una estación representativa: Huayao (sub-región central), Kichuas (sub-región sur), y Yauricocha (sub-región alta occidental).

Correlación espacial entre la precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro con la TSM, presión a nivel del mar y altura geopotencial a 500 mb

Se correlacionó la precipitación representativa de cada sub-región, y la temperatura del aire en Huayao, con cada punto de la TSM, presión a nivel

Tabla Nro 06:
Regiones en la cuenca del río Mantaro con similar comportamiento pluviométrico

SUB REGIONES	ESTACIONES CONSIDERADAS
Norte (cuenca alta)	Junin, Pachacayo y Yauricocha
Central (cuenca media)	Huayao, Mantaro, Colpa y Huaytapallana
Sur (cuenca baja)	Palaco, Cercapuquio, Telleria, Acostambo, Pamapas, Kichuas, Mejorada y Huancavelica
Alta occidental	Yauricocha, Chichicocha y Chilicocha

del mar y altura geopotencial a 500 mb a escala global, estacionalmente (enero-marzo, octubre-diciembre) y por mes. Además, se realizó el mismo procedimiento considerando solamente los años cálidos de TSM (eventos El Niño).

Al correlacionar la precipitación estacional (enero-marzo y octubre-diciembre) con la TSM global, se encontró que el periodo enero-marzo es el que muestra mayor correlación con el Pacífico tropical y el Atlántico norte y sur y que la precipitación para el periodo enero-marzo una relación inversa y moderada (-0,3 a -0,5) con el Pacífico tropical y el Atlántico

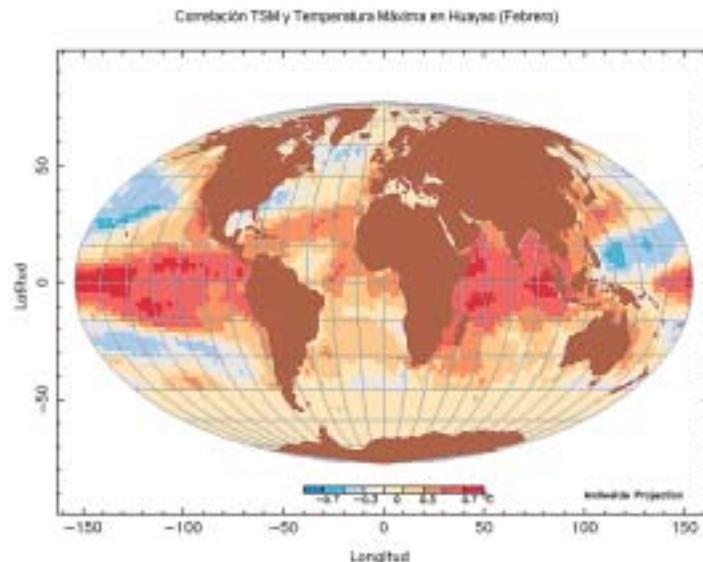
norte, y directa y moderada (0,3 a 0,5) con el Atlántico sur.

Al aplicar la correlación espacial por mes, se observó que durante el mes de febrero la correlación es más fuerte con el Pacífico tropical, mientras que para marzo, la correlación con el Atlántico norte y sur aumenta. Este patrón es más fuerte en la sub-región alta occidental.

Considerando solamente años cálidos de TSM en el Pacífico tropical (eventos El Niño), la correlación entre la TSM y las precipitaciones en la cuenca del río Mantaro aumenta. La correlación espacial entre TSM y precipitación en la sub-región alta occidental para el mes de marzo se hace más fuerte: una relación positiva (0,5 a 0,7) con el Atlántico sur y una relación inversa y fuerte (-0,5 a -0,7) con el Atlántico norte.

Al correlacionar la temperatura del aire (máxima y mínima) en Huayao con la TSM global, estacionalmente y por mes, se encontró que las anomalías de la temperatura máxima en Huayao están altamente correlacionadas con las anomalías de TSM en el Pacífico tropical. Este patrón es más fuerte en el mes de febrero (Gráfico Nro. 07), las temperaturas son altas y positivas (0,5 a >0,7). Se observa también una correlación alta y positiva con el océano Indico, la cual se debería al efecto “puente atmosférico” descrito por Alexander et. al. (2002) (influencia del Pacífico tropical en otras cuencas oceánicas).

Gráfico Nro. 07: Correlación entre la temperatura superficial del mar y la temperatura máxima del aire en Huayao para febrero



Correlación entre la precipitación en la cuenca del Mantaro y diversos índices climáticos regionales

Se correlacionó la precipitación representativa de cada sub-región con cada uno de los siguientes índices de teleconexión: Oscilación del Atlántico Norte (NAO), Pacífico-Norte América (PNA), Pacífico Oeste (PO), Pacífico Este (PE) y Atlántico Este (AE), estacionalmente (enero-marzo) y por mes. Se encontró que existe correlación moderada y positiva para el mes de enero, con los índices NAO y PE.

Los mecanismos de teleconexión asociados con el clima en la cuenca del río Mantaro podrían ser utilizados para obtener pronósticos estadísticos del clima.

4.1.5 Procesos físicos locales y su relación con variabilidad interanual en precipitación

En esta sección se presentan relaciones estadísticas entre variables climáticas de gran escala con las precipitaciones en la cuenca del Mantaro. Estas relaciones nos permitirán entender la variabilidad interanual en las precipitaciones y serán usadas más adelante como base para el downscaling estadístico (Sección 5.2).

A continuación se describen los datos e índices utilizados en este estudio.

Índice de precipitación

Los datos utilizados fueron los de precipitación mensual de varias estaciones pluviométricas de Electro Perú ubicadas en la cuenca del Mantaro. El periodo máximo de los datos en conjunto es 1962-2001. Datos diarios de temperatura, presión y humedad relativa observadas a las 7 am, 1 pm y 6 pm en la estación de Huayao para el periodo 1958-89.

Se calculó el promedio de los datos mensuales de precipitación de diciembre a febrero. Luego, se promediaron los datos de grupos de estaciones por regiones, según lo indicado en la Tabla Nro. 07.

Las regiones para las cuales se construyeron los índices a trabajar están basadas en las regiones y zonas priorizadas determinadas por el grupo de trabajo B (Véase capítulo 3).

**Tabla Nro. 07:
Índices de precipitación por regiones**

ÍNDICE	ESTACIONES
Subcuenca de Chinchaycocha	Atocsaico, Carhuamayo, Casapato, Junín, La Cima, Shelby, Upamayo
Zona Centro	Angasmayo, Chichicocha, Huayao, Mantaro
Zona Sur	Acostambo, Chilicocha, Mejorada, Huancavelica

Índice de viento zonal

Se utilizaron datos de viento zonal en 200 mb (aproximadamente 12 km sobre el nivel del mar) registrado mediante radiosondeos diarios realizados sobre Lima en el periodo 1957-2001, disponibles de la base de datos GCOS Upper Air Network (GUAN) de NOAA a través de su página web en http://lwf.ncdc.noaa.gov/oa/climate/cards/cards_data_guan.html. Luego se calcularon promedios mensuales y finalmente se calcularon promedios para la estación de verano (diciembre a febrero).

Estos datos se consideran representativos de la circulación atmosférica a gran escala que abarca la sierra central del Perú. En particular, son representativos del sistema de circulación conocido como Alta de Bolivia (Gráfico Nro. 02).

Índices de humedad

Se utilizaron datos diarios de temperatura, presión y humedad relativa registrados en la estación climatológica de Huayao medidos a las 7 am, 1 pm y 6 pm para el periodo 1958-89.

Si bien estos datos son resultado de una medición puntual, se espera que su variabilidad interanual represente también la variabilidad de la cuenca. Es necesario verificar esta suposición utilizando datos de más estaciones climatológicas si estuvieran disponibles.

Se hizo un control de calidad elemental de estos datos, mediante el cual fueron depurados de errores gruesos. Otra modificación efectuada fue la corrección de la presión del aire, la cual presentó un “salto” en 1972. El promedio de los datos anteriores al salto era de 516 mb, mientras que después del salto el promedio era 688 mb. Los datos de radiosondeo sobre Lima muestran que una presión de 516 mb corresponde aproximadamente a una altitud de 5 600 msnm, mientras

que a 688 mb corresponde una altitud de aproximadamente 3 300 msnm, lo cual coincide con la altitud de la estación. Por lo tanto, se introdujo una corrección a los datos anteriores al salto de manera que su promedio fuera igual al del periodo siguiente. Finalmente, la tendencia lineal se le removió a los índices estacionales de todas las variables de Huayao.

Índices de temperatura

También se construyeron índices de temperatura de las observaciones de las 6 pm en Huayao en forma similar a los de humedad.

Modelo estadístico de las variaciones de precipitación

Las correlaciones entre los diferentes índices con los de precipitación se muestran en la Tabla Nro. 08. La baja correlación entre humedad específica y precipitaciones sugiere que la hipótesis de que las variaciones en transporte de humedad de la Amazonía, mediada por el viento zonal, modulan las variaciones interanuales de precipitación en el Mantaro, como ocurre en el Altiplano (Garreaud et al., 2003), no es cierta. Las mayores correlaciones se encuentran con la humedad relativa, lo cual es consistente con la idea de que valores altos de ésta favorecen la condensación del vapor de agua y, por lo tanto, la convección. Las correlaciones con la temperatura son significativamente más negativas. Esto sugiere un mecanismo distinto al de Garreaud, en que las variaciones de precipitación se deben a las variaciones en humedad relativa, la cual es menor cuando la temperatura es mayor y viceversa. Las correlaciones con viento zonal se deben probablemente a la relación geostrofica, ya que el aumento de temperatura en la banda tropical implica mayor gradiente meridional de presión y, por lo tanto, menor viento del oeste.

Tabla Nro. 08:
Coeficientes de correlación entre precipitación acumulada en el periodo diciembre- febrero en diferentes regiones de la cuenca y los índices climáticos promediados sobre el mismo periodo

Zona	u_{200}	q (6pm)	RH (6pm)	T (6pm)
Subcuenca de Chinchaycocha	-0,51	0,12	0,50	-0,48
Zona Centro	-0,47	0,19	0,67	-0,54
Zona Sur	-0,57	0,24	0,68	-0,58

De acuerdo con las consideraciones anteriores, el modelo estadístico se basa exclusivamente en regresiones lineales entre humedad relativa y precipitaciones. Las variaciones interanuales en precipitación para un cambio unitario en humedad relativa están dadas por los coeficientes de regresión lineal (Tabla Nro. 09). Estos coeficientes también pueden ser usados para estimar el cambio en precipitación asociado al cambio en humedad relativa proyectados por modelos climáticos globales bajo distintos escenarios de emisión de gases invernadero (Houghton et al. 2001).

Tabla Nro. 09:
Coeficientes de regresión lineal (a ; cambio porcentual de precipitación por cambio en humedad relativa en %) entre precipitación acumulada en diciembre-febrero y humedad relativa (6 pm) en Huayao promediado sobre los mismos meses

ZONA	a (% / %)
Subcuenca de Chinchaycocha	1,74
Zona Centro	3,18
Zona Sur	2,28

Debido a que la disponibilidad de datos de humedad relativa de los modelos globales es limitada, es conveniente desarrollar un método para estimar el cambio en esta variable sobre la base de otras variables. Según lo observado, se podría construir el modelo usando tan sólo la temperatura como predictor en lugar de humedad relativa debido a que su efecto parece predominar. Sin embargo, si se pretende utilizar este modelo para estimar el efecto de cambio climático a largo plazo, es preciso mantener la posibilidad de que cambios en la humedad específica modifiquen la humedad relativa.

Si consideramos que el cambio en presión es despreciable ($\Delta p \approx 0$), entonces el cambio en humedad relativa (ΔHR) está dado aproximadamente por:

donde: p es la presión del aire; q es la humedad específica; T es la temperatura del aire, e_s es la presión del vapor de saturación; $\mathcal{E} = R_v/R_d$ es la relación entre las constantes de los gases para el vapor de agua y el aire seco, respectivamente.

Esta relación se describe como:

donde HR está expresado como porcentaje, q en g/kg y T en °C; A y B son coeficientes que se asumen constantes y que se estimarán utilizando la información histórica de Huayao. Esta fórmula nos permite estimar el cambio en humedad relativa utilizando información de los cambios en temperatura y humedad específica, así como de los valores actuales de temperatura, humedad específica y presión. Debe notarse que la relación hallada es una aproximación de leyes físicas, no una aproximación empírica. Utilizando los valores mensuales de las observaciones en Huayao para los meses de diciembre a febrero y promediando sobre el periodo de disponibilidad de datos se estimó que $A = 2,87$ y $B = 6,63$.

4.1.6 Variabilidad en la fecha de inicio de la temporada de lluvia en la zona sur-occidental de la cuenca del río Mantaro

Es sabido que las actividades agrícolas en las zonas andinas del Perú, dependen en gran medida del inicio de la temporada de lluvias, principalmente cuando la agricultura es de secano, como es el caso de los cultivos en la cuenca del Mantaro. Es por ello, que en esta sección se analiza la variabilidad que existe en las fechas de inicio de la temporada de lluvias.

A la fecha no existe una definición exacta sobre el inicio de temporada de lluvias. Para el presente análisis se definen 6 medidas objetivas de la fecha de inicio de la temporada de lluvias, las que permitirán estudiar su variabilidad interanual. Las medidas utilizadas son las fechas en las cuales la precipitación acumulada, desde el inicio del periodo de lluvias alcanza los valores de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mm.

Para el estudio se han usado datos de precipitación diaria registradas en 2 estaciones meteorológicas, Huancalpi y Lircay, pertenecientes a la red de estaciones del SENAMHI. Las estaciones están ubicadas en el extremo sur-occidental de la cuenca del río Mantaro (ver Mapa Nro. 02) y fueron escogidas por tener las series largas y continuas, durante el periodo 1965-2001.

Los datos de las dos estaciones se promediaron y, al resultado, se le aplicó una media corrida de 21 días para eliminar todo tipo de variación que esté dentro de este mismo periodo. Considerando que el año agrícola

empieza el 01 de Julio y termina el 30 de Junio del año siguiente, inició la acumulación de precipitación a partir de la primera de éstas y se obtuvo el día en que la precipitación alcanzó las cantidades de 100, 200, 300, 400, 500 y 600 mm. De esta manera se generó 6 series de tiempo que señalan, para cada año, en que día se acumuló las diferentes cantidades de precipitación. Se promedió cada una de estas seis series para estimar la fecha en que se espera que la precipitación alcance cada una de las cantidades mencionadas. Si en cada año la fecha es una desviación estándar menor a la media, se considera como un adelanto del inicio de lluvias, y si es una desviación estándar mayor, la situación es considerada como de retraso.

Las diferentes cantidades de precipitación acumulada serán alcanzadas, en promedio, en una fecha determinada del año. A continuación se describen cada una de ellas (recordemos que la suma empieza el 01 de julio y debe terminar el 30 de junio del año siguiente, es por ello que en las tablas se indican ambos años, por ejemplo: 1969/70).

100 mm de precipitación

En promedio, los 100mm se acumulan el 10 de octubre de cada año. Considerando aquellos que van más allá de una desviación estándar (45 días antes, y después, de la media), se pueden señalar los siguientes años como anómalos, cuando el acumulado de 100mm tuvo retraso o adelanto:

Retrasos	69/70	75/76	85/86	87/88	88/89	98/99
Adelantos	74/75	80/81	81/82	90/91	93/94	00/01

200 mm de precipitación

Para los 200mm se tiene que en promedio, esta cantidad se acumula el día 24 de noviembre, y la desviación estándar es de 52 días. Se obtienen entonces los siguientes años anómalos:

Retrasos	75/76	85/86	87/88	88/89	89/90	94/95	95/96
Adelantos	80/81	81/82	86/87	90/91	92/93	93/94	00/01

300 mm de precipitación

El 25 de diciembre es la fecha, en promedio, en la cual ya se debería alcanzar los 300 mm de

precipitación, con 52 días de desviación estándar, y se obtienen los siguientes años anómalos:

Retrasos	68/69	83/84	85/86	87/88	89/90
Adelantos	77/76	81/82	90/91	92/93	93/94

400 mm de precipitación

Los 400 mm de precipitación deben acumularse al 22 de enero del siguiente año (recordar que nuestro periodo empieza el 01 de julio y termina el 30 de junio del siguiente año). La desviación estándar de este conjunto de datos es 59 días, por lo que los eventos anómalos estarán ubicados en los años:

Retrasos	68/69	82/83	87/88	89/90		
Adelantos	73/74	77/78	81/82	90/91	92/93	93/94

500 mm de precipitación

Los 500 mm de precipitación se deberían alcanzar el 14 de febrero. La desviación estándar es de 75 días. Los años anómalos serían:

Retrasos	68/69	82/83	87/88	89/90	91/92
Adelantos	81/82	90/91	92/93	93/94	

600 mm de precipitación

Los 600 mm se alcanzan, en promedio, el 01 de marzo y la desviación estándar es de 78 días. Hay que señalar que esta cantidad normalmente no se alcanza, pero a partir de lo que tenemos podemos establecer una media. Entonces los eventos extremos son:

Retrasos	68/69	79/80	82/83	87/88	89/90	91/92
Adelantos	81/82	90/91	92/93	93/94		

Estos eventos anómalos pueden ser mejor apreciados en la Tabla Nro. 10, que corresponde a los retrasos del periodo lluvioso, y la Tabla Nro.11 a los adelantos. En estas tablas los cuadros en color negro muestran en qué año las precipitaciones acumuladas (100, 200, etc) no fueron

alcanzadas en su debido momento. En la Tabla Nro. 10 se aprecian 3 eventos fuertes que retrasaron las lluvias: 68/69, 87/88 y 89/90. Por otro lado existen otros eventos que sólo afectaron los acumulados de 100, 200 y 300 mm, pero después esto se normalizó.

Para el caso de los adelantos también existieron cuatro periodos en los cuales se observaron anomalías: para el año 81/82, 90/91 92/93 y 93/94. Hay que señalar que según esta tabla las anomalías antes mencionadas se ubican en el periodo 1981 a 1994.

Una comparación con las listas de periodos secos y lluviosos (Tabla Nro. 04, pág. 32) indica que existe una relación entre los años lluviosos (periodo septiembre – diciembre) con los años determinados con adelanto de la temporada de lluvias. Esto se hizo evidente durante los años 1981, 1990 y 1993. Por otro lado, no existe buena concordancia entre años secos y retraso del inicio de las lluvias, ni durante los meses de setiembre a diciembre, ni durante enero-abril.

Debido a que estas dos estaciones se encuentran ubicadas en la zona sur-occidental de la cuenca, la cual está siempre sometida a una fuerte precipitación debido a su topografía, la generalización de estos resultados a otras zonas de la cuenca deberá ser hecha con cuidado.

4.2 TENDENCIAS

Si bien los pobladores de la cuenca del río Mantaro indican que han percibido un cambio climático en la región, estas percepciones tienden a estar dominadas por lo ocurrido en los años más recientes. Por ende, es difícil discriminar sobre la base de esto si los cambios observados están asociados a una tendencia sostenida o a variabilidad climática. La forma más directa de establecer en forma objetiva la existencia de una tendencia en el clima es utilizando observaciones de variables meteorológicas y la técnica de la regresión lineal para obtener la razón de cambio en estas variables, la cual es la medida cuantitativa de esta tendencia. A continuación se presentará el análisis de las tendencias en precipitaciones y frecuencia e intensidad de heladas en la cuenca del río Mantaro.

4.2.1 Tendencias en la precipitación

En la región de los Andes peruanos, la temporada de lluvias se inicia en el mes de setiembre y termina en abril. Durante estos meses

Tabla Nro. 10:
Retrasos del inicio de la temporada de lluvias para los 100, 200, 300, 400, 500 y 600mm. Los cuadros negros indican los años en que se dieron los retrasos

	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00		
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01		
100																																						
200																																						
300																																						
400																																						
500																																						
600																																						

Tabla Nro. 11:
Adelantos del inicio de la temporada de lluvias para los 100, 200, 300, 400, 500 y 600mm. Los cuadros negros indican los años en que se dieron los adelantos

	65	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00		
	66	67	68	69	70	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	00	01		
100																																						
200																																						
300																																						
400																																						
500																																						
600																																						

es que se realizan las principales actividades agrícolas. Al menos un 80% de las actividades agrícolas son de secano, es decir dependen de la cantidad y distribución de las lluvias. Es por ello, que la precipitación es una de las variables meteorológicas que más importancia tiene en la cuenca del Mantaro, por ello el interés de conocer, cuales han sido las variaciones en el pasado y cual es la tendencia futura según los datos registrados.

En el presente estudio se analizan las tendencias en las precipitaciones en la cuenca del Mantaro, en particular del promedio anual, de la temporada de lluvias (setiembre-abril), de los meses de máximas precipitaciones (enero-marzo) y durante el inicio de las mismas (setiembre-diciembre).

Para el cálculo de la tendencia se requiere que la serie de datos sea completa. Al encontrar datos faltantes en la serie puede obtenerse un coeficiente

incorrecto, hasta podría haber variaciones en el signo de la tendencia. Es por ello que se seleccionaron cuidadosamente las estaciones que contarán en lo posible, con las series completas. Algunas estaciones que tuvieran ausencia de datos durante los meses de junio-agosto, cuando las precipitaciones son escasas, fueron consideradas, es por ello que analiza el promedio, mas no la suma anual o del periodo. Las series consideradas, en su mayoría son para el periodo 1964-2003, habiendo algunas estaciones con datos sólo para el periodo 1970-2003. En total se utilizaron datos de 23 estaciones.

Para las 23 estaciones, se calcularon las tendencias para el periodo de los datos considerados útiles. Para la tendencia anual, se calculó el promedio de la precipitación entre los meses de enero a diciembre. Para la tendencia durante la estación de lluvias se calculó el promedio entre los meses de setiembre del año precedente a abril del año actual.

El análisis de las tendencias de la precipitación anual muestra una disminución generalizada de las lluvias en la parte norte y centro de la cuenca, incluyendo la zona del valle del Mantaro, mientras que en la parte sur occidental y central, la tendencia es ligeramente positiva (Gráfico Nro. 08). Las únicas estaciones que presentan tendencias positivas son Huancalpi, Huancavelica, Mejorada y Kichuas. Las tendencias durante la temporada de lluvias (setiembre-abril) siguen el mismo patrón que las

tendencias anuales, excepto en la estación de Kichuas donde para estos meses, la tendencia es ligeramente negativa. Durante los meses de enero-marzo (Gráfico Nro. 09), el patrón de las tendencias es similar al anual, pero los valores son mayores. Promediando sobre todas las estaciones, las tendencias indican una disminución de alrededor de 3% de las precipitaciones actuales por cada 10 años, lo cual, proyectándolo a 50 años nos daría una disminución del orden de 15%.

Gráfico Nro. 08: Tendencias de precipitación anual en la cuenca del río Mantaro



Gráfico Nro. 09: Tendencias de precipitación en la cuenca del río Mantaro para los meses de enero-marzo



Fuente de datos: SENAMHI, Electro Perú, Electro Andes, IGP. Procesamiento y elaboración: IGP

4.2.2 Tendencias en la temperatura del aire

Con el objetivo de analizar cuál ha sido la tendencia en las temperaturas extremas del aire, se calcula la tendencia lineal en seis estaciones. Desafortunadamente, no fue posible realizar un análisis espacial, debido a la ausencia de datos por varios años en las series históricas de temperatura. Muchas estaciones cuentan con datos regulares sólo a partir de fines de los años 80 e inicios de los 90, lo cual puede llevar a un análisis equivocado. El cálculo de la tendencia requiere también de un control de calidad minucioso a fin de eliminar errores que pudieran existir en los datos. A pesar de las limitaciones, en la presente sección, se muestran los resultados del análisis de las tendencias de la temperatura máxima y mínima del aire en algunas estaciones de la cuenca, usando principalmente como base,

la estación de Huayao, que es la única que cuenta con datos continuos.

Temperatura máxima del aire

De las seis estaciones analizadas (Tabla Nro. 12) se puede ver que la temperatura máxima en la parte nor-oriental (estación de Cerro de Pasco) tiene una tendencia negativa, al igual que Jauja, ubicada en la parte norte del valle, y Lircay ubicada al sur de la cuenca. El caso más extremo es el de Cerro de Pasco, que presenta una tendencia de disminución en la temperatura máxima del día a razón de 0,48°C por década o 2,39°C en 50 años). La estación de Marcapomacocha, está representando el extremo nor-occidental de la cuenca, donde la tendencia es positiva, al igual que en la parte central de la cuenca (Huayao y Pilchaca). Pilchaca presenta la tendencia positiva más extrema entre las

estaciones analizadas (0,75°C/década o 3,75°C en 50 años). La estación de Huayao, que debido a su continuidad en su serie de datos, ha sido considerada como estación de referencia, presenta una tendencia de +0,24°C/década, esto puede verse claramente en el Gráfico Nro. 10, donde a pesar de la variabilidad interanual se aprecia la tendencia positiva en la temperatura máxima del aire en Huayao.

Temperatura mínima del aire

El signo de la tendencia en la temperatura mínima (Tabla Nro. 12) es similar al de la temperatura máxima, excepto en la estación de

Cerro de Pasco, donde se observa que la temperatura mínima en los últimos años ha ido aumentando, mientras que la máxima ha ido disminuyendo. Marcapomacocha presenta una tendencia positiva de mayor magnitud en las temperaturas mínimas, mientras que en Huayao prácticamente la tendencia es cero. La situación más extrema sigue presentándose en Jauja, donde al igual que las temperaturas máximas, la tendencia en las temperaturas mínimas es a una disminución de estas hasta en 2,24°C en 50 años.

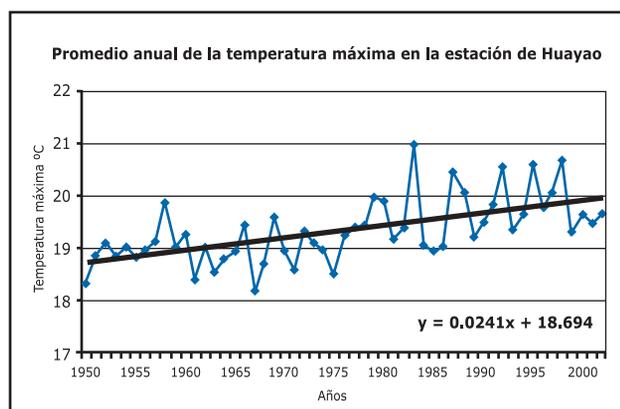
Estos resultados son consistentes también con el análisis realizado para evaluar las tendencias en la frecuencia de heladas (sección 4.2.3), en donde

Tabla Nro. 12:
Tendencias en la temperatura máxima y mínima del aire en la cuenca del Mantaro

Estación	Periodo	Tendencia en temperatura máxima		Tendencia en temperatura mínima	
		°C/10 años	°C/50 años	°C/10 años	°C/50 años
Cerro de Pasco	1960-2002	-0,48	-2,39	+0,36	+1,80
Marcapomacocha	1967-2002	+0,14	+0,70	+0,23	+1,13
Jauja	1960-2002	-0,16	-0,79	-0,45	-2,24
Huayao	1950-2002	+0,24	+1,21	+0,00	+0,01
Pilchaca	1967-2002	+0,75	+3,75	+0,19	+0,93
Lircay	1965-2002	-0,08	-0,42	-0,16	-0,78

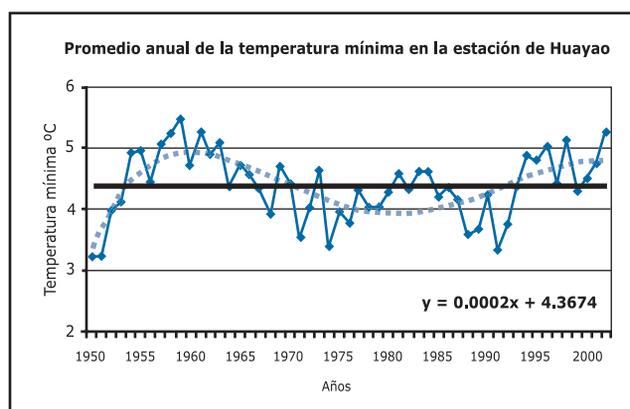
Fuente de datos: SENAMHI, IGP. Análisis: IGP

Gráfico Nro.10: Tendencias en la temperatura máxima en Huayao (periodo: 1950-2002)



Fuente de datos y análisis: IGP

Gráfico Nro.11: Tendencias en la temperatura mínima en Huayao (periodo: 1950-2002)



Fuente de datos y análisis: IGP

el número de heladas aumenta considerablemente en Jauja y Lircay, y en Pilchaca disminuye, mientras que en Huayao, Marcapomacocha y Cerro de Pasco la frecuencia es menor.

