CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

Balance de 7 años de estudio

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Lima – Perú

2010

MINISTRO DEL MEDIO AMBIENTE
Dr. José Antonio Brack Egg

PRESIDENTE EJECUTIVO DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ
Dr. Ronald Wodman Pollitt

DIRECTOR TÉCNICO DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ
Dr. Hernando Tavera

DIRECTOR DE PREVENCIÓN DE DESASTRES NATURALES DEL INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ
Dr. Ken Takahashi Guevara

Este libro fue coordinado por el Instituto Geofísico del Perú, con apoyo financiero del International Development Research Centre de Canadá (IDRC), en el marco del Proyecto "Manejo de riesgos ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) en la cuenca del río Mantaro MAREMEX – Mantaro"

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ
Calle Badajoz 169, Urb. Mayorazgo, IV Etapa, Ate.
Teléfono: 317-2300
Dirección URL: www.igp.gob.pe

Derechos reservados:
Primera edición, julio 2010
Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú
Registro: 2010-07680
ISBN:

Corrección y edición: Alejandra Martínez Grimaldo, Susan Pérez Alvarado
Diagramación e impresión: Publirabbit - Diseño &Producción Gráfica
Tiraje: 1,000 ejemplares
Este libro ha sido impreso en papel ecológico

Fotografías:
Carátula: Alejandra Martínez. *Arriba: Ciudad de Huancayo / Abajo: Agricultores en el valle del Mantaro*
Contracarátula: Jacinto Arroyo. *Nevado Huaytapallana*

INDICE

Prólogo..... 7
Antonio Brack
Introducción.....11
Ronald Woodman

CAPÍTULO I:
CIENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

1.1 Cambio climático, investigación e incertidumbre..... 19
Ken Takahashi
1.2 Almacenamiento de carbono y flujo de CO_2 en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – valle del Mantaro..... 27
Vicente Dávila, Franco Retamozo y Luis Suarez
1.3 Determinación de la predictibilidad de las lluvias en Huayao mediante el análisis de correlación utilizando las variables ERSST y PDO..... 32
Karen Latínez
1.4 Caracterización de la circulación atmosférica local en el valle del Mantaro..... 42
Dalma Mamani
1.5 Perspectivas climáticas en las regiones Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho para el trimestre diciembre 2009 a febrero del 2010 53
Adam Ramos y Eusebio Sánchez

CAPÍTULO II:
GLACIARES Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

2.1 Cambios de la superficie glaciar en la cordillera Huaytapallana: Periodo 1976 - 2006..... 59
Ricardo Zubieta y Pablo Lagos
2.2 Determinación de los impactos del cambio climático sobre la hidrología de las cuencas del Rímac y Mantaro (Perú)..... 68
Wilson Suarez, Thomas Condom y James Apaéstegui
2.3 ¿Por qué no se realizan operaciones de aumento de nieve en el Perú?.....79
Ramiro Valdivia

CAPÍTULO III:
POLÍTICAS NACIONALES Y REGIONALES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

3.1. El Cambio climático y sus efectos en la región central 91
Juan Castro
3.2. El Gobierno Regional de Junín y su accionar frente al cambio climático 95
Elizabeth Oré y Dante García
3.3. Acciones del Gobierno Regional de Huancavelica relacionadas al cambio climático 102
Hugo Caballero
3.4. Gobierno Regional de Pasco y el cambio climático en la cuenca del río Mantaro..... 109
Melquiades Luis

CAPÍTULO IV:
AGRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

4.1. Clima y agricultura en el valle del Mantaro..... 117
Yamina Silva, Grace Trasmonte, Alex Ochoa, Efraín Lindo, Lucy Giraldez, Samuel Baldeon, Grober Galindo y Oscar Garay
4.2. Cambio climático y el riesgo de heladas en la agricultura del valle del Mantaro 125
Grace Trasmonte
4.3. Efectos del cambio climático en la agricultura de la región Junín 136
Oscar Garay
4.4. Influencia de la temperatura y precipitación en el cultivo de maíz amiláceo (Zea Mays L.) Cv. San Gerónimo y Blanco Urubamba en el valle del Mantaro..... 144
Alex Ochoa
4.5. El efecto de cambio climático sobre la eficiencia del seguro informal frente al impacto de los riesgos climáticos sobre la producción agrícola 154
Edouard Crespeigne, Edgar Olivera, Raúl Ccanto y María Scurrah

CAPÍTULO V:
EVENTOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

5.1. Modelo holístico de evaluación de riesgo de desastres como herramienta para la adaptación al cambio climático 167
Miguel Pérez
5.3. Estudio geológico de flujos de los escombros en el cono de deyección de la subcuenca del río Shullcas - región Junín 179
Luis Ocampo y Juan Carlos Gómez

5.3. Mapa de correlación de precipitación observada y satelital sobre la cuenca del Mantaro (2000-2006)..... 189
Berlin Segura, Ken Takahashi y Pablo Lagos
5.4. Temperaturas en el proceso de difusión en suelos y sensibilidad del modelo Sbdart..... 194
Miguel Saavedra
5.5. Identificación de veranillos en el valle del Mantaro..... 205
Juan Carlos Sulca

CAPÍTULO VI:
PROYECTOS ACTUALES

6.1. Cambio climático en los Andes: iniciativas lideradas por el Ministerio del Ambiente..... 217
Eduardo Durand
6.2. Adaptación al cambio climático en contextos de desarrollo territorial rural: la experiencia de Jauja..... 226
Javier Escobal y Carmen Ponce
6.3. Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA..... 234
Ana Iju
6.4. Gestión de riesgos y cambio climático: retos del proyecto MAREMEX – Mantaro..... 241
Alejandra Martínez
6.5. Tendencias de desarrollo local en localidades de los Andes Peruanos que confrontan desafíos en el contexto del cambio climático: el caso de las microcuencas, Huacrahuacho (Cusco) y Mollebamba (Apurímac)..... 249
Lenkiza Angulo y Maruja Gallardo

PRÓLOGO

Las investigaciones sobre cambio climático en la cuenca del río Mantaro se iniciaron en el año 2003 con el estudio "Evaluación Local Integrada de la Cuenca del río Mantaro". Este estudio estuvo a cargo del Instituto Geofísico del Perú (IGP) desarrollado en el marco del Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM), a cargo del antiguo Consejo Nacional del Ambiente (CONAM), y que contó con el financiamiento del Gobierno de los Países Bajos.

Desde entonces, los trabajos de investigación en la cuenca del río Mantaro no se han detenido, y por el contrario, la cuenca se ha convertido en un laboratorio de análisis sobre los múltiples temas que abarca el cambio climático, desarrollándose una interesante dinámica de trabajos a cargo de instituciones de investigación, gobiernos regionales y locales, ONG's, entre otros.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP), órgano adscrito del Ministerio del Ambiente, organizó en noviembre de 2009 la Conferencia Macroregional "Cambio climático en la cuenca del río Mantaro: Balance de 7 años de estudio", que tuvo por objetivo recopilar los resultados de los estudios recientes sobre el tema y que contó con el apoyo del subproyecto "Pronóstico de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura" (INCAGRO) y el International Development Research Centre (IDRC) de Canadá, a través del proyecto 105567 "Manejo de riesgos ante eventos meteorológicos extremos como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantaro – MAREMEX". Producto de esta conferencia es el libro que hoy presentamos, y que cuenta con el apoyo financiero del IDRC mediante el proyecto MAREMEX – Mantaro, actualmente en ejecución.

Para el Ministerio del Ambiente no es ajena la preocupación que despiertan los impactos negativos del cambio climático, la recopilación y difusión de información de calidad. Más aún, siendo un importante insumo que alimentará el Plan Nacional de Acción para la Adaptación y Mitigación del Cambio Climático que el Ministerio del Ambiente viene promoviendo, y que ofrecerá herramientas a corto, mediano y largo plazos para que los tomadores de decisión en los tres niveles de gobierno puedan implementar acciones concretas orientadas a la adaptación y mitigación al cambio climático en su región o distrito.

Agradecemos profundamente a las instituciones y profesionales que han hecho posible este esfuerzo, y esperamos sinceramente que este libro sea de utilidad para las regiones que conforman la cuenca del río Mantaro, y un referente del camino que hay que tomar en los estudios sobre el cambio climático en el país.

Lima, julio de 2010

Dr. Antonio Brack Egg
Ministro del Ambiente



Mapa de la cuenca del río Mantaro, que atraviesa los territorios de las regiones: Junín, Huancavelica, Pasco y Ayacucho

INTRODUCCIÓN

Cambio climático en la cuenca del río Mantaro

Ronald Woodman Pollit
Instituto Geofísico del Perú

En esta breve introducción se realizará una presentación general de la problemática del cambio climático tanto a nivel general, como a nivel de la cuenca y de las regiones que la conforman.

EL CAMBIO CLIMÁTICO: UNA REALIDAD GLOBAL

El informe del grupo 4 del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático, - IPCC por sus siglas en inglés – utiliza la palabra "inequivocabilidad"[1] para dar énfasis al hecho de que efectivamente el cambio climático es una realidad como consecuencia de la actividad industrial de la humanidad, específicamente debido a la inyección de gases de efecto invernadero en la atmósfera, producto de la quema de combustibles fósiles.

Es necesario recalcar esta realidad, considerando el espacio que muchos medios están otorgando a unos pocos "científicos" disidentes. A las autoridades y al público en general, no nos queda otra alternativa que escuchar a la mayoría de investigadores serios y prestigiosos del IPCC, que cuentan con el respaldo de las academias científicas de los países más desarrollados del mundo. No deberíamos necesitar mayor argumento para aceptar el calentamiento global y sus causas, que el expuesto líneas arriba. Sin embargo, existen dos hechos que ayudan dramáticamente a convencernos.

El primer hecho está referido a los cambios en las temperaturas ocurridos en el planeta durante el último siglo, y a las proyecciones de los modelos estimados por los principales centros de investigación a nivel mundial. En la Figura 1 se muestra la comparación entre los cambios en las temperaturas de superficie continental y superficie a escala global observadas, con los resultados de simulaciones de los modelos climáticos utilizando forzantes naturales y antropogénicos. En la figura se muestran promedios decadales de observaciones (línea negra), para el periodo 1906-2005 ploteados contra el centro de la década y relativos al promedio correspondiente para 1901-1950. Las líneas están punteadas donde la cobertura espacial es menor al 50 %.

Las bandas azules muestran el rango de entre 5–95 % para 19 simulaciones de cinco modelos climáticos utilizando sólo los forzamientos naturales debidos a la actividad solar y los volcanes. Por su parte, las bandas rojas muestran el rango de entre 5-95 % para 58

[1] "Inequivocable" en el informe original en inglés.

simulaciones de 14 modelos climáticos utilizando tanto los forzamientos naturales como los antropogénicos *(IPCC, 2007)*. Hasta hace pocos años se pensaba que podían ser fluctuaciones relacionadas con la variabilidad climática que habían ocurrido en el pasado y que estaban ocurriendo nuevamente; pero lo que ha estado ocurriendo en los últimos 30 años es dramático con respecto a las fluctuaciones que hubieron en el pasado: nunca tan grandes y tan consistentes en el mismo sentido como las que estamos apreciando hoy día.

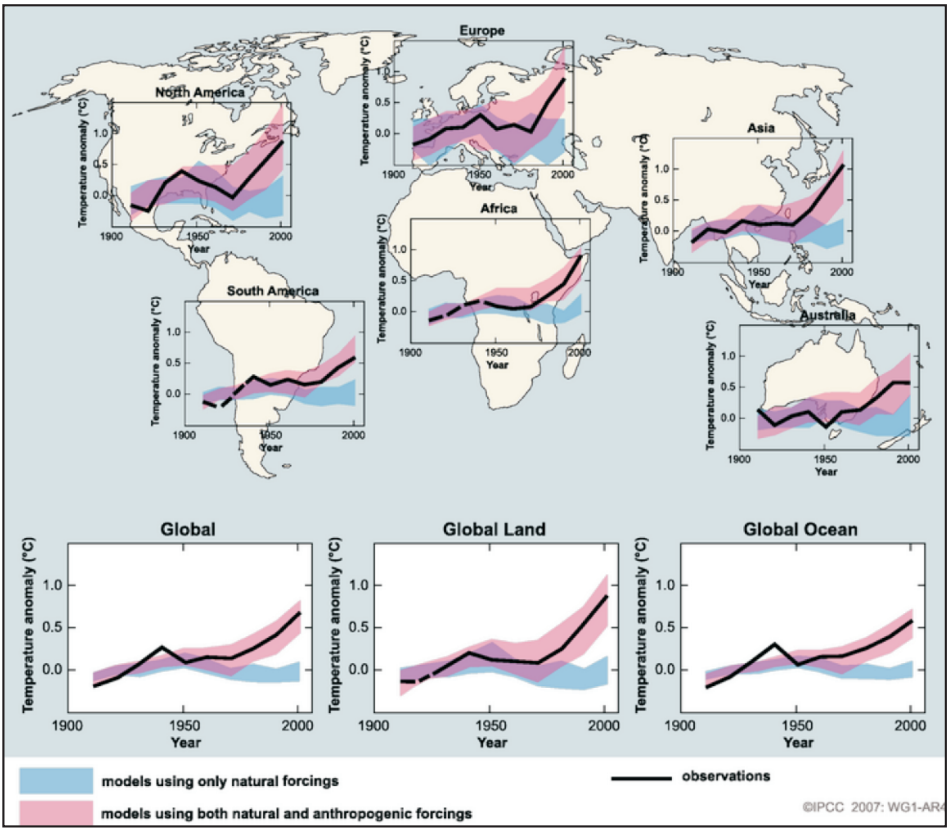


Figura 1. Comparación entre los cambios en las temperaturas de superficie continental y superficie a escala global observadas, con los resultados de simulaciones de los modelos climáticos utilizando forzantes naturales y antropogénicos. Fuente: tomado de IPCC, 2007

Se muestran promedios decadales de observaciones (línea negra), para el periodo 1906-2005 ploteados contra el centro de la década y relativos al promedio correspondiente para 1901-1950. Las líneas están punteadas donde la cobertura espacial es menor al 50 %.

Las bandas azules muestran el rango de entre 5–95 % para 19 simulaciones de cinco modelos climáticos utilizando sólo los forzamientos naturales debidos a la actividad solar y los volcanes.

Las bandas rojas muestran el rango de entre 5-95 % para 58 simulaciones de 14 modelos climáticos utilizando tanto los forzamientos naturales como los antropogénicos. (*Figura SPM 4- IPCC, 2007*)[2]

El segundo hecho está relacionado con el retiro de los glaciares a nivel mundial. En la Figura 2 se muestra la comparación de dos fotografías del Glaciar Muir[3], tomadas en los años 1941 y 2004, respectivamente. Este glaciar, como la mayoría de los glaciares a nivel mundial, incluidos los glaciares tropicales de nuestra cordillera, muestra la rápida pérdida de la masa glaciar, como clara prueba de que la tierra se está calentando.



Figura 2. Fotos del glaciar Muir (Alaska), la primera tomada en agosto del año 1941 por William Filed; y la segunda en agosto del año 2004 por Bruce Molnia, desde el mismo punto de vista. Fuente USGS, 2009[4].

MITIGACIÓN VS. ADAPTACIÓN

La pregunta obvia que surge es qué debemos hacer, como país, ante esta situación, ¿dónde debemos poner nuestro énfasis?. A nivel internacional se agrupan las acciones de prevención ante el cambio climático en dos tipos de acción: la mitigación y la adaptación. La primera, se refiere a las acciones que debe tomar toda la humanidad para reducir la causa del calentamiento, reduciendo las emisiones de gases de efecto invernadero. La segunda se

[2] *IPCC, 2007. Summary for Policymakers. In: Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M.Tignor and H.L. Miller (eds.)].* Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.

[3] El Glaciar Muir se encuentra ubicado en el Parque y Reserva Nacional Glacier Bay en Alaska (Estados Unidos de Norteamérica).

[4] USGS, 2009. *Satellite Image Atlas of Glaciers of the World: Alaska.* Professional Paper 1386-K.

refiere a las medidas que debemos tomar para reducir los años que sufriremos como consecuencia del cambio climático, considerando que de todas manera ocurrirá, aún en la situación más optimista.

Sobre las acciones de mitigación que deberíamos o podríamos tomar, debemos tener en cuenta que nosotros, como país en desarrollo, no somos responsables de la situación. La cantidad de gases efecto invernadero que emitimos a la atmósfera no llega ni al 1 %, y nuestra contribución a los gases ya existentes, suma de la actividad industrial del hombre desde el inicio de la revolución industrial, es aún menor. Es justo, por lo tanto, que la mitigación y el sacrificio económico que este significa, sea responsabilidad de los países desarrollados. No nos pueden exigir sacrificio alguno en este sentido, sobre todo si nuestro desarrollo implica que estaremos emitiendo Gases de Efecto Invernadero (GEI) en mayor cantidad.

Debemos tomar una posición pragmática, tomando decisiones que vayan en beneficio de nuestra población, esta posición fue reconocida en el Protocolo de Kioto, incluso por los países desarrollados. Sin embargo, hay algunas medidas de mitigación que podemos y debemos adoptar con el apoyo económico de los países desarrollados, aprovechándolas como oportunidades de negocio para el país, tal es el caso de los proyectos MDL y los planes de reforestación, entre otros. Adicionalmente, existen algunas actividades de mitigación que no demandan mayor sacrificio, y que desde un punto de vista práctico debemos adoptar, un conjunto de buenas prácticas como: el ahorro de energía y agua potable, reciclado, segmentación de residuos sólidos, etc.

Por otro lado, son las acciones de adaptación las que deben ser prioridad para el país. El clima está cambiando y si no advertimos a tiempo las repercusiones, serán de grandes consecuencias negativas. Por mencionar sólo algunas: cambios en las temperaturas mínimas y máximas del aire, variaciones en el régimen de precipitaciones, elevación del nivel del mar, etc.

¿ADAPTARNOS A QUÉ?

La conclusión a la que llegamos es que, - prioritariamente - debemos adaptarnos al cambio climático, esa es nuestra misión y debemos empezar ya. Ahora, lo que queda por hacer es saber a qué nos debemos adaptar, esto implica responder a temas de investigación tanto del punto de vista científico – físico, como del punto de vista social.

Los cambios en el clima no serán homogéneos. Por ejemplo, los cambios en los patrones de precipitación implican que en algunos lugares habrá mayores precipitaciones, menos precipitaciones en otros, adelanto o atraso en el inicio de temporada de lluvias en otros, etc. Así, los trabajos de investigación deberán estar centrados tanto en entender los procesos físicos que gobiernan el clima, como en el desarrollo de escenarios climáticos futuros. Adicionalmente, estos estudios deben tener una escala regional e incluso a nivel de cuencas o subcuencas. Obviamente este nivel de detalle debe ser desarrollado por peruanos en beneficio de nuestro país, y de ser posible con el apoyo de ayuda extranjera en la forma de fortalecimiento de capacidades humanas, transferencia de tecnologías, etc.

¿POR QUÉ LA CUENCA DEL MANTARO?

El Instituto Geofísico del Perú, en coordinación con lo que fue el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM) y dentro del Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM), que contó con financiamiento del Gobierno de los Países Bajos, desarrolló el estudio *Evaluación Local Integrada de la Cuenca del río Mantaro* durante los años 2003 al 2005[5].

Para esta experiencia piloto[6], la cuenca del río Mantaro fue escogida debido a que concentra gran población, es una importante región agrícola y sus centrales hidroeléctricas son estratégicas para la generación de energía a escala nacional. El logro de los objetivos centrales de este estudio: a) Ampliar el conocimiento sobre la variabilidad y cambio climático en la cuenca del río Mantaro; b) evaluar los aspectos físicos y sociales de su vulnerabilidad ante el cambio; y c) identificar opciones viables de adaptación en los principales sectores socio-económicos de la región para su incorporación en los planes de desarrollo local y regional, abrieron nuevas interrogantes, lo que se tradujo en numerosos proyectos a cargo tanto de instituciones nacionales como regionales que actualmente se desarrollan en la cuenca.

Cabe indicar que la cuna del Instituto Geofísico del Perú está en Huancayo. El Observatorio Magnético de Huancayo (12°02'18''S, 75°19'22''W, 3 350 msnm) fue creado en 1922 gracias a la fundación Carnegie de Estados Unidos, eligiendo ese lugar debido a su cercanía al ecuador magnético. En 1947, con mayor capacidad y funciones, se convierte en el Observatorio Geofísico de Huancayo y, quince años después se convierte en el Instituto Geofísico del Perú.

Desde su inicio, este observatorio fue sede de importantes mediciones e investigaciones geofísicas, entre las cuales se encuentra la serie de mediciones climáticas más larga del país. Este largo historial hace que esta información sea crucial para el estudio del cambio climático en el Perú, mientras que su calidad y diversidad en cuanto a instrumental la hacen de utilidad para una gran variedad de estudios relacionados al clima.

[5] Instituto Geofísico del Perú. 2005a. *Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro*. Tomo I Evaluación local integrada en la cuenca del Mantaro. Fondo Editorial del CONAM.