La temperatura mínima del aire, a diferencia de la máxima, tiene mayor variabilidad. Como puede verse en el Gráfico Nro. 11, donde con líneas punteadas (celeste) se grafica la tendencia mediante un polinomio de cuarto orden, apreciándose periodos cálidos y fríos.

Análisis estacional de las tendencias en Huayao

Tomando como referencia la estación de Huayao, se hizo un análisis estacional de las tendencias. Si bien la temperatura mínima anual

en Huayao (Tabla Nro. 12), prácticamente no mostraba ninguna tendencia, puede verse en la Tabla Nro. 13, que en invierno (junio-agosto) la tendencia es positiva no sólo para la temperatura máxima sino también para la mínima (+0,16 y +0,17°C/década respectivamente). Por otro lado, la tendencia en la temperatura mínima durante los meses de octubre-diciembre, enero-marzo y en el periodo de setiembre-abril son negativos, siendo más fuerte la tendencia negativa en la primavera (octubre-diciembre).

El hecho de que la temperatura máxima del día esté aumentando con el tiempo y la mínima disminuya, repercute en el incremento del rango térmico diario, principalmente en los meses de setiembre a mayo.

Tabla Nro. 13:
Tendencias en la temperatura máxima y mínima del aire en Huayao

TEMPERATURA MÁXIMA DEL AIRE							
Junio-agosto		Octubre-diciembre		Enero-marzo		Setiembre-abril	
°C/10 años	°C/50 años	°C/10 años	°C/50 años	°C/10 años	°C/50 años	°C/10 años	°C/50 años
0,17	0,87	0,22	1,11	0,28	1,40	0,26	1,31
TEMPERATURA MÍNIMA DEL AIRE							
Junio-agosto		Octubre-diciembre		Enero-marzo		Setiembre-abril	
°C/10 años	°C/50 años	°C/10 años	°C/50 años	°C/10 años	°C/50 años	°C/10 años	°C/50 años
0,16	0,79	-0,13	-0,67	-0,01	-0,03	-0,07	-0,35

Fuente de datos y análisis: IGP

En conclusión, las temperaturas extremas del aire en la zona del valle analizados en la estación de Huayao, muestran una marcada tendencia positiva en la temperatura máxima (+0,24°C/década), lo cual es consistente con Vuille y Bradley (2000) que indican una tendencia de +0,2°C/década en los Andes centrales. Por otro lado, la temperatura mínima anual no presenta tendencia, mientras que en los meses de invierno existe una tendencia positiva de 0,16°C/década y negativa en los otros meses del año, siendo más marcado en octubre-diciembre (-0,13°C/década). Estos resultados indican de que el rango térmico diario está aumentando.

4.2.3 Tendencias en la frecuencia e intensidad de las heladas

En el documento sobre Diagnóstico socio-económico de la cuenca del río Mantaro bajo la visión del cambio climático (IGP, 2005b), se identificaron las heladas como uno de las amenazas a la población. Por esta razón, en esta sección se analizan las tendencias en la frecuencia e intensidad de heladas. El estudio se ha centralizado en el periodo setiembre a abril (debido a que las actividades agrícolas se desarrollan en estos meses) de cada año durante los últimos cuarenta años (1960 al 2002).

Se utilizaron seis series de datos de temperatura mínima diaria (Tmin), registrados en las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Mantaro. Se consideraron sólo las series que contienen un mínimo de 30 años de datos.

Se utilizó la definición de helada, como el valor umbral Tmin < 5°C, propuesta por el grupo de trabajo B (véase capítulo 3), el cual está descrito en el documento sobre el diagnóstico de la cuenca. Se calculó el número de días con heladas que se presentaron en el periodo de análisis y por otro lado la mayor intensidad de la helada (el valor de Tmin más bajo) también para dicho periodo y se analizó si se está presentando alguna tendencia en sus comportamientos con el tiempo, calculándose, si la hubiere, la tendencia lineal estadística mediante el método de mínimos cuadrados.

Frecuencia de heladas

En zonas altas de la cuenca como en Marcapomacocha (4 413 msnm) y Cerro de Pasco (4 260 msnm), se tiene un alto porcentaje de presencia de heladas en el periodo de setiembre a abril, 160 días que representa el 67% del total de días con heladas al año (240 días), con una ligera tendencia entre +0,3 a +0,6 días/año. Es decir en los últimos 40 años el número de días con heladas se ha incrementado a razón de 6 días en cada 10 años. Extrapolando hacia el futuro, se esperaría un incremento de +30 días en 50 años:

En el norte del valle del Mantaro, en la localidad de Jauja (3 322 msnm), resulta evidente una fuerte tendencia de incremento en el número de días con presencia de heladas en el periodo de setiembre a abril durante los últimos 40 años, así en la década del sesenta, el número de días variaba generalmente entre 20 y 60 días (8,3% y 25% respectivamente) pero en la década del noventa se incrementó a valores entre 50 y 150 días (21% y 62,5%) encontrándose una tasa de crecimiento de +1,48 días/año, el mayor encontrado en las series analizadas, el cual proyectado a 50 años nos indicaría un aumento de 74 días con heladas durante el periodo de interés. Un comportamiento similar se encontró en la estación de Comas, ubicada a casi a la misma latitud (11,72°S) y altitud (3 300 msnm), pero en la cuenca adyacente del río Perené.

La estación de Huayao (3 313 msnm), ubicada al sur del valle del Mantaro, si bien presenta una alta variabilidad interanual en la frecuencia de heladas entre setiembre y abril, desde 40 días (16,7% del total de días al año), en 1964 hasta 125 días (52%) en el año 1992, en promedio sólo

presenta una ligera tendencia de incremento de 0,28 días por año.

De todas las estaciones analizadas, Pilchaca (3 570 msnm) presenta una tendencia opuesta y bien definida de disminución del número de días con heladas, con una tasa de -1,27 días/año (-63,5 días en 50 años), así en la década del sesenta, el número de días varió con valores entre 120 (50%) y 210 (87%) y en la última década (los noventa) disminuyó a valores entre 50 (21%) y 150 días (62,5%) por año.

Más al sur, en Lircay (3 150 msnm) hay una alta variabilidad en el número de días con heladas entre setiembre y abril, con bajos valores entre mediados de las décadas de los sesenta y setenta (50 a 100 días) y altos valores entre fines de la década del setenta e inicios de los ochenta y mediados de los noventa, con valores que alcanzaron hasta 220 días (92% del total). En promedio hay una tendencia positiva, con una tasa de 1,24 días/año (6 +62 días en 50 años).

En la Tabla Nro. 14, se tiene un resumen de las tendencias encontradas en la frecuencia de heladas en la cuenca del Mantaro, para las estaciones analizadas.

Tabla Nro 14: Tendencias en la frecuencia de heladas en la cuenca del río Mantaro. Periodo: setiembre-abril entre 1960 y 2002		
ESTACIÓN	TENDENCIAS	
	Número de días en 10 años	Número de días en 50 años
Cerro de Pasco	+2,9	+15,0
Marcapomacocha	+6,0	+30,0
Jauja	+14,8	+74,0
Huayao	+2,8	+14,0
Pilchaca	-12,7	-63,5
Lircay	+12,4	+62,0

Intensidad de heladas

En la Tabla Nro. 15 se presentan algunos resultados de las tendencias en la intensidad máxima de las heladas (valores extremos mínimos), presentados entre el periodo setiembre a abril en la cuenca del río Mantaro.

En Jauja, las heladas tienden a ir aumentando en intensidad (es decir las temperaturas son cada vez más frías) con el tiempo, a razón de $-0,95^{\circ}\text{C}/\text{año}$ (ó $-4,7^{\circ}\text{C}$ proyectando a 50 años), con los valores “más cálidos” en la década del sesenta, alrededor de $2,0^{\circ}\text{C}$, y los más fríos en la última década e inicios de los 2000, con valores alrededor de $-2,0^{\circ}\text{C}$ (y mínimo de -4°C).

En Huayao y Pilchaca se observa una débil o casi nula tendencia. En Huayao a razón de $+0,005^{\circ}\text{C}/\text{año}$, variando en general sus valores

alrededor de $-1,0^{\circ}\text{C}$, y sus extremos de $-3,5^{\circ}\text{C}$ en 1968 y $+1,0^{\circ}\text{C}$ en el 2002. En tanto que en Pilchaca la tendencia también es ligera y positiva, a razón de $+0,008^{\circ}\text{C}/\text{año}$, y valores extremos de $-2,2^{\circ}\text{C}$ (en 1968 y 1993) y $+2,3^{\circ}\text{C}$ (2000).

Al sur de la cuenca, en Lircay, la tendencia es negativa ($-0,0036^{\circ}\text{C}/\text{año}$), con valores alrededor de 0°C entre mediados de los años sesenta y setenta y entre -4°C (valor más bajo de todo el periodo histórico registrado en 1996) y 0°C en la década del noventa.

Tabla Nro. 15:
Tendencias en la intensidad de heladas en la cuenca del río Mantaro.
Periodo: setiembre-abril entre 1960 y 2002

ESTACION	TENDENCIAS	
	$^{\circ}\text{C}$ en 10 años	$^{\circ}\text{C}$ en 50 años
Cerro de Pasco	+0,51	+2,5
Marcapomacocha	+0,35	+1,75
Jauja	-0,95	-4,77
Huayao	+0,054	+0,27
Pilchaca	+0,08	+0,4
Lircay	-0,37	-1,85

En conclusión, en el periodo de abril a setiembre se ha encontrado por lo general, tendencias positivas ligeras en la frecuencia e intensidad de las heladas, pero la situación más crítica, de alta vulnerabilidad frente a las heladas,

corresponde a la localidad de Jauja, la cual presenta una tendencia sostenida en los últimos cuarenta años de un fuerte incremento en el número de días y mayor intensidad de las heladas con el tiempo.

Escenarios climáticos futuros en la cuenca del río Mantaro

Los gases de efecto invernadero están teniendo un impacto en el ámbito global y aparecen sus primeros efectos en el deshielo de glaciares y las masas de los casquetes polares, mientras que a escala regional también se han podido observar algunos indicios de estos efectos, como podrían ser las olas de calor en Europa durante los años 2002 y 2003 (Serrano, Martínez y Lampre) y los inviernos con temperaturas mínimas que alcanzaron récords históricos en la zona intertropical norte. En el Perú, los cambios también son notorios, principalmente con el retiro de los glaciares en los Andes.

Los escenarios climáticos futuros producidos por los diferentes centros internacionales para el Panel Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático (IPCC) se realizan principalmente utilizando modelos climáticos globales. Estos modelos permiten estimar la respuesta del clima a cambios en las concentraciones de Gases de Efecto Invernadero (GEI) y aerosoles, los cuales a su vez han sido estimados por el IPCC para diferentes escenarios de emisión (Boer et al, 2000).

Debido a su gran requerimiento computacional, los modelos climáticos tienen baja resolución espacial, lo cual limita su capacidad de proporcionar detalles a escala regional. Esto es particularmente crítico en aquellas regiones

en las que las condiciones geográficas son complejas, regiones montañosas como los Andes.

La incertidumbre aparece debido a la necesidad de rellenar los detalles regionales que faltan. Este proceso se conoce como «downscaling», y consiste en tomar en cuenta un número de influencias sobre el clima a una escala de grilla que se dan por efecto de las montañas, líneas costeras, lagos y lagunas, mares tierra adentro, heterogeneidades en la cobertura superficial y procesos a menor escala en la atmósfera. En la actualidad, el downscaling se realiza usando principalmente las metodologías complementarias: la dinámica y la estadística.

En el presente trabajo se han aplicado ambas metodologías para obtener escenarios climáticos en la cuenca del Mantaro. La metodología y resultados se describen a continuación.

5.1 DOWNSCALING DINÁMICO

El downscaling dinámico consiste en forzar un modelo climático regional utilizando los resultados producidos por los modelos climáticos globales. El modelo regional tiene suficiente resolución espacial para representar adecuadamente las características geográficas regionales de interés, en particular la topografía, por lo que en principio puede proporcionar una mejor representación de los efectos locales sobre el cambio climático. Debe tomarse en cuenta, sin embargo, que los modelos regionales tienen algunas limitaciones, principalmente relacionados a los esquemas de parametrizaciones físicas, que podrían ser fuentes de error.

5.1.1 Modelo climático global

En este estudio, se hará el downscaling dinámico de los escenarios climáticos producidos por el National Center for Atmospheric Research (NCAR) en Boulder, Colorado, utilizando el modelo climático global CCSM2 (Climatic Community System Model 2; Buja and Craig, 2002). Estos escenarios climáticos se basaron en los escenarios de emisión de GEI denominados A1, A2 y B2 y algunos de los resultados se encuentran publicados en la página web: <http://www.cesm.ucar.edu/experiments/ccsm1.0/>.

Para la producción de los escenarios climáticos regionales, se decidió realizar el downscaling en dos periodos: primero para los años 1990-1999 que será la línea de base y luego la proyección para los años 2046-2055. Se decidió no considerar periodos intermedios, por un lado, debido a que la señal climática esperada sería pequeña comparada a la variabilidad interanual y, por otro lado, por limitaciones computacionales. En este estudio, se consideraron los resultados de los escenarios A1 y B2, ya que los datos correspondientes al escenario A2 sólo se encontraba disponible hasta el año 2036. La frecuencia de la información atmosférica utilizada en la generación de la línea de base es de cada 6 horas y diaria para el periodo 2046-2055, y la de la información oceánica es trimestral.

5.1.2 Modelo climático regional

El modelo climático regional, llamado RegCM2 (Regional Climate Model versión 2),

es un modelo de mesoescala de alta resolución (Giorgi et al, 1993a,b). La componente dinámica está basada en el modelo de mesoescala MM4 de NCAR/PSU⁹, el cual es no-hidroestático y compresible, usa la coordenada vertical sigma y utiliza una grilla horizontal tipo B de Arakawa. Los esquemas de transferencia radiativa del RegCM, al igual que los procesos de superficie (Kiehl et al, 1996), provienen del modelo global CCM3 (Community Climate Model 3). El esquema convectivo utilizado fue el de Kuo (1977). Para la microfísica se tiene la opción implícita. El modelo RegCM2 ha sido evaluado en el IGP durante los años 2001, 2002 y 2003. Se han realizado diversas pruebas de sensibilidad del modelo, tanto a los esquemas de parametrización, como tamaño de dominio. Es importante mencionar que en la versión del RegCM2 con que se cuenta no fue posible implementar los cambios en concentraciones de los GEI correspondientes a los escenarios de emisión considerados, lo cual limitaría la habilidad del modelo para producir los cambios climáticos esperados.

El dominio, para el cual se corrió el modelo regional para los escenarios futuros, estuvo centrado en 14°S y 60°W, abarcando gran parte del continente sudamericano, desde los 10°N hasta 42°S y 87°W hasta 30°W. El dominio tuvo 90×110 puntos de grilla, 13 niveles en la vertical y una resolución espacial de 80 km. Este modelo ya fue empleado en el IGP para hacer pronósticos regionales siendo sus resultados satisfactorios para la zona andina donde se encuentra la cuenca.

Se usaron datos de temperatura superficial del mar de Reynolds (1994) para las corridas durante el periodo 1990-1999 y para el futuro se utilizaron también los datos de Reynolds más la anomalía mensual obtenidas del modelo CSM2 para los años 2050 al 2055. Con esto se obtiene un forzante más aproximado de la realidad y se espera que el modelo refleje mejoras en su salida.

La topografía y los usos de suelo fueron obtenidos del United States Geological Survey and Global Cover Characterization (Loveland et al, 2000) respectivamente, con 10 minutos de resolución. Se consideraron en total 12 tipos de uso de suelo.

5.1.3 Resultados

Se realizó un análisis de los datos obtenidos del modelo global para comparar el comportamiento de la temperatura y verificar si los patrones que

⁹ Pennsylvania State University

presenta el modelo global son mantenidos en el modelo regional. Se obtuvo un calentamiento en la zona de estudio de aproximadamente 2°C en el modelo global, el cual debería ser reflejado por el downscaling dinámico. Sin embargo, el modelo regional produce un calentamiento sólo en la zona occidental de la cuenca mientras que en la zona oriental el modelo produce un fuerte enfriamiento, lo cual sugiere problemas con el modelo. La razón para este enfriamiento no es clara. Una probable explicación es la falta de los forzantes radiativos locales asociados a los GEI, como se mencionó anteriormente. Por otro lado, un patrón con menor calentamiento en los Andes orientales se ha observado en datos de estaciones (Vuille et. al, 2003) y varios modelos, el cual podría estar asociado a la interacción local entre cambios en las precipitaciones y efectos radiativos. Es posible que en el RegCM2 estos mecanismos actuaron exageradamente. Será necesario un diagnóstico detallado para establecer las causas de estos resultados.

A continuación se presentará el análisis de los escenarios climáticos en la forma de diferencias en los promedios de temperatura superficial del aire y precipitación modelados entre los periodos 1990-1999 y 2046-2055, para los escenarios A1 y B2. En el caso de la precipitación, se presentarán los cambios como porcentaje de la precipitación de la línea de base. Para la temperatura se considerará la media, la máxima y la mínima y el análisis será hecho con promedios estacionales y anuales.

5.1.3.1 Temperatura media

El análisis de la temperatura media se hace promediando los valores cada 6 horas de la salida del modelo, esta medida es puntual. Estos valores se presentan a nivel estacional de verano e invierno y también anual.

El escenario A1, el cual resulta en el menor calentamiento global, muestra una disminución de la temperatura en toda la cuenca, siendo de 1°C en la zona occidental e incrementándose progresivamente hacia la zona oriental (Gráfico Nro. 12, arriba). La temperatura media de verano, se muestra como la tendencia general con una disminución hacia la región oriental teniendo a la región occidental con una variación de 1 °C para luego seguir cayendo hacia las ciudades del centro del valle en -2 °C (Gráfico Nro. 13, izquierda). El cambio en la temperatura media del invierno es más extrema (Gráfico Nro. 14, izquierda), sugiriendo que los valores de temperatura mínima en el futuro puede descender aún más y que los inviernos serían más fríos en la región.

El escenario B2 produce un calentamiento más generalizado con respecto al escenario A1. De esta manera, la cuenca se divide en 2 partes: la occidental, que presenta un calentamiento de alrededor de 2°C; y la oriental, que presenta una disminución de alrededor de -1.5 °C (Gráficos Nro. 12, 13 y 14, derecha).

Gráfico Nro. 12: Cambio en la temperatura media, escenario A1 (arriba) y B2 (abajo). Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)

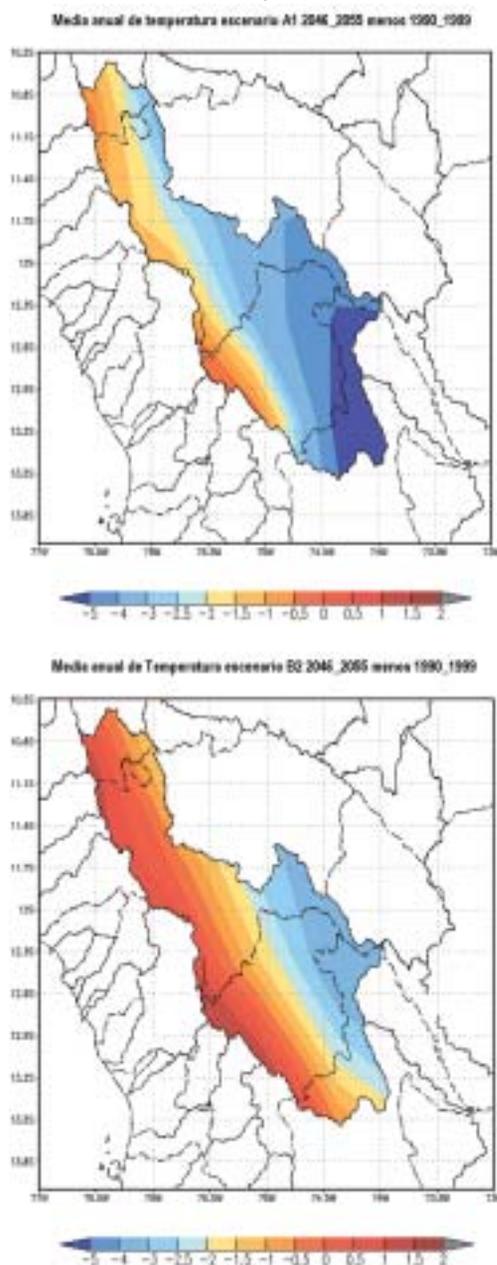


Gráfico Nro. 13: Cambio en la temperatura media para verano, escenario A1 (izquierda) y B2 (derecha). Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)

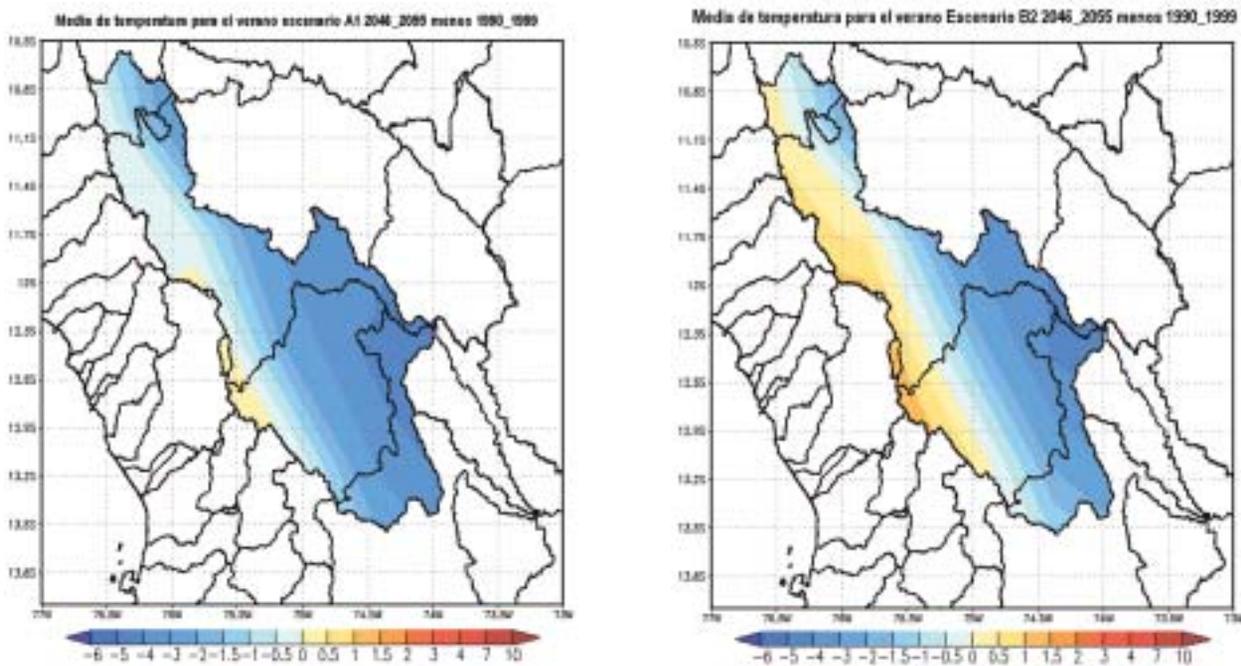
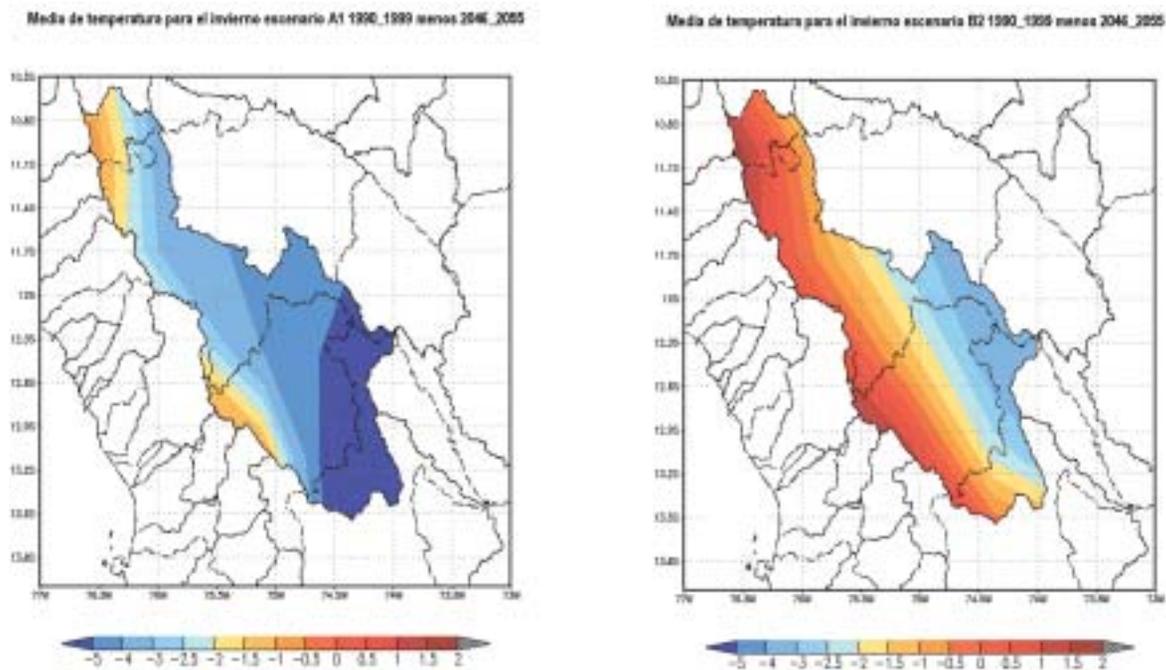


Gráfico Nro. 14: Cambio en la temperatura media para invierno, escenario A1 (izquierda) y B2 (derecha). Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)



5.1.3.2 Temperatura máxima

La temperatura máxima durante los meses de verano (enero a marzo) presenta una caída. El enfriamiento en el valle llegaría a -3°C , siendo incluso hasta de -5°C en la zona oriental (Gráfico Nro. 15).

5.1.3.3 Temperatura mínima

La temperatura mínima durante los meses de verano (enero a marzo) en general sufriría un descenso en los dos escenarios hasta de -4°C en la zona oriental, mas puede verse un ligero calentamiento sobre la cadena occidental (Gráfico Nro. 16).