Instituto Geofísico del Perú. 2005b. *Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión de cambio climático*. Tomo II Evaluación local integrada en la cuenca del Mantaro. Fondo Editorial del CONAM.

Instituto Geofísico del Perú. 2005c. *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro*. Tomo III Evaluación local integrada en la cuenca del Mantaro. Fondo Editorial del CONAM.

[6] La otra cuenca piloto fue la de Piura, cuyo estudio estuvo a cargo de una serie de instituciones locales y nacionales.



Figura 3. Vista de la estación meteorológica del Observatorio de Huancayo.

SOBRE ESTE VOLUMEN ESPECIAL

El 18 y 19 de noviembre del año 2009 se llevó a cabo en la ciudad de Huancayo la Conferencia Macroregional *Cambio Climático en la cuenca del río Mantaro: balance de 7 años de estudios*, organizada por el Instituto Geofísico del Perú, con apoyo del International Development Research Centre[7] IDRC de Canadá y el proyecto INCAGRO; y con el auspicio del Gobierno Regional de Junín y la Municipalidad Provincial de Huancayo.

El principal objetivo del taller fue evaluar lo avanzado en el tema de cambio climático desde el año 2003 - cuando se inició el proyecto PROCLIM - hasta la fecha, tomando en consideración tanto los avances en investigación como los avances a nivel de gestión por parte de los gobiernos regionales y locales de la cuenca. Asimismo, poder reunir a los principales actores de la cuenca en un sólo espacio de discusión y análisis.

Al emprender la tarea de preparar el libro de actas de la conferencia, comprendimos que debíamos ir más allá de solamente recopilar los resúmenes de las ponencias presentadas, y que era una excelente oportunidad para elaborar un libro de balance, donde se recogiera tanto lo desarrollado a la fecha, como los proyectos en ejecución, los avances y perspectivas del sector ambiental y de los gobiernos regionales participantes.

Por ello, este volumen especial se divide en varios capítulos que recorren temas que van desde la ciencia del cambio climático, hasta los avances de las regiones en sus políticas sobre cambio climático; pasando por los temas del impacto del cambio climático en la agricultura, la problemática de la desaparición de los glaciares, hasta la gestión de desastres y eventos extremos. El libro finaliza con un capítulo dedicado a los proyectos sobre cambio climático que están actualmente en desarrollo en el ámbito de la cuenca.

Esperamos que este volumen especial sirva como marco de referencia para las diversas instituciones, gobiernos locales y regionales que vienen trabajando la problemática del cambio climático en el Mantaro.

[7] www.idrc.ca

CAPÍTULO I

CIENCIA DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

Los aspectos físicos son un componente que no puede dejarse de lado en todo estudio relacionado al cambio climático. Por ello, este capítulo recoge artículos que tocan las muchas facetas que la ciencia del cambio climático tiene. El primer artículo a cargo de Ken Takahashi, jefe del área de Investigación en Prevención de Desastres Naturales del Instituto Geofísico del Perú, presenta la problemática de la investigación en un tema tan nuevo como este con "Cambio climático, investigación e incertidumbre".

A continuación, Luis Suarez, de la Escuela de Ingeniería Ambiental de la Universidad Alas Peruanas de Huancayo presenta los resultados de un estudio relevante para la reforestación con el artículo "Almacenamiento de carbono y flujo de CO_2 en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – valle del Mantaro". A continuación, el artículo "Determinación de la predictibilidad de las lluvias en Huayao mediante el análisis de correlación utilizando las variables ERSST y PDO" a cargo de Karen Latínez, investigadora del Instituto Geofísico del Perú, muestra una reciente metodología desarrollada para la elaboración de pronósticos estacionales en la zona.

"Correlación de la circulación atmosférica local en el valle del Mantaro" trata sobre una investigación en curso para lograr entender los parámetros físicos que controlan la circulación atmosférica en el valle, a cargo de Dalma Mamani de la Escuela de Ingeniería Mecánica de Fluidos de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Finalmente, Adam Ramos, directora regional de SENAHMI – Junín, presenta un ejemplo de la información que mensualmente se prepara y difunde en el ámbito de la cuenca, con el artículo "Perspectivas climáticas en la región Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho para el trimestre diciembre 2009 a febrero del 2010".

Cambio climático, investigación e incertidumbre

Ken Takahashi
Instituto Geofísico del Perú
ken.takahashi.igp@gmail.com

RESUMEN
Este artículo proporciona algunas consideraciones que deben tomarse para realizar estudios de cambio climático en nuestro país. Se enfatiza la importancia de evaluar las incertidumbres y la relación entre estas y el nivel de conocimiento, así como el rol central que tiene la investigación científica para poder producir información útil y confiable.

INTRODUCCIÓN
Uno de los grandes desafíos en la actualidad es el cambio climático. Es un nuevo tipo de problema, ya que sus causas son locales y están presentes ahora, pero los efectos son globales y se sentirán a largo plazo. Más aún, el cambio climático es complicado ya que involucra muchos aspectos interconectados del sistema climático y sus impactos son múltiples y compuestos debido a las complejas estructuras sociales y económicas a nivel tanto nacional como internacional.

Un aspecto crucial del cambio climático futuro es que es algo que *nunca ha ocurrido anteriormente*. Es decir, no existen situaciones análogas que podamos usar como referencia. Si bien el consenso científico es que el clima global ha experimentado un cambio sostenido en los últimos cien años debido a la acción del hombre, para los siguientes cien años se espera un cambio quizás hasta diez veces mayor. Idealmente, podríamos evaluar los cambios del último siglo utilizando los registros climáticos existentes y multiplicarlos por diez para obtener escenarios para el próximo siglo. Sin embargo, en el siglo pasado, además del cambio climático que buscamos detectar, el clima ha presentado variaciones naturales de magnitud comparable o mayor, lo cual dificulta *"separar el trigo de la paja"*, por decirlo coloquialmente.

La principal fuente de información sobre los cambios climáticos futuros son los modelos climáticos numéricos, que son masivos programas computacionales que resuelven en forma *aproximada* las ecuaciones que expresan las leyes físicas relevantes al clima. Estos modelos se corren en poderosas computadoras en contados centros de investigación en el mundo. El Panel Intergubernamental de Cambio Climático de las Naciones Unidas (IPCC por sus siglas en inglés), que representa el consenso científico internacional sobre el tema del cambio climático, establece protocolos sobre cómo correr estos modelos, principalmente en relación a posibles escenarios futuros de emisiones o concentraciones de los gases de efecto invernadero *(IPCC, 2000)*, y los modelos proporcionan la solución al problema de cuál será el clima correspondiente en el futuro. Sin embargo, las aproximaciones inevitables en la formulación de los modelos, varias de las cuales son comunes entre diferentes modelos, son una posible fuente de error y sólo se podrán verificar conforme tenga lugar el cambio climático; es decir, demasiado tarde. Además, estos modelos no cuentan con suficiente resolución espacial para representar correctamente la geografía de un país como el Perú,

por lo que no son adecuados para proporcionar información a escala regional. Consecuentemente, la estrategia para mejorar nuestra capacidad de producir proyecciones confiables y útiles va por otro camino, el del *entendimiento* de los procesos físicos relevantes.

TIPOS DE FUENTE DE INCERTIDUMBRE

El IPCC (*2005*) sugirió la consideración de tres tipos de fuentes de incertidumbre:

Incertidumbre de valores

Esta es la fuente de incertidumbre más familiar para la mayoría. En su forma más común, se refiere a aquella incertidumbre que surge de la limitación en el conjunto de mediciones disponibles para la evaluación de una cantidad. Un ejemplo relevante al cambio climático es la estimación de la temperatura global del último siglo. Un cálculo exacto requeriría mediciones de temperatura con termómetros perfectos sobre cada punto de la superficie del planeta, incluyendo continente y océanos, y en cada instante (digamos, cada segundo) de los últimos cien años. Evidentemente la realidad está muy lejos de esto. La mayoría de mediciones de temperatura se realizan sobre tierra en locaciones dispersas y por periodos limitados de tiempo, mientras que las mediciones largas sobre el océano fueron realizadas esporádicamente por diferentes barcos (en las últimas tres décadas, los satélites han mejorado sustancialmente esta situación). Además, las mediciones mismas pueden presentar cambios artificiales debido a cambios de instrumentos o de las condiciones alrededor de la estación meteorológica (edificios, árboles, etc.).

La incertidumbre asociada a esto último, sin embargo, se reduce mientras más datos se consideren ya que los cambios artificiales en una estación tienden a cancelarse al tomar promedios con otras estaciones. Por otro lado, si nos interesa evaluar el cambio en la temperatura dentro de una cuenca hidrográfica en el Perú, el problema es bastante más serio ya que quizás hayan sólo dos o tres estaciones en ella, y debe tenerse mucho cuidado al interpretar estos datos. Cabe mencionar que, lamentablemente, hay poco que se puede hacer para remediar las limitaciones en las mediciones para el propósito de evaluar el cambio climático pasado. Las mediciones que no fueron hechas, nunca podrán ser recuperadas y la instalación de nuevas estaciones meteorológicas, si bien ayudará a una variedad de otras aplicaciones, de poco nos servirá para evaluar el cambio pasado.

Impredictabilidad

Refleja una propiedad del sistema en consideración, que hace imposible en la práctica una predicción precisa. Típicamente esto se debe a que diferencias muy pequeñas en el estado inicial del sistema resultarán en evoluciones de este, pero muy distintas. Un ejemplo simple es el lanzamiento de un dado. Si supiéramos exactamente la velocidad del lanzamiento, el giro del dado, las propiedades exactas de la mesa sobre el que caerá, y la distribución de las brisas del aire, quizás podríamos tener una buena predicción del número que resultará. Sin embargo, en la práctica esto es imposible en condiciones normales (por ejemplo, en un casino) y asumimos que el resultado será producto del azar. Algo similar ocurre con el pronóstico del tiempo con más de dos semanas de anticipación o con la evolución de la política o la economía. Por otro lado, aún en estas condiciones es posible tener información útil sobre el futuro. Por ejemplo, podríamos decir con bastante confianza que el resultado

del lanzamiento del dado será un valor entre uno y seis con iguales probabilidades y que el verano será más cálido que el invierno.

Incertidumbre estructural

Esta es la fuente de incertidumbre menos apreciada por su misma naturaleza, debido a que se refiere a aquellos aspectos del sistema que desconocemos. De particular relevancia es cuando el modelo que utilizamos para realizar nuestras proyecciones del clima futuro o el análisis del clima pasado son conceptualmente errados o deficientes. *Oppenheimer et al. (2007)* analiza un ejemplo que salió a la luz durante la elaboración del cuarto reporte técnico del IPCC (*2007*) en relación a las proyecciones del futuro aumento del nivel del mar, realizadas usando una diversidad de modelos climáticos. Este reporte indica que:

"Dados los escasos conocimientos existentes acerca de ciertos efectos importantes que originan el aumento de nivel del mar, en el presente informe no se ha evaluado la verosimilitud ni se ha ofrecido una estimación óptima o una cota superior del aumento de nivel del mar. [...] Las proyecciones incorporan una contribución del aumento del flujo de hielo en Groenlandia y en la Antártida para las tasas observadas en 1993-2003, pero estas tasas podrían aumentar o disminuir en el futuro" (IPCC, 2007).

Curiosamente, esta evaluación de los posibles cambios futuros es bastante más incierta que la hallada en el reporte anterior *(IPCC, 2001)*, el cual establecía rangos firmes de posibles aumentos del nivel del mar. La referencia al flujo de hielo en Groenlandia y en la Antártida se aclara un poco más en la tabla del reporte (Tabla RRP.1) que presenta los rangos de estas proyecciones cuando se dice que estas fueron "... *obtenid[as] a partir de modelos, excluidos los cambios dinámicos rápidos futuros del flujo de hielo*" (IPCC 2007; cursivas añadidas). Dado que los modelos utilizados en este reporte reflejan el estado del conocimiento mundial sobre el cambio climático, puede parecer extraño que se hayan excluido esos cambios futuros en el flujo de hielo.

La razón del aparente descuido de este proceso es que sólo pocos años antes de la publicación del reporte se descubrió que los casquetes de hielo de Groenlandia y Antártica se podían derretir muy rápidamente, más de lo que se creía posible, gracias a flujos de hielo en forma de ríos intensos y movimientos glaciares más lentos que *no estaban representados en los modelos climáticos (véase Shepherd y Wingham, 2007)*. Debido a que el nivel de entendimiento de qué controlan estos flujos de hielo es bajo, su inclusión en la próxima generación de modelos climáticos será tentativo y, por lo pronto, no se puede decir si se acelerarán o desacelerarán y, por lo tanto, no se puede descartar que el nivel del mar vaya a aumentar dramáticamente, más que lo anteriormente previsto.

Irónicamente, la subestimación de la incertidumbre estructural será mayor cuando mayor sea la ignorancia sobre el tema. Esto debido a que la estimación de esta incertidumbre requiere imaginar la posibilidad de algo más allá de lo ya conocido que pudiera cambiar sustancialmente el resultado. Desafortunadamente, muchas veces se cree que nuestra incapacidad de imaginar otras posibilidades es evidencia de que no existen otras posibilidades.

La principal herramienta para reducir la incertidumbre estructural y para evitar el problema de la subestimación de la incertidumbre estructural es la investigación científica. Como fue el caso con el aumento de nivel del mar y los flujos de hielo, fue investigación básica la que llamó la atención sobre nuestra ignorancia sobre el tema y permitió una mejor evaluación de nuestra incertidumbre. Cabe enfatizar que el reporte del IPCC del 2007 proporciona información más útil que el del 2001, a pesar del mayor nivel de incertidumbre, ya que se acerca más a la realidad del estado de nuestro conocimiento y nos permitirá tomar mejores decisiones.

INCERTIDUMBRE Y CONOCIMIENTO

En la sección anterior se discutió un ejemplo en que una mejora en nuestro conocimiento de los procesos físicos que controlan el nivel del mar llevó a un aumento en nuestra estimación de la incertidumbre. Esto podría parecer poco intuitivo hasta que consideramos que lo que aumentó *no es la incertidumbre, sino nuestra estimación de ella*. Dicho de otra forma, ahora sabemos más y además tenemos una mejor idea de lo que no sabemos.

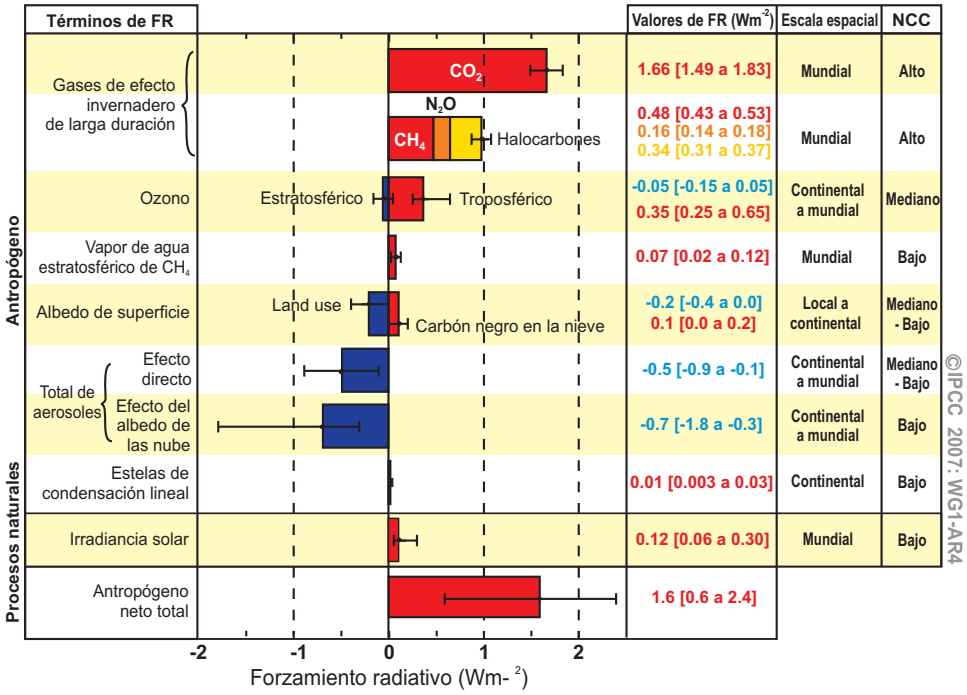


Figura 1. Estimaciones e intervalo de confianza al 90 % del forzamiento radiativo (FR) medio mundial en 2005, incluyendo el nivel de conocimiento científico (NCC) evaluado (ver leyenda completa en http://www.ipcc.ch/publications_and_data/ar4/wg1/es/figure-spm-2.html)

Un ejemplo de la relación entre conocimiento e incertidumbre se ve en la Figura 1, que muestra la estimación de los diferentes forzamientos radiativos (FR) que han actuado sobre nuestro planeta en el último siglo (*IPCC, 2007*). En esta figura además se presentan, como barras de error, los intervalos de confianza al 90 % (i.e. hay un 90 % de confianza en que los valores reales estarán dentro de esos intervalos) y también el nivel de conocimiento científico (NCC). Ambas provienen de una evaluación experta basada en la evidencia disponible, cálculos de modelos y el consenso en la comunidad científica.

En la Figura 2, podemos ver que el FR asociado al CO_2 es el mayor contribuyente y que la incertidumbre (el tamaño del intervalo de confianza) es relativamente pequeño. Esto no es sorprendente, ya que el mecanismo físico mediante el cual el CO_2 produce un calentamiento es bien conocido, lo cual se refleja en un alto NCC. Por otro lado, el efecto de los aerosoles en las nubes, si bien se cree que es negativo, tiene una incertidumbre muy grande en relación al mejor estimado y tiene un bajo NCC, asociado a falta de evidencia de un efecto global. Esta relación inversa entre incertidumbre, expresada como error relativo, y NCC se aprecia claramente en la Figura 2, en la que se incluyen todos los términos de FR de la Figura. 1.

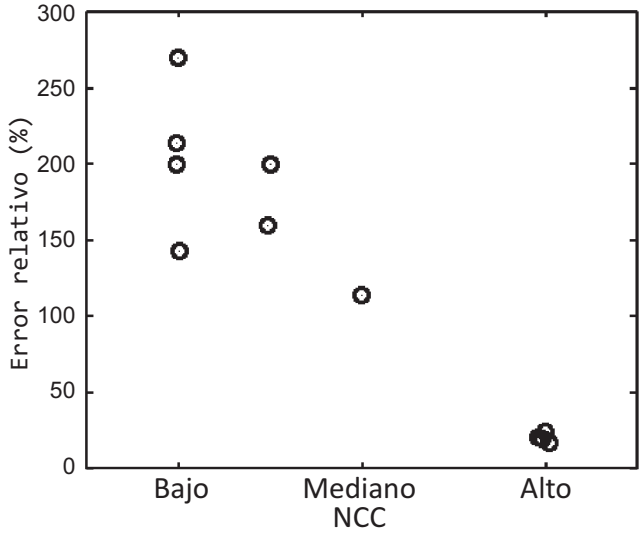


Figura 2. Error relativo (tamaño del intervalo de confianza entre magnitud del valor estimado) de los diferentes FR en la Figura 1 versus el nivel de conocimiento científico (NCC) correspondiente.

En general, esperamos que un mayor conocimiento llevará a una reducción de incertidumbre. En el caso de los FR, tanto el nivel de incertidumbre como el NCC nos indican la necesidad de investigar más los efectos radiativos de los aerosoles, por lo que actualmente esto es una prioridad de investigación a nivel internacional. Por otro lado, en el ejemplo del nivel del mar y los flujos de hielo, la incertidumbre y NCC estimados no sugerían mayor necesidad de estudios, por lo cual fue una sorpresa el descubrir la importancia de los flujos de hielo y la posibilidad de un rápido aumento de nivel del mar. Esto nos advierte que la investigación básica no puede dormirse en sus laureles y los científicos tienen que constantemente comprobar e investigar aquello que se cree conocido.

MODELOS CONCEPTUALES E INCERTIDUMBRE ESTRUCTURAL

Según Kuhn (*1962*), los modelos conceptuales establecidos (y las leyes cuantitativas asociadas) conforman un paradigma que para el científico es una lente a través de la cual observan el mundo y condiciona lo que busca observar. Debido a que la incertidumbre estructural se refiere a limitaciones o errores en la forma como nosotros creemos que funcionan las cosas, está íntimamente ligada a los modelos conceptuales que utilizamos para interpretar lo que observamos y puede tener impactos significativos sobre los resultados que obtengamos.

Si bien esto puede parecer un poco abstracto, tiene bastante relevancia para el problema del cambio climático. Como se mencionó anteriormente, una de las rutas de investigación en este tema consiste en explorar los datos observacionales del pasado para detectar la señal del cambio climático. En el panel superior de la Figura 3, se muestra la serie de tiempo de la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO en inglés) entre los años 1950 y 2009, a la cual se le ajustó una tendencia lineal, el modelo conceptual más simple de un cambio climático sostenido. El ajuste se ve adecuado, por lo cual uno podría concluir que estos datos proporcionan buena evidencia del cambio climático. Sin embargo, si repetimos el cálculo usando los datos empezando en el año 1900 (Figura 3, panel inferior), la tendencia desaparece[1].

La lección obvia es que el cálculo de tendencias tiene que ser hecha con las series más largas posible, debido a la existencia de variaciones decadales de origen natural. Sin embargo, si sólo tuviéramos datos a partir de 1950 y nuestro modelo conceptual consistiera únicamente en la existencia de tendencias asociadas al calentamiento global (y no hubiéramos visto en panel inferior de la Figura 3) hubiéramos interpretado el resultado incorrectamente.

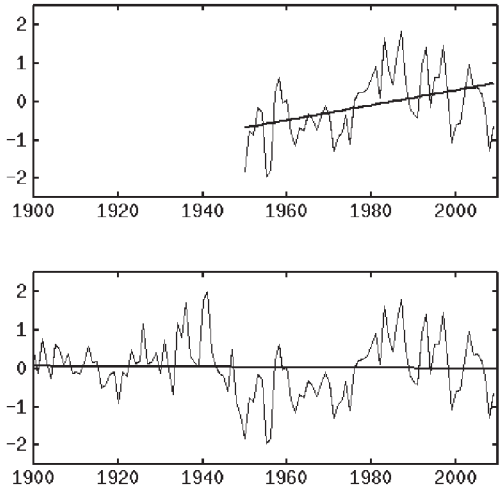


Figura 3. Serie temporal del índice anual de la Oscilación Decadal del Pacífico (http://jisao.washington.edu/pdo/) y la tendencia lineal para los periodos 1950-2009 (arriba) y 1900-2009 (abajo)

[1] El PDO se calcula con las temperaturas del Pacífico norte, pero primero se resta el promedio global de la temperatura, lo cual elimina la señal del calentamiento global en esta serie.

En el caso concreto de las temperaturas en el Perú, este tema es más que hipotético, ya que la mejor información observacional se tiene para el periodo de los años 1960 en adelante y hay pocas series que se extienden sustancialmente más hacia el pasado. Además, se sabe que tanto el fenómeno El Niño como el PDO afectan las temperaturas tropicales, de manera que es de esperar que el aumento en el PDO observado en la Figura 3 (panel superior) se refleje en las temperaturas costeras y altoandinas del Perú, por lo que parte del calentamiento sería natural y no asociado al calentamiento global *(Vuille y Bradley, 2000)*.

INVESTIGACIÓN Y CAMBIO CLIMÁTICO REGIONAL

A pesar de todas las incertidumbres asociadas a realizar proyecciones del cambio climático futuro, hay aspectos que se espera serán robustos, al menos cualitativamente. Por ejemplo, el planeta en promedio se calentará, el nivel del mar aumentará, la cobertura de nieve disminuirá, los continentes se calentarán más que los océanos, etc. (*IPCC, 2007*). La razón por la que se tiene confianza en estos cambios es que los principales procesos físicos responsables son simples, bien conocidos y directamente relacionables al forzamiento radiativo de los gases invernadero. Por otro lado, el cambio climático en regiones específicas dependerá de procesos físicos específicos a la región y la relación con el forzamiento será indirecta, probablemente a través de una cadena de factores intermedios que pueden involucrar patrones de circulación, nubosidad, corrientes oceánicas, etc.

En el Perú, existen muy pocos estudios sobre los procesos físicos relevantes al cambio climático a escala regional, los principales esfuerzos se han dedicado al análisis empírico de observaciones pasadas. Sin embargo, los resultados pueden parecer inesperados, como el aparente aumento en la frecuencia de heladas en la cuenca del río Mantaro *(Trasmonte et al., 2008)*, y sólo cuando se pueda ofrecer alguna explicación basada en procesos físicos y esta hipótesis se pueda verificar en forma independiente, se puede empezar a creer en este resultado. Como decía Carl Sagan, *"afirmaciones extraordinarias requieren evidencia extraordinaria"*. En caso contrario, el investigador debería mantener su escepticismo hasta adoptar la hipótesis nula de que hay algo errado en los datos o el análisis.

En el caso de los cambios en la frecuencia heladas, es probable que estas estén asociadas a cambios en la nubosidad, los cuales a su vez estén asociadas a cambios en la distribución o intensidad de las lluvias y/o en los patrones de circulación atmosférica. Esto sugiere que, para poder realizar una proyección del cambio climático para una región, ya sea utilizando modelos numéricos, técnicas empíricas o cualitativamente, el investigador debería convertirse previamente en un experto sobre el clima actual de esa región particular.

COMENTARIOS FINALES

En este artículo no se pretende presentar nuevos resultados sobre el cambio climático, sino presentar las apreciaciones del autor sobre algunos aspectos que deben ser considerados al realizar trabajos de investigación sobre cambio climático en nuestro país. Esto es particularmente relevante debido a que el tema de cambio climático está siendo adoptado por los gobiernos regionales, los cuales probablemente tendrán que liderar estudios para sus respectivas regiones.

En la medida que verdaderamente se crea que estos estudios son importantes y de utilidad, la información generada deberá ser de la mejor calidad posible y con los niveles de incertidumbre estimados en la forma más honesta. De otra manera, los procesos de adaptación podrían luego implementarse para los cambios climáticos equivocados, en detrimento de la población. Dado que, posiblemente no todas las regiones cuenten con investigadores experimentados en el tema, debe buscarse la colaboración con instituciones de investigación y universidades para desarrollar capacidades a la vez que se realizan los estudios.

El mensaje principal de este artículo es que el cambio climático es un tema de investigación que debe desarrollarse con todo el rigor científico. No podemos conformarnos con nada menos que con trabajos del mejor nivel internacional. No existen metodologías infalibles y no hay garantía de que se va a lograr resolver todas las interrogantes, pero así es la naturaleza de la investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

IPCC. 2000. *Special Report on Emission Scenarios*. N. Nakicenovic and R. Swart (Eds.), Cambridge University Press, UK. pp. 570

IPCC. 2001. *Climate Change 2001: The Scientific Basis*.

IPCC. 2005. Guidance Notes for Lead Authors of the IPCC Fourth Assessment Report on Addressing Uncertainties.

IPCC. 2007. *Climate Change 2007. Informe de Síntesis*. Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (Eds.).
Kuhn, T., 1962: *The Structure of Scientific Revolutions.*

Oppenheimer, M., O'Neill, B. C., Webster, M., y Agrawala, S. 2007. Climate change: The limits of consensus. *Science* 317, 1505 – 1506

Shepherd, A., y Wingham, D. 2007. Recent sea-level contributions of the Antarctic and Greenland ice sheets. *Science* 315, 1529-1532.

Trasmonte, G., Chávez, R., Segura, B., y Rosales, J. L. 2008. Frost risks in the Mantaro river basin. *Advances in Geosciences* 14, 265-270.

Vuille, M. y Bradley, R. S. 2000. Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. *Geophysical Research Letters* 27. 3885-3888.

Almacenamiento de carbono y flujo de CO_2 en los suelos con plantaciones de tres especies forestales – valle del Mantaro

Vicente Dávila, Franco Retamozo
Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente
Universidad Nacional del Centro del Perú - Huancayo

Luis Suarez
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Ambiental
Universidad Alas Peruanas - Filial Huancayo
doctorozono@yahoo.com

RESUMEN

Este estudio se desarrolló en tres zonas dentro del valle del Mantaro: el bosque del fundo "El Porvenir" (*Eucalyptus globulus* Labill), *el* bosque de la comunidad de Chamiseria (*Pinus radiata* D.Don) *y el bosque Dorado* - anexo de Paccha (*Polylepis incana* H&B). Se utilizaron parcelas de 50 m x 50 m, 20 m x 20 m y 10 m x 30 m, respectivamente, siendo en total 9 parcelas para cada lugar. Se realizó un muestreo de biomasa arbórea (inventario forestal) con la finalidad de cuantificar el almacenamiento de carbono y obtener la cantidad de CO_2 capturado por la biomasa total. La biomasa del sotobosque, fue recolectada en una subparcela de 1 m^2, dentro de cada parcela. Así, se obtuvo para el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill un almacenamiento de carbono de 234,22 tC/ha; para el bosque de *Pinus radiata* D.Don un almacenamiento de carbono de 141,50 tC/ha y para el bosque de *Polylepis incana* H&B un almacenamiento de carbono de 156,45 tC/ha.

Se capturó CO_2 de la atmósfera y se incorporó a la biomasa total (madera, ramas principales y secundarias, hojas, raíces y suelos), 63,88 tCO_2/ha en el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill, 38,59 tCO_2/ha en el bosque de *Pinus radiata* D.Don y 42,67 tCo_2/ha en el bosque de *Polylepis incana* H&B. Las mediciones de flujo de CO_2 de los suelos se realizaron utilizando el equipo EGM4 analizador de gas infrarrojo (IRGA); la temperatura y la humedad se midieron de manera independiente. Los valores de la mediana del flujo de $C0_2$ en el suelo fueron medidos en los meses de la época seca (mayo, junio, julio, agosto y septiembre). Para el bosque de *Eucalyptus globulus* Labill se reportó un flujo de CO_2 de 170,00 mg/m^2/h, en el bosque de *Pinus radiata* D.Don se obtuvo un flujo de CO_2 de 165,00 mg/m^2/h y en el bosque de *Polylepis incana* H&B, un flujo de CO_2 de 530,00 mg/m^2/h. Finalmente, se tomaron muestras de suelo (5 cm de profundidad), para determinar el contenido de carbono orgánico y nitrógeno disponible; con la finalidad de analizar su influencia sobre el flujo de CO_2.

INTRODUCCIÓN

Durante los últimos años se ha dado especial atención al rol que tienen los ecosistemas terrestres en el ciclo del carbono global. La región andina cubre una importante área del territorio del Perú, cerca del 35 % y contiene áreas boscosas de importancia tanto para la subsistencia de personas que viven en los alrededores y también como integrante del ecosistema andino. Pese a ello no existen datos sobre su rol en el ciclo del carbono.

Por ello, este estudio evaluó las variaciones en el contenido de carbono y flujo de CO_2 en los suelos que hay entre 3 bosques de diferentes especies forestales característicos de la región andina. Se ubicaron las plantaciones de eucalipto, pino y quinual en el valle del Mantaro; esto con el fin de mejorar la información del rol que cumplen los suelos de los andes peruanos en la captación y emisión de CO_2.

MATERIAL Y MÉTODO

El trabajo se realizó en tres plantaciones dentro del valle del Mantaro, departamento de Junín – Perú. La plantación de *Eucalyptus globulus* Labill (fundo El Porvenir*), se encuentra a 3 267 msnm; el estudio fue realizado sobre una extensión de 79,43 ha.* La plantación de *Pinus radiata* D.Don (comunidad campesina de Chamiseria) *se localiza a 3 676 msnm, el estudio se realizó sobre una extensión de 12,17 ha.* La plantación de *Polylepis incana* H&B (anexo de Paccha*) se encuentra a 3 747 msnm, el estudio fue realizado sobre una extensión de 4,15ha.*

Los equipos utilizados fueron: medidor de CO_2 sistema IRGA de cámara cerrada, sensores digitales (Thermometer and Hygrometer), cámara fotográfica digital, Geo- posicionador (GPS), clinómetro sunto, horno de secado 0 – 250 °C, balanza analítica y peachímetro. Las herramientas fueron: caseta meteorológica, marco para muestreo de arbustos y hojarasca (1 m^2), cilindros de volumen conocido (100 cm^3), tubos PVC (10 cm longitud y 5 cm diámetro), cinta métrica, picos, palas, tijeras de podar, cordel, bolsas de polietileno y etiquetas.

Se utilizó el método de análisis - síntesis, observación y descripción. En el bosque de eucaliptos, se consideró un área 79,43 ha, donde se llevó a cabo un inventario forestal a una intensidad de muestra de 2,83 %, se establecieron 9 parcelas cuadradas concéntricas de (50 m x 50 m), fueron distribuidas sistemáticamente: tres en la parte baja, tres en la parte media y tres en la parte alta del área de estudio. En el bosque de pinos, se observó un área 12,17 ha, donde se realizó un inventario forestal a una intensidad de muestreo de 2,96 %, se instalaron 9 parcelas cuadradas concéntricas de (20 m x 20 m), distribuidas sistemáticamente. En el bosque de quinual, se consideró un área 4,15 ha, y se ejecutó un inventario forestal con una intensidad de muestreo de 6,51 %, se instalaron 9 parcelas rectangulares de (10 m x 30 m) distribuidas en forma sistemática. En cada parcela se instaló una subparcela de 1 m^2 para determinar el almacenamiento de carbono del sotobosque (arbustos y hojarasca), suelo y la medición del flujo de CO_2, que se realizó en la parte central de cada parcela, este último proceso se siguió para los tres bosques.

DISCUSIÓN

Contenido de carbono en bosques

El bosque de *Eucalyptus globulus* Labill tiene mayor contenido de carbono con 234,22 tC/ha, seguido del bosque de *Polylepis incana* H&B con 156,45 tC/ha y por último, el bosque de *Pinus radiata* D.Don con 141,50 tC/ha. Esta diferencia entre las cantidades de carbono por hectárea es estadísticamente significativa y se debe a varios factores.

Uno de ellos es la edad de los bosques, los dos primeros tienen más de 40 años, tiempo en el que han capturado una mayor cantidad de carbono y lo han depositado en el suelo, a diferencia del tercer bosque que tiene una edad de 25 años. El inventario de carbono en el suelo confirma esta teoría (*Eucalyptus globulus* Labill: 83,27 tC/ha, *Polylepis incana* H&B: 53,08 tC/ha y *Pinus radiata* D.Don: 51,26 tC/ha en el suelo).

Otro factor es la dendrología de las especies, esto se refiere a las formas y constitución de los bosques. En primer lugar, el *Eucalyptus globulus* Labill es una especie de gran altura, fuste recto, diámetro regular y hojas grandes, tiene mayor captura de carbono en fuste y hojas. En segundo lugar, el *Polylepis incana* H&B es una especie de forma irregular tiene varias ramificaciones de buen diámetro esto hace que exista un buen almacenamiento de carbono en la biomasa aérea. Por último, el *Pinus radiata* D.Don es una especie de buena altura, fuste recto, hojas compuestas (acículas), lo cual difiere de las anteriores.

El relieve del suelo, es otro factor que tiene influencia en la captura de carbono en los bosques. El bosque de *Eucalyptus globulus* Labill tiene un relieve casi plano con pendientes leves en algunos sectores, esto facilita la acumulación de hojarasca y carbono en el suelo, el bosque de *Polylepis incana* H&B tiene un relieve más ondulado con colinas de pendientes leves a moderadas, por esta razón se encontró mayor carbono en suelo y sotobosque en estas plantaciones. En el bosque de *Pinus radiata* D.Don el relieve se presenta con pendientes fuertes lo cual no permite la acumulación constante de hojarasca ni carbono en el suelo, esto se debe al escurrimiento superficial en época lluviosa que se lleva parte de la materia acumulada e inicia procesos de erosión.

Flujo de CO_2 del suelo

La Figura 1 muestra los resultados obtenidos en el presente estudio. El flujo de CO_2 en el bosque de *Polylepis incana* H&B es mayor a 530 mg/m^2/h, esto se atribuye a la cantidad de materia orgánica (hojarasca) que se encuentra en el suelo, lo que incrementa la acción de descomposición de los microorganismos aumentando la producción de CO_2; también se le atribuye a la edad del bosque como un factor influyente, ya que cuando un bosque tiene mayor antigüedad facilita la formación y establecimiento de comunidades de microorganismos especializados en la degradación.

Además, entre los bosques de *Polylepis incana* H&B y *Pinus radiata* existe una diferencia significativa con valores altos. Entre los bosques de *Polylepis incana* H&B y el *Eucalyptus globulus* Labill también existe diferencia significativa, pero entre los bosques del *Eucalyptus globulus* Labill y *Polylepis incana* H&B no hay diferencia significativa.

Para las plantaciones de Eucalyptus globulus Labill y Pinus radiata D.Don los valores encontrados son 170 mg/m^2/h y 165 mg/m^2/h de CO_2 respectivamente, obteniendo valores cercanos entre ellos. A diferencia del Bosque de Polylepis incana H&B, que tiene un promedio de 530 mg/m^2/h de Co_2.

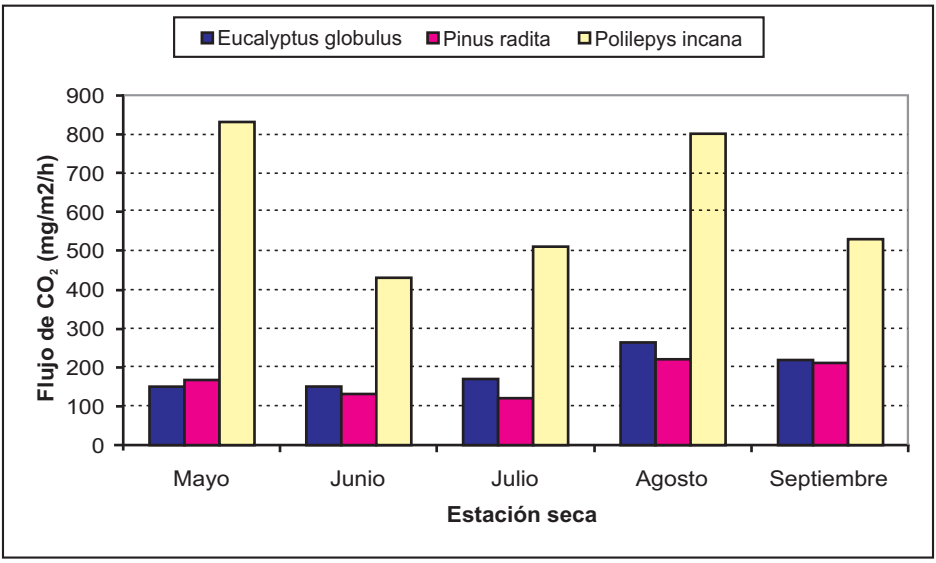


Figura 1: variaciones del flujo de CO_2 en el suelo de las tres plantaciones forestales típicas de la región andina.

AGRADECIMIENTOS

Al M.Sc. Mauro Rodríguez, de la Facultad de Ciencias Forestales y del Ambiente de la Universidad Nacional del Centro del Perú, por su asesoría profesional en temas forestales. A Bart Kruijt de la Universidad de Wageningen por la compra del equipo de medición de CO_2.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Catpo, J. 2004. *Determinación de la ecuación alométrica de Pinus patula y estimación del contenido de carbono en su biomasa Arborea en Porcon, Cajamarca*. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Forestal– Perú, Universidad Agraria La Molina.

Dueñas, C., Fernández, M. C., Carretero, J., Liger, E., Pérez, M. 1995. *Emissions of CO_2 from some soils*. Chemosphere 30, 1875-1889.

EEI. 1997. *Canadian Environmental agency, environmental issues*. Obtenido en agosto, 2007.

Eguavil, M., Orellana, D. 2007. *Efecto de la cobertura vegetal y la quema en el flujo de CO_2 de los suelos en al E.E.A – Satipo.* Tesis para obtener el grado de Ingeniero Forestal y Ambiental – Perú, Universidad Nacional del Centro del Perú.

Gamarra. 2001. *Estimación del contenido de carbono en plantaciones de Eucalyptus globulus Labill.* Hualhuas, Junín. Tesis para obtener el grado de Ingeniero Forestal – Perú Universidad Nacional del Centro del Perú.

GCCIP. 1997. *Global climate change information programme.* Obtenido en Julio, 2007.

Guerra C. J. 2001. *Evaluación de la biomasa radical gruesa en la especie Nothofagus alpina (OPER, et Moll) Oerst (Raulí), en la provincia de Malleco.* Tesis Ing. Forestal. Universidad Austral de Chile.

Houghton, J. T, Y. Ding, D.J. Griggs, M. Noguer, P. J. van der Linden and D. Xiaosu. *Climate change 2001: the scientific basis. Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC).* Cambridge University Press, UK. 2001

Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 1996. National Greenhouse gas inventories programme, Cambridge, Inglaterra.

Internacional Panel on Climate Change (IPCC), 2007 – fourth assessment Report, Cambridge University Press, Cambridge. Inglaterra.

MackDicken, K. G. A. 1997. *Guide to monitoring carbon storage in forestry and agroforestry projects.* 87p. Folleto. Renewable Energy Division.

Schlegel, B. et al. 2000. *Manual de procedimientos muestreos de biomasa forestal.* Valdivia, Chile, Universidad Austral de Chile (UACH).

Schlegel, B. y Ganoso, J. y Guerra, J. 2001. *Manual de procedimientos para inventarios de carbono en ecosistemas forestales.* Valdivia, Chile. Universidad Austral de Chile (UACH).

Silva de Zousa J. 2005. *Dinámica espacial e temporal do fluxo de CO_2 de solo em floresta de terra firme na Amazónia Centra.* Disertación de Maestría (no publicado), curso de ecología – INPA. Brasil.

WMO. 1986. *A report of the International Conference on the Assessment of Carbon Dioxide and Other Greenhouse Gases in Climate Variations and Associated Impacts.* WMO Nº 661. In: Our Common Future WCED, 1990. 400.