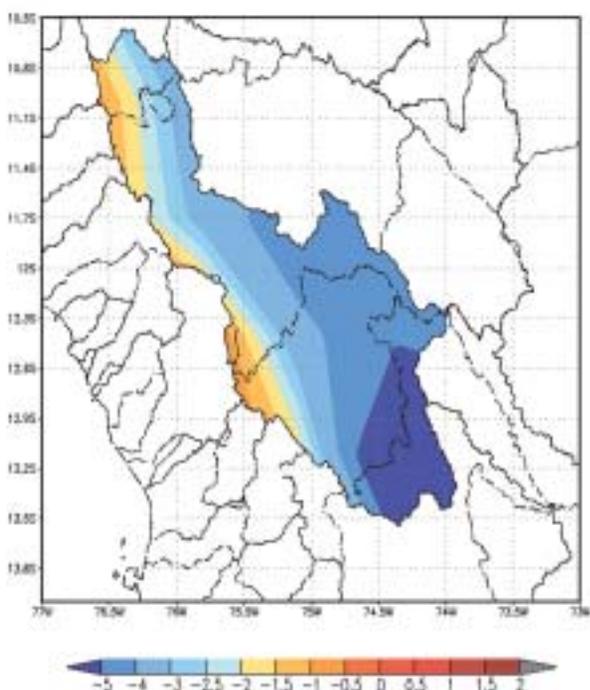
5.1.3.4 Precipitación

El análisis de precipitación se hace sobre la base de las medias mensuales del periodo de precipitaciones de la cuenca, que abarca los meses de septiembre a abril.

El escenario A1 presenta un aumento en precipitaciones a lo largo de toda la cuenca, en particular sobre la cadena occidental central y en el norte de la cuenca hacia la meseta de Chinchaycocha, donde el aumento llegaría a ser mayor a 50% (Gráfico Nro. 17, izquierda). Por otro lado, los resultados para el escenario B2 son mixtos. Las precipitaciones en la cadena occidental central aumentarían en más del 100%, mientras que en la región oriental se reducirían en más del 20% (Gráfico Nro. 17, derecha).

Gráfico Nro. 15: Cambio en la temperatura máxima del aire para verano, escenario A1 (izquierda) y B2 (derecha). Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)

Anomalia de temperatura máxima de verano escenario A1 1990_1999 menos 2046_2055



Anomalia de temperatura máxima de verano escenario B2 1990_1999 menos 2046_2055

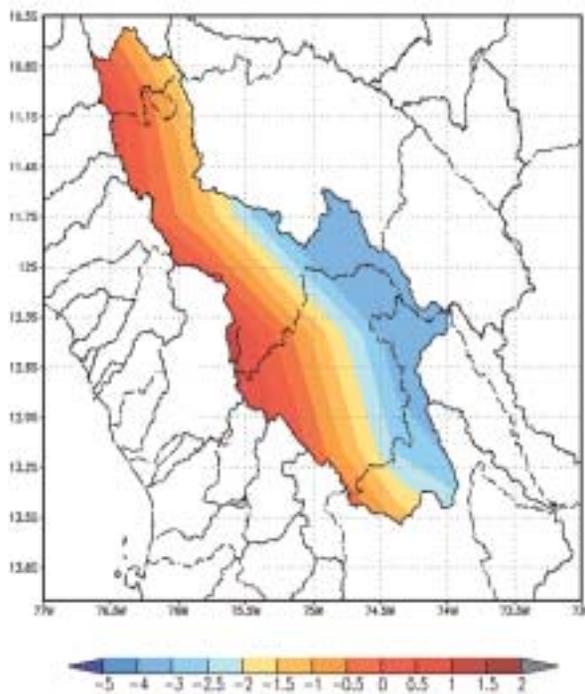


Gráfico Nro. 16: Cambio en la temperatura mínima del aire en verano, escenario A1 (izquierda) y B2 (derecha). Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)

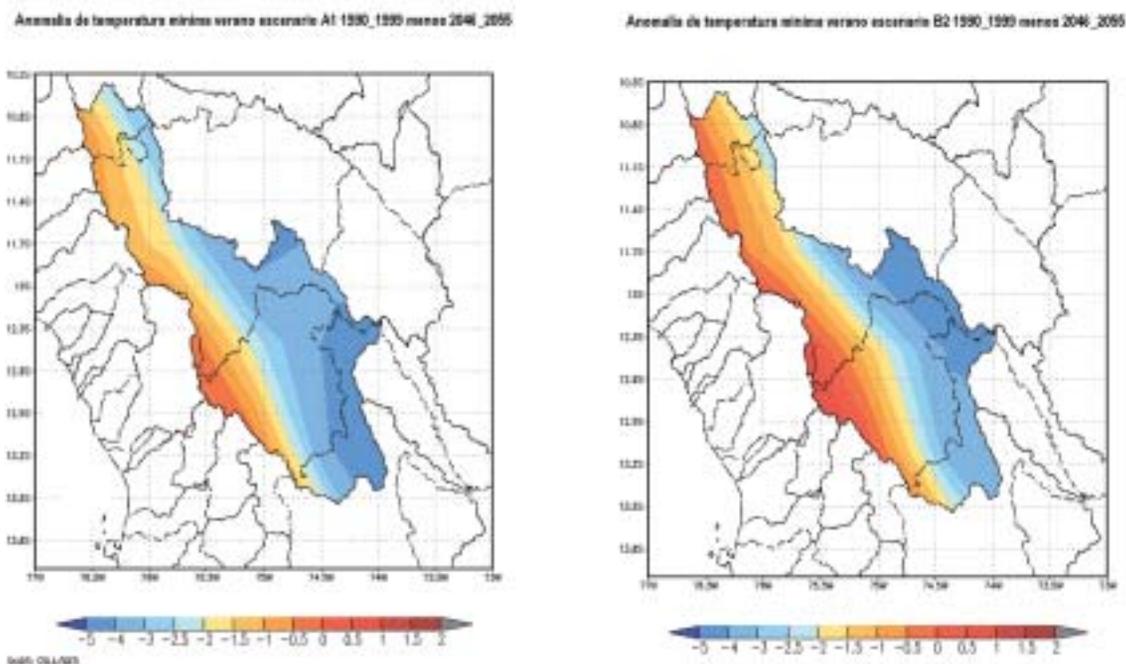
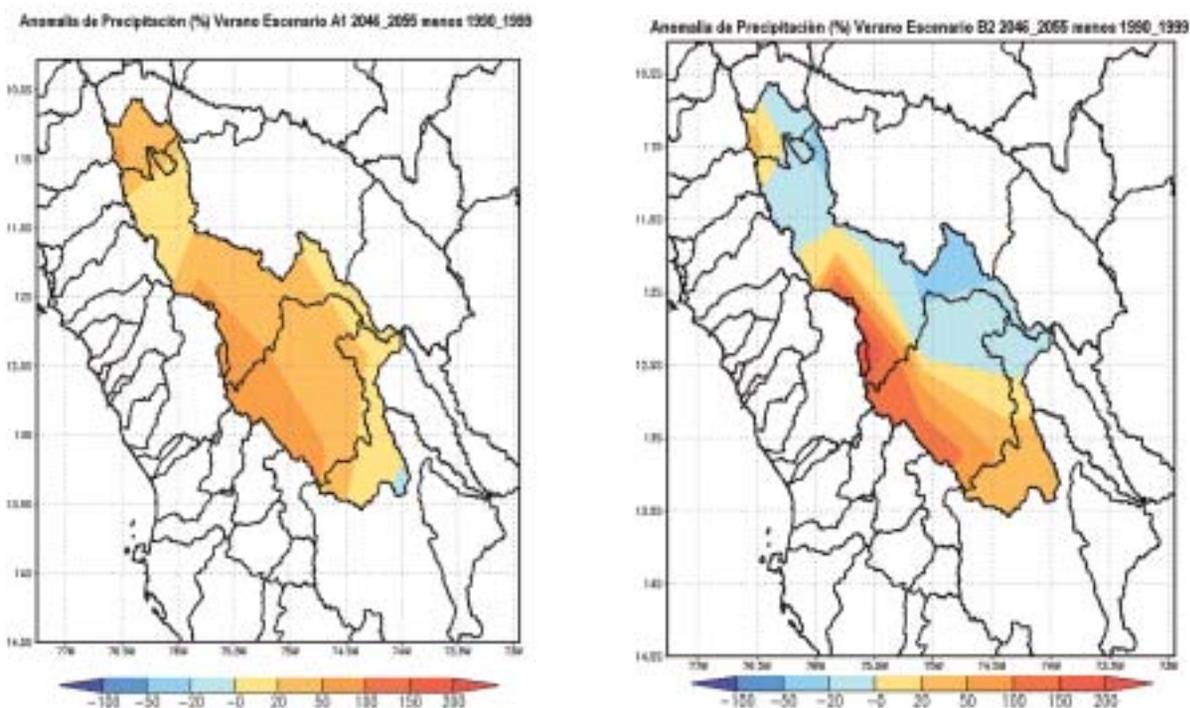


Gráfico Nro. 17: Cambio en la precipitación de verano, escenario A1 (izquierda) y B2 (derecha). Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)



5.2 DOWNSCALING ESTADÍSTICO

Otro método comúnmente utilizado para el downscaling es el estadístico. Éste consiste en buscar relaciones estadísticas entre las variables climáticas en la región de interés y parámetros representando las condiciones climáticas de gran escala que pueden ser adecuadamente representadas por los modelos climáticos globales. Luego, se pueden aplicar las relaciones halladas a los datos de los escenarios climáticos globales para determinar los escenarios regionales. La ventaja de este método es que es sencillo de aplicar e incorpora en forma implícita los efectos geográficos regionales. Una de sus limitaciones fundamentales es la naturaleza empírica del método, que no incluye en forma explícita los conocimientos de las leyes físicas, como lo hace el método dinámico. Además, se asume que aquellas relaciones halladas con datos históricos seguirán siendo válidas en el futuro, lo cual no es posible saber a priori.

En este estudio, el objetivo fue determinar los cambios en la temperatura, precipitación, humedad relativa y específica durante los meses lluviosos de diciembre a febrero entre los periodos de 1990-99 y 2045-54. Los cambios en temperatura y humedad específica se estimaron directamente de los resultados de 12 combinaciones de modelos climáticos globales de la IPCC y escenarios de emisión distintos. Los resultados luego se emplearon para la estimación del cambio en humedad relativa y la precipitación en las tres subcuencas, según lo descrito en la sección 4.1.2.

Las estimaciones del cambio en temperatura y humedad específica para la cuenca del Mantaro muestran mayor dispersión entre modelos que entre escenarios, aunque en general ésta es relativamente pequeña. Los cambios estimados promediados sobre todos los modelos y escenarios en la temperatura y humedad específica son de +1,3°C y +1 g/kg, respectivamente, mientras que el de humedad relativa es de -6 %. El signo de los cambios es consistente entre todos los 15 modelos y la dispersión es pequeña comparada con la magnitud de los cambios (Tabla Nro. 16).

Además se estima una disminución en la precipitación promedio durante el periodo de verano de 19% en la Región Central, de 14% en la Región Sur y de 10% en la Subcuenca de Chinchaycocha. La dispersión (desviación estándar) de éstos es relativamente pequeña (Tabla Nro. 17). Estos resultados son bastantes cercanos a lo que se obtendría utilizando las tendencias observadas en precipitación, como lo indicado en la sección 4.2.1, lo cual aumenta su credibilidad.

Debe considerarse que los coeficientes que relacionan los cambios en humedad relativa y precipitación son empíricos y, por lo tanto, tienen incertidumbre, por lo que es recomendable extender el estudio con la mayor cantidad de datos posibles.

Tabla Nro. 16:
Cambios estimados en temperatura (DT), humedad específica (Dq) y humedad relativa (DHR) en el periodo diciembre a febrero en la cuenca del Mantaro

CENTRO	ESCENARIO	ΔT (°C)	Δq (g/kg)	ΔHR (%)
MPI fm ¹⁰	A2	1,3	0,6	-7,0
	B2	1,2	1,2	-4,4
CCCma ¹¹	A2	1,2	1,1	-4,9
	B2	1,1	0,8	-4,7
CCSR/NIES ¹²	A1	1,9	1,4	-8,3
	A2	1,7	1,7	-6,6
	B2	1,5	1,7	-5,3
NCAR	A1	1,1	0,5	-6,0
CSIRO ¹³	A1	1,5	0,9	-7,3
	A2	1,4	0,9	-6,5
	B2	1,4	0,9	-6,6
Promedio		1,3	1,1	-6,0
Desviación estándar		0,2	0,4	0,8

10. Max Planck Institute for Mathematics –Alemania (<http://www.csiro.au>)

11. Canadian Centre for Climate Modelling and Analysis (<http://www.cccma.bc.ec.gc.ca/>)

12. Center for Climate System Research – Japon (<http://www.ccsr.u-tokyo.ac.jp/ehtml/eccsr.shtml>)

13. Commonwealth Scientific and Industrial Research Organisation – Australia (<http://www.csiro.au/>)

Tabla Nro. 17:
Cambios porcentuales en precipitación estimados para diferentes regiones de la cuenca

CENTRO	ESCEN.	SUBCUENCA DE CHINCHAYCOCHA	CUENCA MEDIA	CUENCA BAJA
MPI fM	A2	-12,1%	-22%	-15,8%
	B2	-7,7%	-14%	-10,1%
CCCma	A2	-8,4%	-15,4%	-11,1%
	B2	-8,1%	-14,9%	-10,7%
CCSR/NIES	A1	-14,4%	-26,3%	-18,8%
	A2	-11,4%	-20,8%	-14,9%
	B2	-9,2%	-16,8%	-12,0%
NCAR	A1	-10,5%	-19,2%	-13,8%
CSIRO	A1	-12,8%	-23,4%	-16,8%
	A2	-11,3%	-20,6%	-14,8%
	B2	-11,5%	-21,0%	-15,1%
Promedio		-10,4%	-19,1%	-13,7%
Desviación estándar		1,5%	2,7%	1,9%

5.3 Resultados consolidados

Los resultados del downscaling dinámico presentan un enfriamiento generalizado sobre la cuenca del Mantaro, el cual es más acentuado en la región oriental y en el escenario A2. Este enfriamiento es inconsistente con los modelos climáticos globales y se sospecha que limitaciones en el modelo utilizado son responsables de esto. Por estas razones, se considera que estos resultados no son apropiados para ser utilizados en forma cuantitativa para la evaluación de la vulnerabilidad futura en la cuenca. Sin embargo, el patrón de menor calentamiento en la región oriental es consistente con observaciones y otros modelos. Debido a la naturaleza del modelo, los cambios en las diferentes variables climáticas están íntimamente ligadas, por lo que errores en una variable implican errores en las demás. Por esto, tampoco es conveniente considerar los resultados de cambios de precipitación. Interesantemente, los resultados del escenario B2 son más cálidos y secos que los del A1, lo cual es

consistente con los resultados del modelo estadístico, que producen menor precipitación asociada a mayor temperatura.

Por las razones mencionadas, se decidió utilizar únicamente los resultados producidos por el downscaling estadístico para el estudio de la vulnerabilidad futura de la cuenca. Estos resultados indican un aumento de 1,3°C y 1g/kg en temperatura y humedad específica, respectivamente, y una disminución de 6% en humedad relativa en la cuenca del Mantaro durante los meses de diciembre a febrero. Asimismo, las precipitaciones disminuirían en 10%, 19% y 14% en la subcuenca de Chinchaycocha, la cuenca media y la cuenca baja, respectivamente.

Los resultados estadísticos cuentan, además, con soporte de otras fuentes. Esto es particularmente relevante para los cambios estimados en precipitación, que dependen de que la relación entre temperatura y precipitación se mantenga bajo el cambio climático. En primer lugar, como se notó anteriormente, las reducciones en precipitación estimados son consistentes con lo que se obtendría mediante la extrapolación de las tendencias en precipitación observadas en datos de estaciones (sección 4.2.1). En segundo lugar, si consideramos la relación negativa observada entre las precipitaciones en el Mantaro y la temperatura superficial del mar en el Pacífico ecuatorial central (Niño 3.4 y 4, véase secciones 4.1.3 y 4.1.4), se podría esperar una contribución adicional a la reducción en las precipitaciones en el Mantaro asociados a la tendencia proyectada por modelos climáticos hacia un estado más similar a El Niño en el futuro (Cubasch et al., 2001). Finalmente, los resultados del downscaling dinámico para el escenario B2 son más cálidos y secos que los del escenario A1 (Sección 5.1), lo cual es consistente con los resultados del modelo estadístico, que relacionan menor precipitación con mayor temperatura.

El incremento de temperatura del aire proyectado, es también consistente con observaciones. En particular, Vuille y Bradley (2000) estiman una tendencia de alrededor de +0,2°C por década (1 grado en 50 años) para el periodo 1959-1998, mientras que las tendencias observadas en la cuenca son en promedio +0,24°C/década (+1,24°C en 50 años).

Vulnerabilidad actual en la cuenca del río Mantaro

La vulnerabilidad de la población está fuertemente asociada a la pobreza, relacionada al hecho de que la gente pobre tiene menores fortalezas para poder lidiar con adversidades de diferentes tipos. Frecuentemente la población con menores recursos se asienta en áreas ecológicamente frágiles, incluyendo áreas de bajo potencial agrícola y en muchos casos son “intrusos” en asentamientos de áreas urbanas (Ekbohm y Bojö, 1999).

La vulnerabilidad socioeconómica se ve amplificada por factores que hemos llamado amplificadores críticos de vulnerabilidad en la cuenca del Mantaro, cuyas principales características se presentan en la Tabla Nro. 18.

Esto es explicado por el hecho de que la gente pobre carece de los recursos para reubicarse ellos mismos o tomar medidas provisionales contra condiciones precarias ambientales.

Además, el bajo nivel de educación y marginalización política reducen el potencial para el acceso a servicios de infraestructura y

asistencia social, y así se incrementa la posibilidad y presencia de sucesos adversos a la salud. Los gastos adicionales comparativamente pequeños, tales como el tratamiento de un miembro familiar enfermo o el reemplazo de un techo después de una tormenta, puede ser suficiente para debilitar seriamente la estabilidad económica y social de una familia dentro de un círculo vicioso de deuda.

Los factores señalados, inciden en una generalización de la pobreza, que a su vez es factor decisivo para una escasa capacidad de resiliencia por parte de la población. En este contexto, se realizó un análisis exhaustivo de la

Tabla Nro. 18:
Amplificadores críticos de vulnerabilidad en la cuenca del Mantaro y principales características

AMPLIFICADORES CRÍTICOS DE VULNERABILIDAD EN LA CUENCA DEL MANTARO	CARACTERÍSTICAS
Crisis estructural del agro	<ul style="list-style-type: none"> ● Bajo ingreso rural ● Degradación de sistemas tradicionales de producción ● Despoblamiento rural ● Disminución del rendimiento de cosechas y presencia de plagas y enfermedades en los cultivos ● Escasez de agua para uso agrícola
Urbanización creciente y desordenada	<ul style="list-style-type: none"> ● Crecimiento urbano no planificado ● Deficiente infraestructura habitacional ● Escasez de servicios de agua potable y desagüe ● Alto riesgo por exposición a los problemas de drenaje pluvial y amenazas de inundaciones ● Viviendas localizadas en zonas altamente vulnerables (cauces de ríos, etc.)
Desplazamiento, migración y conflictos por los recursos	<ul style="list-style-type: none"> ● Los efectos directos e indirectos de riesgos ambientales (contaminación) y variaciones climáticas contribuyen a elevar las tasas de migración al disminuir los recursos fundamentales y al verse amenazados los medios de vida. ● Conflictos por la tierra y el agua (uso doméstico, agrícola o para generación de energía) ● Búsqueda de oportunidades ● Indiferencia de autoridades

vulnerabilidad ante la variabilidad climática y el cambio climático en la cuenca, tanto en los aspectos biofísicos como socioeconómicos para poder presentar un marco integral y coherente al análisis de la vulnerabilidad en los sectores priorizados: agrosilvopastoril, generación de energía hidroeléctrica y salud.

6.1 Vulnerabilidad biofísica y socioeconómica actual en la cuenca del Mantaro

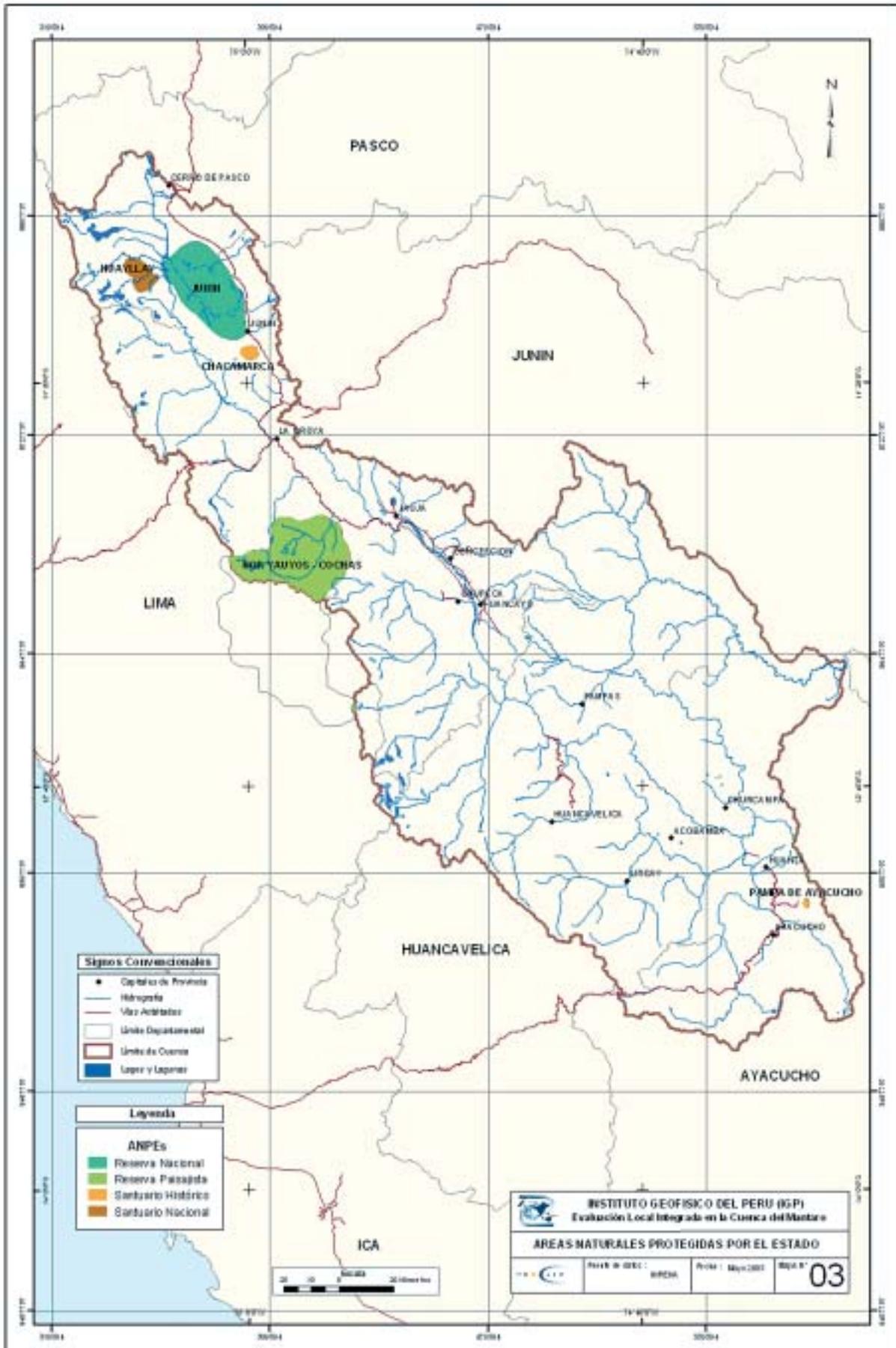
6.1.1 Vulnerabilidad biofísica

Para el análisis de vulnerabilidad biofísica se utilizaron como unidades de estudio las áreas naturales protegidas: Reserva Nacional de Junín

y Reserva Paisajista Nor Yauyos-Cochas, debido a su alta representatividad de la biodiversidad en la cuenca, y la disponibilidad de información existente (Mapa Nro. 03). Las otras tres áreas protegidas localizadas en la cuenca, Santuario Nacional de Huayllay, Santuarios Históricos de Chacamarca y Pampas de Ayacucho, no son representativas de la biodiversidad de la cuenca, por lo que no se han tomado en cuenta para el presente análisis¹⁴.

Las áreas naturales protegidas son espacios continentales y/o marinos del territorio nacional reconocidos, establecidos y protegidos legalmente por el Estado como tales, debido a su importancia para la conservación de la diversidad biológica y demás valores asociados de interés cultural, paisajístico y científico, así como por su contri-

14. El Santuario Nacional de Huayllay es llamado también Bosque de piedras de Huayllay, y está formado por formaciones pétreas y deformaciones geológicas de gran belleza. El Santuario Histórico de Chacamarca salvaguarda zonas arqueológicas y el escenario donde se realizó la Batalla de Junín (06 de agosto de 1824). Finalmente, el Santuario Histórico de Pampas salvaguarda el escenario de la batalla de Ayacucho (9 de diciembre de 1824).



**Tabla Nro. 19:
Áreas Naturales Protegidas por el Estado en la cuenca del río Mantaro**

TIPO DE ÁREA PROTEGIDA	DEFINICIÓN	NOMBRE	CARACTERÍSTICAS
Santuario Nacional	Área donde se protege el hábitat de la comunidad de flora y fauna, así como formaciones naturales de interés científico y paisajístico y de importancia nacional.	Huayllay.	Fue creado el 07 de agosto de 1974, con base legal D.S. Nro 750-74-AG. Se ubica políticamente en la Región Pasco y tiene una extensión de 6 815,00 ha.
Santuario Histórico	Área que además de proteger espacios que contienen valores naturales relevantes, constituyen el entorno de muestras del patrimonio monumental y arqueológico del país o son lugares donde se desarrollaron hechos sobresalientes de la historia nacional.	Chacamarca	Fue creado el 07 de agosto de 1974, con base legal D.S. N° 750-74-AG. Se ubica políticamente en la Región Junín y tiene una extensión de 2 500,00 ha.
		Pampas de Ayacucho	Fue creado el 14 de agosto de 1980, con base legal D.S. N° 119-80-AG. Se ubica políticamente en la Región Ayacucho y tiene una extensión de 300,00 ha.
Reserva Nacional	Áreas destinadas a la conservación de la diversidad biológica y la utilización sostenible, incluso comercial, de los recursos de flora y fauna silvestre bajo planes de manejo, con excepción de las actividades de aprovechamiento forestal comercial con fines madereros.	Junín	Fue creada el 07 de agosto de 1974, con base legal D.S. N° 750-74-AG. Se ubica políticamente en las Regiones Junín y Pasco y tiene una extensión de 53 000,00 ha.
Reserva paisajística	Áreas donde se protege ambientes cuya integridad geográfica muestra una relación armoniosa entre el hombre y la naturaleza, albergando por ello importantes valores naturales, culturales y estéticos. Si la zonificación del área así lo prevé, pueden permitirse el uso tradicional de recursos naturales, los usos científicos y turísticos y los asentamientos humanos. Las actividades que signifiquen cambios notables en las características del paisaje y los valores del área están excluidas.	Nor Yauyos – Cochabamba	Fue creada el 01 de mayo de 2001, con base legal D.S. N° 033-2001-AG. Se ubica políticamente en las Regiones Lima y Junín y tiene una extensión de 221 268,48 ha.

Fuente: Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA

bución al desarrollo sostenible del país¹⁵. Las áreas naturales protegidas analizadas se describen brevemente en la Tabla Nro. 19.

Se analizó la vulnerabilidad biofísica ante los peligros de heladas, sequías y geología superficial, determinando la sensibilidad de la flora y fauna

15. Definición del Instituto Nacional de Recursos Naturales INRENA

existente en las dos áreas protegidas analizadas. A continuación se hace una breve descripción de la situación actual de las Áreas Naturales Protegidas por el Estado: Reserva Nacional de Junín y Reserva Paisajística Yauyos-Cochas.

Reserva Nacional de Junín

La Reserva Nacional de Junín está ubicada en la Pampa de Junín o Meseta de Bombón, sobre los 4 100 msnm. y la mayor parte del territorio es ocupado por el lago Junín o Chinchaycocha. El principal afluente es el río San Juan, procedente de Pasco, y desagua sus aguas directamente en el río Mantaro. La reserva además comprende grandes extensiones de pantanos, totorales y aguas libres en donde viven aves acuáticas¹⁶ (gallaretas, flamencos, patos, etc.) y otras especies como cuyes silvestres (*Cavia tschudii*), zorros andinos, zorrinos y vizcachas. La vegetación predominante está representada por ichuales y totorales.

La Reserva Nacional de Junín fue declarada en emergencia ambiental en el año 2002 por la Ley 27642, debido a que el lago se encuentra contaminado en aproximadamente un 80% por metales sedimentados en valores superiores a los máximos permisibles¹⁷. A pesar que, desde 1994 el Ministerio de Energía y Minas viene coordinando el cumplimiento de sistemas para la recuperación ambiental del Lago Junín por parte de las mineras asentadas en la zona, los residuos sedimentados siguen formando el pasivo ambiental minero que contamina la reserva. Actualmente se ha controlado la descarga contaminante hacia el río San Juan, pero cuando existe crecida (época de lluvia) los vestigios de partículas de minerales que se hallan en las riberas del río San Juan, son trasladados por el agua para ser derivados al delta de Upamayo y de ahí al lago Junín y al río Mantaro.

Por otro lado, la represa de Upamayo localizada en el delta de Upamayo, donde nace el río Mantaro es la fuente de energía para la hidroeléctrica de la zona, sin embargo, al elevarse el nivel de agua -cuando la represa se llena- los nidos se inundan y pierden la oportunidad de procrear hasta el año siguiente. Años atrás el lago era fuente de recursos para las comunidades que habitan la zona, ya que podían alimentarse y/o comercializar aves, peces y ranas que servía para complementar la ganadería, principal actividad económica.

Desde que se declaró a la Reserva Nacional de Junín en estado de emergencia, una Comisión Multisectorial Descentralizada del gobierno peruano y otros participantes del sector público (como universidades, empresas, comunidades, municipalidades) y ONGs han trabajado en esfuerzo conjunto para la elaboración del Plan Chinchaycocha. El propósito de éste es «afrentar estructuralmente los impactos socio ambientales derivados de la actividad minera, energética y ganadera, así como de la carencia de servicios de saneamiento básico».

Reserva Paisajística Nor Yauyos - Cochas

La Reserva Paisajística Nor Yauyos - Cochas es un área protegida de reciente creación, que presenta hermosos paisajes, ríos, lagunas y restos arqueológicos. La reserva está constituida por dos cuencas: la del Alto Cañete, en la cuenca alta del río Cañete, en la zona norte de la provincia de Yauyos, región Lima, y la cuenca del río Cochas-Pachacayo, al suroeste de la provincia de Jauja, en la región Junín, que desemboca en el río Mantaro. En el interior mismo de la reserva existen varios asentamientos humanos con importante cantidad de población, la cual se dedica principalmente a la agricultura y la ganadería.

La mayor parte del territorio está incluido en la denominada cordillera occidental, y un sector, sobre todo en Junín, forma parte de la altiplanicie intra-montañosa. Los rasgos geomorfológicos que prevalecen son los glaciares y las áreas rocosas de reciente deglaciación, además de las vertientes montañosas de diversas formas.

En ella se han identificado cinco zonas de vida con diferentes características de precipitación, temperatura y vegetación predominante:

- ◆ Estepa montano tropical.
- ◆ Bosque húmedo-montano tropical.
- ◆ Páramo muy húmedo-subalpino tropical.
- ◆ Tundra pluvial-alpino tropical.
- ◆ Nivel tropical.

Las principales especies vegetales son el quishuar (*Polylepis racemosa*), el quishuar (*Buddleia incana*) y el colle (*Buddleia coriacea*), y posee numerosas especies de aves como el patillo, garza blanca grande, cóndor, etc. Otros animales son la muca, zorro andino, puma,

16. La más representativa es el pato zambullidor de Junín (*Podiceps taczanowskii*), especie endémica y en peligro de extinción. Las otras especies endémicas son: la rana de Junín (*Batrachophrynos macrostomus*) y el pez bagre o challhua (*Orestias elegans*)

17. Tesis de Maestría, «Contaminación por Metales Pesados en Agua Sedimento y Biota del Lago Junín», realizada por el Ing. Juan Castillo Paredes de la Universidad Nacional de Trujillo en el 2001.

principales camélidos sudamericanos (alpaca, llama y vicuña), vizcachas y venados grises.

El área protegida se encuentra en situación vulnerable y sujeta a diversas amenazas, siendo las principales: la minería, el turismo no planificado, incorrecta disposición de residuos sólidos y contaminación, así como la intensa actividad agropecuaria asociada a la quema de vegetación. Asimismo, los proyectos de construcción de una represa en la zona y la actual falta de implementación de la administración y manejo del área protegida representan un peligro para la reserva. La participación local en el proceso de toma de decisiones y en el manejo de la reserva paisajística en los municipios distritales y comunidades campesinas, es aún escasa.

Estas dos áreas protegidas son representativas de la problemática existente en la cuenca, donde el tema de contaminación por pasivos ambientales es prioritario.

La vulnerabilidad biofísica frente a heladas, sequías y geología superficial está presente, sobre todo por el nivel de afectación que puede tener en la producción agropecuaria y en la generación de energía, siendo los niveles de vulnerabilidad moderados. También se presentan conflictos estacionales vinculados al uso del agua, debido a su demanda para consumo humano, generación de energía hidroeléctrica y uso agrícola.

Mención aparte tiene el tema de vulnerabilidad institucional. Si bien existen iniciativas interinstitucionales – que además involucran a la población afectada – para solucionar los problemas identificados, éstos aún son insuficientes, y las instituciones y sus relaciones son aún débiles para hacer frente a la problemática existente. El tema de cambio climático aún es escasamente utilizado como una variable a ser tomada en cuenta en los trabajos de investigación y menos aún en la toma de decisiones.

6.1.2 Vulnerabilidad socioeconómica actual

Según las Encuestas Nacionales de Niveles de Vida (ENNIV) de 1985, 1991, 1994 y 1996, la condición de pobreza a nivel nacional disminuyó entre los años 1991 y 1994 de 53,6% a 49,6%, y este último valor (49%) se mantuvo en 1996. En los Reportes de los Indicadores Básicos Nacionales 1999, 2001 y 2003 (Tabla Nro. 20), la situación de pobreza aumentó de 45,3% a 56,8% (alcanzando su valor máximo) en los años 1999 a 2001 y para el 2003 es el 54,3%. A nivel de la cuenca del Mantaro, los indicadores de pobreza muestran valores bastante altos, por lo que es de suponer que la población no está preparada para los efectos adversos de la variabilidad climática, especialmente la región de Huancavelica con un 83,7 % de pobreza y 61,6 % de extrema pobreza, al 2003.

Tabla Nro. 20:
Población en pobreza: pobre (P) y pobre extremo (PE)

LOCALIZACIÓN	1999		2001		2003	
	P	PE	P	PE	P	PE
Perú	45,3	19,3	56,8	28,4	54,3	23,9
Ayacucho	65,2	41,0	83,3	50,8	72,7	41,8
Huancavelica	74,0	50,8	92,2	51,0	83,7	61,6
Junín	42,5	13,2	66,1	29,4	62,6	29,7
Pasco	57,1	24,7	81,2	44,6	65,6	32,1

Fuente: Reportes de los Indicadores Básicos Nacionales

Las tasas de analfabetismo a nivel nacional disminuyeron de 18,1% a 12,8% en el periodo inter censal 1981-1993, aunque subsisten amplias diferencias entre hombres y mujeres, en particular en las zonas rurales. Al año 2003, el porcentaje de analfabetismo ha disminuido hasta 10,7%. (Tabla Nro. 21). En el caso de la cuenca del

Mantaro, del año 1999 al año 2003 el porcentaje de analfabetismo ha disminuido en un 4%, siendo la región de Huancavelica, la que presenta una mayor disminución, durante los años 2001 y 2003. Con respecto al género en la cuenca, el femenino presenta una tendencia de disminución sobresaliente.

**Tabla Nro. 21:
Población alfabeta**

LOCALIZACIÓN	1999			2001			2003		
	H	M	Total	H	M	Total	H	M	Total
Perú	92,9	81,7	87,2	94,6	85,0	90,5	94,7	84,0	89,3
Ayacucho	82,0	54,2	67,3	88,3	60,5	72,6	84,9	59,2	71,1
Huancavelica	81,3	52,3	65,9	90,4	70,6	79,8	84,0	61,7	72,5
Junín	79,8	93,7	86,6	97,2	86,6	91,8	93,9	82,4	88,1
Pasco	92,2	77,2	84,7	96,5	82,1	89,9	95,2	82,9	89,1

Fuente: Reportes de los Indicadores Básicos Nacionales, INEI 1999, 2001, 2003.

La esperanza de vida a escala nacional aumentó de 66,3 a 69,8 años entre 1993 y 2003. En el 2003, es la provincia constitucional del Callao la que presenta la mayor esperanza de vida al nacer con 78,8, a diferencia de la región de Huancavelica con 59,1 años (Tabla Nro. 22). La tasa bruta de natalidad descendió de 26 nacimientos por 1 000 habitantes en 1996 a 22,6

por 1 000 en el 2003. La tasa global de fecundidad (TGF), que hasta la década de los sesenta fue superior a 6,5 hijos por mujer, disminuyó a 2,9 hijos por mujer en el 2003. La TGF más baja se registró para la región de Ayacucho con 0,3 hijos por mujer, mientras que la más alta se registró para la región de Huancavelica de 6,1.

**Tabla Nro. 22:
Esperanza de vida al nacer (años)**

LOCALIZAC.	1999			2001			2003		
	H	M	Total	H	M	Total	H	M	Total
Perú	65,9	70,9	68,3	67,3	72,4	69,8	67,3	72,4	69,8
Ayacucho	59,5	64,2	61,9	61,4	66,2	63,8	66,2	61,4	63,8
Huancavelica	54,7	58,9	56,8	57,0	61,3	59,1	57,0	61,3	59,1
Junín	64,7	69,6	67,2	66,2	71,3	68,7	66,2	71,3	68,7
Pasco	64,1	69,0	66,5	70,7	65,7	68,2	65,7	70,7	68,2

Fuente: Reportes de los Indicadores Básicos Nacionales, INEI 1999, 2001, 2003.

Determinar la vulnerabilidad socioeconómica actual se logró mediante la construcción de un índice de sensibilidad (ISSE), resultado de la combinación de 6 indicadores, dos de carácter económico

(ingreso y fragilidad agrícola), tres de carácter social (educación, salud, vivienda), y uno que conjuga los otros componentes a través de la ocupación humana del territorio (densidad poblacional).

$$ISSE = F (Y, FA, Ed, Sal, Vi, DP)$$

Y = Ingreso o renta (para hacer frente a los riesgos climáticos)

FA = Fragilidad agrícola

Ed = Educación (escasa formación educativa).

Sal = Salud (infraestructura sanitaria).

Vi = Vivienda (condiciones físicas inadecuadas y hacinadas)

DP = Densidad poblacional.

Este índice se conjugó con los índices de riesgo de temperaturas extremas, precipitaciones

extremas y fenómenos geodinámicos externos para construir el índice de vulnerabilidad socioeconómico distrital. A continuación se presenta una breve descripción de cada una de las seis variables socioeconómicas analizadas.

Ingresos

El nivel de ingreso *per capita* familiar registrado en la cuenca del Mantaro es de S/.200,10 nuevos soles, que es el 20% del costo de la canasta básica familiar (S/.1 000,00), la misma que sólo permite cubrir la necesidad básica de alimentación y no disponer de medios para hacer frente a emergencias.

En la cuenca sur del Mantaro el nivel de ingreso es menor en 40% al promedio de toda la cuenca (S/.123,40). En la cuenca central es 17% del promedio total (S/.234,50) y en la cuenca norte es 15% más del promedio (S/.231,60). Los menores ingresos están en la cuenca sur del Mantaro y afectan al 44,5% de las familias.

Fragilidad agrícola

Las variaciones de temperatura, la irregularidad de las precipitaciones, eventos extremos como sequías y heladas, aumentan la presión sobre los recursos agrarios y generan conflictos sobre su uso. Esta situación se ve agravada por la parcelación de la tierra de uso agrícola, siendo una característica de la cuenca del Mantaro el minifundio (menos de 0,5 has.) y la pequeña propiedad (más de 0,5 has hasta 4,9 has), representando ambos el 85,7% de productores.

De las tierras de producción agrícola en la cuenca del Mantaro, el 29% se encuentra bajo riego y el 71% en secano; reflejando la alta susceptibilidad a las sequías y temperaturas extremas altas (veranillos¹⁸) y mínimas (heladas).

La población económicamente activa ocupada en la actividad agropecuaria es de 54,6%, superior a las registradas en otras actividades económicas de la cuenca, y susceptible a las variaciones climáticas que afectan los cultivos, e incrementan el desempleo y la migración campo-ciudad.

Educación

Los efectos negativos de cambios en el tiempo y clima indudablemente tienen mayor

repercusión sobre la población con mayores índices de pobreza, que se caracteriza por un bajo nivel educativo formal. En este grupo poblacional son las mujeres las más vulnerables, especialmente en las áreas rurales.

En la cuenca del Mantaro la tasa de analfabetismo femenino es de 31,1%, es decir que de cada 100 mujeres mayores de 15 años 31 de ellas no saben leer ni escribir. Al interior de la cuenca es aún más preocupante, especialmente en la parte sur de la cuenca, donde se registra un 50,8%. La fuerza laboral presenta un nivel educativo de 51,6% (primaria, secundaria y superior, completa e incompleta), mientras que un 39,4% no tienen ninguno.

Salud

Cambios en la temperatura del aire inciden en la presencia de infecciones respiratorias agudas (IRAs), comunes en la cuenca y que afectan sobre todo a niños y ancianos. Por otra lado, la escasez de lluvia y los cambios en los ciclos regulares de precipitación, así como el deshielo de glaciares, están directamente relacionadas con el suministro de agua potable, incrementando las enfermedades asociadas con el agua: el cólera, diarrea, parasitosis, particularmente en zonas con infraestructura sanitaria deficitaria. Aproximadamente un 42,9% de los hogares de la cuenca sufren de una falta parcial o total de agua potable. Las mujeres se hallan particularmente expuestas por sus tradicionales faenas de lavado, recojo de agua y preparación de alimentos.

La carencia de redes públicas de desagüe de los hogares en la cuenca del Mantaro es de 68,16%, mucho mayor que el déficit de agua potable. En la parte sur de la cuenca, los porcentajes son más preocupantes: de cada 100 hogares, 60 carecen de agua potable, y 70 no tienen desagüe. En época de temperaturas altas aparecen focos infecciosos, por la exposición al aire libre de excretas y aguas servidas.

Vivienda

Con la adopción de la Declaración de Derechos Humanos en 1948¹⁹, el derecho a una vivienda digna se sumó al cuerpo de legislación internacional universalmente aplicable sobre derechos humanos. La Declaración establece que “toda persona tiene derecho a un nivel de vida adecuado que le asegure, así como a su familia,

18. Periodos secos dentro de la estación de lluvias, suelen durar entre 10 y 20 días.

19. Artículo 25 de La Declaración Universal de los Derechos Humanos.

la salud y el bienestar, y en especial la alimentación, el vestido, la vivienda, la asistencia médica y los servicios sociales necesarios”.

El problema de vivienda, tanto en el ámbito urbano como rural está relacionado con la falta de empleos, las diferentes posibilidades de acceso a la educación, a la salud, la desigual distribución de bienes y servicios, etc. Las viviendas en condiciones físicas inadecuadas²⁰ en la cuenca del Mantaro representan el 29,3% y las viviendas con condiciones de hacinamiento²¹ de sus habitantes el 17,2% del total.

Otros factores que caracterizan el tema de vivienda en la cuenca es la falta de titulación de terrenos para vivienda, y la construcción en zonas de alto riesgo (inundables, erosionadas, etc.).

Densidad poblacional

La ocupación del territorio también constituye un alto riesgo, cuando este se encuentra altamente habitado, especialmente en las ciudades, por la creciente y desmedida urbanización sin el ordenamiento correspondiente. La población hace frente a los problemas de alcantarillas que colapsan, viviendas inundadas, drenajes que estallan, comercios inundados por lluvias intensas de más de 2 horas y granizadas. En la zona central de la cuenca, las áreas urbanas son continuamente afectadas. El volumen poblacional que radica en el área urbana de la cuenca del Mantaro es el 81,2% del total de la población, siendo sólo el 18,8% rural.

La cuenca del Mantaro registra una densidad 46,9 hab/km², lo que indicaría una población normal. Sin embargo, la cuenca central tiene una densidad de 79,70 hab/Km², es decir que se encuentra densamente habitada. La zona sur de la cuenca tiene una densidad de 40,8 hab/Km² y la cuenca norte 21,77 hab/km².

Los seis indicadores seleccionados están profundamente relacionados entre sí, y con el índice de desarrollo humano. El índice de vulnerabilidad socioeconómico, que se trabajó a nivel distrital se presenta en el Mapa Nro. 04 (Pág. siguiente). En el mapa, en color rosado, se observan las zonas de niveles de vulnerabilidad baja, localizados en la zona central de la cuenca,

y al margen derecho del río Mantaro. En esta zona se ubica la ciudad de Huancayo, donde las condiciones de salud, vivienda y educación son las mejores de toda la cuenca y en donde el acceso a servicios es alto.

Las zonas de color ocre indican vulnerabilidad moderada y se localizan en porcentaje mayoritario en la zona centro de la cuenca y en parte importante de la zona norte. También se observan sectores aislados en la zona sur de la cuenca. El nivel de vulnerabilidad moderado indica niveles medios de vida y acceso a los servicios debido principalmente al acceso a la red vial que comunica estos sectores de la cuenca. El nivel alto se presenta en color amarillo, alrededor del Lago Junín, y también en la zona sur de la cuenca, aunque no en porcentaje mayoritario. Este nivel de vulnerabilidad indica mucho menor nivel de acceso a servicios como los educativos o los de salud, viviendas inadecuadas, etc.

Finalmente, el nivel crítico de vulnerabilidad se presenta en color rojo, y mayoritariamente en la zona sur de la cuenca, lo cual es consistente con la información presentada en el Diagnóstico²², donde las zonas de menor desarrollo corresponde a la zona sur, específicamente a las regiones de Huancavelica y Ayacucho. Los índices de analfabetismo –sobre todo femenino–, viviendas inadecuadas, falta de servicios básicos, etc. en estas zonas son alarmantes y corresponden a las más bajas del país. Esto, aunado a los peligros de heladas, sequías y geología superficial hacen de estas zonas las más vulnerables.

Distribución espacial de la vulnerabilidad socioeconómica actual

Considerando la utilidad de contar con mapas de la vulnerabilidad socioeconómica frente a peligros de heladas, de sequías y de geología superficial, se ha procedido a elaborar estos mapas, conscientes de los errores y limitaciones que podrían contener por la falta de información, por lo que se recomienda utilizar con mucha cautela.

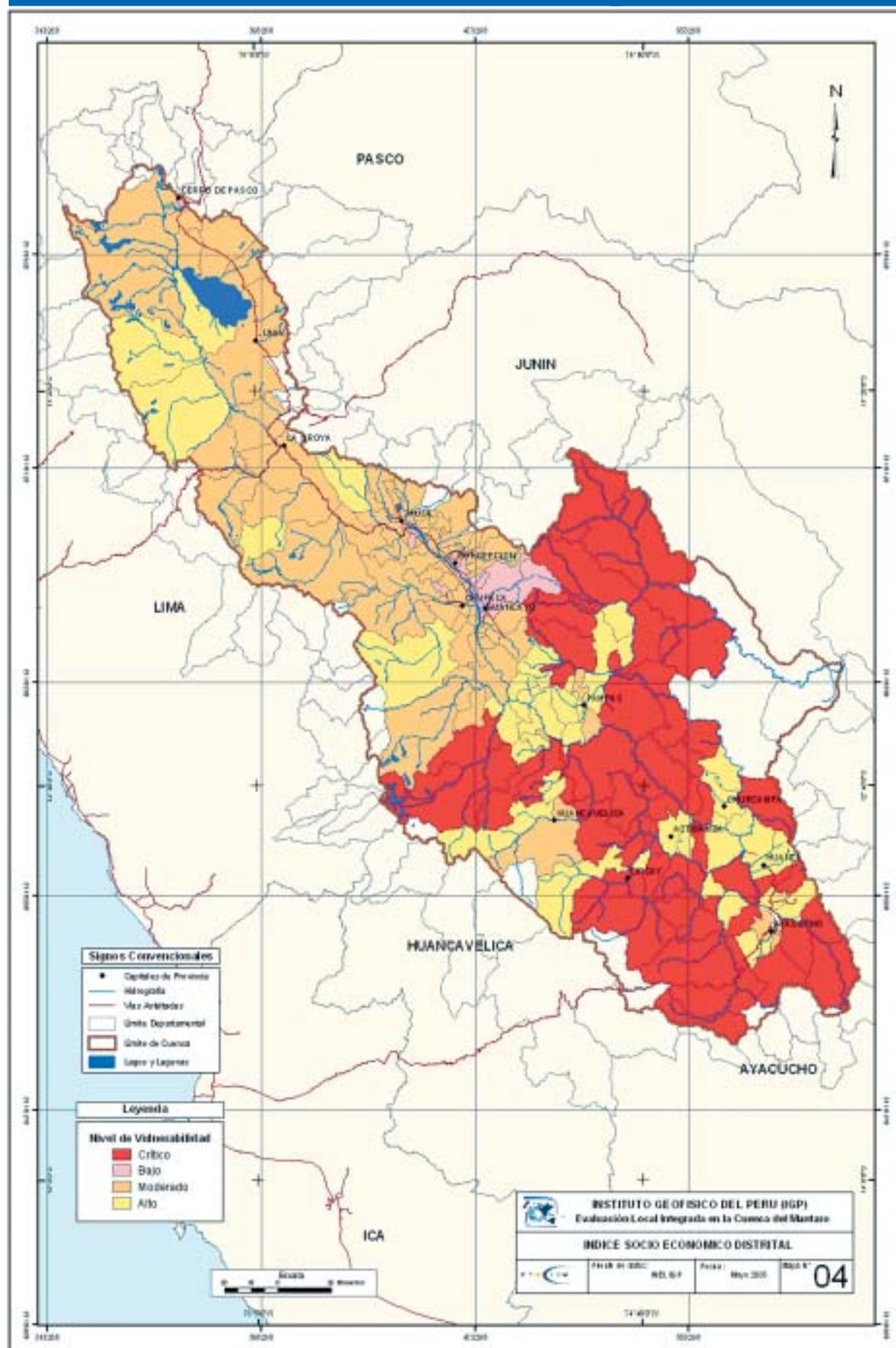
Vulnerabilidad socioeconómica frente a peligros de heladas

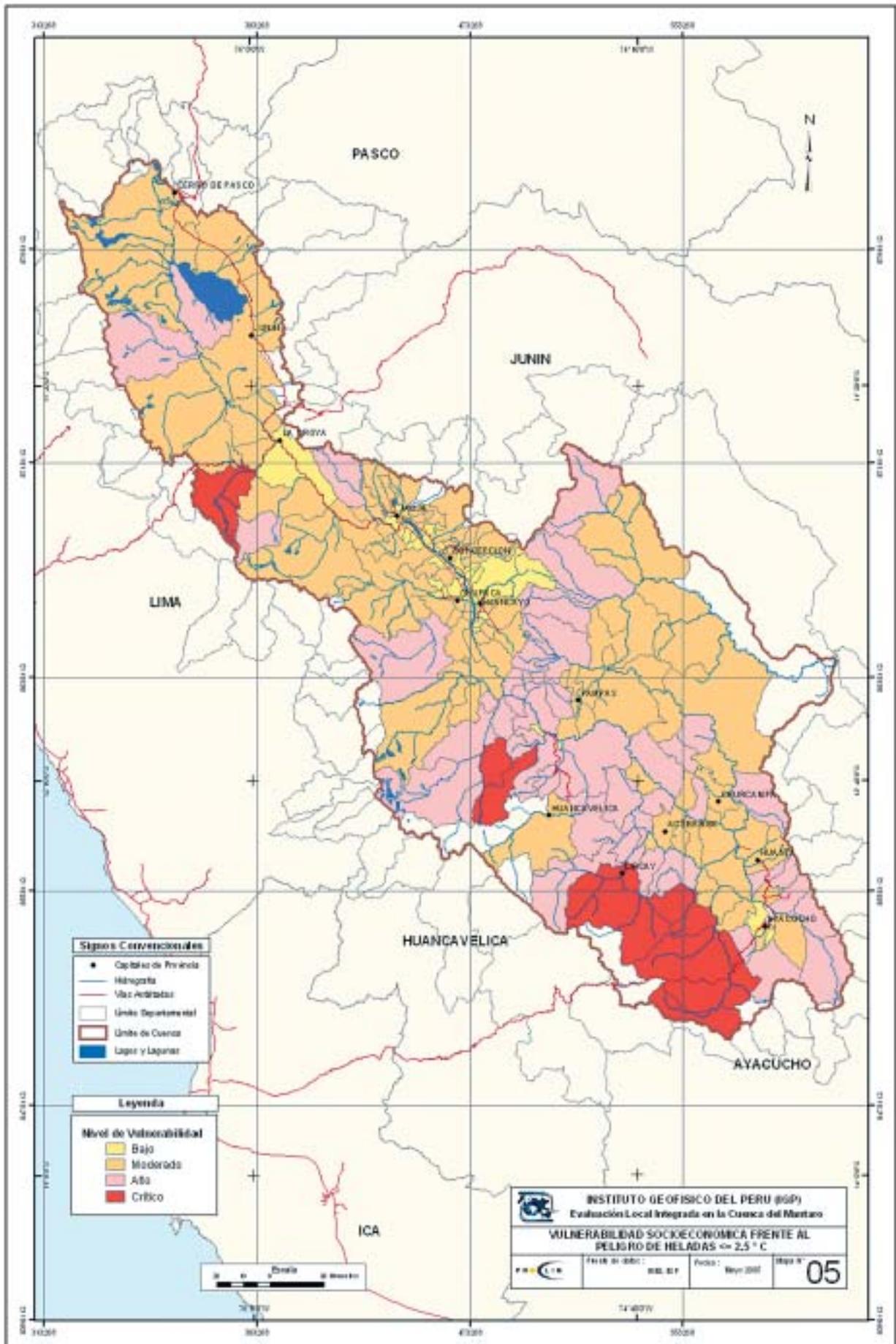
El mapa No 05 (Pág. 67) muestra la distribución espacial de la vulnerabilidad ante el

20. Que carecen de agua, desagüe, electricidad y/o servicio de recojo de basura.

21. Mide la relación entre el número de personas del hogar y el número de recintos habitables que ocupan en una vivienda. Existe hacinamiento medio cuando en un hogar hay tres personas por habitación utilizada como dormitorio, y hacinamiento crítico cuando hay más de tres personas en estas mismas condiciones, según el PNUD.

22. Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión de cambio climático, IGP, 2005.







Cosecha de zanahorias en el valle del Mantaro. Las variaciones de temperatura, la irregularidad de las precipitaciones, eventos extremos como sequías y heladas, aumentan la presión sobre los recursos agrarios y generan conflictos sobre su uso.

peligro de heladas con temperaturas menores a 2.5°C, considerando que este es el valor crítico para las actividades agropecuarias. Se puede notar que las áreas con estas características se encuentran ubicadas en las regiones más altas.

23. El Coeficiente de Correlación Lineal de Pearson es un índice estadístico que permite definir de forma más concisa la relación entre dos variables. Su resultado es un valor que fluctúa entre -1 (correlación perfecta de sentido negativo) y +1 (correlación perfecta de sentido positivo). Cuanto más cercanos al 0 sean los valores, indican una mayor debilidad de la relación o incluso ausencia de correlación entre las dos variables.

Vulnerabilidad socioeconómica frente a peligros de sequías

La sequía en la cuenca se considera como el peligro con mayor extensión territorial y esta relacionado con las áreas que tienen la disponibilidad de agua muy limitadas por déficit de precipitación y en la región más baja de la cuenca ubicado en la zona sur de la cuenca. La distribución de la vulnerabilidad frente a este peligro se muestra en el mapa No. 06.

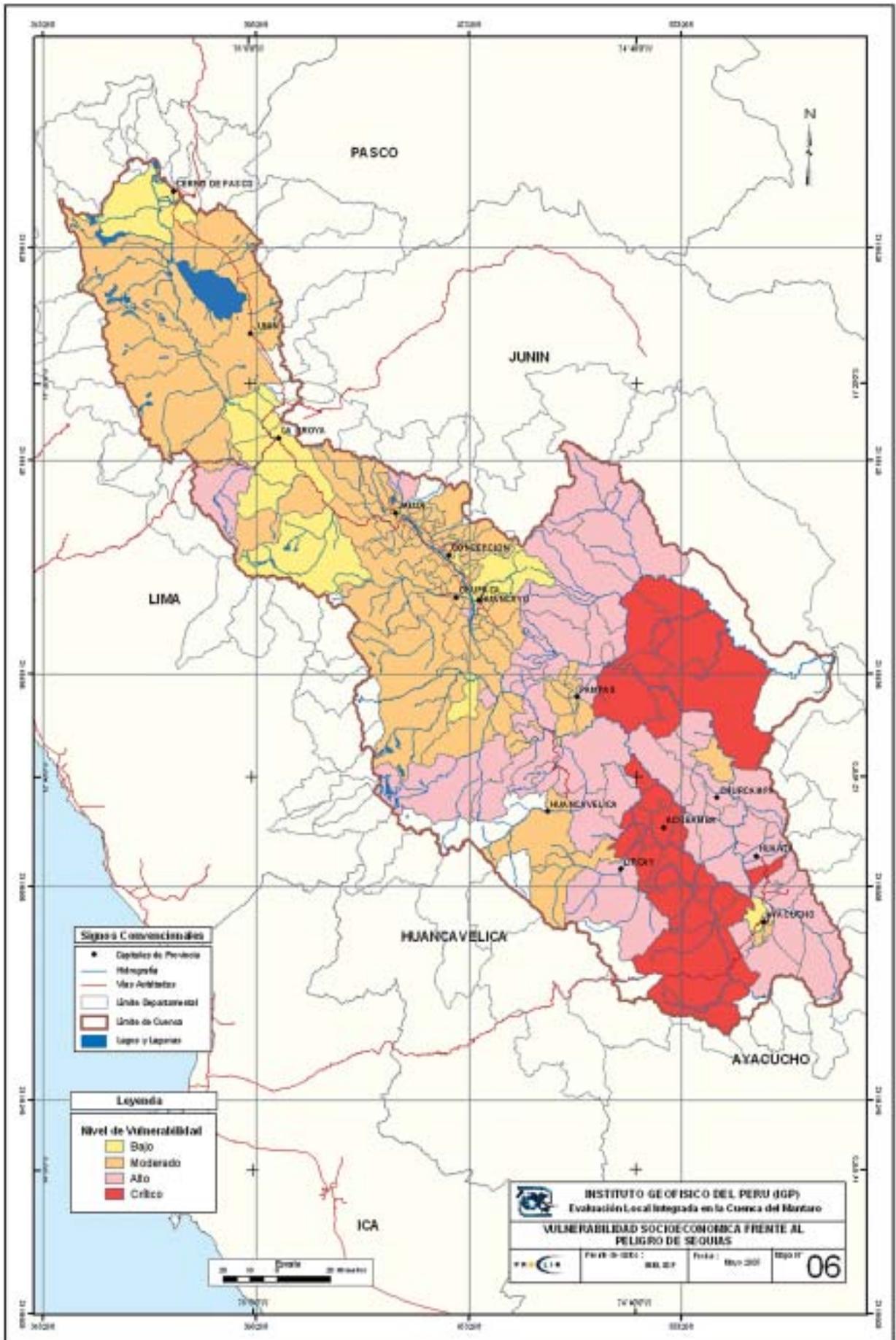
Vulnerabilidad socioeconómica frente a peligros de geología superficial

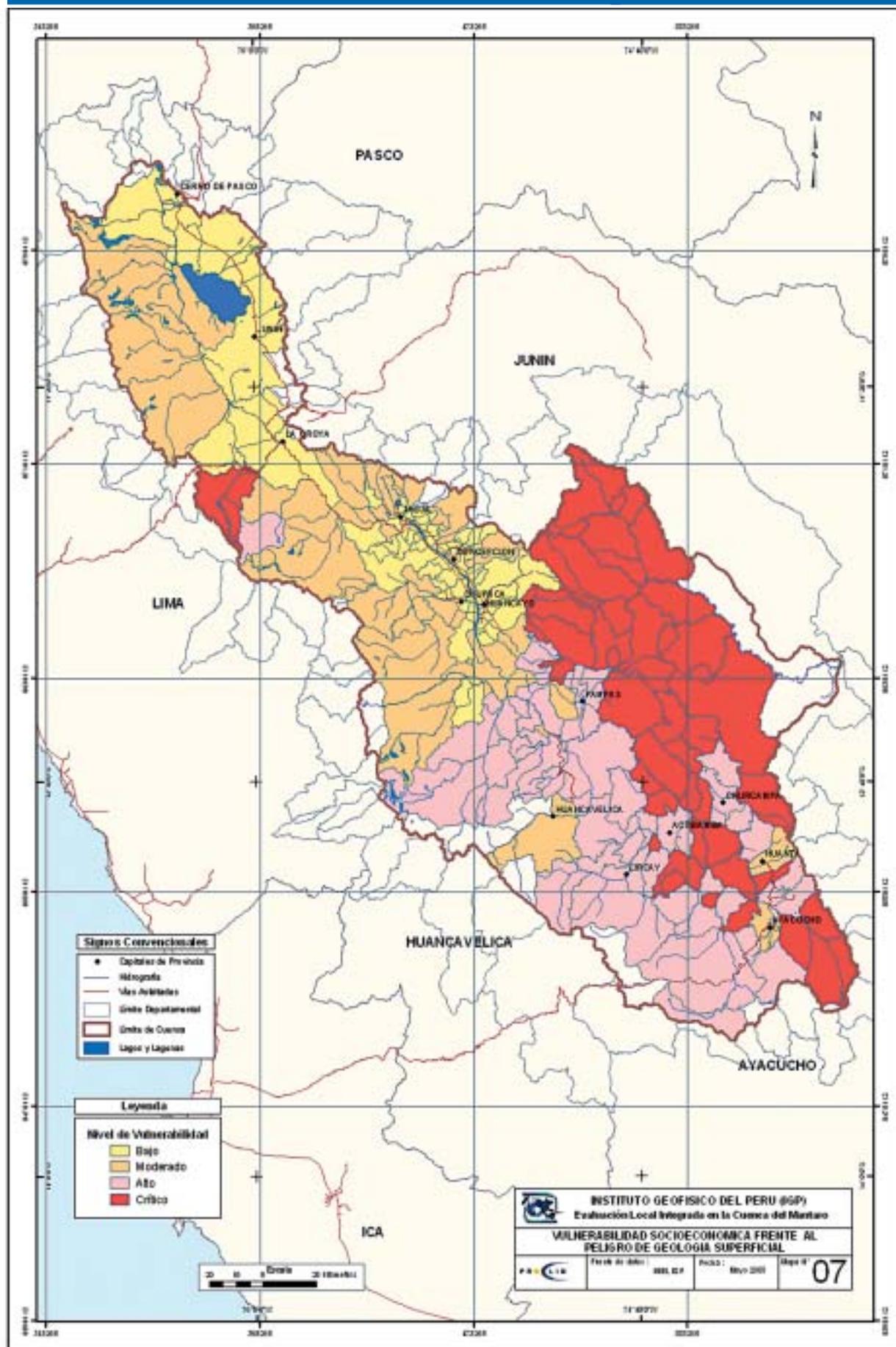
Los resultados del análisis de la vulnerabilidad frente a los peligros de geología superficial se muestran en el mapa No 07 (Pág. 70). Los valores críticos se encuentran ubicados principalmente en la región sur-oriental de la cuenca.

6.2 VULNERABILIDAD ACTUAL EN EL SECTOR AGROSILVOPASTORIL

Si bien el sector priorizado en la cuenca fue, originalmente, el sector agrosilvopastoril, finalmente la prioridad de análisis fue dada al sector agrícola. Esto debido a que si bien existe información valiosa sobre los sectores de silvicultura y pastoril, ésta generalmente es localizada y puntual.

Es claro que en la percepción de los agricultores existe una relación entre las variaciones interanuales del clima y la performance de los cultivos, por lo cual, es conveniente tener una medida cuantitativa de dicha relación. Una forma de hacer esto es mediante el cálculo de los coeficientes de correlación²³ entre variables climáticas relevantes y cantidades relacionadas a los cultivos. En esta sección se presentarán resultados utilizando datos anuales de precipitación acumulada, temperaturas promedio y frecuencias de heladas en representación de las variaciones climáticas y producción, superficie cosechada y rendimiento de algunos cultivos representativos de las tres zonas de estudio en la cuenca. Previamente al cálculo de las correlaciones, se le removerá las tendencias lineales a todas las variables. Si no





se hace esto se pueden confundir las tendencias en los cultivos debido a cambios tecnológicos o políticos con cambios de largo plazo en el clima. Un problema recurrente en todo el análisis es la corta duración de las series de tiempo utilizadas, particularmente aquellas relacionadas a los cultivos²⁴.

Zona Norte: Maca

El cultivo de maca es de particular interés en esta región debido a su buena performance en el clima frío preponderante. Se presentará el análisis de correlación únicamente para los datos del cultivo de maca en Junín con la temperatura media y precipitación acumulada entre setiembre y marzo en Huayao para el periodo 1997-2003. Idealmente

se consideraría precipitación y frecuencia de heladas de una locación en la misma meseta de Junín, pero las series de tiempo disponibles son muy cortas para el cálculo de las correlaciones.

Los resultados (Tabla Nro. 23) indican una significativa relación negativa con la temperatura media. Probablemente esto refleja la relación entre la temperatura y la incidencia de plagas y enfermedades, las cuales tienden a ser favorecidas por el calor. También podría deberse a la preferencia de este cultivo por las temperaturas bajas, por lo que un calentamiento podría reducir el rendimiento del cultivo. Las correlaciones con producción, superficie cosechada y rendimiento tienen similares magnitudes, aunque son ligeramente menores para esta última.

Tabla Nro. 23:
Correlaciones entre el cultivo de maca en Junín y variabilidad climática

	PRODUCCIÓN	SUPERFICIE COSECHADA	RENDIMIENTO
Precipitación acumulada	-0,2	-0,02	-0,03
Temperatura media	-0,78	-0,79	-0,65

Fuente de datos: IGP, MINAG. Análisis: IGP

Las correlaciones con la precipitación son menores y negativas. Es probable que la corta longitud de las series no permita una adecuada estimación de la relación real. Además, el carácter más local de las lluvias comparado al de la temperatura implica que los datos de Huayao podrían no ser representativos de las condiciones en la meseta de Junín. Por esto no se presentará una interpretación de este resultado.

Zona central: Papa

En la Tabla Nro. 24 se muestran los resultados considerando el cultivo de la papa en la zona de Huancayo y datos meteorológicos de la estación de Huayao para el periodo 1991-2003, acumulados o promediados sobre los meses de setiembre a marzo. En general, los coeficientes de correlación tienen magnitud pequeña. Más

Tabla Nro. 24:
Correlaciones entre el cultivo de papa y variabilidad climática en Huancayo

	PRODUCCIÓN	SUPERFICIE COSECHADA	RENDIMIENTO
Precipitación acumulada	0,11	0,2	0
Temperatura media	-0,14	-0,22	0,09
Frecuencia de heladas	-0,36	-0,27	-0,02

Fuente de datos: IGP, SENAMHI, MINAG. Análisis: IGP

24. Mayor información sobre las series de datos utilizadas pueden ser solicitadas a cpntc@chavin.igp.gob.pe

aún, ninguna es significativa estadísticamente al 95%. Sin embargo, es probable que si se considerara un periodo más largo, la significancia de los resultados aumentaría. Con estas consideraciones en mente, se presentaran los resultados y posibles interpretaciones.

Los signos de los coeficientes obtenidos (Tabla Nro. 24) concuerdan con lo esperado. En particular, se espera menor producción, superficie cultivada y rendimiento cuando las temperaturas son mayores, debido a la mayor incidencia de plagas; cuando la frecuencia de heladas es mayor, ya que las heladas pueden matar a los cultivos; y cuando las precipitaciones son menores, ya que es más difícil cumplir con el requerimiento hídrico del cultivo. En general, las correlaciones con el rendimiento son las menores.

Los coeficientes asociados a precipitación son menores a lo esperado. Una posible razón para esto es el represamiento de la laguna Lasuntay, que alimenta el río Shullcas a partir de 1992. Parte del agua requerida por los cultivos se provee por irrigación, por lo que el impacto de la variabilidad de las lluvias sobre la provisión de agua de regadío es probablemente menor gracias al manejo de la represa. La correlación con el rendimiento es cero, lo cual sugiere que el impacto de las variaciones en la lluvia sobre la producción total se da a través del control sobre la superficie cosechada.

Las correlaciones entre producción y superficie cosechada con la temperatura son también bajas, pero con signo negativo. Como se mencionó, esto podría estar asociado a la mayor incidencia de plagas con temperaturas mayores. La correlación con el rendimiento es positiva, aunque menor en magnitud. El impacto de la temperatura media sobre la producción aparentemente se da principalmente a través del control sobre la superficie cosechada.

Similarmente, la frecuencias de heladas aparentemente afecta en forma más significativa a la producción a través de la superficie cosechada. Las correlaciones entre producción y superficie cosechada con frecuencia de heladas son de mayor magnitud que las halladas con precipitación y temperatura media. Esto posiblemente se debe a la mayor dificultad de mitigar los impactos de las heladas en los cultivos.

Zona sur: Papa

Para este análisis se consideraron datos del cultivo de papa (promedio de Huancavelica, Acobamba, Angaraes, Churcampa, Castrovirreyna, Huaytara y Tayacaja), datos de lluvia acumulada de setiembre a abril (promedio de Acostambo, Chilicocha y Mejorada), temperatura media en Huayao (cuya variabilidad interanual se asume representativa de la cuenca) y frecuencia de heladas en Huancavelica. El periodo común de los datos sobre el cual se hicieron los cálculos es de 1995 a 2001 (con excepción de los cálculos con temperatura, que incluyeron hasta 2003).

Los resultados son generalmente similares a aquellos hallados para la región central. Sin embargo, es posible que en este caso la corta longitud de los datos considerados para las correlaciones con precipitación sea responsable de los pequeños coeficientes de correlación. Por otro lado, el coeficiente de correlación entre las lluvias y el rendimiento es mayor que el hallado para la zona central.

Las correlaciones con la temperatura media son significativamente mayores que en la zona central. Es posible que esto se deba a la mayor temperatura promedio, lo que favorece una mayor incidencia de plagas. Otra diferencia con la zona central es que la correlación con el rendimiento tiene mayor magnitud (Tabla Nro. 25).

Tabla Nro. 25: Correlaciones entre el cultivo de papa y variabilidad climática en la zona sur			
	PRODUCCIÓN	SUPERFICIE COSECHADA	RENDIMIENTO
Precipitación acumulada	0,15	0,15	0,24
Temperatura media	-0,52	-0,49	-0,51
Frecuencia de heladas	-0,32	-0,31	-0,07

Fuente de datos: Electro Perú, Senamhi, MINAG. Análisis: IGP

Las correlaciones con la frecuencia de heladas son similares que para la zona central.

En esta sección se ha analizado las correlaciones entre las variaciones interanuales en el clima con algunos cultivos. Se ha encontrado que la correlación con precipitación no es tan fuerte como se podría esperar, mientras que las correlaciones con temperatura media y frecuencia de heladas son mayores. Estas dos últimas están correlacionadas en forma negativa con los diferentes índices asociados a los cultivos. La relación negativa con temperatura no es obvia y podría estar asociada a una mayor incidencia de plagas y enfermedades a temperaturas mayores.

Para la aplicabilidad de estos resultados a proyecciones futuras de cambio climático, hay que considerar la diferencia en carácter entre los impactos de la variabilidad y el cambio climático. Por ejemplo, es posible que una represa aminore el efecto de un año de sequía, pero si la misma

sequía se presentara año tras año, el impacto sería mucho mayor. Similarmente, debido a que la maca requiere temperaturas frías para su cultivo, un calentamiento de pocos grados centígrados podría causar su desaparición de las tierras aptas para el cultivo en la meseta de Junín.

6.3 VULNERABILIDAD ACTUAL EN EL SECTOR DE GENERACIÓN HIDROELÉCTRICA

A pesar de que la cuenca del Mantaro produce cerca de un 40% de la energía hidroeléctrica del país, la cobertura del servicio de energía eléctrica en los hogares en la cuenca es bastante baja, por ejemplo, en la zona sur se genera el 96% de energía eléctrica producida en la cuenca, y sólo el 17,7% de los hogares cuentan con este servicio.

Con el objetivo de analizar los impactos de las precipitaciones en la generación de energía

Vista de la represa de Tablachaca. A pesar de que la cuenca del Mantaro produce cerca de un 40% de la energía hidroeléctrica del país, la cobertura del servicio de energía eléctrica en los hogares en la cuenca es insuficiente.



eléctrica en la cuenca, los datos de energía hidroeléctrica generada en las centrales hidroeléctricas de Mantaro y Restitución pertenecientes a la empresa Electro Perú²⁵, han sido correlacionados con datos de precipitación en las estaciones de Upamayo, Huayao y Mejorada, ubicadas en la parte norte, central y sur de la cuenca del Mantaro. También se han calculado las correlaciones entre el volumen útil del lago Junín y caudales naturales en la estación de La

Mejorada²⁶ con los datos de energía generada en las centrales hidroeléctricas mencionadas.

Los valores de correlación entre la precipitación y la generación de energía son pequeñas y además de signo negativo, sin embargo, si la tendencia en las series es removida, la correlación mejora considerablemente (Tabla Nro. 26), sobre todo en la central hidroeléctrica de Mantaro.

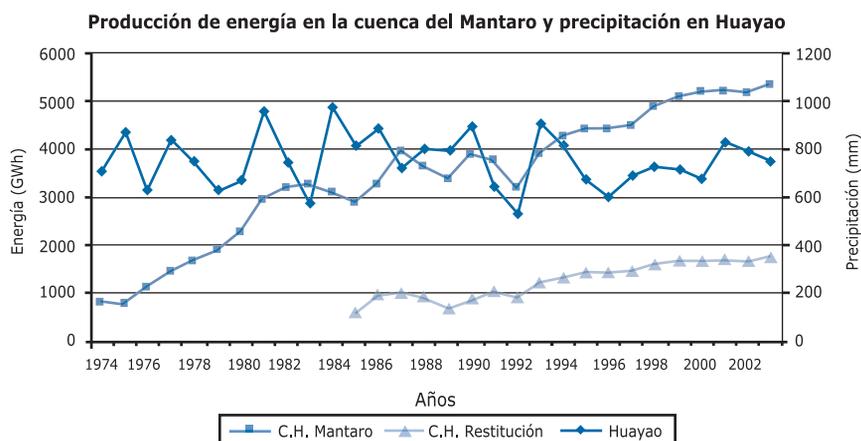
Tabla Nro. 26: Correlación entre la precipitación y la generación de energía en el Mantaro				
	CON TENDENCIA		SIN TENDENCIA	
	C.H. MANTARO	C.H. RESTITUCIÓN	C.H. MANTARO	C.H. RESTITUCIÓN
Upamayo	-0,22	0,09	0,14	0,28
Huayao	-0,10	-0,19	0,21	-0,03
Mejorada	-0,04	-0,15	0,16	-0,01

Fuente de datos: Electro Perú, IGP. Análisis: IGP

En el Gráfico Nro. 18 se observa que la generación de energía tiene una tendencia que va en aumento, esto podría ser debido a muchos factores, entre ellos factores tecnológicos, que aparentemente no tiene mucha relación con las

lluvias, sin embargo periodos prolongados con ausencia de lluvias, como el año 1992, han influido negativamente en la cantidad de energía generada, esto es más notorio en la hidroeléctrica de Mantaro.

Gráfico Nro. 18: Relación entre la producción de energía en las centrales hidroeléctricas de Mantaro y Restitución, y la precipitación en Huayao



Fuente de datos: Electro Perú, IGP. Procesamiento y análisis: IGP

25. http://www.electroperu.com.pe/gestion/031_02.htm

26. Datos obtenidos del Comité de Operación Económica del Sistema Interconectado Nacional: <http://www.coes.org.pe/coes/>

Se ha encontrado correlación significativa, entre el volumen útil del lago Junín y energía generada tanto en la hidroeléctrica de Mantaro como en Restitución (Tabla Nro. 27), la correlación mejora cuando la tendencia lineal es removida. Similarmente, se observan buenas correlaciones entre la energía producida en el

Mantaro y el caudal del río Mantaro en la estación La Mejorada (Tabla Nro. 28). Estos resultados nos indican que existe dependencia entre la cantidad de energía que se genera en la cuenca del Mantaro y la cantidad de agua acumulada en el lago Junín, así como el caudal del río Mantaro medido en la estación La Mejorada.

Tabla Nro. 27:
Coeficiente de correlación entre el volumen útil del lago Junín y energía generada en la cuenca del Mantaro

	C.H. MANTARO	C.H. RESTITUCIÓN
Con tendencia	0,64	0,63
Sin tendencia	0,78	0,73

Fuente: Electro Perú, COES/SINAC

Tabla Nro. 28:
Coeficiente de correlación entre caudales naturales en La Mejorada y energía generada en la cuenca del Mantaro

	C.H. MANTARO	C.H. RESTITUCIÓN
Con tendencia	0,62	0,61
Sin tendencia	0,71	0,66

Fuente: Electro Perú, COES/SINAC

Debido, probablemente, a que el caudal del río Mantaro es manejado mediante represas, se obtiene un alto valor de correlación entre el caudal en la estación de La Mejorada (ubicada en la parte sur de la cuenca) y el volumen del lago Junín (ubicada al inicio del río Mantaro, en la parte norte de la cuenca), ver Tabla Nro. 29.

Extrañamente, se observa una correlación significativa entre las lluvias en La Mejorada y el volumen del lago Junín, siendo menor la correlación con la estación de Upamayo, ubicada al norte del lago Junín. Es también evidente el aporte de las lluvias en la estación La Mejorada al caudal del río Mantaro en la misma estación.

Tabla Nro. 29:
Correlaciones entre las lluvias, caudal y volumen del lago Junín. Periodo de datos: 1995-2003

	LLUVIAS UPAMAYO	LLUVIAS LA MEJORADA	CAUDALES LA MEJORADA	VOLUMEN ÚTIL LAGO JUNÍN
Lluvias Upamayo	-	0,28	0,06	0,21
Lluvias La Mejorada	0,28	-	0,30	0,54
Caudales La Mejorada	0,06	0,30	-	0,84
Volumen útil lago Junín	0,21	0,54	0,84	-

Fuente de datos: Electro Perú, COES/SINAC

Del análisis realizado, se concluye que existe una relación positiva pero débil entre las precipitaciones y la generación de energía, probablemente debido al manejo hídrico de la cuenca, sin embargo, las lluvias tienen un aporte

importante tanto en el volumen del lago Junín como en los caudales, lo que a su vez influye en la generación de energía hidroeléctrica en la cuenca del Mantaro.

6.4 VULNERABILIDAD ACTUAL EN EL SECTOR SALUD

La salud es el completo bienestar físico, mental y social de la persona, familia y comunidad. Así, el acceso al agua potable y saneamiento son importantes indicadores de la salud. Según los Reportes de los Indicadores Básicos Nacionales para los años 1999 y 2001, el porcentaje de población con acceso al agua potable y saneamiento se ha incrementado al 72,3% y 75,9%, respectivamente al 2003 (Tabla Nro. 30).

Tabla Nro. 30:
Población con acceso a agua potable (AP) y saneamiento (S)

LOCALIZAC.	1999		2001		2003	
	AP	S	AP	S	AP	S
Perú	66,7	46,2	70,6	28,2	72,3	75,9
Ayacucho	47,6	19,4	52,3	28,2	47,6	53,7
Huancavelica	34,3	13,8	35,8	12,5	64,9	29,2
Junín	69,4	36,3	66,3	52,3	78,6	70,4
Pasco	51,5	21,3	57,8	29,6	61,7	47,5

Fuente: Reportes de los Indicadores Básicos Nacionales

Para las regiones de la cuenca del río Mantaro también se ha producido un incremento, siendo más significativo en la región de Huancavelica de 34,3% a 64,9% en lo que respecta al agua potable, a diferencia de su saneamiento de 13,8% a 29,2%, sin embargo para las otras regiones de la cuenca del Mantaro en lo que respecta a saneamiento, todas tuvieron un incremento promedio de 30% sobre el porcentaje del año 1999.

La población en situación de pobreza o en extrema pobreza se encuentra ubicada en zonas donde se carece de acceso al agua potable y saneamiento, el cual es un factor importante en la ocurrencia de las Enfermedades Digestivas Agudas (EDAs). En la cuenca del Mantaro al 2003, el 63,2% cuenta con acceso al agua potable y un 50,2% a saneamiento; con respecto al valor nacional (72,3 % y 75,9%) todas se encuentran por debajo, las regiones de menor acceso dentro de la cuenca son Ayacucho con 47,6% al agua potable y un 29,2% a saneamiento, y Huancavelica con 64,9% y 29,2% de acceso al agua potable y saneamiento, respectivamente. Estos datos indican que la zona sur de la cuenca es la más vulnerable, considerando la escasez de salubridad y sus consecuencias en la salud pública.

La malnutrición asimismo está directamente vinculada a la inseguridad alimentaria y situaciones de pobreza. La malnutrición referida al desorden nutricional, debido al bajo consumo de proteína y energía y/o deficiencias en micronutrientes claves, es generalmente el resultado de una combinación de consumo inadecuado de comida e infección. En este caso especial, los niños están particularmente en riesgo, hay un círculo vicioso que consiste en niños que no comen suficientemente bien, causando que su sistema inmune sea disminuido, resultando en mayor incidencia, severidad y duración de la enfermedad, implicando pérdida de nutrientes y supresión del apetito, llevando a los niños a no comer suficientemente bien (UNICEF, 1998).