Determinación de la predictibilidad de las lluvias en Huayao mediante el análisis de correlación utilizando las variables ERSST y PDO

Karen Latínez
Investigación en Prevención de Desastres Naturales
Instituto Geofísico del Perú
klatinez@geo.igp.gob.pe

RESUMEN

Se utilizaron datos de precipitaciones y temperaturas en la estación de Huancayo (sito Huayao – Huancayo – Junín) desde 1921 a 2000, con los cuales calcularon las correlaciones de las series completas y las correlaciones por períodos de 20 años, las variables utilizadas para calcular las correlaciones fueron precipitación de Huayao, los índices Niño reconstruidos (ERSST por sus siglas en inglés; Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4) y la PDO (*Pacific Decadal Oscilation*, Oscilación Decadal del Pacífico). Se segmentó en periodos para probar que la correlación en cada periodo tiene las mismas características en los otros periodos, así se obtuvieron cuatro periodos de análisis: 1921 – 1940; 1941 – 1960, 1961 – 1980, 1981 – 2000. En este estudio se calcularon las correlaciones de PDO y ERSST con la precipitación mensual de Huayao.

Las correlaciones con las series completas mostraron que en el mes de enero la correlación con PDO desfasado un mes, es más alta que la correlación sin desfase (rho1 = 0.3926 y rho = 0.3384). En febrero se observó las mismas características tanto para PDO como para Niño 1+2, Niño 3 y Niño 3.4. En los meses de marzo, septiembre, octubre, noviembre y diciembre las correlaciones fueron muy bajas, menos de 0,25.

INTRODUCCIÓN

En la cuenca del río Mantaro, la predictibilidad de las lluvias es desconocida, dar un pronóstico mensual de cuándo y cuánto lloverá es muy difícil debido a las características geográficas de la zona e influencia de otros fenómenos físicos aún desconocidos, que hacen que esta zona se vea expuesta a una alta variabilidad climática. Además, la cuenca del río Mantaro es uno de los centros agrícolas más importantes de la zona central del Perú, aquí radica la importancia de los pronósticos. La agricultura y otras actividades agrícolas dependen significativamente de la precipitación y temperatura, por esto, se tiene la necesidad de identificar las variables que puedan ayudar a la realización de pronósticos confiables y oportunos, estas variables servirán como posibles predictores. En esta investigación sólo se analizaron precipitaciones. En próximos estudios se analizarán temperaturas extremas.

Este estudio es del tipo retrospectivo, se desarrolló así con el fin de caracterizar las correlaciones existentes de la lluvia con las temperaturas superficiales del mar (ENSO) y la oscilación decadal del Pacífico (PDO); y establecer si existe persistencia de la correlación que indique cierto grado de predictibilidad de las lluvias en Huayao.

Se escogieron estas variables porque tienen una influencia muy importante sobre otras zonas geográficas.

En el campo de la estadística la correlación no implica causalidad, es decir, la correlación no puede ser utilizada para inferir una relación de causalidad entre variables[1]. Esta cita no quiere decir que la correlación no pueda indicar la potencial existencia de relaciones de causalidad. El cálculo de las correlaciones en principio se hizo con toda la data; se decidió calcular las correlaciones por períodos de 20 años y verificar así la persistencia de estas en el tiempo. Debido a que cada período es independiente del otro, se pudo comparar para probar la causalidad de cada fenómeno. Una vez obtenidos los resultados podremos decir si existe relación entre la lluvia y una de las variables, en consecuencia se podría estimar los efectos de una de las variables sobre la lluvia.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los coeficientes de correlación fueron calculados utilizando el método de Pearson, que es una sola medida de asociación entre dos variables. Una manera de ver a la correlación de Pearson es como un ratio de la covariancia muestral de dos variables y el producto de dos desviaciones estándar, como se muestra a continuación:

$$r_{xy} \quad \frac{\mathrm{cov}\ x, y}{s_x s_y}$$

$$r_{xy} \quad \frac{\frac{1}{n\ 1}\ \sum_{i\ 1}^{n} x_i \quad \bar{x} \quad y_i \quad \bar{y}}{\sqrt{\frac{1}{n\ 1}\ \sum_{i\ 1}^{n} x_i \quad \bar{x}^{\ 2}}\ \sqrt{\frac{1}{n\ 1}\ \sum_{i\ 1}^{n} y_i \quad \bar{y}^{\ 2}}}$$

Dado que los datos presentan autocorrelación, esto genera que la variancia de la muestra promedio de los datos autocorrelacionados sea mayor que la variancia de los independientes. Para salvar este problema se asume que la autocorrelación es de primer orden, que es caracterizada por $_1$, el coeficiente de autocorrelación de lag-1. Usando esta correlación, el tamaño de muestra efectivo se puede estimar usando la aproximación:

$$n' \quad n \ \frac{1 \quad _1}{1 \quad _1}$$

[1]Aldrich, John. 1995. "Correlations Genuine and Spurious in Pearson and Yule". Statistical Science 10 (4): 364-376. http://www.jstor.org/stable/2246135.

Luego, se utilizó la transformación Z de Fisher de la correlación. Esta no es la transformación Z que se usa cuando se estandarizan datos. Usualmente se denota como r', y tiene la siguiente expresión:

$$r' \quad 0.5 \quad Ln \quad Abs \quad \frac{1 \quad r}{1 \quad r}$$

Donde: $Abs \quad x$ es el valor absoluto de x. El error estándar de r' se denota $s_{r'}$ y tiene un valor de $1/\sqrt{n \quad 3}$ donde n es el número de sujetos envueltos en la correlación. Una vez hecho esto se pudo calcular un estadístico Z para la diferencia entre dos valores r':

$$Z_c \quad \frac{r_1' \quad r_2'}{\sqrt{\frac{1}{n_1 \quad 3} \quad \frac{1}{n_2 \quad 3}}} \quad : \quad N \quad 0,1$$

Cuando se quiere determinar una hipótesis de comparación de correlaciones se utilizan los siguientes criterios para tomar una decisión:

1. Cuando la hipótesis alternativa es de dos colas:

$H_0 : r_1' \quad r_2'$
$H_1 : r_1' \quad r_2'$ Se rechaza H_0 cuando $|Z_c| \quad Z_{1 \quad \frac{}{2}}$

2. Cuando la hipótesis alternativa es de una cola:

a) $H_0 : r_1' \quad r_2'$
$H_1 : r_1' \quad r_2'$ Se rechaza H_0 cuando $Z_c \quad Z_1$

b) $H_0 : r_1' \quad r_2'$
$H_1 : r_1' \quad r_2'$ Se rechaza H_0 cuando $Z_c \quad Z$

***Información meteorológica**:*

Precipitación.- La precipitación fue obtenida de la estación de Huancayo, que se encuentra a una altura de 3 350 msnm, longitud 75.30° O y latitud 12.00° S. El período de estudio comprende desde septiembre de 1921 hasta diciembre de 2000.

PDO.- Oscilación Decadal del Pacífico (Pacific Decadal Oscillation) es un patrón de larga duración de la variabilidad climática del Pacífico como El Niño *(Zhang et al. 1997)*. La PDO es a menudo cuantificada por el uso de un índice, denominado índice de PDO. El índice de PDO es calculado utilizando el promedio espacial mensual de la temperatura superficial del mar (TSM) del norte del océano Pacífico a 20° N. El período de estudio comprende desde 1921 hasta 2000.

Las regiones Niño, son una muestra de la temperatura superficial del mar (TSM) del Pacífico tropical. Esta región ha sido dividida en un número de regiones denominadas Niño 1, 2, 3, 4 y 3.4 (que abarca parte de las regiones 3 y 4).

Niño 1+2.- La región 1+2 es la unión de las regiones Niño 1 y 2, que está definida por 0 – 10°S y 90°W - 80°W.

Niño 3.- La región Niño 3 está definida por 5°N – 5°S y 150°W – 90°W.

Niño 4.- La región Niño 4 está definida por 5°N – 5°S y 160°E – 150°W.

Niño 3.4.- La región Niño 3.4 que abarca parte de las regiones 3 y 4, está definida por 5°N – 5°S y 170°W – 120°W.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las correlaciones de cada período se encuentran en el Anexo 1.

Las correlaciones de la lluvia de febrero con PDO muestran que en el último período de 1981 – 2000, la magnitud de la correlación cambia de signo, esto se debe al cambio de fase de la PDO, el cual se observa a partir de 1976. Se puede observar que la PDO tiene mayor correlación sin desfase, es muy probable que la PDO influya directamente en la precipitación de febrero. Esto se repite en dos de los cuatro períodos estudiados, por lo que se puede decir que la mayor correlación observada probablemente ocurre cuando la PDO no tiene desfase.

Asimismo, la correlación de precipitación de febrero con PDO de enero es alta para el último período, llegando a casi 0,4; sin embargo, esto podría deberse a una casualidad, ya que no se repite en los otros períodos. Se observa en el segundo período que tiene un pico negativo en la correlación; es muy probable que este también sea producto de la casualidad ya que las otras series no presentan este comportamiento.

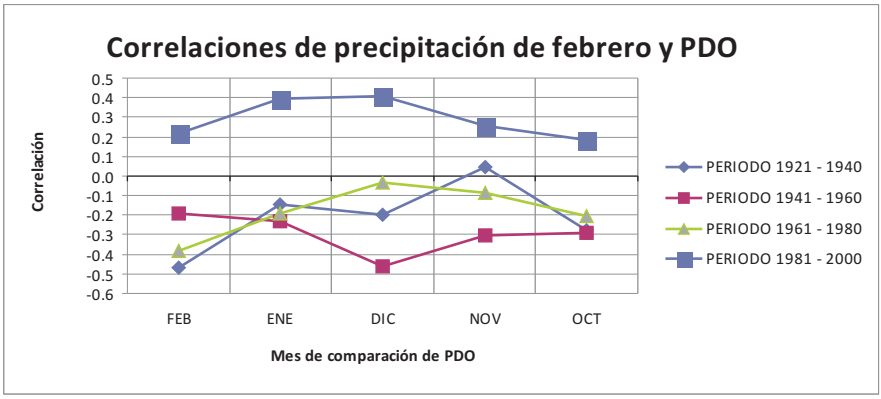


Figura 1. Correlación entre precipitación de febrero y PDO

Se puede observar en la Figura 2 que las correlaciones más altas se dan cuando Niño 1+2 tiene un desfase de un mes. En tres de los cuatro períodos, la correlación con un mes de desfase es mayor que las correlaciones sin desfase, esto nos da la certeza de que no se trata de una coincidencia, sino de un fenómeno persistente. Entonces, se podría utilizar Niño 1+2 de enero como predictor de lluvias en febrero.

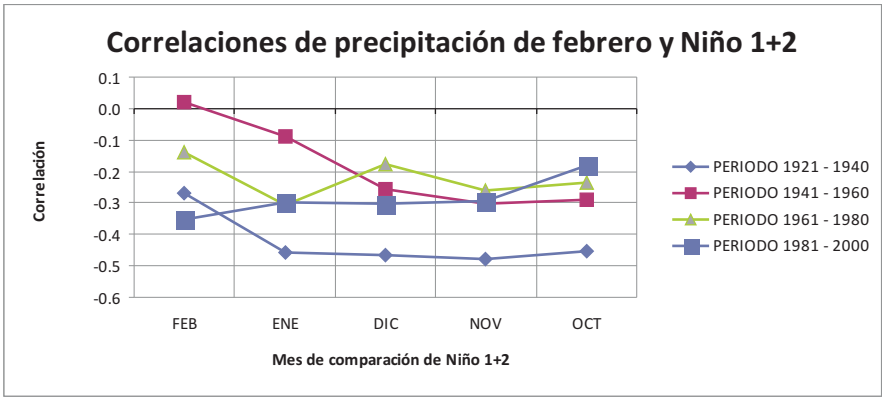


Figura 2. Correlación entre precipitación de febrero y PDO

La correlación de Niño 3 (Figura 3) con un mes de desfase es mayor que la correlación sin desfase en tres de los cuatro períodos, entonces podríamos afirmar que se pueden hacer predicciones de lluvias de febrero con Niño 3 de enero.

La correlación tuvo mayor magnitud en el primer periodo, entre los años 1921 y 1940, observándose un pico de –0,61 cuando Niño 3 tiene un mes de desfase. En la Figura 3 se puede observar que no hay diferencias marcadas entre la correlación de enero y la correlación de febrero. Asimismo, se puede afirmar que la correlación de enero y la de febrero son similares en todos los períodos, bajo un nivel de significación de 0,1.

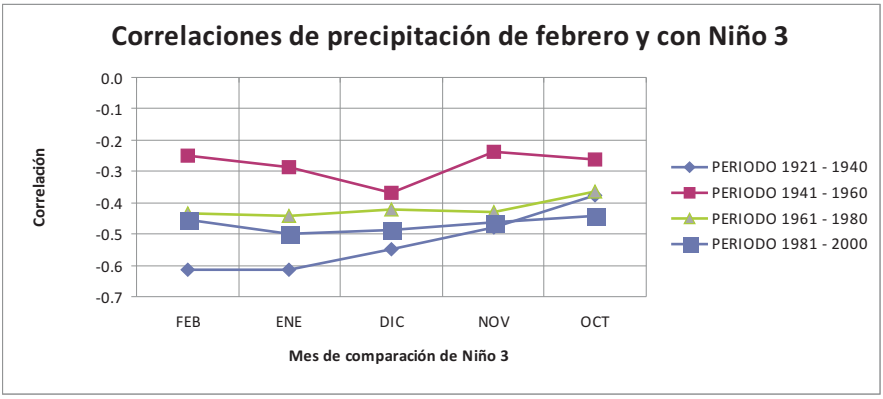


Figura 3. Correlación entre precipitación de febrero y Niño 3

La correlación con Niño 4 de enero (Figura 4) es mayor en tres periodos, y en el restante es muy similar a la correlación de Niño 4 sin desfase. Esto indica que Niño 4 con un mes de anticipación se puede usar como predictor en las lluvias de febrero; además, estas correlaciones son significativas a un nivel de 0,1.

El segundo periodo (1941 – 1960) presenta sus mayores magnitudes pero debido a que no se repite en los otros periodos no se puede afirmar que Niño 4 con desfase de dos o tres meses pueda ser utilizado como predictor de las lluvias de febrero en Huayao.

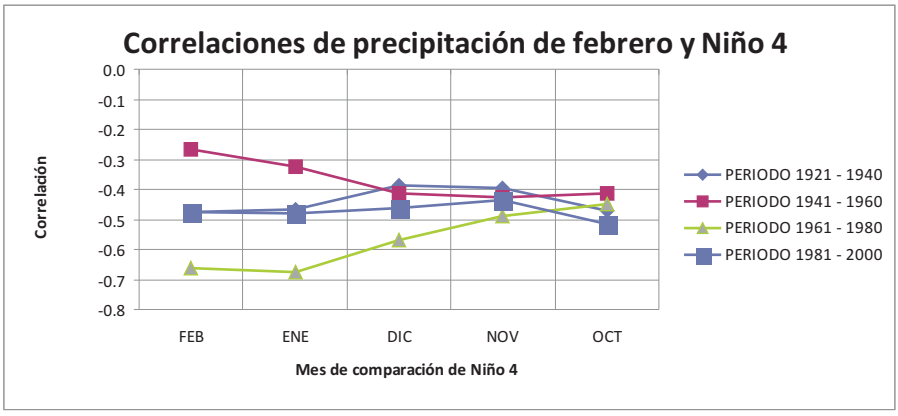


Figura 4. Correlación entre precipitación de febrero y Niño 4

La correlación con Niño 3.4 (Figura 5) sin desfase es mayor en magnitud en tres periodos en comparación con la correlación con un mes de desfase, sin embargo, a un nivel de significancia de 0,1 estas correlaciones no difieren significativamente, por lo que se puede decir que son similares. Entonces Niño 3.4 se puede utilizar como predictor de lluvias de febrero, con o sin desfase, con fines de pronóstico se puede utilizar un mes de desfase.

Al comparar los dos primeros periodos sólo con los valores de r que resultaron significativos previamente, se obtuvo que las lluvias de febrero están correlacionadas con la temperatura de Niño 4 de octubre, y la diferencia entre ambas correlaciones es no significativa. Es decir, en ambos periodos de tiempo la correlación es significativa y de similar magnitud. Esta correlación es negativa, mientras la temperatura en la región Niño 4 aumenta, la precipitación disminuye y el grado de relación es aproximadamente 0,45.

El segundo periodo es el que presenta menos magnitud de la correlación, teniendo una magnitud máxima en diciembre. Este comportamiento no es visto en los otros periodos, por lo que no se puede afirmar que haya una relación de causa efecto entre la lluvia de febrero y Niño 3.4 de diciembre del año anterior. Estos resultados pueden ser causa del azar.

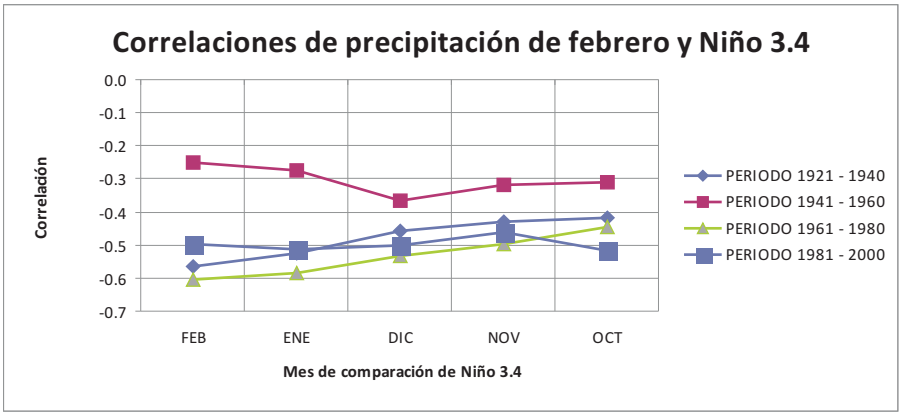


Figura 5. Correlación entre precipitación de febrero y Niño 3.4

CONCLUSIONES

Las lluvias de la estación de Huancayo – Huayao, tienen una predictibilidad asociada a los índices Niño, principalmente en el mes de febrero con las zonas Niño de un mes de desfase, en la mayoría de los casos. En otros meses, las correlaciones no tienen la magnitud suficiente como para dar conclusiones fiables. Por esto sólo se presentan las conclusiones de las lluvias de febrero. En estudios del pico de precipitación tenemos la certeza de que al menos con un mes de anticipación podemos tener una aproximación de la cantidad de lluvia total mensual que se tendrá.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aldrich, John. 1995. *Correlations genuine and spurious in pearson and yule*. Statistical science 10 (4): 364-376.

Daniel S. Wilks. 1995. *Statistical methods in the atmospheric sciences.* Academic Press*:* 125 – 129.

PERIODO 1921 - 1940

Precipitación Enero al 90%

PP	ENE	DIC	NOV	OCT	SEP
PDO	**0.3938** *	0.1254 ns	-0.0864 ns	-0.1139 ns	0.0073 ns
N12	-0.0679 ns	0.1012 ns	0.1083 ns	0.2320 ns	**0.3915** *
N3	-0.0083 ns	-0.0215 ns	0.0706 ns	0.2480 ns	0.1565 ns
N4	0.2139 ns	0.0221 ns	-0.1653 ns	-0.1433 ns	-0.1393 ns
N34	0.1047 ns	-0.0468 ns	-0.1030 ns	-0.0007 ns	-0.0839 ns

Precipitación Febrero

PP	FEB	ENE	DIC	NOV	OCT
PDO	**-0.4672** *	-0.1426 ns	-0.1978 ns	0.0475 ns	-0.2748 ns
N12	-0.2695 ns	-0.4562 *	-0.4653 *	**-0.4800** **	-0.4536 *
N3	**-0.6147** ***	**-0.6141** ***	-0.5505 **	-0.4782 **	-0.3755 ns
N4	**-0.4740** **	**-0.4679** *	-0.3888 ns	-0.3946 ns	-0.4720 **
N34	**-0.5640** **	**-0.5253** **	-0.4567 *	-0.4308 *	-0.4177 *

0.1 * 0.05 ** 0.01 ***

Precipitación Marzo

PP	MAR	FEB	ENE	DIC	NOV
PDO	**-0.4120** *	-0.2534 ns	-0.1805 ns	-0.1527 ns	-0.0326 ns
N12	0.1435 ns	-0.1313 ns	-0.2374 ns	**-0.4380** *	-0.4298 *
N3	-0.3724 ns	-0.4816 **	-0.5069 **	**-0.5128** **	-0.4773 **
N4	-0.3473 ns	-0.4360 *	-0.4450 *	-0.4579 **	**-0.5009** **
N34	-0.4160 *	-0.4823 **	-0.4845 **	-0.4737 **	**-0.4912** **

Precipitación Setiembre

PP	SET	AGO	JUL	JUN	MAY
PDO	-0.0193 ns	0.2693 ns	0.2496 ns	0.2145 ns	-0.2074 ns
N12	-0.0167 ns	-0.0877 ns	0.1014 ns	0.1404 ns	0.2233 ns
N3	0.1485 ns	0.0762 ns	0.0681 ns	0.1896 ns	0.1851 ns
N4	0.0154 ns	0.0127 ns	-0.1220 ns	0.0566 ns	-0.0028 ns
N34	0.0948 ns	0.0592 ns	-0.0382 ns	0.1057 ns	0.0463 ns

Precipitación Octubre

PP	OCT	SET	AGO	JUL	JUN
PDO	-0.0565 ns	-0.0727 ns	-0.3149 ns	-0.1873 ns	-0.3042 ns
N12	-0.0353 ns	-0.004602 ns	0.2260 ns	0.2014 ns	0.1152 ns
N3	0.0552 ns	0.0937 ns	0.2014 ns	0.1487 ns	0.0723 ns
N4	0.1803 ns	0.0145 ns	-0.1751 ns	-0.1717 ns	-0.1828 ns
N34	0.1605 ns	0.0649 ns	-0.0248 ns	-0.0703 ns	-0.0951 ns

Precipitación Noviembre

PP	NOV	OCT	SET	AGO	JUL
PDO	0.2271 ns	0.2873 ns	0.1951 ns	0.2700 ns	0.3365 ns
N12	0.0808 ns	0.1646 ns	0.2440 ns	0.2246 ns	0.1963 ns
N3	0.1819 ns	0.2174 ns	0.2151 ns	0.2267 ns	0.2476 ns
N4	0.2111 ns	0.3868 ns	0.3290 ns	0.2220 ns	0.2462 ns
N34	0.2065 ns	0.3189 ns	0.2709 ns	0.2395 ns	0.2815 ns

Precipitación Diciembre

PP	DIC	NOV	OCT	SET	AGO
PDO	0.0483 ns	-0.2153 ns	0.1749 ns	0.0007 ns	0.0197 ns
N12	-0.0340 ns	-0.1648 ns	-0.0854 ns	-0.0332 ns	0.0436 ns
N3	0.0292 ns	0.0033 ns	-0.1278 ns	-0.1893 ns	-0.0899 ns
N4	0.1194 ns	0.0559 ns	-0.0663 ns	0.0410 ns	0.0301 ns
N34	0.0574 ns	0.0243 ns	-0.0989 ns	-0.0709 ns	-0.0535 ns

PERIODO 1941 - 1960

Precipitación Enero al 90%

PP	ENE	DIC	NOV	OCT	SEP
PDO	-0.0932 ns	0.0360 ns	-0.0300 ns	-0.0452 ns	-0.1440 ns
N12	0.0186 ns	0.2106 ns	0.1745 ns	0.2676 ns	0.2929 ns
N3	0.1851 ns	0.1751 ns	0.2315 ns	0.2447 ns	0.3768 ns
N4	0.1523 ns	0.0644 ns	0.1157 ns	0.1394 ns	0.2474 ns
N34	0.1706 ns	0.1142 ns	0.1729 ns	0.2045 ns	0.3388 ns

0.1 * 0.05 ** 0.01 ***

Precipitación Febrero

PP	FEB	ENE	DIC	NOV	OCT
PDO	-0.1909 ns	-0.2313 ns	**-0.4641** *	-0.3059 ns	-0.2900 ns
N12	0.0223 ns	-0.0901 ns	-0.2567 ns	-0.3016 ns	-0.2879 ns
N3	-0.2517 ns	-0.2880 ns	-0.3669 ns	-0.2372 ns	-0.2624 ns
N4	-0.2682 ns	-0.3256 ns	-0.4132 *	**-0.4264** *	-0.4143 *
N34	-0.2514 ns	-0.2735 ns	-0.3658 ns	-0.3164 ns	-0.3119 ns

Precipitación Marzo

PP	MAR	FEB	ENE	DIC	NOV
PDO	-0.1605 ns	-0.1258 ns	-0.0853 ns	0.1231 ns	0.1692 ns
N12	0.0969 ns	0.0548 ns	0.0054 ns	0.0213 ns	0.1675 ns
N3	0.0533 ns	0.0754 ns	0.0799 ns	0.1562 ns	0.2487 ns
N4	0.0438 ns	0.1216 ns	0.1825 ns	0.1912 ns	0.2348 ns
N34	0.0452 ns	0.0802 ns	0.1148 ns	0.1702 ns	0.2493 ns

Precipitación Setiembre

PP	SET	AGO	JUL	JUN	MAY
PDO	0.2441 ns	0.2693 ns	-0.0413 ns	0.1709 ns	0.0567 ns
N12	0.2229 ns	0.1114 ns	0.0191 ns	0.0215 ns	0.0120 ns
N3	-0.0488 ns	0.0012 ns	0.0958 ns	0.0860 ns	-0.0322 ns
N4	-0.0816 ns	-0.1632 ns	-0.1624 ns	-0.1278 ns	-0.2142 ns
N34	-0.1391 ns	-0.1140 ns	-0.0103 ns	-0.0250 ns	-0.1788 ns

Precipitación Octubre

PP	OCT	SET	AGO	JUL	JUN
PDO	0.3493 ns	0.1068 ns	0.1053 ns	0.1229 ns	0.3362 ns
N12	0.0056 ns	0.0357 ns	-0.0472 ns	-0.0544 ns	0.0829 ns
N3	-0.1795 ns	-0.2808 ns	-0.1664 ns	-0.0825 ns	-0.1040 ns
N4	-0.0509 ns	-0.0531 ns	0.0800 ns	0.1471 ns	0.1496 ns
N34	-0.1454 ns	-0.2469 ns	-0.0898 ns	0.0325 ns	0.0439 ns

Precipitación Noviembre

PP	NOV	OCT	SET	AGO	JUL
PDO	0.1816 ns	0.0827 ns	-0.0284 ns	0.1119 ns	0.2714 ns
N12	0.1719 ns	0.1309 ns	0.2783 ns	0.0941 ns	0.0188 ns
N3	**0.4220** *	0.3566 ns	0.2997 ns	0.1318 ns	0.0894 ns
N4	**0.5072** **	0.4803 *	0.2309 ns	0.1149 ns	0.2789 ns
N34	**0.5050** **	0.4611 *	0.2868 ns	0.1643 ns	0.2484 ns

Precipitación Diciembre

PP	DIC	NOV	OCT	SET	AGO
PDO	0.0600 ns	0.0720 ns	0.1802 ns	-0.0077 ns	0.2292 ns
N12	0.1447 ns	0.0424 ns	-0.1144 ns	-0.1136 ns	-0.1152 ns
N3	-0.1842 ns	0.0031 ns	0.1212 ns	-0.0127 ns	-0.0218 ns
N4	-0.3479 ns	-0.1142 ns	-0.1458 ns	-0.0894 ns	-0.1985 ns
N34	-0.2775 ns	-0.0561 ns	-0.0022 ns	-0.0936 ns	-0.1247 ns

PERIODO 1981 - 2000

Precipitación Enero al 90%

PP	ENE	DIC	NOV	OCT	SEP
PDO	0.5289 **	**0.6492** ***	0.5488 **	0.5684 **	0.5898 ***
N12	0.2206 ns	0.2566 ns	0.3142 ns	0.3954 *	**0.4321** *
N3	0.2276 ns	0.2450 ns	0.2409 ns	0.2848 ns	**0.4219** *
N4	0.1685 ns	0.1225 ns	0.1788 ns	0.1723 ns	0.1732 ns
N34	0.1910 ns	0.1663 ns	0.2154 ns	0.2181 ns	0.3049 ns

0.1 * 0.05 ** 0.01 ***

Precipitación Febrero

PP	FEB	ENE	DIC	NOV	OCT
PDO	0.2186 ns	0.3976 *	**0.4080** *	0.2546 ns	0.1856 ns
N12	-0.3545 ns	-0.2987 ns	-0.3022 ns	-0.2954 ns	-0.1823 ns
N3	-0.4556 *	**-0.4991** **	-0.4875 **	-0.4624 **	-0.4436 *
N4	-0.4736 **	-0.4785 **	-0.4628 **	-0.4348 *	**-0.5155** **
N34	-0.4957 **	-0.5143 **	-0.5008 **	-0.4616 **	**-0.5157** **

Precipitación Marzo

PP	MAR	FEB	ENE	DIC	NOV
PDO	-0.1170 ns	-0.2404 ns	-0.3249 ns	-0.3805 ns	**-0.4931** **
N12	-0.3363 ns	-0.2328 ns	-0.2029 ns	-0.2442 ns	-0.2844 ns
N3	0.1101 ns	0.0184 ns	0.0035 ns	-0.0472 ns	-0.0156 ns
N4	-0.2026 ns	-0.1899 ns	-0.1447 ns	-0.1139 ns	-0.2071 ns
N34	-0.2776 ns	-0.2167 ns	-0.1964 ns	-0.1843 ns	-0.2604 ns

Precipitación Setiembre

PP	SET	AGO	JUL	JUN	MAY
PDO	0.2756 ns	0.2693 ns	0.0946 ns	-0.0848 ns	-0.2681 ns
N12	0.0541 ns	0.0656 ns	0.0989 ns	0.0369 ns	-0.0403 ns
N3	0.0280 ns	0.0845 ns	0.1199 ns	0.0494 ns	0.0609 ns
N4	0.0629 ns	0.0433 ns	0.0048 ns	-0.0524 ns	-0.0524 ns
N34	0.0533 ns	0.0664 ns	0.0850 ns	-0.0135 ns	0.0168 ns

Precipitación Octubre

PP	OCT	SET	AGO	JUL	JUN
PDO	-0.2448 ns	-0.2080 ns	-0.2915 ns	-0.1942 ns	-0.1395 ns
N12	-0.2334 ns	-0.2261 ns	-0.1615 ns	-0.2106 ns	-0.1421 ns
N3	-0.1294 ns	-0.1536 ns	-0.3069 ns	-0.3561 ns	-0.2474 ns
N4	-0.3467 ns	-0.3933 *	**-0.5098** **	-0.4156 *	-0.3851 ns
N34	-0.2594 ns	-0.2809 ns	**-0.4440** *	-0.4251 *	-0.3515 ns

Precipitación Noviembre

PP	NOV	OCT	SET	AGO	JUL
PDO	-0.1473 ns	0.0593 ns	0.1681 ns	0.0773 ns	-0.1494 ns
N12	0.0626 ns	-0.0128 ns	0.0460 ns	0.0195 ns	0.0204 ns
N3	0.0250 ns	0.0569 ns	0.0518 ns	0.0707 ns	0.0152 ns
N4	0.0852 ns	0.0989 ns	0.0610 ns	0.0449 ns	0.0428 ns
N34	0.0439 ns	0.0987 ns	0.0682 ns	0.0809 ns	0.0497 ns

Precipitación Diciembre

PP	DIC	NOV	OCT	SET	AGO
PDO	-0.1021 ns	-0.0836 ns	0.0200 ns	0.0628 ns	0.1710 ns
N12	0.0457 ns	0.0199 ns	0.0140 ns	-0.0674 ns	-0.2134 ns
N3	0.0372 ns	0.0604 ns	0.0757 ns	0.0665 ns	-0.0866 ns
N4	-0.0632 ns	0.0682 ns	-0.0527 ns	0.1341 ns	0.1023 ns
N34	-0.0398 ns	0.0609 ns	0.0193 ns	0.1429 ns	0.0500 ns

Caracterización de la circulación atmosférica local en el valle del Mantaro

Dalma Mamani
Escuela de Ingeniería Mecánica de Fluidos
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
dalma_mamani@yahoo.com

RESUMEN
Este es un avance en el cual se presenta algunos resultados preliminares para la validación del estudio central, que tiene como objetivo principal caracterizar el comportamiento de los vientos a escala local en el valle del Mantaro, zona escogida por la importancia dentro del desarrollo de la actividad económica nacional. En ella se ubican obras en ingeniería (Central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo), en agricultura (principal productor de papa, choclo, trigo, habas, cebada, etc), y principalmente en turismo, por la necesidad en investigación ya que es una zona altamente vulnerable a los efectos de cambio climático (Centro Tyndall de Gran Bretaña).

Para realizar este se utilizó el modelo MM5 implementado por IGP en 1998, el cual nos permitió mejorar la calidad de los resultados. El análisis se hizo en dos fases: Primero, el análisis en las estaciones (Huayao, Lircay); y segundo, el análisis de las salidas del modelo, para posteriormente compararlos.

INTRODUCCIÓN
Los vientos a escala local como son los de valle – montaña, son generados básicamente por el gradiente térmico que se forman durante el día y la noche, este a su vez produce un gradiente de presión local que hace que los vientos se dirijan valle arriba durante el día y valle abajo durante la noche, con lo cual se generan zonas internas con fuertes flujos de calor sensible en superficie, estos vientos se explican mediante el denominado "efecto volumen", según el cual se producen acumulaciones o vaciamientos de energía térmica en algunas partes del valle en la medida en que éste se estreche o amplíe a lo largo de su eje. *(Correa et al, 2008).* Los vientos de valle – montaña tienen importancia para entender además otros procesos como las lluvias, advección de aire que pueden producir heladas.

El Modelo de Mesoescala de 5.a Generación (MM5) -V3 es un modelo numérico atmosférico desarrollado a inicio de los años 70 en la Universidad de Pennsylvania (EEUU) y posteriormente por el National Center for Atmospheric Research (NCAR). El MM5 es un modelo no hidrostático que emplea la ecuación de continuidad de masa compresible, resuelve las ecuaciones en términos de flujos y en coordenadas verticales sigma para sistemas atmosféricos de mesoescala. Para resolver las ecuaciones utiliza diferencias finitas

La dinámica del modelo permite el uso a resoluciones muy altas (escala de nubes), por lo que se puede utilizar para los estudios que implican sistemas convectivos de mesoescala, sistemas frontales, brisas de tierra y mar, circulaciones de montaña y valle, y las islas urbanas del calor *(Dudhia et al, 1999).*

El MM5 fue implementado en el IGP (Instituto Geofísico del Perú), en febrero del 1998. Con ello, el IGP marcó un hito en la meteorología en el Perú, convirtiéndose en el segundo país en América del Sur, después de Brasil, en utilizar un modelo atmosférico para estudios del clima *(Figueroa et al., 1998).*

La cuenca del Mantaro, ubicada en los Andes centrales de Perú, es una zona del país económicamente importante, siendo el clima uno de los factores más importantes para el desarrollo de las diversas actividades. Es por ello, que el estudio de la circulación local es importante para caracterizar los efectos que esta pudiera tener en las lluvias.

ZONA DE ESTUDIO

La cuenca del Mantaro se ubica en los Andes centrales de Perú, cuenta con área de 34 550, 08 km^2, población supera los 700 000 habitantes comprendiendo las regiones de Junín, Huancavelica, Pasco y Ayacucho *(IGP, 2005b).* Se encuentra limitada por cadenas de cerros las que en varios tramos obligan al río a discurrir encañonado.

La gran variabilidad espacial de la temperatura en la cuenca se debe a su ubicación geográfica asociada con la cordillera de los Andes con un rango de altitudes que va aproximadamente desde los 500 hasta altitudes de 5 000 msnm.

El valle del Mantaro está ubicado en la cuenca, zona fértil entre los paralelos 11°40' y 12°10' Sur y los meridianos 75°10' y 75°10' Oeste, formado por el río del mismo nombre en su recorrido hacia la zona casi central de la cuenca. Tiene una longitud aproximada de 70 km desde los alrededores de la ciudad de Jauja al norte hasta las localidades de Pucará y Huacrapuquio al sur *(Vega et al. 2005)*. El ancho del valle es variable, aproximadamente entre 20 km hasta menos de 1 km, con altitudes entre 3 100 y 3 300 msnm; este comprende un área de casi 700 km^2.

DATOS Y METODOLOGÍA

Para el estudio se utilizaron datos de viento observados. Se usaron estaciones ubicadas en el valle: Lircay (SENAMHI) y Huayao (IGP), para febrero del 2007 de las 07, 13 y 19 horas (Tabla 1). Para el modelo se usaron datos del NCEP/NCAR reanalysis[1] (como condiciones iniciales y de contorno, así también datos de temperatura de mar del Optimum Interpolation Sea Surface Temperature OISST de la NOAA[2] (y datos de topografía de United States Geological Survey USGS[3].

[1] http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep.reanalysis.pressure.html
[2] http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.noaa.oisst.v2.html)
[3] ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/).

Las variables meteorológicas utilizadas fueron: la velocidad del viento, temperatura del aire, altura geopotencial y humedad relativa; cada una de ellas están en tres dimensiones (X, Y, P), 17 niveles en la vertical, con intervalos de cada 6 horas que cubre el área de estudio, desde los 30°N a 50°S y 130°W a 20°W para el mes de febrero del 2007.

Tabla 1. Ubicación geográfica de las estaciones

Estación	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Elevación (msnm)
Huayao	12°02'18"	75°19'22"	3 350
Lircay	12°58'55.3"	74°43'5.9"	3 372

Fuente de datos: Instituto Geofísico del Perú (IGP)

Siendo la metodología la siguiente:

Procesamiento de datos de las estaciones

- Control de calidad de los datos para identificar posibles errores de digitación.
- Generar rosa de vientos para cada estación en cada hora, para lo cual se elaboraron programas en Matlab usando el script wind_rose.m.

Ejecución del modelo numérico y procesamiento de las salidas

- Ejecución del modelo

  Con el objetivo de realizar simulaciones para caracterizar los vientos a escala local se tomó en cuenta las siguientes opciones de parametrizaciones y configuraciones descritas en la Tabla 2.

Tabla 2. Características y opciones del MM5 utilizadas en la simulación

CARACTERÍSTICAS	MALLA
Fecha inicial	2007: 00 UTC 01/02/2007
Fecha final	2007: 18 UTC 28/02/2007
Resolución horizontal por dominio	1º dominio: 54x54 km (59x90 puntos) 2º dominio: 16x16 km (61x88 puntos) 3º dominio:6x6 km (91x91 puntos)
Resolución de topografía por dominio	1º dominio: 10 min 2º dominio: 5 min 3º dominio: 2 min
Esquema de capa límite planetaria	1º , 2º y 3º dominio: MRF PBL
Esquema de radiación	1º dominio: RRTM 2º y 3º dominio: CLOUD
Esquema de humedad explícita	1º y 2º dominio: Goddard 3º dominio: Dudhia
Parametrización de cúmulos	1º y 2º dominio: Kain Fritsh 3º dominio: ninguna

Procesamiento de las salidas

- Se realizó la extracción de datos de vientos superficiales a 10 m de altura para la grilla que coincide con la ubicación de las estaciones, para las mismas horas y en el mismo periodo.
- Con ello se prepararon rosas de vientos.

RESULTADOS

Comparación de topografías

La comparación mostró que el modelo representaba de manera general la variabilidad topográfica de la cuenca, en él identificamos la cadena de montañas pertenecientes a la cordillera de los Andes occidentales con picos que sobrepasan los 4 500 msnm (Figura 1a1 y 1b1), los sistemas montañosos de cumbres nevadas que sobrepasan los 5 500 msnm como los nevados del Huaytapallana y Marairazo *(IGP, 2005 b)* (Figura 1a2 y 1b2), al lado oriental. Asimismo, el valle en la parte central de la cuenca que como anteriormente se mencionó es el área de mayor ancho (Figura 1a3 y 1b3).

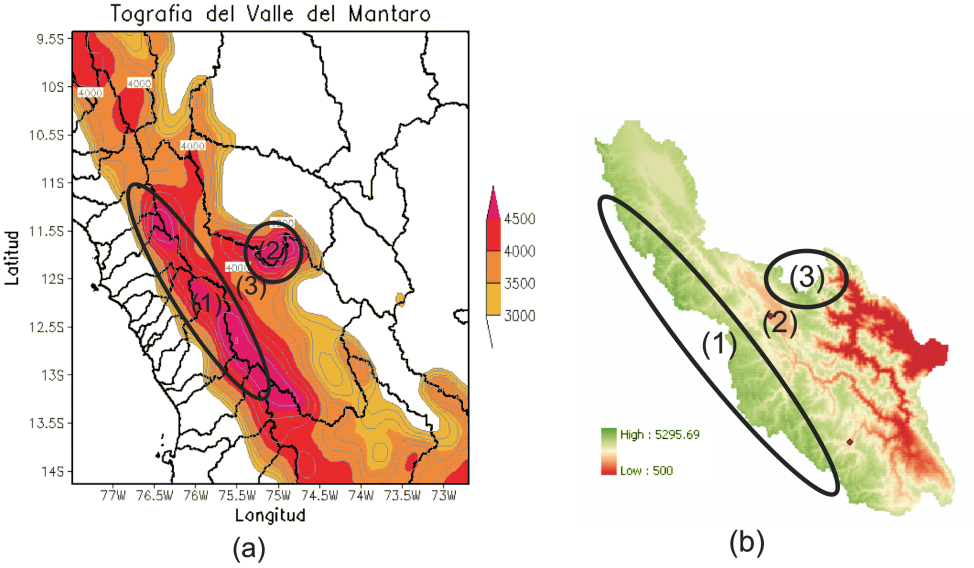


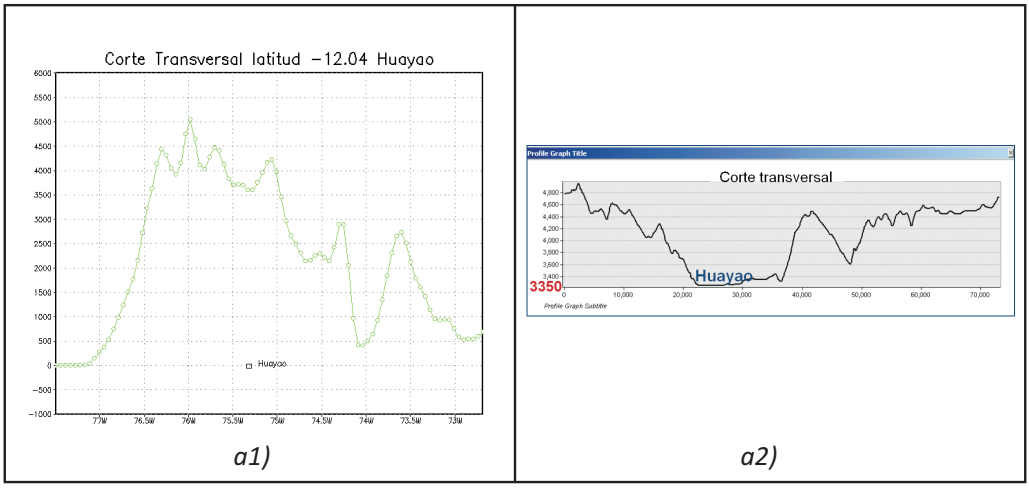
Figura 1. Topografía del área de estudio: (a) Obtenida de la simulación, el área sombreada representa la escala de altura, (b) IGP.