En este sentido los eventos climáticos que suceden en la cuenca afectan frecuentemente los cultivos y/o ganados, pudiendo propiciar cambios en la disponibilidad de alimentos para las zonas más pobres, que en muchos casos dependen únicamente de la agricultura o ganadería tanto para su propio consumo y/o comercio en los mercados locales. De manera especial Sudamérica es particularmente vulnerable en este sentido debido a que el clima podría impactar seriamente la malnutrición crónica y las enfermedades para algunas poblaciones (IPCC, 1998).

A continuación se presentan brevemente los principales grupos de enfermedades a los cuales la población de la cuenca es altamente vulnerable.

Infecciones respiratorias agudas (IRAs)

Las IRAs son afecciones causadas por agentes biológicos a cualquier nivel del aparato respiratorio. De acuerdo a su topología, o localización de la infección, diferenciamos dos grandes grupos: infecciones de vías respiratorias superiores y de vías respiratorias inferiores. Los gérmenes más frecuentes son: neumococo, Haemophilus influenzae y Branhamella catharralis.

Estos agentes virales o bacterianos se encuentran en el ambiente por lo que está en contacto con el ser humano, produciéndose la IRA cuando las defensas de las personas no son suficientes, han sido expuestas a ambientes fríos; por lo que el aspecto social cumple un rol principal en el desarrollo de las IRAs, más que los ambientes fríos, a excepción de climas fríos en extremo como es el caso de Pasco.

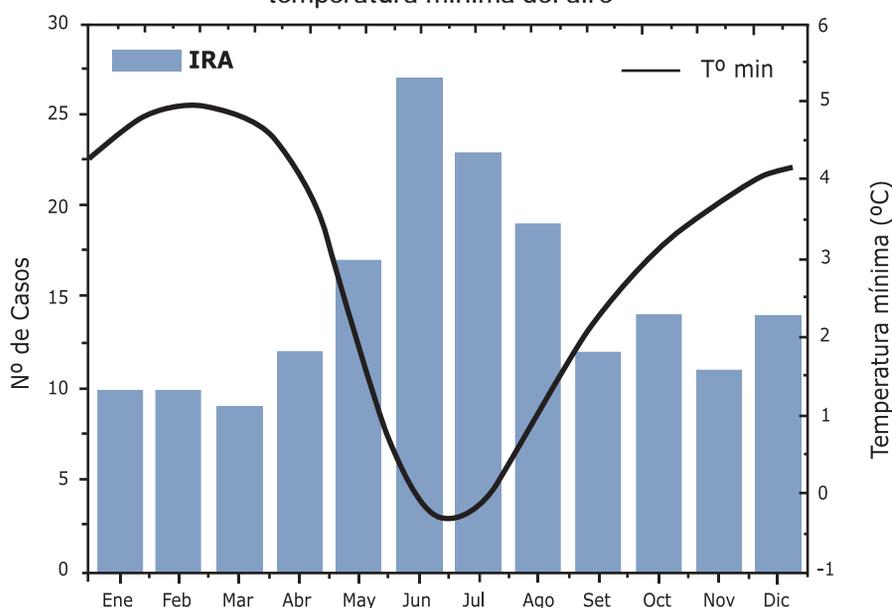
El 25 de agosto de 2005, el Ministerio de Salud anunció a través de una nota de prensa, que las regiones de Huancavelica, Junín, Ayacucho y Pasco entre otras vienen soportando

olas de frío y heladas, por lo que las dependencias de salud mantienen la “alerta verde”.

Para determinar la influencia de la temperatura sobre la ocurrencia de IRAS, se realizó una correlación entre los datos mensuales de casos de IRAS y temperaturas mínimas del aire, encontrándose una relación inversamente

proporcional, ello demuestra que con el cambio climático, el aumento de temperaturas mínimas produciría una disminución de la morbilidad y mortalidad relacionada a las IRAS (IPCC, 2001). El Gráfico Nro. 19 muestra la relación existente entre las temperaturas mínimas y los casos de ingresos al hospital “El Carmen de Huancayo” por IRAS.

Gráfico Nro. 19: Distribución mensual del número de casos de IRAS promedio y temperatura mínima del aire



Fuente: Datos de la Oficina de Estadística e Informática del Hospital El Carmen-Huancayo, periodo: 1997 -2003, y el Observatorio de Huancayo, IGP. Elaboración: ININDETEC

Contrariamente a lo que generalmente se cree, el mayor número de casos no se presenta en la temporada de lluvias, al contrario, la época de mayor riesgo es la temporada seca, entre los meses de mayo y agosto, cuando las temperaturas del aire son más bajas. En el Gráfico Nro. 20 se aprecia la distribución mensual de casos de IRAS y su relación con la precipitación.

Enfermedades diarreicas agudas: EDAs

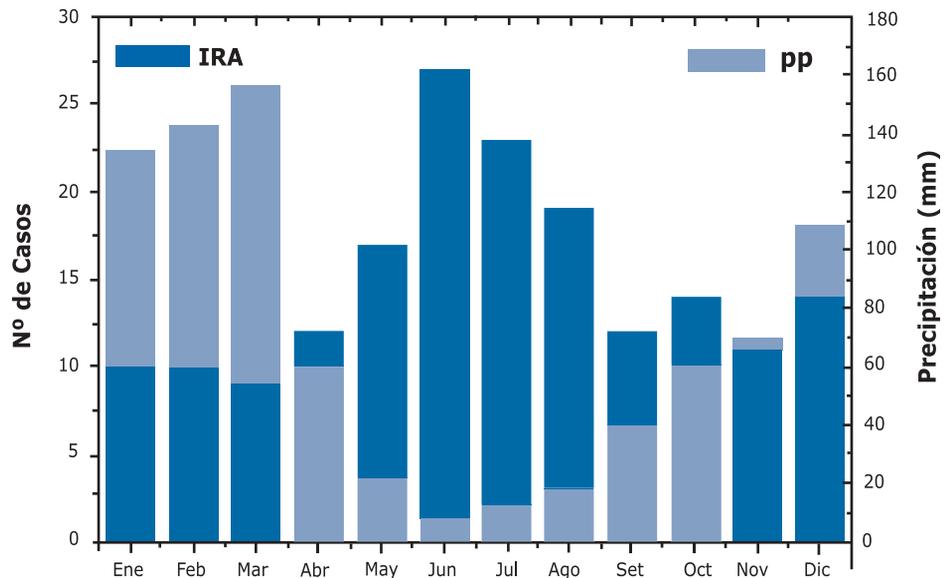
Son enfermedades infectocontagiosas que se caracterizan por presentar deposiciones suaves o líquidas mayor que lo normal, es decir puede ser de 3 a más veces al día. El Gráfico Nro. 21

muestra la distribución mensual de número de casos de EDAS, durante los años 1997-2003.

La ocurrencia de las EDAs, es independiente de los niveles de temperatura y precipitación, dado que el factor de correlación es despreciable para ambos parámetros. Por lo que el principal causante, sería el factor salubridad, dado el acceso restringido al agua potable y saneamiento.

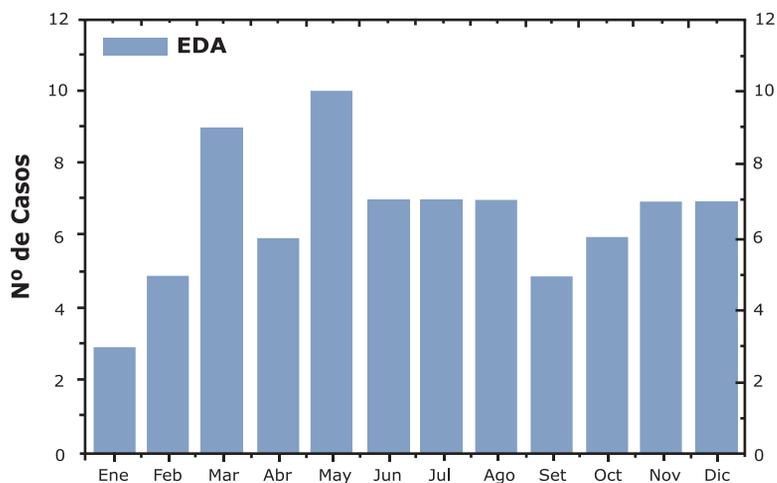
Sin embargo, no se descarta que ante incrementos en la temperatura ambiental debido al cambio climático, los agentes bacterianos que se desarrollan debido a la interacción entre la contaminación en alimentos y aguas y la temperatura ambiental podrían incrementarse.

Gráfico Nro. 20: Distribución mensual del número de casos de IRAs promedio y precipitación



Fuente: Datos de la Oficina de Estadística e Informática del Hospital El Carmen, periodo: 1997 -2003, y el Observatorio de Huancayo, IGP. Elaboración: ININDETEC

Gráfico Nro. 21: Distribución mensual del número de casos de EDAs promedio



Fuente: Datos de la Oficina de Estadística e Informática del Hospital El Carmen, periodo: 1997 -2003. Elaboración: ININDETEC

Malaria

La malaria es una enfermedad infecciosa, endemoepidémica, aguda o crónica, a menudo recurrente, producida por un hematozoario

transmitido por un mosquito y caracterizado por accesos regulares de fiebre elevada, con escalofríos y sudoraciones, a menudo por esplenomegalia y anemia, a veces por ictericia.

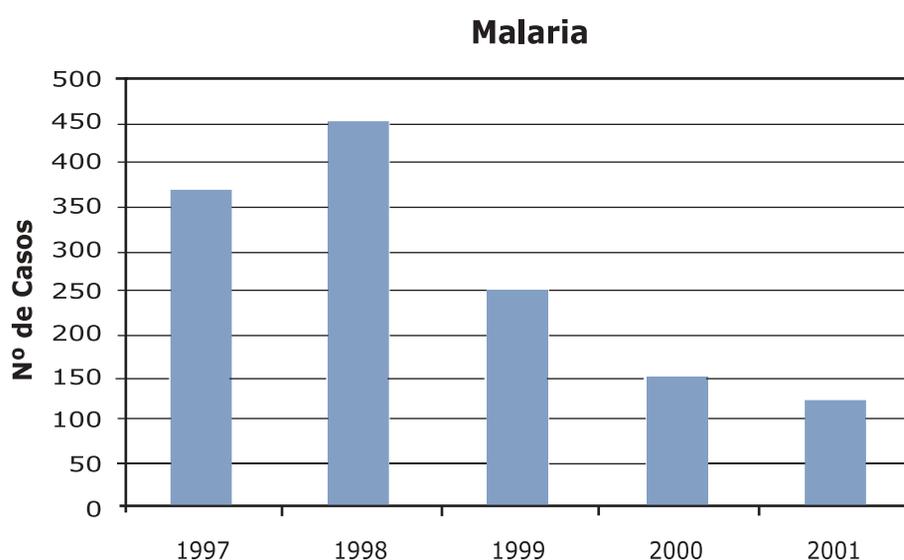
La malaria es transmitida por la picadura del zancudo Anopheles infectado con alguno de los cuatro hematozoarios identificados: *Plasmodium vivax*, *Plasmodium malariae*, *Plasmodium falciparum* y *Plasmodium ovale*. Las temperaturas altas y precipitaciones favorecen la proliferación del mosquito transmisor de la malaria. Por ello, su presencia se circunscribe principalmente a la región tropical del planeta, lugar donde también está ubicado el Perú.

En el Gráfico Nro. 22 se muestran los casos reportados de malaria, todos importados de la zona selva de Oxapampa y Satipo principalmente, por motivos de trabajo y/o turismo. El sector salud ha realizado una labor de prevención y control de la malaria, lo que puede verse en la

disminución de casos durante los últimos años. Sin embargo, los cambios en las precipitaciones y el incremento de temperaturas podrían promover la reproducción del mosquito.

Según estudios realizados en países tropicales, son los cambios estacionales en el clima de una región y no las temperaturas anuales demasiado altas o la lluvia, las que juegan el principal papel en la aparición de epidemias de malaria. Así, para que se desate una epidemia de malaria no es necesario un aumento de temperaturas a lo largo del año, sino un incremento de temperatura y mayores precipitaciones en algunos meses para que los mosquitos que extienden la enfermedad puedan reproducirse. Las epidemias suelen ocurrir en junio y julio, donde coinciden ambos factores.

Gráfico Nro. 22: Casos de malaria reportados en el periodo 1997-2001



Fuente: Programa de Malaria del Hospital El Carmen

Daños en la piel y ojos debido a la incidencia de la radiación ultravioleta (UV)

La piel es capaz de absorber la radiación ultravioleta por lo que puede ser afectada debido a niveles altos. Esta respuesta ante la radiación UV se define como espectro de acción eritémico. La capacidad de la radiación UV a suprimir la defensa inmunológica de la piel, significará mayores proporciones de cáncer a la piel, debido a su reducida capacidad de destruir un tumor creciente.

“Quemarse” por el sol es la forma más ampliamente experimentada de daño solar agudo a la piel. Es un envejecimiento de la piel, el cual en casos severos produce ampollas, disminución de células de Langerhans, y la infiltración de la dermis y epidermis por una variedad de células inflamatorias, luego la piel responde con hiperproliferación.

El fotoenvejecimiento de la piel es una consecuencia bien documentada a exposición del

sol. Esta piel “fotoenvejecida,” caracterizada por arrugas, pigmentación alterada y pérdida de elasticidad, es asociada con un sobrecrecimiento de fibras elásticas anormales en la dermis, y una disminución del colágeno, donde especies reactivas de oxígeno han sido implicadas en la etiología del fotoenvejecimiento.

Estudios realizados para determinar a la radiación UV como la causa o inducción para el desarrollo de melanoma cutáneo y carcinoma vasocelular, han determinado que se produce el daño cuando los objetivos en experimento fueron expuestos en periodo temprano de su vida. Esto se refuerza con estudios epidemiológicos donde sugieren que la exposición a la radiación UV en el periodo temprano de la vida es un importante factor de riesgo para el subsiguiente desarrollo de estos cánceres.

La interacción entre cambio climático y la radiación ultravioleta es probable que influya en el riesgo de los efectos adversos por la radiación UV en la salud, tanto positiva como negativa, es decir el aumento de temperatura podría incrementar la incidencia de cáncer de piel, pero a ello se añade el comportamiento de la persona para producir una reducción o aumento de horas de exposición solar, creando incertidumbres en los estimados de los efectos en la salud.

Los principales daños oculares producidos por la radiación UV son: la catarata y el pterigión. La catarata es una opacificación del cristalino, siendo la catarata senil la forma más frecuente, la mayor parte de las personas de 50 años tienen una opacificación del cristalino más o menos neta. El pterigión es la hipertrofia de la conjuntiva caracterizada por la aparición de un tejido vascular de forma triangular que se adhiere a la córnea y forma una capa bastante gruesa de vasos sinuosos, la base del triángulo está generalmente dirigida hacia el ángulo interno del ojo, mientras que el vértice se apoya en la córnea y se dirige hacia el centro. El pterigión es a menudo bilateral y se debe a la exposición del sol, al viento y al polvo, probable predisposición genética. En ambas enfermedades la radiación UV cumple el factor de promover y acelerar el daño y envejecimiento del sistema ocular.

La prevalencia de cataratas y pterigión, tiene una tendencia a ser mayor en la región tropical debido a que hay una mayor exposición a la radiación UV debido al comportamiento de las personas cuando la temperatura ambiental es alta. Con respecto al pterigión, el Perú y Australia registran las mayores tasas de incidencia a escala mundial, con valores de 31%, y 44%, respectivamente, siendo a su vez los lugares donde las dosis de radiación UV también son máximas.

Vulnerabilidad futura en la cuenca del río Mantaro

Los escenarios climáticos futuros indican para el año 2050 un aumento de 1,3°C y 1g/kg en temperatura y humedad específica, respectivamente; y una disminución de 6% en humedad relativa en la cuenca del Mantaro durante los meses de diciembre a febrero.

Asimismo, las precipitaciones disminuirían en 10%, 19% y 14% en las zonas norte, centro y sur de la cuenca, respectivamente.

Estos resultados se cruzaron con la información socioeconómica proyectada al 2050, a fin de analizar la vulnerabilidad futura en los sectores priorizados agrosilvopastoril, generación de energía hidroeléctrica y salud.

Los factores amplificadores críticos de vulnerabilidad también han sido tomados en cuenta: crisis estructural del agro, urbanización creciente y desordenada, desplazamiento, migración y conflictos por los recursos (Tabla Nro. 18). En el análisis de vulnerabilidad futura debe tomarse en cuenta que sin cambios estructurales que modifiquen las tendencias actuales sobre estos factores, el panorama no es positivo.

En lo relativo a la vulnerabilidad biofísica futura, se han tomado en cuenta los peligros de heladas, sequías y geología superficial, además de los escenarios climáticos indicados. Así, el

principal peligro está relacionado con la falta de agua que afectaría los ecosistemas existentes en la cuenca, como también el incremento de temperatura de más de un grado, que, debido al deshielo de glaciares, podría ocasionar derrumbes, sobre todo en la parte baja de los nevados, deslizamientos, erosión de riberas y escorrentía superficial. La conjunción de estos elementos podría alterar el frágil ecosistema de la cuenca, perjudicando las numerosas especies –sobre todo de aves acuáticas– que se desarrollan allí. Sin embargo, el mayor peligro se relaciona con la expansión urbana y la demanda constante de recursos de agua y tierra. Así, son los aspectos socioeconómicos los que tendrían mayor

importancia en determinar la vulnerabilidad futura en la cuenca.

Para el análisis de vulnerabilidad socio-económica futura, se han considerado seis variables, dos de carácter económico (ingreso y fragilidad agrícola), tres de carácter social (educación, salud, vivienda), y uno que conjuga los otros componentes a través de la ocupación humana del territorio (densidad poblacional). El cambio en vulnerabilidad socioeconómica entre el presente y el futuro será entonces una función de los cambios en estas seis variables. A continuación se presenta una breve descripción de las proyecciones al año 2050 de cada una de las seis variables socioeconómicas analizadas.

Ingresos

El nivel de ingreso *per cápita* familiar proyectado²⁷, para el año 2050 mantendrá casi la misma proporción (23%) actual con el costo de una canasta básica familiar, es decir que permitirá cubrir la alimentación, pero continuarán las dificultades económicas para enfrentar emergencias por las variaciones climáticas y fenómenos geodinámicos externos.

En la zona sur de la cuenca del Mantaro el nivel de ingreso continuará siendo menor en 4% al promedio de la cuenca, mientras que en la zona central será de un 8% más del promedio. La zona norte continuará con un promedio mayor en 4%. Los estimados indican que la zona sur continuará con las condiciones menos favorables.

Fragilidad agrícola

Para el 2050 la situación de la agricultura se vería agravada por la continua y excesiva parcelación de la tierra de uso agrícola, manteniendo la cuenca su carácter de minifundista. El minifundio y la pequeña propiedad caracterizarán más del 85,7% de unidades agropecuarias.

Además, la reducción en las precipitaciones serían el fenómeno geodinámico que afectaría con mayor fuerza el sector (ver sección 8.1, pág. 88), así, la zona sur de la cuenca del Mantaro continuará siendo la más afectada.

Educación

De no cambiar la situación del sector educación en la cuenca, y continuar las tendencias

actuales, para el 2050 los efectos de sequías, heladas y fenómenos de geología superficial, tendrán aún mayor incidencia en la población poco preparada o con ningún nivel de educación básica.

La presencia del analfabetismo en mujeres jefas de hogar, seguirá siendo de múltiple riesgo, especialmente en las áreas rurales, expuestas a las carencias de servicios básicos. En la cuenca del Mantaro la tasa de analfabetismo en mujeres mayores de 15 años para el 2050 (Tabla N° 31) será de 12,2% (considerando la variación intercensal 1981–1993), lo cual será menor que la tasa actual (31% en el 2003), pero aún seguirá siendo alta.

Tabla Nro 31:
Tasa de analfabetismo y nivel educativo al 2050 en la cuenca del Mantaro

ZONAS	TASA ANALFABET. FEMENINO	PEA SIN NIVEL EDUCATIVO
Norte	6,5	19,3
Centro	4,5	20,9
Sur	25,5	34,6
Promedio	12,2	24,9

Fuente: Perfil Sociodemográfico de Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho, 1993 – INELI.

Salud

El incremento en la temperatura del aire incidiría en una ligera baja en la presencia de infecciones respiratorias agudas (IRAS). Sin embargo la escasez de lluvia incidiría negativamente en el suministro de agua potable, sobre todo en la zona centro de la cuenca donde se estima un déficit de 19% en la precipitación, el más alto de las tres zonas y precisamente donde se ubica la mayor cantidad de población asentada en ciudades como Huancayo, Concepción Jauja, etc.

Al no existir planes a largo plazo de construcción y mejoramiento de redes públicas de agua y desagüe, se estima que la situación de salud de la cuenca podría continuar siendo bastante precaria.

27. Proyección considerando la variación del Ingreso *per cápita* Familiar de 1993 y 2003. Desarrollo Humano en el Perú 2003. PNUD.

Vivienda

Las viviendas en condiciones físicas inadecuadas en la cuenca del Mantaro en el 2050 representarán el 18,5% del total y las viviendas hacinadas el 9,2%. En la zona sur de la cuenca el porcentaje de hogares en condiciones físicas inadecuadas (47,5%) y hacinadas (17,2%) continuará siendo los más altos con relación al promedio nacional (Tabla Nro. 32).

Tabla Nro. 32:
Viviendas en condiciones físicas inadecuadas y hacinadas en el 2050 en la cuenca del Mantaro

ZONAS	HOGARES CONCONDIC. FÍSICAS INADECUAD.	HOGARES CON HACINAMIENTO
Norte	7.3	6.8
Centro	0.6	3.5
Sur	47.5	17.2
Cuenca Mantaro	18.5	9.2

Fuente: Perfil Socioeconómico de Junín, Pasco, Ayacucho y Huancavelica 1993 – INEI.

Densidad poblacional

La población continuará localizándose en mayor proporción en las zonas urbanas con una acentuada tendencia de migración campo-ciudad, incrementando la demanda de servicios básicos como agua, luz, desagüe, recojo de basura, así como de educación y trabajo.

En la cuenca del Mantaro los estimados de ocupación del espacio para el 2050 son de 119 hab/Km². En la zona central registrará una población de 281,9 hab/Km² y en la parte norte, una menor densidad de 42,3 hab./Km².

El análisis de estas seis variables indica un aumento en la vulnerabilidad socioeconómica, principalmente ligado al aumento en la densidad poblacional, lo cual conllevará un aumento en la demanda de servicios básicos, como la disponibilidad de agua potable, la cual es ya escasa y que, con el cambio climático, probablemente disminuirá. Además, la reducción en las precipitaciones implicará menos agua para la agricultura, lo cual, sumado a la creciente

parcelización de la tierra, hará al sector más vulnerable. En el sector salud, la disminución en incidencia de IRAs no será suficiente para compensar por la disminución en salubridad asociada a la disminución de la disponibilidad de agua potable y al mayor hacinamiento. Si bien se espera una mejora en el nivel educativo, ésta no será suficiente para reducir la vulnerabilidad socioeconómica en la cuenca.

7.1 VULNERABILIDAD FUTURA EN EL SECTOR AGROSILVOPASTORIL

La agricultura pasará a un segundo nivel de importancia económica después de la actividad de comercio y servicios, en lo referido a participación en la población económicamente activa ocupada, que sólo alcanzaría un 31,5%. Sin embargo se mantendrán las estructuras y los principales cultivos que actualmente se siembran en la cuenca, así como la crianza de ganados.

Según los resultados de la vulnerabilidad actual, el efecto de la variación interanual en precipitación tienen un efecto marginal sobre los cultivos, excepto cuando se tienen sequías fuertes como en los años 1991-1992. Si consideramos una disminución promedio en las precipitaciones de entre 10 a 20% como lo que se proyecta para el año 2050 (Capítulo 5, pág. 49), esto tendrá el efecto de una sequía prolongada, cuyo efecto no podrá ser aminorado mediante el manejo de reservorios ya que evidentemente estos no pueden proporcionar agua indefinidamente. Por lo tanto, los efectos se sentirán tanto por la agricultura con riego como por la de secano.

Las variaciones de temperatura, de regularidad de las precipitaciones y fenómenos climáticos extremos aumentarán la presión sobre los recursos agrarios y reducirán la calidad de las zonas dedicadas a la producción agrícola y su rendimiento. Las tierras de secano se verían especialmente perjudicadas, sin embargo también las tierras bajo riego, principalmente por los conflictos sociales entre los usuarios de agua potable, agua para riego y agua para la generación de energía hidroeléctrica, alterando el ya frágil panorama social de la cuenca.

El aumento en las temperaturas podría permitir el cultivo de algunos productos a mayores altitudes, aunque siempre con la limitación de una menor disponibilidad de agua. Por otro lado, el cultivo de la maca, la cual requiere temperaturas bajas, podría verse seriamente afectado por la desaparición de áreas con dicho rango de temperaturas.

Un efecto indirecto del aumento de la temperatura podría ser un incremento en la incidencia de plagas y enfermedades en los cultivos. Si asumimos que la tendencia al aumento en la frecuencia de heladas se mantiene, la vulnerabilidad de los cultivos se vería incrementada también.

7.2 VULNERABILIDAD FUTURA EN EL SECTOR DE GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

Como se mencionó en el capítulo anterior, a pesar de que la cuenca del Mantaro es generadora de buena parte de la energía hidroeléctrica del país, la cobertura del servicio para hogares de la zona es insuficiente. Los estimados futuros muestran que la situación mejorará para el año 2050, sin embargo, el déficit será aún considerable, tal como se muestra en la Tabla Nro. 33, la cual hace una comparación entre el déficit actual y el futuro.

subsistemas, el sistema interconectado centro norte y el sur. Las centrales de la cuenca del Mantaro Santiago Antúnez de Mayolo y Restitución pertenecen al sistema interconectado centro norte, que es el de mayor capacidad, junto a las hidroeléctricas de Carhuaquero, Cañón del Pato, Gallito Ciego, Cahua y Huinco, y en conjunto abastecen de electricidad a las principales ciudades del país: Piura, Chiclayo, Trujillo, Chimbote, Huaraz, Huánuco, Tingo María, Cajamarca, Huancayo y Lima.

Las estimaciones nacionales de población indican que ésta tendría un incremento del 50% para el año 2050, lo que también indica que se incrementarían, al menos en la misma proporción, las necesidades de energía eléctrica. Esta situación aunada al déficit de precipitaciones, y por ende, de energía en la cuenca es bastante grave. Podemos inferir que esta situación de déficit podría ocurrir también en otras cuencas de la zona central del país, con lo cual el déficit podría ser aún mayor.

La vulnerabilidad futura de la infraestructura de generación de energía en centrales térmicas y sistema hidroeléctrico frente al peligro por geología superficial, según el tamaño, se muestra en la tabla 34.

Tabla Nro. 33:
Déficit actual y futuro del servicio de energía en hogares de la cuenca del Mantaro

ZONAS	DÉFICIT ACTUAL SERVICIO ENERGÍA EN LOS HOGARES 2005 EN %	DÉFICIT FUTURO SERVICIO ENERGÍA EN LOS HOGARES 2050 EN %
Norte	50,9	27,6
Centro	37,2	21,5
Sur	82,3	67,0
Cuenca Mantaro	56,8	38,7

Fuente: Atlas Minería y Energía en el Perú – MEM, 1998 y Perfil Sociodemográfico de Junín, Pasco, Huánuco, Ayacucho y Huancavelica 1993 –INEI.