La estación de Huayao se ubica en el valle del Mantaro aproximadamente a 15 km de la ciudad de Huancayo y en la cuenca del río Cunas afluente del río del Mantaro. Esta estación se sitúa en un área extensa con un ancho aproximado de 17 km, y al noreste de la cuenca se ubica la estación de Lircay localizada en un estrecho valle con un ancho aproximado de 0,66 km, y está formado por los ríos Sicra y Opamayo, en el departamento de Huancavelica.

Se realizaron cortes transversales con el fin de analizar mejor los resultados, para la topografía del tercer dominio en el cual está ubicada la cuenca, se usó una resolución de 4 km. Se observó que para la estación de Huayao, el modelo representó la topografía adecuadamente ubicándola en el valle (Figura 2a). Esto se debe a que Huayao se encuentra en el área más ancha del valle, y en la representación del modelo tiene una altitud 8 % mayor de lo real (Tabla 3). Por el contrario, Lircay no aparece tan bien representado, debido a que se encuentra en un valle muy estrecho menor de 1 km, y el modelo lo simula como una topografía suave ubicándolo en la cima de una colina (Figura 2b) con una altitud de 3 800 msnm mayor en 19 % (Tabla 3).

Tabla 3. Comparación de altitud en la estación y el modelo

	Altitud (msnm)	
	Huayao	Lircay
Estación observada	3 350	3 372
Modelo	3 606 72	4 001 25



a1) *a2)*

Figura 2a. Cortes transversales para las estaciones Huayao: a1 obtenida como resultado del modelo, y a2 obtenida del Google Eart

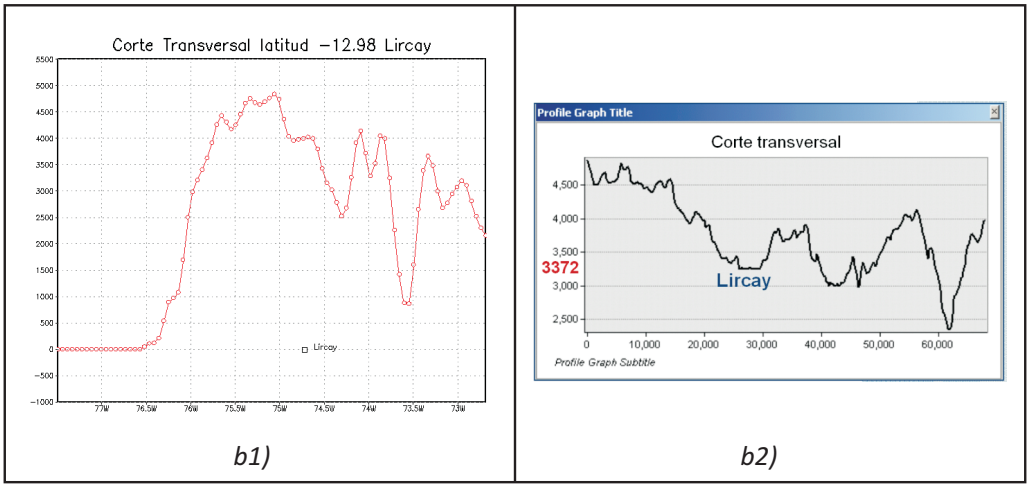


Figura 2b. Cortes transversales para la estación Lircay: b1 obtenida como resultado del modelo, y b2 obtenida del Google Eart.

Análisis de vientos observados

El resultado de las rosas de vientos para la estación de Huayao (Figura 3d, e y f) nos indica que los vientos a las 7 de la mañana son bastante débiles (inferiores a 1 m/s) predominantemente del Sudoeste. A las 13 horas hay vientos del Sudoeste con intensidades de hasta 1,5 m/s acompañados de vientos un poco más intensos (de hasta 3,5 m/s) de dirección Sudsudeste. A las 19 horas los vientos tienen direcciones muy variables, siendo los más intensos del Nordeste y del Oeste.

La estación de Lircay (Figura 4d, e y f) a las 7 horas presenta vientos ligeramente más intensos que Huayao (hasta 1,6m/s), con dirección predominante del Sudsudeste. A las 13 horas los vientos son del Norte y Nornordeste y con una intensidad de hasta 8 m/s, mientras que a las 19 horas la dirección es variable con los vientos más intensos de hasta 7 m/s del Norte.

COMPARACIÓN DE ROSAS DE VIENTO - HUAYAO

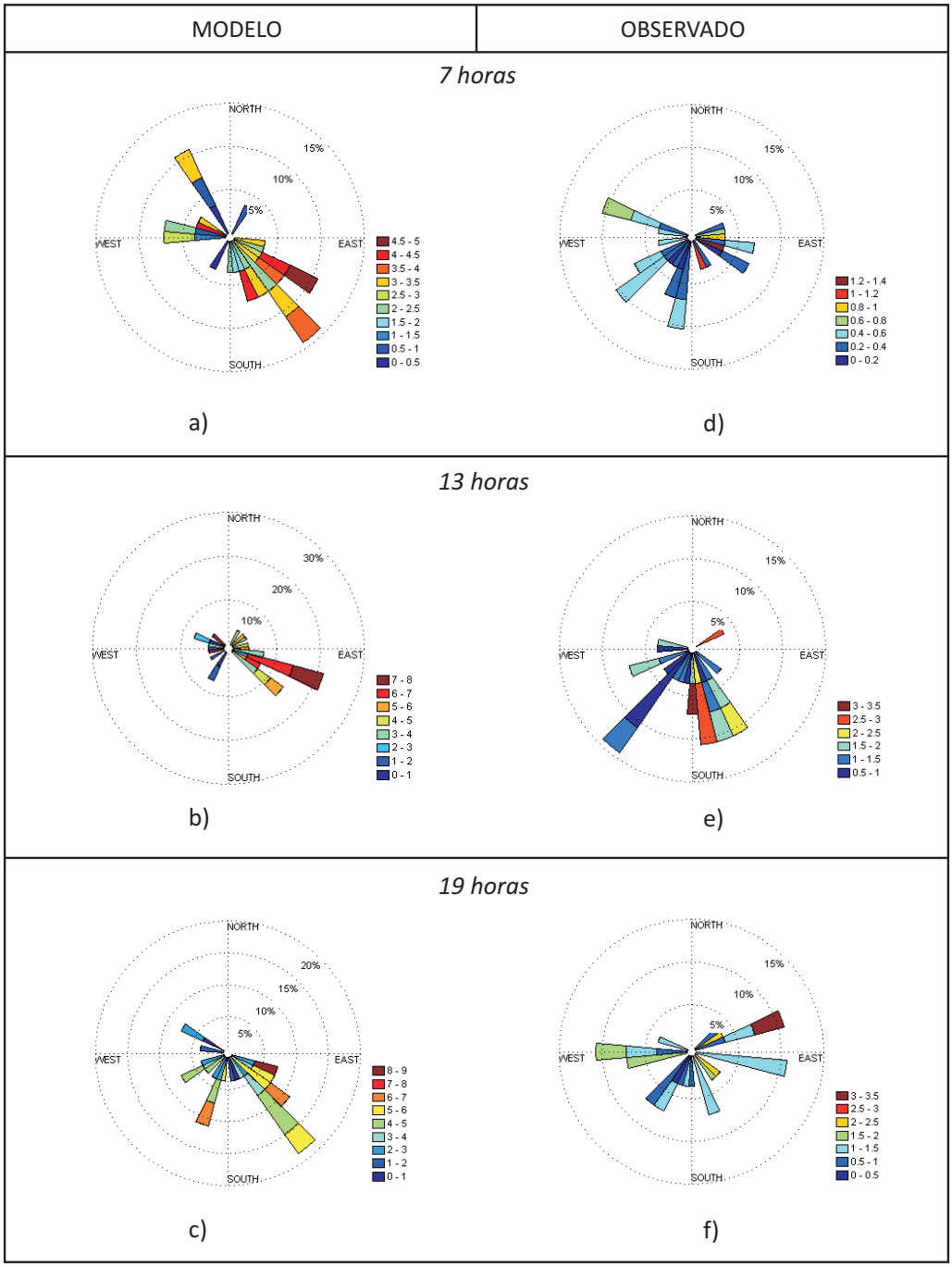


Figura 3. Rosa de vientos obtenido del modelo MM5 (a. b y c) y observado (d, e y f) para las 07, 13 y 19 horas para la estación de Huayao.

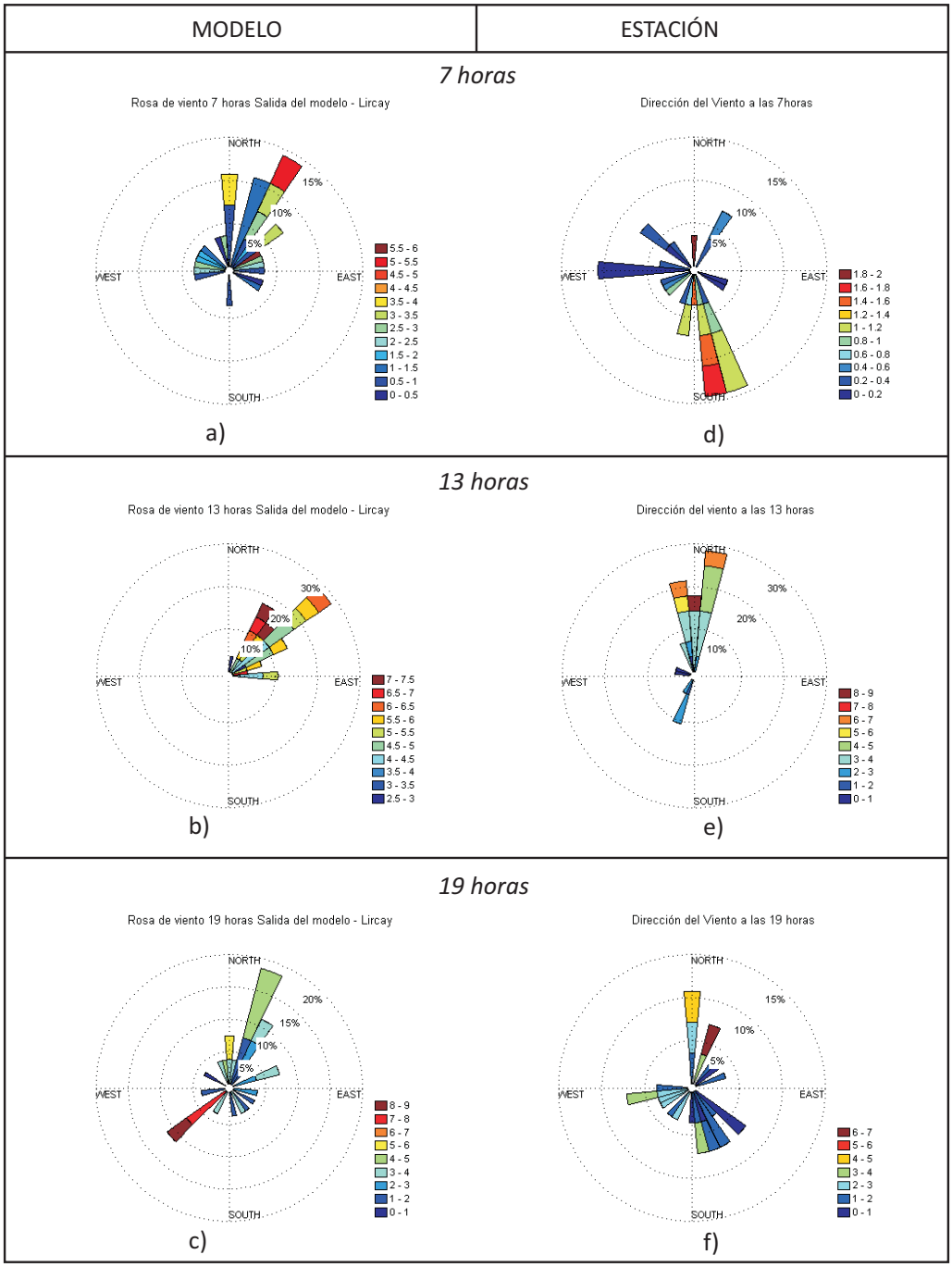


Figura 4. Rosa de vientos obtenido del modelo MM5 (a. b y c) y observado (d, e y f) para las 07, 13 y 19 horas para la estación de Lircay.

Comparación de las rosas de vientos entre el modelo y lo observado.

En general, el modelo presenta los vientos mucho más intensos que los observados sobre todo para Huayao, encontrándose muy baja correlación entre lo simulado y lo observado, a excepción de las 13 horas.

Para la estación de Lircay se observa que el modelo representa de manera satisfactoria los vientos de las 19 y 13 horas, mientras que a las 7 horas las direcciones son opuestas. Estos errores del modelo podrían ser debido a que la topografía usada en el modelo no está representando de manera adecuada la realidad. En la Tabla 3 se presenta el resumen de la comparación de las simulaciones con lo observado.

Tabla 4. Dirección y magnitud del viento simulado y observado en Lircay y Huayao.

Horas		Lircay		Huayao	
		Modelo	Estación	Modelo	Estación
7	Dirección	NW	SE	SE	SW
	Magnitud	3,4 m/s	2,53 m/s	2 m/s	Débiles
13	Dirección	NW	N-NW	SE	SE
	Magnitud	5,14 m/s	3,65 m/s	3,7 m/s	1,5 m/s
19	Dirección	NW	Variable con direcciones en todos los cuadrantes	SE	Variable con direcciones en todos los cuadrantes
	Magnitud	3,4 m/s	2,53 m/s	3,9 m/s	1,4 m/s

Fuente de datos: Instituto Geofísico del Perú. (IGP)

Distribución espacial de los vientos simulados

Con los resultados obtenidos anteriormente se escogió a las 13 horas como la mejor representada por el modelo, observándose en la cuenca diferentes direcciones de viento, en ella distinguimos que los vientos superficiales rodean la cordillera central - occidental (zona del Huaytapallana) con dirección NW en la zona norte y SE en la zona sur convergiendo en la parte central. También se observan los vientos intensos ascendentes que van desde el valle hacia la cordillera central-oriental (Figura 5), característicos de mediodía.

Con respecto a las magnitudes, se encontró que las mayores intensidades se presentan en la zona noroeste y sudeste en promedio de 6 m/s, en las cordilleras centrales tanto occidental como la oriental, con velocidades de hasta 3,6 m/s. Al centro de la cuenca se observa que las intensidades son débiles, esto asociado a la pérdida de energía que se genera al converger las masas de aire de direcciones opuestas (Figura 5).

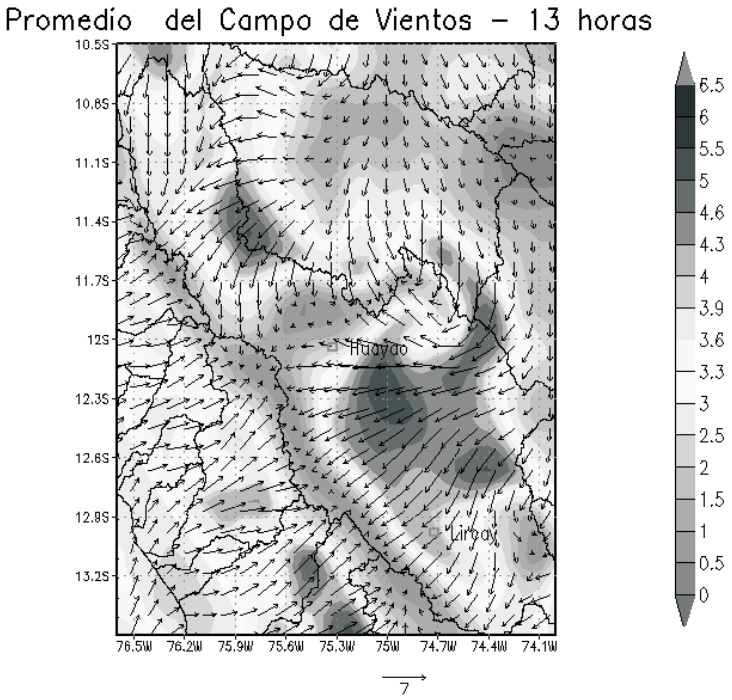


Figura 5. Vector de vientos y magnitud del viento (sombreado) a 10 metros de altura en la cuenca del Mantaro.

CONCLUSIONES

El modelo simuló de manera adecuada las características principales de la topografía de la cuenca como son: las cordilleras centrales occidental y oriental; y el valle mismo, sin embargo, su escala (4 km) no fue la suficiente para representar relieves más accidentados como la ubicación de la estación de Lircay.

Los vientos en Huayao son débiles tanto a las 7 como a las 19 horas, con direcciones muy variables debido a su baja intensidad, presentándose direcciones en todos los cuadrantes. A las 13 horas este adquiere mayor intensidad (hasta 3,5 m/s), y por consiguiente, predominancia en dirección Sudeste.

En Lircay el esquema es similar, viento débiles y variables a las 7 y 19 horas, adquiriendo predominancia a las 13 horas en dirección Nornoroeste, con magnitud máxima de hasta 8 m/s.

El modelo logra representar las características generales del viento a escala de la cuenca, observándose como los vientos rodean la cordillera occidental (Huaytapallana y anexos), y confluyen en la zona central (valle del Mantaro) produciéndose así disipación de energía; ésta causada por la convergencia de los vientos, lo que generaría la presencia de lluvias en el lugar coincidiendo con las zonas de máximas precipitación (*IGP, 2005a*).

Trabajo futuros

Continuando con el estudio se seguirá realizando ensayos hasta encontrar la mejor configuración del modelo para la cuenca del Mantaro. Posteriormente, se analizará cuáles son los factores que influyen más en el comportamiento de los vientos en la cuenca del Mantaro.

AGRADECIMIENTOS

Al grupo de clima del IGP por el gran apoyo, especialmente a la Dra. Yamina Silva por asesorarme en este trabajo. Al Dr. Ken Takahashi por su apoyo continuo en el desarrollo del modelo, y a todos los que se involucraron de alguna manera en este estudio.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Correa, M., Zuluaga, C., Palacio, C., Pérez, J. y Jiménez, J. 2008. *Acoplamiento de la atmósfera libre con el campo de vientos locales en una región tropical de topografía compleja*. Caso de estudio: valle de Aburrá, Antioquia, Colombia.

Dudhia, J. 1999. PSU/NCAR. *Mesoescale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 modeling System Version 2*. NCEP tutorial note NCEP/NCAR, USA, 264.

Figueroa, S.N., Lagos, P., Fernandez, J.P. y Takahashi, K. 1998. *Aplicación Operacional del Modelo MM5 para el Pronóstico del Tiempo y la Modernización de la Meteorología en el Perú*. Presented at el "VIII Congreso Latino-americano e Ibérico de Meteorología y X Congresso Brasileiro de Meteorología".

Haltiner, G.J. y Williams, R.T. 1980. *Numerical prediction and dynamic meteorology*. Wiley, New York, USA, 477.

Instituto Geofísico del Perú (IGP). 2005a. *Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del Rio Mantaro.* Volumen I. Fondo Editorial del CONAM.

Instituto Geofísico del Perú (IGP). 2005b**.** *Diagnóstico biofísico y socio-económico de la cuenca del Mantaro en el contexto del cambio climático.* Volumen II. Fondo Editorial CONAM.

Sakai, R., Fitzjarrald, D., Czikowsky, M. y Freedman, J. 2003. *Mechanisms of wind channeling in the Hudson valley*. NY.

Whiteman, C.D. y Doran, J.C. 1993. *The relationship between overlying synoptic-scale flows and winds within a Valley*. J. App. Meteo., 32, 1669-1682.

Zitácuaro, C. A. y Caetano, N. E. 2004. *Simulación numérica de la circulación atmosférica local en el valle de México*.