Las estimaciones de lluvias para el año 2050 indican que el déficit de lluvias en la zona norte de la cuenca llegaría a un 10%. Debido a la dependencia que existe entre la cantidad de energía que se genera en la cuenca del Mantaro y la cantidad de agua acumulada en el lago Junín, así como el caudal del río Mantaro medido en la estación La Mejorada, podemos aseverar que en un futuro próximo la cantidad de energía hidroeléctrica que se genera en la cuenca se verá afectada negativamente. Las centrales hidroeléctricas del país conforman desde el año 2000 un sistema interconectado de transmisión único, conocido como el Sistema Interconectado Nacional, el mismo que se divide en dos

7.3 VULNERABILIDAD FUTURA EN EL SECTOR SALUD

La vulnerabilidad respecto al sector salud se deberá principalmente a la poca disponibilidad de recursos y profesionales que tienen las instituciones para afrontar adecuadamente, los problemas que afectan a la salud de la población, además de la poca capacidad de cobertura en las zonas más pobres.

El déficit de agua potable en los hogares y las condiciones higiénicas inaceptables seguirán siendo las principales causas de enfermedades que pondrán en riesgo el bienestar de la población, siendo las mujeres las que seguirán siendo la más expuestas a las enfermedades relacionadas con el agua debido a sus tradicionales faenas de lavado, riego agrícola y recojo de agua. La carencia de redes públicas de desagüe en los hogares de la cuenca del Mantaro seguirá siendo aún superior al déficit de servicio de agua potable. De acuerdo a las proyecciones estimadas, en la zona sur de la cuenca, de cada 100 hogares más de 50 de ellos continuarán sin agua potable, y más de 60 sin desagüe, siendo mínima la disminución del porcentaje de déficit, con respecto a la situación actual. El incremento

Tabla Nro. 34:
Vulnerabilidad futura de la infraestructura generadora de energía

PELIGRO DE GEOLOGÍA SUPERFICIAL	CENTRAL TERMICA			CENTRAL HIDROELECTRICA		
	PEQUEÑA	MEDIANA	GRANDE	PEQUEÑA	MEDIANA	GRANDE
Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo	Bajo
Moderado	Bajo	Moderado	Bajo	Moderado	Moderado	Moderado
Alto	Moderado	Moderado	Moderado	Moderado	Alto	Alto
Crítico	Moderado	Alto	Alto	Alto	Crítico	Crítico

de las temperaturas del aire favorecería la aparición de focos infecciosos por exposición al aire libre de las excretas y las aguas servidas. Los periodos de sequía más prolongados también incidirían en la disponibilidad de agua potable para la población. En la Tabla Nro. 35 se presentan los porcentajes estimados de hogares con déficit de agua potable y desagüe al año 2050.

También la falta de precipitación influiría en enfermedades relacionadas con el índice de UV, ya que la cuenca recibe niveles altos de radiación UV durante todo el año, lo que sugiere que su población será vulnerable a sufrir los efectos negativos, tanto en la piel como en los ojos, y es de esperar que en épocas de sequía se tendrán

mayor cantidad de días con cielos despejados, lo que produce en algunos años mayor acumulación de radiación, es decir presencia de dosis eritémicas extremas.

La alta radiación UV que recibe la cuenca se debe al reducido espesor de la capa de ozono, característico de la región tropical, menores ángulos cenit, y en el caso de la cuenca del Mantaro, se incluye sus cielos despejados en invierno y otoño, y el factor de su ubicación por sobre los 3 000 msnm, debido a que con la altura se incrementa la radiación UV en 7% por cada 1000 m para la región de los Andes, como lo demostraron investigadores bolivianos.

Tabla Nro. 35:
Hogares con déficit de servicio de agua potable y desagüe al 2050 en la cuenca del Mantaro

ZONAS	HOGARES CON DEFICIT DE AGUA POTABLE	HOGARES CON DEFICIT DE DESAGUE
Norte	11,9	40,4
Centro	12,4	44,2
Sur	50,4	62,2
Promedio	24,9	48,9

Fuente: Elaborado con información del Perfil Sociodemográfico de Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho 1993 –INIE.

Medidas de adaptación para la cuenca del río Mantaro

La propuesta de medidas de adaptación corresponde al punto culminante dentro del estudio de Evaluación Local Integrada en la cuenca del río Mantaro. Las propuestas aquí presentadas son el resultado de un proceso multidisciplinario e interinstitucional que consideró las fases de diagnóstico, evaluación actual, futura y formulación de la propuesta de medidas de adaptación, las cuales fueron trabajadas en talleres periódicos. Asimismo se realizaron talleres participativos en la modalidad de “focus group” con las autoridades y población representativa de las subcuencas. Sin embargo, debe tomarse en cuenta que la capacidad de los sistemas humanos de adaptarse y enfrentar las probables consecuencias del cambio climático depende en gran medida de factores tales como riqueza, tecnología, educación, información, creatividad, innovación, infraestructura, servicios básicos, acceso a los recursos y las capacidades institucionales.

Para proponer las medidas de adaptación se tomaron como insumo básico los resultados de los escenarios climáticos proyectados al año 2050. Estos indican un incremento de 1,32°C en la temperatura del aire, con una desviación estándar de 0,24°C para toda la cuenca, y prevén una disminución de las

precipitaciones en 10% para la zona norte, 19% para la zona centro y 14% para la zona sur.

Asimismo, se consideraron los resultados del estudio de la evaluación actual y futura de vulnerabilidad biofísica y socioeconómica en la cuenca, tomando en cuenta los factores de riesgo



identificados. Dentro del contexto biofísico, los factores de riesgo fueron las sequías, heladas y los fenómenos de geología superficial. Adicionalmente, se consideró la pérdida de los glaciares tropicales en los últimos 30 años, a causa del calentamiento global²⁸. Expertos predicen que todos los glaciares peruanos ubicados bajo los 5 500 msnm desaparecerán antes del año 2015²⁹, situación que agrava aún más el panorama de escasez de agua en la cuenca.

Dentro del contexto socioeconómico se consideraron como factores de riesgo: la crisis

estructural del agro que se manifiesta en la profundización de la pobreza rural, degradación de los ecosistemas y despoblamiento rural, urbanización creciente y desordenada, migración y conflictos.

Así, la superación de temas transversales como la desigual distribución de los ingresos, la débil articulación de los centros de producción con el mercado, las desigualdades de género, el afianzamiento de la democracia, etc; se convierten en base estructural necesaria para que las medidas de adaptación puedan ser apropiadamente incorporadas en planes de desarrollo local y regional.

Vista de la ciudad de Huancayo.

Dentro del contexto socioeconómico se consideraron como factores de riesgo la crisis estructural del agro, degradación de los ecosistemas, urbanización creciente y desordenada, migración y conflictos.

28. En nuestro país se vienen realizando estudios y mediciones de glaciares de la Cordillera Blanca por parte de la Unidad de Glaciología del Instituto de Recursos Naturales (INRENA), el Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD) de Francia y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

29. Nota de prensa INRENA, 06 de setiembre de 2005 disponible en: www.inrena.gob.pe/comunicaciones/boletin/notas_portada/nota050906-2.htm

La amplitud de la cuenca, y la coexistencia de muy diversos sistemas económicos y sociales al interior de la cuenca fueron un obstáculo para un desarrollo más detallado de las medidas de adaptación, las cuales se orientaron hacia los tres sectores priorizados identificados al inicio del estudio: sector agrosilvopastoril, generación de energía hidroeléctrica y salud. Para cada uno de los sectores se propusieron medidas estructurales y no estructurales. Las medidas estructurales se refieren a la intervención física mediante el desarrollo o refuerzo de obras de ingeniería, y que buscan reducir al mínimo posible los daños materiales. Las medidas no estructurales corresponden a aquellas acciones de buen uso de recursos, relacionadas a acciones educativas o de aplicación legislativa de gestión y organización, que se realizan como complementación de las medidas estructurales, y que promueven la organización, el fortalecimiento institucional y la información pública de los actores involucrados.

8.1 PROPUESTAS PARA EL SECTOR AGROSILVOPASTORIL

El sector agrosilvopastoril es el que involucra mayor cantidad de población económicamente activa en la cuenca del Mantaro, y su realidad es amplia y compleja. Así, las medidas estructurales y no estructurales son numerosas y generales, y sin embargo, vitales para el desarrollo de la cuenca. Los sectores involucrados no se limitan al Ministerio de Agricultura y gobiernos locales y regionales, sino que deberían incluir a universidades, institutos pedagógicos, institutos agropecuarios, gremios y colegios profesionales, comunidades campesinas, instituciones de investigación y desarrollo estatales y privadas, empresas de generación de energía eléctrica, etc.

Propuesta de medidas de adaptación estructurales

- Aumentar la capacidad de almacenamiento de agua en las zonas de captación de lluvias, para fines agrícolas.
- Construcción y mejoramiento de sistemas de riego. Investigación para el uso de las aguas superficiales en las actividades económicas.
- Regular la agricultura migratoria
- Reglamentar la tala de bosques.
- Desarrollar un programa de reforestación en el ámbito de microcuencas. Implementar programas intensivos de forestación y reforestación. Uso de los pastos de acuerdo a

la disponibilidad de los mismos con sanciones al incumplimiento de las normas de preservación forestal.

- Reforzar, ampliar y modernizar los sistemas de observación hidrometeorológica, para la generación de información base para el estudio y pronóstico de fenómenos meteorológicos adversos.

Propuesta de medidas de adaptación no estructurales

- Implementar una ley de herencias, a fin de controlar la excesiva parcelación de tierras agrícolas.
- Desarrollar un programa de desarrollo rural sostenible para disminuir la pérdida de suelo mediante un programa permanente para cuantificar el grado de erosión y planificar el manejo y conservación de suelos.
- Reconocer a las comunidades campesinas y nativas como “guardianes” de la biodiversidad.
- Promocionar la agricultura ecológica.
- Facilitar el uso de semillas certificadas que puedan adaptarse a los cambios de las condiciones climáticas.
- Normar la participación en el fortalecimiento de políticas y hacer un marco normativo especial sobre el uso de plaguicidas químicos y hacer cumplir la ley de prohibición de plaguicidas peligrosos.
- Actualizar, complementar e integrar los estudios de evaluación de los recursos e infraestructura de aguas en la cuenca con implementación de una base hidrometeorológica.
- Mejorar el sistema de organización y gestión para riego.
- Rescatar y actualizar la tecnología andina en diversificación, rotación y periodos de descanso de cultivos, entre otros.
- Implementar sistemas de pronóstico y alerta temprana de heladas.
- Implementar sistemas de monitoreo, seguimiento y alerta temprana de sequías.
- Georeferenciar la capacidad de uso de la tierra en la cuenca.
- Capacitar a la población en el manejo de praderas naturales.
- Actualizar el inventario de áreas forestadas y deforestadas, para su evaluación y monitoreo.
- Sensibilizar a la población de las necesidades de forestar y reforestar con desarrollo de programas de educación e identificación de zonas de reforestación, con enfoque de desarrollo humano y de género.
- Mejorar la articulación y eficiencia en la gestión institucional entre el SENASA³⁰,

30. Servicio Nacional de Sanidad Agraria

INIEA³¹ y otras instituciones para mejorar el monitoreo y control de plagas y enfermedades.

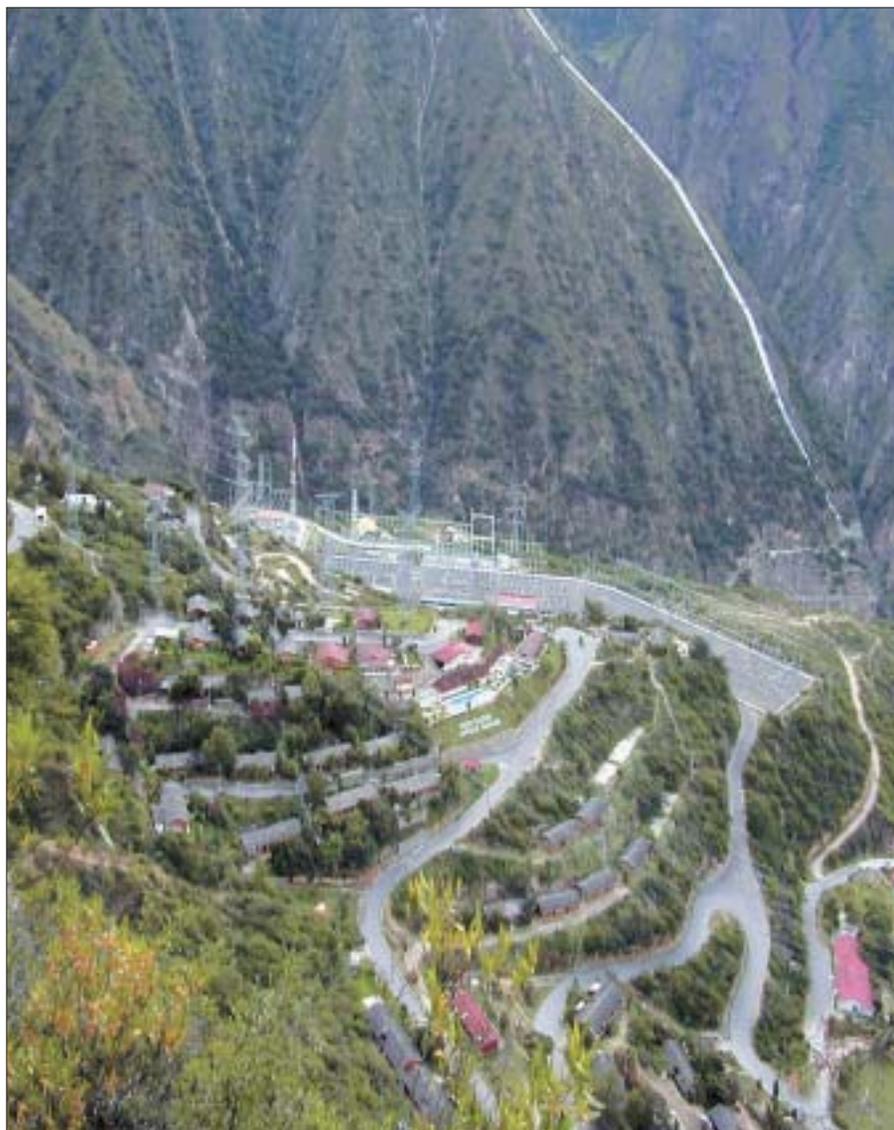
- Capacitar a la población en el manejo integrado de plagas y otras alternativas tecnológicas.
- Desarrollar temas de investigación relacionados con las plagas y enfermedades del sector agropecuario.
- Promocionar la agroforestación y desarrollar un plan de manejo de la biodiversidad, con registros periódicos y actualizados de flora y fauna.
- Incrementar el valor agregado a los productos agropecuarios de exportación.
- Desarrollar programas de sensibilización sobre usos correctos del agua.
- Fortalecer las capacidades locales para la gestión del riesgo ante los peligros identificados en el presente estudio.
- Promover el trabajo interinstitucional para la generación e intercambio de información base para estudios climáticos relacionados a la producción agrícola.

8.2 PROPUESTAS PARA LA GENERACIÓN DE ENERGÍA HIDROELÉCTRICA

La generación de energía hidroeléctrica es afectada por la falta de lluvias, lo que incrementa el costo de su generación con el consecuente incremento de las tarifas y además existe un insuficiente desarrollo e implementación de generación de fuentes de energía alternas.

En la cuenca se genera 1 049 MW de energía hidroeléctrica, de las cuales en la zona sur se genera el 96%. Sin embargo en esta zona se registra el déficit de servicio eléctrico más grande de toda la cuenca, con un 82% en los hogares.

Los principales actores en la implementación de estas medidas de adaptación son: Ministerio de Energía y Minas, ElectroPerú, ElectroAndes, y gobiernos regionales y locales, así como los principales usuarios de la energía generada. En el caso de las medidas de adaptación no estructurales (capacitación, educación y orientación) son, la población en general y los niños en edad pre-escolar y escolar los principales actores.



Propuesta de medidas de adaptación estructurales

- Fomentar el uso de bioenergía en las zonas rurales (viviendas dispersas).
- Desarrollar un programa de uso de paneles solares.

Vista de la sede de Campo Armiño -parte del complejo Mantaro- donde se genera la energía hidroeléctrica.

La generación de energía hidroeléctrica es afectada por la falta de lluvias, lo que incrementa el costo de su generación. Asimismo existe un insuficiente desarrollo e implementación de generación de fuentes de energía alternas.

31. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria

- Desarrollar un programa de electrificación rural en la zona sur de la cuenca.
- Instalar energía trifásica orientada al proceso productivo.
- Reforzar, ampliar y modernizar los sistemas de observación hidrometeorológica, para la generación de información base para el estudio y pronóstico de fenómenos meteorológicos adversos.

Propuesta de medidas de adaptación no estructurales

- Desarrollar programas de investigación de generación de energía eléctrica de otras fuentes.
- Capacitar permanentemente a la población para el buen uso de la energía eléctrica.
- Promover el trabajo interinstitucional para la generación e intercambio de información base para estudios climáticos relacionados a la producción de energía.
- Implementar sistemas de monitoreo, seguimiento y alerta temprana de sequías.

8.3 PROPUESTAS PARA EL SECTOR SALUD

Las propuestas de adaptación para el sector salud están directamente relacionadas con el tema de saneamiento, redes de agua y desagüe. Así, el tema de calidad del agua potable, su correcto uso y gestión adecuada, así como una adecuada planificación, son temas indisolubles para una adecuada gestión de salud en la cuenca.

Los principales actores en la implementación de estas medidas son el Ministerio de Salud con sus respectivos centros: hospitales, postas médicas, etc., así como los gobiernos regionales y locales. En el caso de las medidas de adaptación no estructurales la capacitación, educación y orientación a amas de casa y niños en edad pre-escolar y escolar se considera indispensables.

Propuesta de medidas de adaptación estructurales

- Fortalecer la infraestructura de la salud pública, gestión del medio ambiente orientada

hacia la salud que incluye la calidad de la atmósfera y de las aguas, seguridad alimentaria, diseño urbano y habitacional.

- Implementar un agresivo programa de salud pública con énfasis en prevención. Programas eficientes de planificación familiar.
- Mejorar la implementación de los servicios de salud. Mayor especialización del personal en la atención de IRAs y EDAs.
- Implementar servicios permanentes de detección temprana de cáncer, principalmente de piel.
- Incrementar las zonas de sombra en parques, jardines, piscinas y zonas de recreación de niños.
- Promover la implementación e instalación de equipos para la medición de la radiación UV en diferentes partes de la cuenca.

Propuesta de medidas de adaptación no estructurales

- Desarrollar un programa de capacitación para el personal médico y de educación a la población, la capacitación del personal médico para una adecuada evaluación de casos de enfermedades relacionadas a los efectos del cambio climático y la contaminación del aire (IRAs, EDAs, daño y cáncer a la piel).
- Desarrollar programas educativos orientados a madres para mejorar el cuidado de sus niños frente a la IRAs, EDAs, daños por la inadecuada exposición al Sol, lavado de manos, uso de ropa adecuada, periodos críticos entre otros aspectos.
- Mejorar la articulación y eficiencia de los diferentes programas del Ministerio de Salud para una mejor atención de la población. Programas educativos para madres en el cuidado de sus niños frente a las IRAs, EDAs, daños por exposición al Sol.
- Desarrollar programas de sensibilización para evitar la fuerte incidencia de rayos UV en la cuenca del Mantaro, su exposición inadecuada produce daño y cáncer a la piel, por lo que es necesario tomar las debidas medidas de prevención.
- Implementar sistemas de alerta de afecciones de IRAs y EDAs de acuerdo a los pronósticos de las condiciones climáticas.

Conclusiones

En el presente estudio se ha realizado la Evaluación Local Integrada de la cuenca del Mantaro ante el cambio climático buscando las relaciones entre las variaciones del clima con algunas actividades socioeconómicas que sirvieron como base para estimar la vulnerabilidad futura de los diferentes sectores socioeconómicos estudiados, utilizando además la información de escenarios climáticos futuros producidos para la región. Esto a su vez permitirá la elaboración de propuestas de medidas de adaptación para reducir dicha vulnerabilidad.

9.1 VARIABILIDAD CLIMÁTICA INTERANUAL E INTRAESTACIONAL

Como primer paso, se evaluó la naturaleza de la variabilidad climática interanual en la cuenca, con lo que se llegó a las siguientes conclusiones:

- En el periodo entre 1970 y 2004, se determinó la ocurrencia de 8 periodos lluviosos y 6 periodos secos, siendo el año 1973 el más lluvioso y los años 1991 y 1992 los más secos.
- Durante los años lluviosos, se observa una anomalía anticiclónica en la circulación atmosférica en niveles bajos y medios en el extremo central-oriental de América del Sur que podría favorecer el ingreso de aire húmedo del Atlántico a la amazonía.
- El sistema de circulación atmosférica en niveles altos conocida como la Alta de Bolivia se encuentra desplazada hacia el suroeste durante los periodos lluviosos y hacia el noreste en los periodos secos.
- Existe una relación negativa significativa entre las variaciones de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) en el Pacífico ecuatorial central (regiones Niño 3.4 y Niño 4) y las precipitaciones en la cuenca del Mantaro. Es decir, los fenómenos El Niño tienden a estar asociados con menores precipitaciones en la cuenca del Mantaro.
- Las correlaciones entre precipitaciones y la TSM en el Pacífico tropical son mayores

durante el periodo de enero a marzo que durante octubre a diciembre.

- La variabilidad de las temperaturas máxima y mínima en la cuenca está fuerte y positivamente correlacionada con la variabilidad de la TSM en el Pacífico tropical.
- Localmente, se encontró poca relación entre la variabilidad de la precipitación con la de la humedad específica, pero se encontró una significativa relación negativa entre precipitación y temperatura media. La interpretación de este resultado es que las variaciones en humedad relativa ligadas a las de temperatura tienen mayor control sobre las lluvias que el transporte de humedad de la Amazonía.
- La fecha de inicio de la temporada de lluvias presenta una gran variabilidad, con una desviación estándar de alrededor de 50 días.
- La variabilidad de la fecha de inicio de la temporada de lluvias no presenta una relación significativa con la de las precipitaciones acumuladas durante la temporada.

9.2 TENDENCIAS CLIMÁTICAS

Con respecto a las tendencias climáticas de largo plazo se llegaron a las siguientes conclusiones:

- Durante los últimos 50 años se ha observado un incremento en la temperatura máxima de alrededor de 1,3°C, es decir 0,24°C/década.

- La tendencia en la temperatura mínima anual es débil y más difícil de separar de la variabilidad interanual, sin embargo en los meses de invierno, la tendencia es positiva, mientras que en los otros meses es negativa.
- El aumento en la temperatura máxima es mayor durante los meses de verano (0,28C/década o 1,40C en 50 años) que en los meses fríos (0,17°C/década o 0,87°C en 50 años)
- La tendencia en precipitación es generalmente negativa, con la excepción de algunas estaciones en la zona sur occidental y central, donde se ha observado un ligero aumento. En promedio, la tendencia es de una disminución de 3% de las precipitaciones actuales por década (15% en 50 años).
- La frecuencia de heladas ha presentado una tendencia general de aumento durante los últimos 40 años. El número de heladas en el periodo de setiembre a abril, en promedio se ha incrementado a razón de 8 días/década (40 días en 50 años).
- La intensidad de las heladas, por otro lado, no ha presentado una tendencia general significativa.

9.3 ESCENARIOS CLIMÁTICOS FUTUROS

Los escenarios climáticos para el año 2050 son los siguientes:

- Aumento en las temperaturas medias en verano de 1,3°C.
- Aumento en la humedad específica durante el verano en 1 g/kg
- Disminución en la humedad relativa en verano de 6%.
- Disminución en las precipitaciones en las zonas norte, centro y sur en 10%, 19% y 14% con respecto a las actuales, respectivamente.
- Incremento en el rango diurno de temperatura de aproximadamente 1°C.
- Incremento en el número de días con heladas en los meses de verano de 30 días.

9.4 VULNERABILIDAD ACTUAL

- El problema fundamental que impera en la población de la cuenca es el de la pobreza. Las condiciones estructurales de pobreza existentes hacen vulnerable a la población, situación que se vería acentuada por los impactos del cambio climático. Asimismo, la limitación al acceso a recursos impuesta por la pobreza impide, a su vez, que la población emerja de ella sin ayuda externa.
- La influencia directa de las variaciones climáticas interanuales sobre los cultivos es

marginal, salvo cuando dichas variaciones son de gran magnitud o duración, como lo ocurrido durante la sequía de 1991-1992. De particular importancia son los incrementos en temperatura media, que podría estar asociada a incidencia de plagas y enfermedades; así como los aumentos en frecuencia de heladas, que pueden llegar a aniquilar los cultivos. Los impactos de las variaciones de año a año en las precipitaciones en ciertas zonas pueden ser aminorados en cierta medida por el manejo de los reservorios.

- La variación interanual en producción energética está fuertemente ligada a la del volumen útil del Lago Junín, el principal reservorio en la cuenca. Sin embargo, la relación entre variabilidad de este volumen y la de las lluvias no es tan fuerte, probablemente debido a un adecuado manejo del reservorio.
- La vulnerabilidad del sector salud en la cuenca está marginalmente asociada a las condiciones climáticas, siendo los factores condicionantes de mayor importancia las condiciones sanitarias, en particular la falta de agua potable y desagüe, así como la falta de recojo de residuos sólidos domiciliarios. Sin embargo, existe una relación entre la incidencia de infecciones respiratorias agudas y temperaturas bajas y una fuerte relación entre enfermedades de la piel y exposición a rayos ultravioleta.

9.5 VULNERABILIDAD FUTURA

El principal problema asociado al cambio climático será una reducción en la disponibilidad del agua debido al decremento en las precipitaciones. Esto afectará a todos los sectores socioeconómicos. El aumento en las temperaturas puede traer tanto oportunidades como desventajas.

- Con respecto a la agricultura, la disminución en las precipitaciones será el principal factor limitante, a pesar de que el aumento de las temperaturas permitirá cultivar a mayores altitudes. Además, el aumento en las temperaturas puede producir mayor incidencia de enfermedades y plagas, así como la desaparición de tierras de cultivo aptas para la maca. Un posible aumento en la frecuencia de heladas incidiría también en el detrimento de los cultivos.
- La producción de energía eléctrica se verá también afectada negativamente por la disminución de las precipitaciones. En particular se proyecta que en la región del

Lago Junín, el principal reservorio, las precipitaciones disminuirán en 10%.

- El efecto del cambio climático en el sector salud incidirá en enfermedades relacionadas con la radiación UV, como cáncer a la piel y daños en los ojos (cataratas y pterigión).

9.6 MEDIDAS DE ADAPTACIÓN

Las propuestas presentadas son el resultado de un proceso multidisciplinario e interinstitucional, y es el punto culminante dentro del estudio de Evaluación Local Integrada en la cuenca del Mantaro:

- La capacidad de los sistemas humanos de adaptarse y enfrentarse a las probables consecuencias del cambio climático depende de factores no necesariamente relacionadas con el clima, como tecnología, educación, información, creatividad, innovación, accesos a recursos y capacidades institucionales.

- Para la elaboración de las propuestas de medidas de adaptación se tuvieron en cuenta, además de los escenarios climáticos y las proyecciones socioeconómicas, los factores de riesgo identificados en la cuenca: sequías, heladas y fenómenos de geología superficial.
- El agua, su uso, distribución y gestión es el factor transversal que se observa en los tres sectores priorizados. Por ello, su manejo integral con el concurso de todos los actores involucrados es vital en la adopción de las propuestas de medidas de adaptación presentadas.
- Factores estructurales relacionados con la población creciente y el manejo del territorio en la cuenca, forman la línea base estructural necesaria que debe ser mejorada para que las medidas de adaptación puedan ser apropiadamente incorporadas en planes de desarrollo local y regional, las que deben ir acompañadas del fortalecimiento institucional y el concurso y acción de los actores involucrados en la cuenca.