Perspectivas climáticas en las regiones Pasco, Junín, Huancavelica y Ayacucho para el trimestre diciembre 2009 a febrero del 2010

Adam Ramos, Eusebio Sánchez
SENAMHI[1]-JUNÍN. Huancayo – Perú.
aramos@senamhi.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Actualmente, se acrecienta la preocupación de los principales inversionistas, importadores, exportadores, empresarios, productores, agricultores y la población en general, por conocer el comportamiento del clima ya que un cambio o variación del clima, por sencillo que se presente, repercute de manera significativa en sus actividades.

En tal sentido, el SENAMHI, desde fines del 2007, viene generando mapas temáticos sobre pronósticos climáticos para un periodo trimestral, bajo el soporte de un modelo estadístico, cuyo fundamento es principalmente el uso de funciones estadísticas.

MODELO

El modelo estadístico que es utilizado para la predicción del clima, para un periodo trimestral, es el desarrollado por el Instituto Internacional de Investigación – IRI, denominado "Herramienta de Predicción Climática" - CPT (Climate predictability tool).

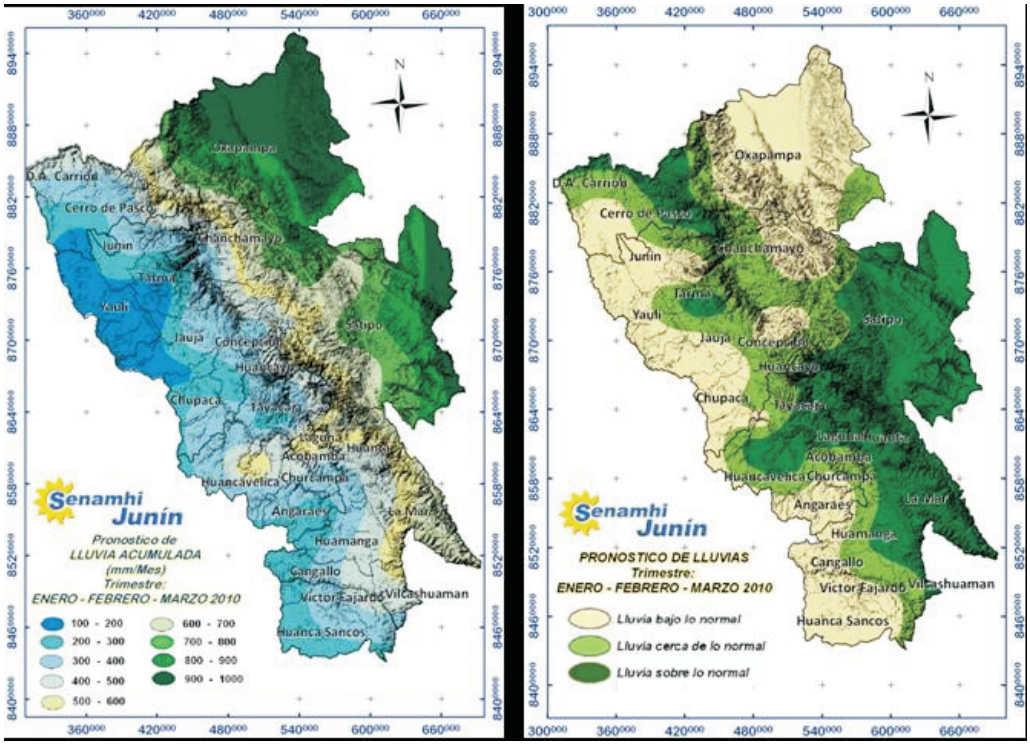
Este software CPT, tiene a disposición del usuario tres modelos estadísticos; el CCA (Análisis de Correlación Canoníca), el PCR (Regresión de Componentes Principales) y el MLR (Regresión Lineal Múltiple). Los tres modelos estadísticos tienen sus particularidades propias de acuerdo a las limitaciones de cada variable o serie estadística.

La experiencia determina que el modelo que mejor resultado aporta en nuestra jurisdicción es el CCA, basado principalmente en el relleno de datos faltantes, utilizando diferentes criterios a elegir.

Pronóstico Estacional de Precipitaciones: periodo diciembre a febrero 2010.

A continuación, se presentan dos mapas obtenidos mediante el modelo CPT: el primero de ellos es el de precipitación acumulada para el periodo comprendido entre diciembre 2009 a febrero 2010, y el segundo mapa, que muestra las lluvias que estarán bajo la normal, cerca de la normal o sobre la normal, en relación a su normal climatológico.

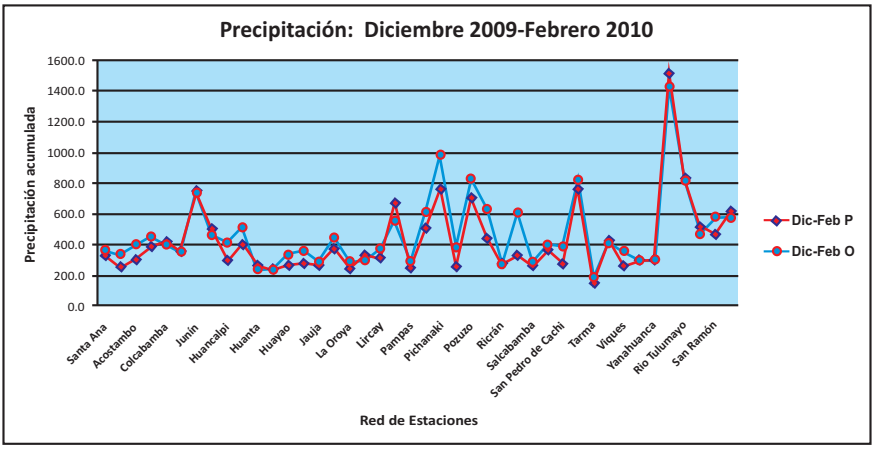
[1] SENAMHI: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología. www.senamhi.gob.pe



Verificación

La verificación que se realiza, a fin de conocer si el modelo responde o no, es sumamente sencillo, se realiza a través de la comparación de los valores pronosticados y los valores observados acumulados para el periodo de análisis.

Tal es así que, en la Figura siguiente se puede apreciar que los valores pronosticados para el periodo de análisis, se acercan bastante bien a los valores que a la fecha se vienen acumulando.



CONCLUSIÓN

El modelo utilizado a la fecha tiene buena respuesta y permite a todos aquellos que deben adoptar decisiones, consideren en serio este pronóstico, tanto de lluvias como de temperaturas con un buen tiempo de anticipación.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Climate Predictability Tool. Simón Mason. International Research for Climate and Society –The Earth Institute of Columbia University.

Climate Predictability Tool (CPT). Ousmane Ndiaye y Simon J. Mason. International Research for Climate and Society – The Earth Institute of Columbia University.

CAPÍTULO II

GLACIARES Y CAMBIO CLIMÁTICO EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

El retroceso glaciar es el fenómeno relacionado con el cambio climático más estudiado hasta la fecha en los Andes Tropicales, debido a su importancia en el balance hídrico, así como por el fácil reconocimiento de su ocurrencia por los pobladores locales. En la cuenca del río Mantaro el glaciar Huaytapallana es el más relevante, por dotar de agua potable a Huancayo, la ciudad más poblada de los Andes Centrales.

Por ello, este capítulo se inicia con el artículo "Cambios de la superficie glaciar en la Cordillera Huaytapallana: Periodo 1976 – 2006", elaborado por Ricardo Zubieta, investigador del Instituto Geofísico del Perú; seguido del artículo "Determinación de los impactos del cambio climático sobre la hidrología de las cuencas del Rímac y Mantaro (Perú)", a cargo de Wilson Suarez, James Apaéstegui y Thomas Condom del Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia – IRD.

Finalmente, el capítulo se cierra con el polémico artículo "¿Por qué no se realizan operaciones de aumento de nieve en el Perú?", a cargo de Ramiro Valdivia, de Ciudadanía Ambiental.

Cambios de la superficie glaciar en la cordillera Huaytapallana: periodo 1976 - 2006

Ricardo Zubieta, Pablo Lagos
Instituto Geofísico del Perú -IGP
ricardo.zubieta@igp.gob.pe

RESUMEN

El objetivo de este estudio es analizar el comportamiento espacial, evolución y tendencia de la superficie glaciar de la cordillera Huaytapallana, mediante la distribución de sus glaciares de circo. La importancia del estudio para el valle del Mantaro y la ciudad de Huancayo, radica en que el nevado Huaytapallana es la fuente del recurso hídrico del río Shullcas, así como de los ríos Pariahuanca, Tulumayo y Achamayo. El análisis ha sido realizado en diferentes intervalos de tiempo, comprendidos entre 1976 y 2006; seleccionándose los meses de junio, por ser un mes donde el grado de perpetuidad de la masa glaciar es mayor, debido a las bajas temperaturas y ausencia precipitaciones, como por la ausencia de nubes.

Para ello, se ha empleado imágenes tomadas por el Satélite Landsat sensores MSS, TM, ETM+, mediante el análisis del NDSI (Normalized-Difference *Snow* Index). El valor umbral tomado es el elegido para el proyecto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) cifrado en 0,4, a partir del cual se considera la transición de nieve a hielo. En relación con las imágenes analizadas se puede concluir que se ha observado un importante retroceso glaciar, alcanzando la mayor pérdida en el año 2006 hasta un 59,4 % de superficie glaciar. La mayor notoriedad y magnitud están en los glaciares de circo y frentes glaciares ubicados en las nacientes de los ríos Pariahuanca y Tulumayo.

INTRODUCCIÓN

Por su ubicación latitudinal los glaciares tropicales se ven afectados por la variabilidad climática y la alta susceptibilidad de sus masas de hielo, nieve y neviza. También es un excelente indicador del calentamiento global. Los glaciares del Perú incrementan masa glaciar durante los meses de verano, pero disminuyen rápidamente por fusión debido a las altas temperaturas hasta la llegada de los meses más fríos.

En los últimos años, los glaciares del Huaytapallana, al igual que la Cordillera Blanca en Áncash, han visto mermado la cobertura glaciar, indicando un acelerado retroceso, afectando el régimen hídrico de sus lagunas y del río Shullcas. La Cordillera de Huaytapallana tiene una gran importancia para la cuenca del Mantaro, por el aporte a la seguridad alimentaria en el valle del Mantaro. Este aporte de agua limpia es aprovechado en el uso agrícola y urbano. Por otro lado, también aporta al sistema hidroenergético de la subcuencas de los ríos Shullcas y Pariahuanca, confirmando la gran importancia que representa la Cordillera Huaytapallana para la región.

ÁREA DE ESTUDIO

La Cordillera Huaytapallana está ubicada en la cordillera oriental de los Andes centrales del Perú, conformada por los Nevados: Pacaco, Tello, Putcacocha, Anchigrande, Chuspi, Talves, Puihuan, Huaytapallana, Ventanilla y Cochas.

Esta cordillera forma parte del límite de las cuencas hidrográficas de los ríos Mantaro y Perené, asimismo el deshielo de los nevados, aportan al régimen hídrico de las siguientes cuatro subcuencas**:**

Subcuenca del río Shullcas: el río Shullcas que va a la ciudad de Huancayo. Este se desarrolla en dirección Sudoeste, cuyo origen son las lagunas Chuspicocha y Lasuntay.

Subcuenca del río Pariahuanca: que va hacia Pariahuanca, desarrollándose en dirección Sudeste y se origina en las lagunas Cochagrande y Carhuacocha.

Subcuenca del río Achamayo: baja hacia Concepción y se origina en la laguna Putcacocha, desarrollándose en dirección Sudoeste.

Subcuenca del río Tulumayo: nace con el río Pisuyo que confluye aguas abajo con el río Tulumayo y se desarrolla en dirección Norte. Sólo este río aporta al sistema hidrográfico del río Perené, los demás ríos, al del Mantaro.

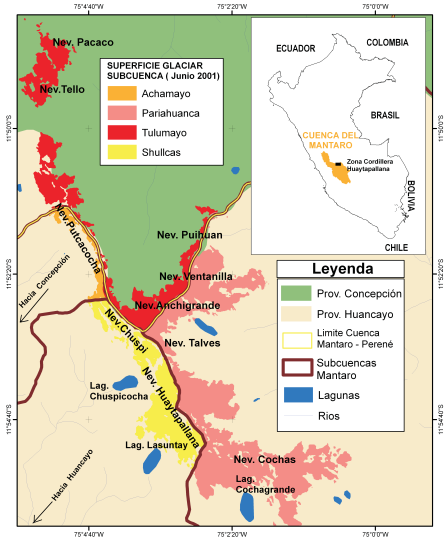


Figura 1: Mapa de ubicación de la cordillera Huaytapallana

CORDILLERA HUAYTAPALLANA

La Cordillera Huaytapallana por su morfología, es un sistema de glaciares de circo, estos se caracterizan por estar localizados en áreas montañosas en cabeceras de valle, como es el caso del valle del Mantaro. La cordillera posee masas pequeñas en todos sus frentes en forma de anfiteatro, sus paredes son escarpadas y altamente empinadas. La Cordillera

Huaytapallana aporta agua limpia mediante sus zonas de acumulación a cuatro sistemas hidrográficos, como son las subcuencas de los ríos Shullcas, Pariahuanca, Achamayo y Tulumayo.

Los glaciares de circo suelen ser indicadores de la última etapa glaciar. Por eso, el estudio puede representar un excelente ejemplo de la relación entre los cambios climáticos recientes y las fluctuaciones de los glaciares *(Chueca et al; 2002).*

Las masas de hielo correspondientes a la subcuenca del río Shullcas son glaciares colgados y altamente agrietados, la pendiente media en el borde de la zona de acumulación supera el 70 %, mientras que en las masas glaciares en la subcuenca del Pariahuanca, la pendiente media es del 40 %. Esa diferencia podría explicar la mayor distribución en la cobertura glaciar en el Pariahuanca, comparado con la del Shullcas.

Por otro lado, una característica típica de los glaciares de circo como el Huaytapallana, es la presencia de lagunas, ya que debido al retroceso glaciar por fusión, estas depresiones han sido ocupadas por los mismos; sólo por mencionar algunas como Chuspicocha, Lasuntay y Cochagrande, las cuales están retenidas por un dique morrénico. El represamiento del Chuspicocha y Lasuntay es el principal aporte directo de descargas en los meses de estiaje al río Shullcas y el Cochagrande al río Pariahuanca, respectivamente.

METODOLOGÍA

Para el procesamiento de las imágenes de satélite se empleó herramientas de sistemas de información geográfica SIG, software Arcgis más las extensiones spatial analyst y 3d analyst. La escala a trabajar fue 1-50 000.

Debido a la necesidad de comparar más de una imagen de satélite en distintas fechas y años, fue necesaria una serie de correcciones a todas las bandas.

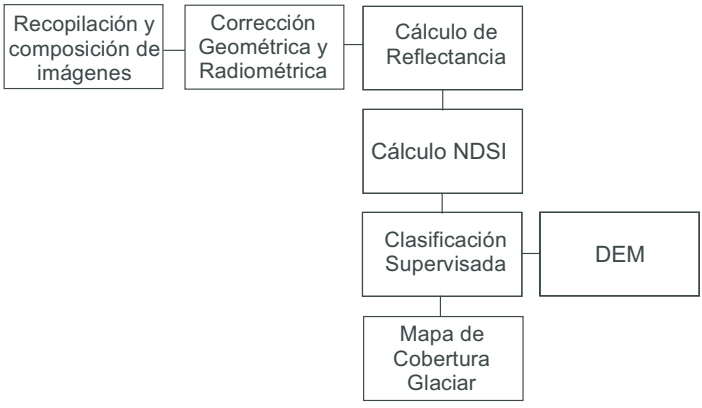


Figura 2: Flujograma metodológico de la estimación de cobertura glaciar por teledetección

Recopilación y composición de imágenes: se recopiló imágenes de satélite Landsat tomadas en el mes de junio, entre 1976 y 2006. En el mes de junio, el grado de perpetuidad de la masa glaciar es mayor, debido a las bajas temperaturas y ausencia de precipitaciones,

seleccionando aquellas imágenes libres de nubosidad. Para el caso de composición de bandas, se tomó la banda 2 del espectro visible y la banda 5 del infrarrojo.

Corrección geométrica y radiométrica: se realizó el ajuste de las propiedades geométricas de las imágenes para corregir, la escala, rotación y otras distorsiones espaciales, de tal manera que esté de acuerdo con el sistema de coordenadas de la cartografía nacional.

Las imágenes de la superficie terrestre, obtenidas en bandas específicas del espectro electromagnético y que son tomadas por satélites de observación, se encuentran contaminadas por la luz solar, dispersada hacia el sensor por las moléculas atmosféricas, los aerosoles y las nubes en suspensión. Además, la energía solar que es reflejada desde la Tierra se encuentra atenuada por los efectos atmosféricos *(Ormeño, 2004)*. Para corregir estos aspectos se realizó una calibración radiométrica, realizando la conversión de los niveles digitales ND obtenidos por el satélite a valores de radiancia, mediante la siguiente ecuación:

$$\mathbf{L_\lambda = ((LMAX_\lambda - LMIN_\lambda)/(QCALMAX-QCALMIN)) * (QCAL-QCALMIN) + LMIN_\lambda}$$

Donde:

L_λ = radiancia espectral del sensor de apertura (w/(m2 .ster . μm)
QCAL = el valor de píxel cuantificado en nivel digital
$LMIN_\lambda$ = radiancia espectral escalar mínima (w/(m2 .ster . μm)
$LMAX_\lambda$ = radiancia espectral escalar máxima (w/(m2 .ster . μm)
QCALMIN = mínimo valor de píxel cuantificado en nivel digital
QCALMAX = máximo valor de píxel cuantificado en nivel digital

Calculando así la cantidad de energía electromagnética que es emitida a lo largo de toda la cordillera en particular, confinada en un ángulo y en una dirección específica.

Cálculo de reflectancia: La reducción de la variabilidad de escena a escena, puede ser alcanzada mediante la conversión de radiancia a reflectancia, comparando imágenes de sensores diferentes, como es el caso de los sensores MSS, TM, ETM+, pues quita el efecto de coseno del ángulo solar en el cenit debido a la diferencia de tiempo entre adquisiciones de datos. Compensa los valores diferentes de irradiación exoatmosférica solar que proviene de diferencias de bandas espectrales y finalmente corrige la variación en la distancia de Sol a la Tierra entre fechas de adquisición diferentes. Estas variaciones pueden ser significativas geográficamente y temporalmente *(Chander et al.2009)*.

La reflectancia TOA (tope de la atmósfera) de la Tierra se calcula según la ecuación:

$$\rho_p = \frac{\pi \cdot L_\lambda \cdot d^2}{ESUN_\lambda \cdot \cos\theta_S}$$

Donde:

ρ_p = reflectancia planetaria TOA

L_λ = radiancia espectral del sensores de apertura.

d = distancia del sol a la tierra en unidades astronómicas.

$ESUN_\lambda$ = irradiancia media solar exoatmosférica.

θ_s = ángulo cenital del sol.

Cálculo de NDSI (Normalized-Difference Snow Index): este índice es un análogo del NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), el NDSI ajusta el límite de cobertura glaciar diferenciándola de la roca. Para ello, empleamos las reflectancias de las bandas 2 (espectro visible) y las bandas 5(infrarrojo medio), mediante la siguiente ecuación:

$$NDSI = \frac{TM2 - TM5}{TM2 + TM5}$$

En cuanto al NDSI, el valor umbral mínimo tomado a partir del cual se considera la transición de nieve a hielo, ha sido el elegido por el proyecto MODIS (Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer) cifrado en 0,4 *(Andrew et al., 1998, 363-366)*.

Como se observa en la Figura 3, la reflectancia de la nieve aumenta conforme disminuye la longitud de onda especialmente por debajo de 0,8 y 1,2 um (de ahí el color blanco en el espectro visible) *(Maestro I. et al. 2004)*.

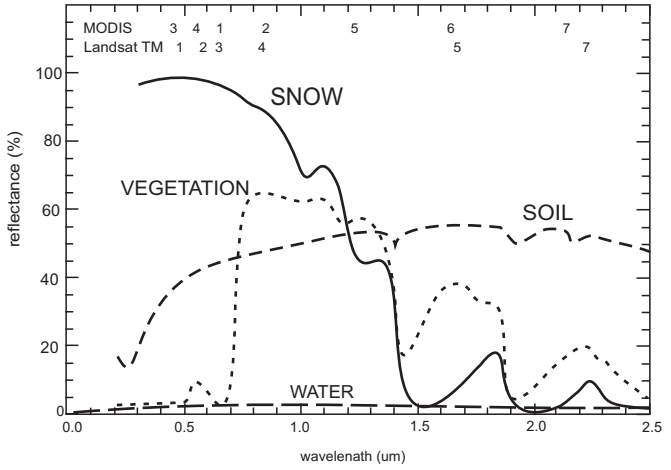


Figura 3. Gráfica de respuesta espectral de la nieve comparada con la correspondiente al suelo desnudo, la vegetación y las superficies de agua. (*Klein, et al., 1998, 1723-1744)*

Clasificación Supervisada y DEM: Se comprobó que el umbral de 0,4 propuesto por Klein, et al (1998) en el proyecto MODIS, es el más adecuado; se realizó una corrección supervisada debido a un error en el perímetro por causa de las zonas de umbría, que superaban el umbral mínimo de 0,4. Para ello, se requirió un ajuste mediante la eliminación de dichas zonas, no tomando en cuenta su reflectancia.