Recomendaciones

En este capítulo presentamos las principales recomendaciones, la mayor parte de ellas surgida de los numerosos talleres y reuniones de trabajo realizados en la cuenca. Esperamos que este breve listado sirva para el mejor desarrollo de futuros trabajos de investigación.

- Una importante omisión en el presente trabajo fue un estudio detallado del impacto del cambio climático sobre el glaciar Huaytapallana. Se recomienda realizar el trabajo de reconstruir las variaciones en dicho glaciar e intentar relacionarlas con variaciones climáticas, para luego inferir como se comportaría este glaciar bajo el cambio climático.
- A pesar de los problemas encontrados con el downscaling dinámico, esta primera experiencia servirá como punto de partida para trabajos futuros. En particular, es recomendable realizar simulaciones retrospectivas de largo plazo para la validación de los modelos regionales y el estudio de la variabilidad estacional e interanual. Posteriormente, se pueden usar estos modelos con los resultados de los modelos globales, que estarán disponibles para el cuarto reporte del IPCC para generar nuevos escenarios climáticos regionales.
- Si bien el uso del agua subterránea permite paliar la escasez del agua superficial, es necesario tener una mejor cuantificación del recurso ya que este no es inagotable y es probable que con el cambio climático sea más escaso.
- Es recomendable realizar un balance hídrico de la cuenca para un mejor entendimiento de la distribución del agua en la cuenca.
- Se recomienda realizar un análisis más detallado de los efectos de las variaciones climáticas sobre los principales cultivos: alcachofa, maíz, papa, maca, etc. Esto requeriría tener series de tiempo más largas que las disponibles para el presente trabajo.
- Debido a que no se contó con suficiente información para el estudio de impacto del clima sobre la ganadería y silvicultura, no fue posible incluirlo. Se recomienda recopilar la información necesaria y realizar este estudio.
- Se recomienda hacer el análisis de la vulnerabilidad institucional, lo cual fue soslayado en este estudio, pero que es un importante elemento a ser considerado en la propuesta de medidas de adaptación.
- Un aspecto importante que no fue considerado en este estudio es la vulnerabilidad asociada a las zonas urbanas. En particular, temas como la disponibilidad de agua potable, el cambio de uso de la tierra por la urbanización, etc. serán bastante importantes especialmente considerando que, además del cambio climático, se espera que la población aumente grandemente.

Reflexiones

Los cambios proyectados para los próximos 50 años no son sutiles. Aunque un calentamiento de un grado centígrado pueda no parecer mucho, esto podría tener efectos tan notables como la desaparición del cultivo de la maca o el retiro del nevado Huaytapallana a altitudes cientos de metros mayores.

Cambios incluso más drásticos están proyectados en precipitaciones, las cuales podrían sufrir una disminución de entre 10 y 20%. Esto tendría un gran efecto en la producción de energía hidroeléctrica, la cual en la actualidad representa la tercera parte de la producción eléctrica nacional. Como podemos ver, los efectos no serán solamente locales sino que afectarán al país entero. En forma similar, la escasez de agua afectará negativamente a la producción agrícola, y esto tendrá un impacto no sólo sobre la economía de la cuenca, sino sobre la población de Lima, la cual es el principal consumidor de los productos y que concentra la tercera parte de la población nacional.

La disminución en la disponibilidad de agua además afectaría directamente a la población de la cuenca, por ejemplo a través de la disponibilidad de agua potable. Más aún, el problema no es simplemente que habrá menos agua para las personas que viven actualmente en la cuenca, sino que la población aumentará quizás en un 50%.

Es necesario notar que los cambios en el clima mencionados ya están ocurriendo. Los cambios en el clima proyectado para el futuro (aumento en las temperaturas y disminución en las precipitaciones, entre otros) son bastante

similares a lo que se ha venido observando durante las últimas décadas.

La pregunta surge entonces ¿qué se puede hacer?

La causa principal del cambio climático es la emisión indiscriminada de gases de efecto invernadero. Pero, si bien es necesario que los países desarrollados reduzcan sus emisiones, esto no será suficiente para detener los cambios en el clima y tenemos que estar listos para afrontarlos. Por la magnitud de los cambios proyectados, difícilmente la construcción de más represas va a ser un remedio suficiente. Más aún, dada la situación económica en que se encuentra el país, es ingenuo pensar en que se hagan grandes obras que reduzcan los efectos de unos cambios en el clima que ocurrirán varias décadas en el futuro. Sin embargo, hay mucho que se puede hacer, empezando desde los mismos hogares. Por ejemplo, una mejor cultura de conservación de recursos como el agua y la energía, o un mejor ordenamiento territorial podría lograr bastante no sólo a largo plazo sino ahora mismo. Y es que muchos de los problemas que se plantean para el futuro son los que viven actualmente los habitantes de la cuenca y que sencillamente se agudizarán con el cambio climático. Por lo tanto, aún si existiera escepticismo del cambio climático, el presente es algo que nadie puede negar y es urgente empezar a actuar ahora.

Bibliografía

- Alexander, M.A., Blade, I., Newman, M., Lanzante, J. R., Lau, N.-C., and Scott, D., 2002: The atmospheric bridge: The influence of ENSO teleconnections on air-sea interaction over the global oceans. *Journal of Climate*, 15, 2205-2231.
- Anthes, R., 1977: A cumulus parameterization scheme utilizing a one-dimensional cloud model. *Mon. Wea. Rev.*, 105, 270–286.
- Boer, G.J., Flato, G.M., Reader, M.C., and Ramsden, D., 2000: A transient climate change simulation with historical and projected greenhouse gas and aerosol forcing: experimental design and comparison with the instrumental record for the 20th century. *Climate Dynamics*, 16, 405-425.
- Buja, L. and T. Craig, 2002: *CCSM2 User's guide*.
- Carter et al. 1994: *IPCC Technical Guidelines for Assessing Climate Change Impacts and Adaptations*. London: University College and Tsukuba, Japan: Centre for Global Environmental Research. Available from IPCC Secretariat (www.ipcc.ch).
- CUANTO: *El Medio Ambiente en el Perú*, 2000
- CUANTO: *Encuesta Nacional de Medio Ambiente; USAID/Perú 1998*
- CUANTO: *Anuario Estadístico Perú en Números 2003*
- Ekbom, A. y J. Bojő, 1999: *Poverty and environment: evidence of links and integration with the country assistance strategy process*, Discussion Paper 4. Grupo Ambiental, Región Africa, Banco Mundial, Washington DC.
- Garreaud, R., Vuille, M., Clement, A., 2003: The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 194, 5-22.
- Giorgi F, Marinucci MR, Bates GT, 1993a: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part I: Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon Wea Rev*, 121: 2794-2813.
- Giorgi F, Marinucci MR, Bates GT, De Canio G, 1993b: Development of a second generation regional climate model (RegCM2). Part II: Convective processes and assimilation of lateral boundary conditions. *Mon Wea Rev*, 121: 2814-2832.
- Glantz, M. H., 1996: *Currents of Change: El Niño's Impact on Climate and Society*. Cambridge, England: Cambridge University Press.
- INEI. Instituto Nacional de Estadística e Informática: *Compendio Estadístico 2003*
- INEI: *Censo Nacional IX de Población y IV de Vivienda*, 1993.
- INEI: *Migraciones Internas en el Perú*, Dirección Técnica de Demografía y Estudios Sociales, Lima. 1995.
- ININDETEC: *Estudio de la radiación ultravioleta en la región ecuatorial para la implementación del Índice UV en Huancayo*, Huancayo. 2003.
- INRENA. DGANPFS: *Plan Maestro de la Reserva Nacional de Junín*. Lima. 2000.
- INRENA. Nota de prensa: *EXPERTOS DE INRENA ANALIZAN GLACIARES EN EL PERU ANTE EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO*. 06 setiembre 2005. <http://www.inrena.gob.pe/serusu/concursos/becas-acca-2006.pdf>
- Instituto Geofísico del Perú, 2005: *Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro*. Lima. Perú.
- Instituto Geofísico del Perú, 2005: *Diagnóstico de la cuenca del río mantaro bajo la visión de cambio climático*. Lima. Perú.
- IPCC, 1992: *First Assessment Report: Climate Change. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland

IPCC, 1995: Second Assessment Report: Climate Change. A Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. IPCC, Geneva, Switzerland

IPCC, 2001: Climate Change: Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. J. J. McCarthy, O.F. Canziani, N. A. Leary, D. J. Dokken, and K. S. White (eds.). New York: Cambridge University Press.

Kalnay, E. et al., 1996: The NMC/NCAR reanalysis project, *Bull. Am. Meteor. Soc.*, 77, 437- 471.

Kiehl JT, Hack JJ, Bonan GB, Boville BA, Briegleb BP, Williamson DL, Rasch PJ, 1996: Description of the NCAR Community Climate Model (CCM3). Boulder, Colorado: Tech. Note, NCAR/TN-420+STR, 152 pp.

Lagos P., Y. Silva, E. Nickl, 2005: El Niño y la Precipitación en los Andes del Perú. Sociedad Geológica del Perú. Volumen jubilar en honor a Alberto Giesecke Matto. Lima, Perú.

Loveland TR, Reed BC, Brown JF, Ohlen DO, Zhu J, Yang L, Merchant JW, :2000: Development of a global land cover characteristics database and IGBP DISCover from 1-km AVHRR Data. *Inter J Remote Sensing*, 21: 1303-1330

McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, 1993. Drought monitoring with multiple time scales. Preprints, 9th Conference on Applied Climatology, 15-20 January, Dallas, TX, pp. 233-236.

Miles et al, 2004: Rhythms of Change: Climate Impacts on the Pacific Northwest. In Press .

Nakicenovic, N. et al, 2000: Emissions Scenarios. A Special Report of Working Group III of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

NOAA, 2002: El Niño Definition adopted by the National Weather Service, Climate Services Division on El Niño Definition Workshop held on December 2, 2002, Silver Spring, Maryland. <http://www.nws.noaa.gov/om/csd/workshop/Elnino.shtml>.

Parson, E. A., 1994: Searching for integrated assessment: A preliminary investigation of methods and projects in the integrated assessment of global climatic change. Paper presented to the

3rd Meeting of the CIESIN-Harvard Commission on Global Environmental Change Information Policy, NASA Headquarters, Washington, D.C.

Parry, M. and T. Carter 1998. Climate Impact and Adaptation Assessment: A Guide to the IPCC Approach. London: Earthscan Publications, Ltd. PNUD, 2003:

Informe Sobre Desarrollo Humano en el Perú.

Reynolds, R.W and T.M. Smith, 1994: Improved global sea surface temperature analysis using optimum interpolation. *J Climate*, 7: 929-948.

Rotmans, J. and H. y Dowlatabadi, 1998: Integrated assessment modelling. In: Human Choice and Climate Change. Volume 3: The Tools for Policy Analysis (Rayner, S. and E. L. Malone (eds). Batelle Press, Columbus. OH, USA

Serrano, E., E. Martínez de Pisón, F. Lampre, 2004: Desaparición de glaciares Pirenaicos españoles, cambios climáticos a la vista. Greenpeace.

Scientific Committee on Oceanic Research (SCOR), 1983: Prediction of El Niño. Proceedings N° 19 Paris, Annex VI, SCOR WG 55, p. 47-51.

Vuille, M., Bradley, R. S., 2000: Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophys. Res. Lett.*, 27, 3885-3888.

Vuille, M., Bradley, R.S., Werner, M., Keimig, F., 2003: 20th century climate change in the tropical Andes: observations and model results. *Climatic Change*, 59 (1-2), 75-99.

Wallace, JM, and DS Gutzler, 1981: Teleconnections in the geopotential height field during the northern hemisphere winter. *Mon. Wea. Rev.* 109, 784-812.

Weyant et al., 1996: Integrated Assessment of climate change: and overview and comparison of approaches and results. In: Economic and social Dimensions of Climate Change, Equity and Social Considerations. Contribution of Working Group III to the Second Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Bruce, J.P., H lee and E. F Haites (eds.)] Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and Now York, NY, USA.

Woodman, R., 2005: Modelo Estadístico para el pronóstico de las precipitaciones en la costa norte. El Niño y la Precipitación en los Andes del Perú. Sociedad Geológica del Perú. Volumen jubilar en honor a Alberto Giesecke Matto. Lima, Perú.

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla Nro. 01:	Zonas de estudio y subcuencas correspondientes	25
Tabla Nro. 02:	Principales peligros naturales en la cuenca del río Mantaro y sus características	27
Tabla Nro. 03:	Pluviosidad según valores del SPI	31
Tabla Nro. 04:	Relación de periodos secos y lluviosos	32
Tabla Nro. 05:	Valores de los coeficientes de correlación más significativos entre la TSM en las regiones Niño y las lluvias en la cuenca del río Mantaro	37
Tabla Nro. 06:	Regiones en la cuenca del río Mantaro con similar comportamiento pluviométrico	38
Tabla Nro. 07:	Índices de precipitación por regiones	39
Tabla Nro. 08:	Coefficientes de correlación entre precipitación acumulada en el periodo diciembre-febrero en diferentes regiones de la cuenca y los índices climáticos promediados sobre el mismo periodo	40
Tabla Nro. 09:	Coefficientes de regresión lineal (a ; cambio porcentual de precipitación por cambio en humedad relativa en %) entre precipitación acumulada en diciembre-febrero y humedad relativa (6 pm) en Huayao promediado sobre los mismos meses.	40
Tabla Nro. 10:	Retrasos del inicio de la temporada de lluvias para los 100, 200, 300, 400, 500 y 600mm. Los cuadros negros indican los años en que se dieron los retrasos	43
Tabla Nro. 11:	Adelantos del inicio de la temporada de lluvias para los 100, 200, 300, 400, 500 y 600mm. Los cuadros negros indican los años en que se dieron los adelantos	43
Tabla Nro. 12:	Tendencias en la temperatura máxima del aire anual en la cuenca del Mantaro	45
Tabla Nro. 13:	Tendencias en la temperatura mínima del aire anual en la cuenca del Mantaro	46
Tabla Nro. 14:	Tendencias en la frecuencia de heladas en la cuenca del río Mantaro, periodo: setiembre-abril entre 1960 y 2002	47
Tabla Nro. 15:	Tendencias en la intensidad de heladas en la cuenca del río Mantaro, periodo: setiembre-abril entre 1960 y 2002	48
Tabla Nro. 16:	Cambios estimados en temperatura (DT), humedad específica (Dq) y humedad relativa (DHR) en el periodo diciembre a febrero en la cuenca del Mantaro (1950-2004).	55
Tabla Nro. 17:	Cambios porcentuales en precipitación estimados para diferentes regiones de la cuenca	56

Tabla Nro. 18:	Amplificadores críticos de vulnerabilidad en la cuenca del Mantaro y principales características	58
Tabla Nro. 19:	Áreas naturales protegidas por el Estado en la cuenca del río Mantaro	60
Tabla Nro. 20:	Población en pobreza: pobre (P) y pobre extremo (PE)	62
Tabla Nro. 21:	Población alfabeta	63
Tabla Nro. 22:	Esperanza de vida al nacer (años)	63
Tabla Nro. 23:	Correlaciones entre el cultivo de maca en Junín y variabilidad climática	71
Tabla Nro. 24:	Correlaciones entre el cultivo de papa y variabilidad climática en Huancayo	71
Tabla Nro. 25:	Correlaciones entre el cultivo de papa y variabilidad climática en la zona sur	72
Tabla Nro. 26:	Correlación entre la precipitación y la generación de energía en el Mantaro	74
Tabla Nro. 27	Coefficiente de correlación entre el volumen útil del lago Junín y energía generada en la cuenca del Mantaro	75
Tabla Nro. 28:	Coefficiente de correlación entre caudales naturales en La Mejorada y energía generada en la cuenca del Mantaro	75
Tabla Nro. 29:	Correlaciones entre las lluvias, caudal y volumen del lago Junín. Periodo de datos: 1995-2003	75
Tabla Nro. 30:	Población con acceso a agua potable (AP) y saneamiento (S)	76
Tabla Nro. 31:	Tasa de analfabetismo y nivel educativo al año 2050 en la cuenca del Mantaro	82
Tabla Nro. 32:	Viviendas en condiciones físicas inadecuadas y hacinadas en el año 2050 en la cuenca del Mantaro	83
Tabla Nro. 33:	Déficit actual y futuro del servicio de energía en hogares de la cuenca del Mantaro	84
Tabla Nro. 34:	Vulnerabilidad futura de la infraestructura generadora de energía.	85
Tabla Nro. 35:	Hogares con déficit de servicio de agua potable y desagüe al año 2050 en la cuenca del Mantaro.	85

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico Nro. 01:	Flujograma metodológico de la Evaluación Local Integrada en la cuenca del río Mantaro.	24
Gráfico Nro. 02:	Sistemas físico-atmosféricos que influyen en el clima del Perú.	33
Gráfico Nro. 03:	Anomalía de los vientos en 850mb, para los años lluviosos (izquierda) y secos (derecha).	34
Gráfico Nro. 04:	Anomalía de los vientos en 200mb. Para los años lluviosos (izquierda) y secos (derecha).	34
Gráfico Nro. 05:	Regiones Niño en el océano Pacífico ecuatorial (Fuente: Lagos, et. al, 2005)	35
Gráfico Nro. 06:	Relación entre la temperatura superficial del mar en las regiones Niño y las lluvias en la cuenca del río Mantaro. Para los meses de verano: enero-marzo	36
Gráfico Nro. 07:	Correlación entre la temperatura superficial del mar y la temperatura máxima del aire en Huayao para febrero.	38
Gráfico Nro. 08:	Tendencias de precipitación anual en la cuenca del río Mantaro	44
Gráfico Nro. 09:	Tendencias de precipitación en la cuenca del río Mantaro para los meses de enero-marzo.	44
Gráfico Nro. 10:	Tendencias en la temperatura máxima en Huayao (periodo: 1950-2002)	45
Gráfico Nro. 11:	Tendencias en la temperatura mínima del aire en Huayao (periodo: 1950-2002)	45
Gráfico Nro. 12:	Cambio en la temperatura media, escenario A1 y B2. Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)	51
Gráfico Nro. 13:	Cambio en la temperatura media para verano, escenario A1 y B2. Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)	52
Gráfico Nro. 14:	Cambio en la temperatura media para invierno, escenario A1 y B2. Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)	52
Gráfico Nro. 15:	Cambio en la temperatura máxima del aire para verano, escenario A1 y B2. Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)	53
Gráfico Nro. 16:	Cambio en la temperatura mínima del aire en verano, escenario A1 y B2. Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)	54
Gráfico Nro. 17:	Cambio en la precipitación de verano, escenario A1 y B2. Modelo RegCM2 (promedio para los años 2045-55 menos promedio 1990-99)	54

Gráfico Nro. 18:	Relación entre la producción de energía en las centrales hidroeléctricas de Mantaro y Restitución, y la precipitación en Huayao	74
Gráfico Nro. 19:	Distribución mensual del número de casos de IRAs promedio y temperatura mínima del aire	77
Gráfico Nro. 20:	Distribución mensual del número de casos de IRAs promedio y precipitación	78
Gráfico Nro. 21:	Distribución mensual del número de casos de EDAs promedio	78
Gráfico Nro. 22:	Casos de malaria reportados en el periodo 1997-2001	79

ÍNDICE DE MAPAS

01:	Zonas y subcuencas en el Mantaro	26
02:	Ubicación de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Mantaro	30
03:	Áreas naturales protegidas en la cuenca del Mantaro	59
04:	Índice de vulnerabilidad socioeconómica	66
05:	Vulnerabilidad socioeconómica frente al peligro de heladas	67
06:	Vulnerabilidad socioeconómica frente al peligro de sequías	69
07:	Vulnerabilidad socioeconómica frente al peligro de geología superficial	70

ANEXO

Anexo Nro. 01: Relación de estaciones meteorológicas que fueron usadas para el estudio de la climatología en la cuenca del río Mantaro

	Nombre de la estación	Longitud (°Oeste)	Latitud (°Sur)	Altitud (msnm)	Datos de tempera.	Datos de lluvias	Fecha de inicio	Fecha final	Nº de años	Entidad
1	Atocsaico	76,08	11,27	4532		SI	Ene-52	Dic-96	44	Electro Andes
2	Carhuamayo	76,06	10,92	4146		SI	Ene-52	Dic-96	44	Electro Andes
3	La Cima	75,92	11,29	4200		SI	Nov-52	Dic-96	44	Electro Andes
4	Shelby	76,23	10,81	4140		SI	Jul-55	Dic-96	41	Electro Andes
5	Acostambo	75,05	12,36	3650		SI	Jun-62	Jun-04	42	Electro Perú
6	Angasmayo	75,40	12,03	3280		SI	Ene-64	Jun-04	40	Electro Perú
7	Casapato	76,04	10,98	4115		SI	Nov-52	Dic-96	44	Electro Perú
8	Cercapuquio	75,32	12,38	4390		SI	Jun-62	Jun-04	42	Electro Perú
9	Chichicocha	75,61	12,17	4500		SI	Nov-64	Jun-04	40	Electro Perú
10	Chilicocha	75,45	12,70	4200		SI	Nov-64	Jun-04	40	Electro Perú
11	Colpa	75,47	11,99	3450		SI	Jul-69	Jun-04	35	Electro Perú
12	Huancavelica	74,98	12,78	3676		SI	Jun-62	Jun-04	42	Electro Perú
13	Huaytapallana	75,04	11,95	4510		SI	Ago-65	Jun-04	39	Electro Perú
14	Hueghue	76,28	11,24	4175		SI	Dic-64	Jun-04	40	Electro Perú
15	Huichicocha	75,52	12,55	4660		SI	Nov-64	Jun-04	40	Electro Perú
16	Junín	75,99	11,15	4120		SI	May-69	Jun-04	35	Electro Perú
17	Kichuas	74,77	12,47	2650		SI	Oct-63	Jun-04	41	Electro Perú
18	Mantaro	75,40	11,83	3300		SI	Feb-63	Jun-04	41	Electro Perú
19	Mejorada	74,86	12,53	2820		SI	Feb-62	Jun-04	42	Electro Perú
20	Pachacayo	75,72	11,81	3550		SI	Mar-66	Jun-04	38	Electro Perú
21	Palaco	75,30	12,35	3650		SI	Feb-69	Jun-04	42	Electro Perú
22	Pampas	74,87	12,39	3260		SI	Ene-63	Jun-04	41	Electro Perú
23	Tambo Sol	76,12	10,87	4100		SI	May-69	Jun-04	35	Electro Perú
24	Telleria	75,12	12,38	3050		SI	Ene-64	Jun-04	40	Electro Perú
25	Upamayo	76,28	10,92	4080		SI	Oct-63	Jun-04	41	Electro Perú
26	Yauricocha	75,91	11,96	4375		SI	Ene-65	Jun-04	39	Electro Perú
27	Huayao	75,32	12,04	3308	SI	SI	Ene-50	Dic-02	81	IGP
28	Acobamba	74,57	12,84	3236		SI	Dic-64	Nov-02	39	SENAMHI
29	Cerro de Pasco	76,26	10,69	4260	SI	SI	Jul-49	Nov-02	54	SENAMHI
30	Comas	75,13	11,75	3300		SI	Dic-63	Nov-02	40	SENAMHI
31	Huancalpi	75,24	12,58	3800		SI	Ene-65	Nov-02	38	SENAMHI

	Nombre de la estación	Longitud (°Oeste)	Latitud (°Sur)	Altitud (msnm)	Datos de tempera.	Datos de lluvias	Fecha de inicio	Fecha final	Nº de años	Entidad
32	Huanta	74,24	12,95	2521		SI	Ene-64	Nov-02	39	SENAMHI
33	Ingenio	75,26	11,88	3450		SI	Ago-63	Nov-02	40	SENAMHI
34	Jauja	75,47	11,78	3322	SI	SI	Ene-35	Dic-02	68	SENAMHI
35	La Oroya	75,36	12,25	3990		SI	Sep-94	Nov-02	9	SENAMHI
36	Laive	75,96	11,57	3780		SI	Ago-63	Nov-02	40	SENAMHI
37	Lircay	74,72	12,98	3150	SI	SI	Jun-49	Nov-02	54	SENAMHI
38	Manta	75,21	12,62	3711		SI	Ago-63	Ene-80	17	SENAMHI
39	Marcapomacocha	76,33	11,40	4413	SI	SI	Sep-64	Oct-02	39	SENAMHI
40	Paucarbamba	74,57	12,47	3000		SI	Ago-64	Nov-02	39	SENAMHI
41	Pilchaca	75,08	12,35	3570	SI	SI	Jul-64	Nov-02	39	SENAMHI
42	Quinoa	74,14	13,06	3260		SI	Sep-64	Nov-02	39	SENAMHI
43	Salcabamba	74,82	12,15	2900		SI	Abr-65	Nov-02	38	SENAMHI
44	San Juan de Jarpa	75,43	12,12	3726		SI	Jun-63	Mar-97	35	SENAMHI
45	San Lorenzo	74,83	12,28	2600		SI	Sep-63	Nov-02	40	SENAMHI
46	San Pedro de Cachi	74,39	13,08	3188		SI	Oct-65	Nov-02	38	SENAMHI
47	San Pedro de Chuclu	75,51	11,75	3400		SI	Sep-63	May-78	18	SENAMHI
48	Santa Ana	75,22	12,00	3295		SI	Ene-92	Nov-02	11	SENAMHI
49	Viques	75,23	12,16	3186		SI	Mar-64	Feb-98	35	SENAMHI
50	Wayllapampa	74,22	13,08	2158		SI	Ago-66	Nov-02	37	SENAMHI



El Consejo Nacional del Ambiente - CONAM es la Autoridad Ambiental Nacional creada mediante Ley N° 26410 en 1994 para promover el Desarrollo Sostenible, propiciando un equilibrio entre el desarrollo socio económico, la protección del ambiente y el bienestar social. Su finalidad es planificar, promover, coordinar, controlar y velar por el ambiente y el patrimonio natural de la Nación.

ISSN 9872-824-15-2



La Cuenca del Valle del Mantaro tiene una importancia estratégica para la seguridad energética y alimentaria del Perú, pero presenta una alta vulnerabilidad ante los impactos del Cambio Climático.

Esta investigación, coordinada por Consejo Nacional del Ambiente - CONAM en el marco del Programa de Cambio Climático y Calidad de Aire - PROCLIM, aporta las herramientas necesarias para incorporar la variable climática en los procesos de planificación y gestión del desarrollo de esta importante cuenca, previniendo pérdidas humanas, de infraestructura y recursos hacia un verdadero desarrollo sostenible.

En este tercer volumen se desarrolla el tema de variabilidad climática en sus tópicos más relevantes: ¿Cuáles son los factores físicos que afectan la variabilidad de las lluvias en el Mantaro?, ¿Qué tanto afectan los patrones de circulación a escala global?, ¿Qué importancia tiene el fenómeno de El Niño?, ¿Existe cambio climático en la cuenca?, entre otras.



Este trabajo se realizó en el marco de PROCLIM, Programa de Cambio Climático y Calidad del Aire que fue desarrollado entre 14 instituciones públicas y privadas en 3 regiones priorizadas del país. El programa fortaleció capacidades nacionales para una gestión efectiva de los recursos humanos y financieros ante el Cambio Climático. PROCLIM contó con el apoyo de la Cooperación Holandesa y fue coordinado por el CONAM.