Para el análisis del comportamiento vertical se generó un modelo de elevación digital DEM, para poder calcular el rango de variación en altitud de la cobertura glaciar. Con el uso del modelo se podrá estimar el rango en altitud en el cual fluctúan las cotas desde hace 30 años.

Empleando el Modelo de Elevación Digital e Imágenes de Satélite, se realizaron perfiles longitudinales para cada subcuenca y el monitoreo del comportamiento o diferencias en las respuestas de los glaciares de circo. Tomando en cuenta que la morfología es distinta y por tanto el retroceso de los circos y frentes glaciares también son distintos.

RESULTADOS

Se obtuvo 10 mapas de cobertura glaciar correspondientes a los meses de junio, entre 1976 y 2006. En la Figura 4 se muestra la evolución y tendencia que se viene observando en toda la cordillera. La regresión lineal obtenida de la tendencia resulta significativa. Muestra dos marcadas fluctuaciones, una negativa en los años 1997-1998 y otra positiva a partir del 2000 a 2002. A partir del 2002 se nota un claro balance negativo hasta el año 2006, con 14,5 km^2.

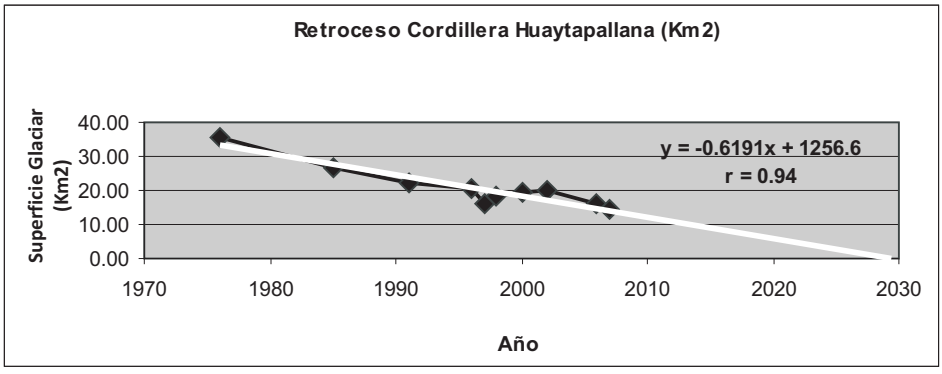


Figura 4. Tendencia de la cobertura del glaciar en la cordillera Huaytapallana

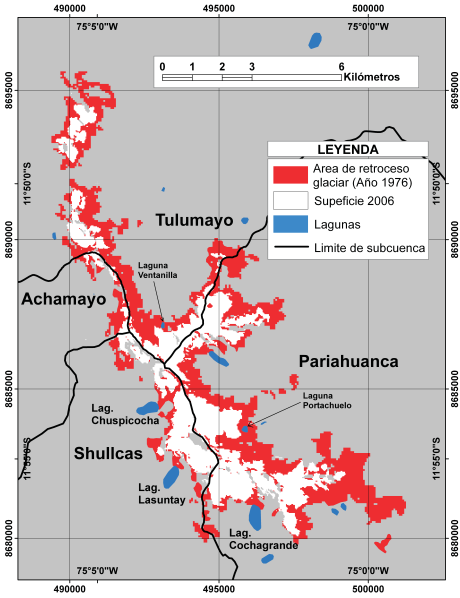


Figura 5. Evolución de la cobertura glaciar de la cordillera Huaytapallana, periodo 1976 – 2006

De acuerdo al análisis de los perfiles longitudinales descendentes en cuatro frentes, el comportamiento de la dinámica de los circos es distinto en los bordes del glaciar de cada subcuenca. Esto se debe al relieve, que presenta pendientes de moderadas a altamente inclinadas. En pendientes altamente inclinadas se dificulta aún más, la capacidad de almacenamiento de nieve. Por ejemplo, el retiro glaciar registrado, con un margen de error horizontal provisto del satélite de +/- 30 m en el frente glaciar del río Tulumayo (laguna Ventanilla), presenta 919 m en dirección N30° W, seguida por la cuenca del Pariahuanca con 824 m (laguna Portachuelo) en dirección S60° E, el Achamayo con 625 m en dirección N65° E y Shullcas 548 m (laguna Lasuntay), en dirección Sur.

De acuerdo al Modelo de Elevación Digital - DEM se estableció el comportamiento vertical aproximado del circo en el nevado Huaytapallana, sector de la laguna Lasuntay. Se pudo estimar la presencia de masa glaciar en un rango para 1976 y 2006, mediante cartografía digital. El resultado arroja un rango de variación de 4 650 – 4 960 msnm. Es necesario aclarar que las variaciones en frentes glaciares de los nevados: Ventanilla, Cochas y Anchigrande, etc. es distinto, encontrándose actualmente la cobertura glaciar a cotas superiores a 5 000 msnm.

En dichos nevados, la estación de Marcapomacocha ubicada en la misma cuenca del Mantaro, que se encuentra en un ecosistema de montaña similar al Huaytapallana, con presencia de glaciares como La Fila, Torreon, Azulcocha, La Chonta a más de 4 400 msnm, registra un incremento de 1,13 °C en la temperatura mínima anual de acuerdo a la tendencia mostrada en el periodo 1967-2002 *(IGP, 2005).* De ser el caso, podría explicar el comportamiento negativo de la masa glaciar por ablación, en estos ecosistemas de alta montaña y en la de los glaciares de circo en la cordillera Huaytapallana.

Otro aspecto que resalta debido al retiro glaciar, es la formación de las lagunas Ventanilla y Portachuelo en las zonas periglaciares de las nacientes de los río Tulumayo y Pariahuanca con una extensión de 1,6 y 2,9 hectáreas, respectivamente. Resulta típica la formación de lagunas en glaciares de circo, lo resaltante es que se haya dado en tal magnitud y en tan pocos años, pues la visualización de estas lagunas se da a partir de junio 1991.

La tendencia es negativa y tiende a disminuir aún más la cobertura del glaciar, resalta una posible desaparición de los circos de la cordillera en las próximas décadas. El tiempo de vida del Huaytapallana es relativo y depende de varios factores, entre ellos, la variabilidad climática interanual - estacional, el cambio climático, las condiciones morfológicas que proporcionen lugares idóneos para el almacenamiento de nieve, etc. Los resultados podrán indicar un balance de masa positivo (cuando la acumulación supere a la ablación) o un balance de masa negativo, dependiendo de las condiciones climáticas que se mantengan. Por ejemplo, la ocurrencia de uno o dos años húmedos consecutivos y bajas temperaturas podría producir recuperación parcial de la masa glaciar, en consecuencia generar un balance de masa anual positivo; pero si las condiciones climáticas no se mantienen, sobre todo las térmicas, se observará la reducción de la superficie glaciar. El incremento de la superficie glaciar debido a las condiciones climáticas favorables son temporales, pero la tendencia es a la reducción de la superficie glaciar.

CONCLUSIONES

El estudio del comportamiento de la superficie glaciar en la cordillera Huaytapallana: periodo 1976 - 2006 ha aportado las siguientes conclusiones:

- La Cordillera Huaytapallana, entre junio 1976 y junio 2006, se redujo de 35,6 a 14,5 km^2, esto representa una pérdida del 59,4 % de superficie glaciar.

- De acuerdo al análisis del Modelo de Elevación Digital e Imágenes de Satélite, la variación altitudinal de cobertura glaciar en el nevado Huaytapallana, en el sector de la laguna Lasuntay para 1976-2006, se da a partir de 4 650 a 4 960 msnm.

- La dinámica espacial del retiro de los glaciares de circo del Huaytapallana, también está sujeta a la morfología, por ello, la marcada diferencia en la distribución del retroceso en los circos correspondientes a las subcuencas Shullcas, Tulumayo, Pariahuanca.

AGRADECIMIENTOS

Al Ingeniero Juan Carlos Gómez Avalos, investigador científico del Instituto Geofísico del Perú, por sus contribuciones en la revisión de este artículo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Andrew, G. K., Hall, D. K. y Riggs, G. A. 1998. *Global snow cover monitoring using MODIS*. Ponencia en el 27º Simposio Internacional de Teledetección del Medio Ambiente de Tromso. 8-12 de junio. 363-366.

Chueca, J., Julián, A., Saz, y Peña, J.L. 2002. *Comparación de la situación de los glaciares del Pirineo español entre el final de la pequeña edad de hielo y la actualidad*. Boletín Glaciológico Aragonés. 3 13-41

Gyanesh Chander, Brian L. Markham, Dennis L. Helder. 2009. *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors – Remote Sensing of Environment 113.* (2009) 893–903

Instituto Geofísico del Perú. 2005. *Atlas Climático de precipitación temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro*. Fondo Editorial del CONAM.

Klein, A. G., Hall, D. K., & Riggs, G. A. 1998. *Improving snow-cover mapping in forests through the use of a canopy reflectance model*. Hydrological Processes. 12, 1723– 1744.

Maestro Cano, I. Recio Recio, J. 2004. *Análisis comparativo de distintos métodos de estimación de la superficie glaciar en el Pirineo axial aragonés a partir de imágenes Landsat*. GeoFocus (artículos), nº 4, 79-92.

Ormeño Villajoz. 2004. *Teledetección fundamental*. Madrid – España.

Determinación de los impactos del cambio climático sobre la hidrología de las cuencas del Rímac y Mantaro (Perú)

Wilson Suarez
SENAMHI-IRD, Lima
wil_suarez@hotmail.com

Thomas Condom
IRD-France, UMR-HydroSciences, Montpellier
thomas.condom@ird.fr

James Apaéstegui
IRD-Perú, Lima
japaestegui@gmail.com

RESUMEN
Las cuencas de los ríos Rímac y Mantaro, conjuntamente, poseen más de 9 millones de habitantes y son responsables de más del 30 % de la producción hidro-energética del Perú, por lo tanto, el conocimiento de la disponibilidad hídrica en el futuro es determinante en estas dos cuencas, dentro de la economía nacional. En estas cuencas operan 3 grandes empresas de generación eléctrica: EDEGEL, con un sistema de 5 centrales hidroeléctricas medianas para el Rímac; ElectroPerú, con 2 grandes centrales y; Electro Andes, también con una de dimensión media en el Mantaro. La existencia de un sistema de trasvase de aguas (proyectos Marca I, II, III) obligan a analizar estas dos cuencas como un sistema único.

El Instituto de Investigación para el Desarrollo de Francia (IRD) y el *Stockholm Environment Institute* de Estados Unidos (SEI), con financiamiento del Banco Mundial y el auspicio del Ministerio de Energía y Minas del Perú, realizaron el estudio de la simulación hidrológica de estas 2 cuencas de manera conjunta con el fin de ver la disponibilidad del recurso hídrico en el futuro, y a la vez la viabilidad hidrológica de una posible construcción de una nueva central hidroeléctrica en el Mantaro (La Guitarra). Los resultados obtenidos por calibración y validación de este modelo hidro-glaciológico permiten buenas simulaciones de las pérdidas de glaciares y del escurrimiento en las dos cuencas sobre el período 1970-1997.

***Palabras clave**:* Andes, glaciares, recursos hídricos, modelaciones hidroglaciológicos.

INTRODUCCIÓN
En el año 2008, el Ministerio de Energía y Minas del Perú (MINEM) entró en contacto con el Banco Mundial (BM) para encargarle el estudio del impacto del cambio climático en los ríos utilizados para la producción hidroenergética. Finalmente el Stockholm Environment Institute (SEI) de EU que había desarrollado el programa informático WEAP (Water Evaluation Application Planning) orientado para la gestión de los recursos hídricos y el IRD Instituto de Investigación para el Desarrollo (IRD-Francia), respondieron a la oferta del

estudio propuesta por el BM. Fueron seleccionadas 3 cuencas para este estudio en función de su importancia en producción hidroenergética y relevancia en la vida económica del país: la cuenca del río Santa, debido a su producción hidroenergética, así como su importante cobertura glaciar existente. La cuenca del río Rímac, por su red de hidroeléctricas; y la ciudad de Lima y la cuenca del río Mantaro por tener dentro de ella la central Santiago Antúnez de Mayolo que es la más grande del país. El objetivo del presente artículo es el de calibrar y validar el modelo hidroglaciológico del sistema Rímac-Mantaro que se simularon juntos debido a que se encuentran conectados a través de un sistema de trasvase de aguas del Atlántico al Pacífico.

DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

La zona de estudio (Figura 1) se encuentra conformada por el sistema de las cuencas Rímac y Mantaro, donde la cuenca del río Rímac se encuentra situada en el centro del Perú y vierte sus aguas hacia el océano Pacífico, esta cuenca tiene un área de captación de aproximadamente 3 398 km². Tiene una altitud máxima de 5 508 msnm en el nevado Paca, además de poseer 191 lagunas, aproximadamente.

En la parte alta se encuentra dividida la cuenca del río Mantaro por la Cordillera Central, dicha cordillera es muy utilizada por su sistema de lagunas para la generación eléctrica y agua potable del valle. Lo más característico de la cuenca del río Rímac es la presencia de la ciudad de Lima, con más de 8 millones de habitantes y su red de 5 centrales hidroeléctricas gestionadas por EDEGEL S.A, que producen de manera combinada hasta 323 MW en sus turbinas. Este sistema es regulado por un total de 19 lagunas y una represa en su cabecera y 3 lagunas del Mantaro conectadas a través de un túnel.

La cuenca del río Mantaro se encuentra al centro del Perú y vierte sus aguas hacia el océano Atlántico, tiene un área total de 34 350 km², con una altitud máxima de 5 650 m aproximadamente sobre el nevado de Collquepucro. Esta cuenca es recorrida por el río Mantaro que tiene sus nacientes en el Lago Junín a 4 080 m y hasta su desembocadura en el río Apurímac tiene un recorrido de 830 km, aproximadamente. La población aproximada de toda la cuenca es de 1 300 000 habitantes, y alrededor del 38 % es rural. La importancia de esta cuenca radica desde el punto de vista agrícola-económico y energético. Esta viene a ser el centro de operaciones de Electroperu y Electroandes, la primera opera la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo y se constituye como la más importante del país con una producción de turbinas de 650 MW, además de operar la central de Restitución con una producción de turbinas de 215 MW.

Electroandes opera la central Mal Paso 48 MW, dedicada exclusivamente para uso regional. Este sistema eléctrico (de agua potable también) es operado por una serie de 3 represas y 16 lagunas ubicadas dentro de esta cuenca; parte de las aguas de esta cuenca son trasvasadas hacia la cuenca del río Rímac para el uso doméstico y generación eléctrica. En la Figura 1 se puede ver todo este sistema en su integridad.

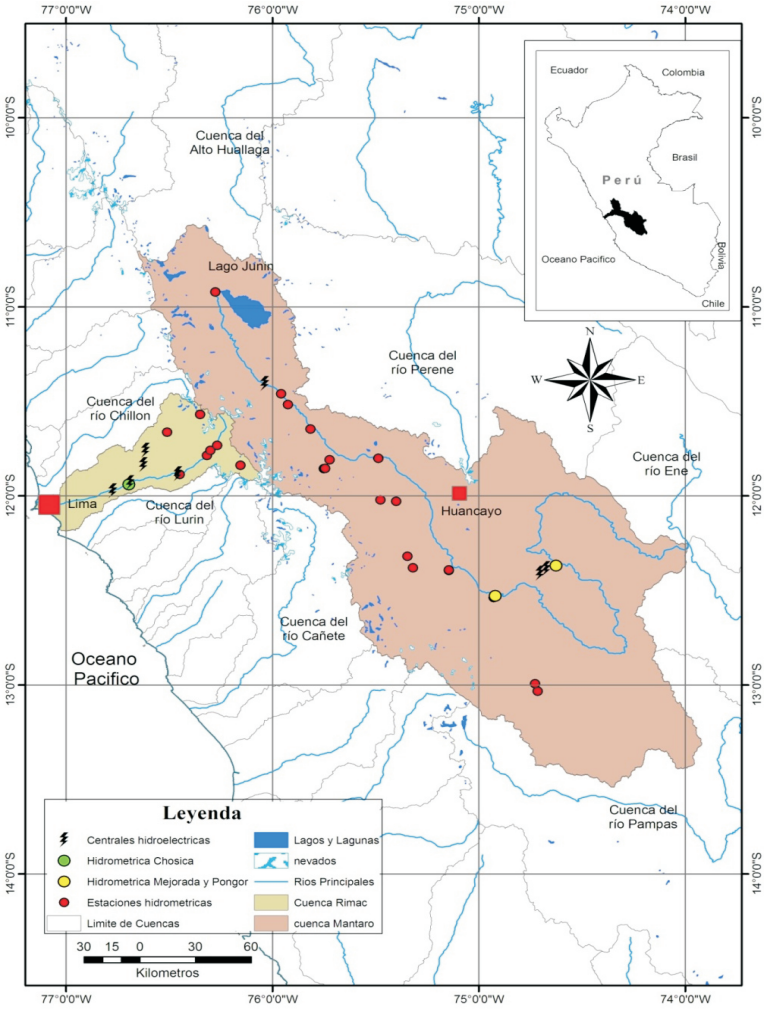


Figura 1: Zona de estudio con las 2 cuencas (Rímac y Mantaro), los elementos hidrográficos (glaciares, ríos, lagos y lagunas), ubicación de las estaciones hidrológicas y meteorológicas, así como las centrales hidroeléctricas. El punto verde es la estación de Chosica, los puntos amarillos son las estaciones de Mejorada y Pongor.

DATOS Y METODOLOGÍA

Nivel de Espacialización e Información Disponible

El modelo hidrológico WEAP trabaja bajo un sistema de espacialización semidistribuido que toma como referencia las curvas de nivel del terreno para definir las subcuencas o "catchments". Cada catchment es alimentado con información específica referente a la cobertura vegetal y la descripción del compartimento de suelo y subsuelo (más profundo).

Dicha información de cobertura vegetal fue tomada de imágenes Landsat 5 del año 2008, proporcionadas por Instituto de Pesquisas Espaciales de Brasil[1].

Los otros datos requeridos son: (i) la población rural y urbana tomadas del Instituto Nacional de Estadística e Informática de Perú[2]; (ii) los niveles y capacidades de embalses (proporcionados por EDEGEL y Electro Perú); (iii) un banco de datos pluviométrico con un total de 100 estaciones consideradas de buena calidad con 24 Rímac y 76 Mantaro (EDEGEL-Electro Perú y el SENAMHI); y (iv) los datos hidrológicos de 26 puntos de aforo con 19 por la cuenca del Mantaro y 7 por la cuenca del Rímac (mismas fuentes de los datos pluviométricos).

Se utilizó un paso de tiempo mensual y que comprende desde septiembre 1966 hasta agosto 1996, de donde septiembre 1966 - agosto 1981 fue utilizado para calibración y septiembre 1981 - agosto 1996 para validación, poniéndose énfasis en el cauce principal (Chosica para Rímac, Pongor y Mejorada en el Mantaro, los cuales se pueden ubicar en la Figura 1, a pesar que se simularon todos los puntos de control (26 en total)).

Simulación Glaciar e Hidrológica

a) Escurrimiento a partir de la fusión de nieve y de hielo

El modulo glaciar se basa en una adaptación de modelo Grado-Día propuesto por *Hock (2003)* para que trabaje al paso del tiempo mensual. Otros autores utilizaron este tipo de modelo en los Andes *(Suarez et al., 2008)* y en los Alpes *(Schaeffli et al., 2005)*.

El escurrimiento desde el glaciar sigue las ecuaciones 1 y 2.

$$Q_{hielo} \quad a_{hielo} \; T_{(ti)} \quad T_0 \quad si \quad T_{(ti)} \quad T_0 \qquad (1)$$

$$Q_{hielo} \quad 0 \quad si \quad T_{(ti)} \quad T_0 \qquad (2)$$

Donde, Q_{hielo} (mm) viene a ser el escurrimiento producido por fusión del hielo en el tiempo (t_i), T (°C) es la temperatura del aire, T_0 (°C) la temperatura límite y *a* (mm/mes*°C) es el coeficiente de fusión. De estos, la temperatura T_0 y el a son dos parámetros de calibración del módulo glaciar y la temperatura T la variable de *activación*.

En cuanto a la nieve, el modelo permite por cada catchment producir una capa en evolución (acumulación y derretimiento). Se acumula nieve si la precipitación ocurre bajo una temperatura más baja que la temperatura límite y se produce una fusión de la capa de nieve cuando la temperatura del aire sobrepasa la temperatura límite.

[1] INPE, www.inpe.br
[2] INEI, www.inei.gob.pe

Para el caso de la fusión de nieve se mantiene la misma ecuación cambiando el sufijo hielo por nieve y también los parámetros de nieve. Finalmente, solamente 3 parámetros controlan la acumulación y la fusión de la nieve y del hielo ($T_{0,}$ a_{hielo}, a_{nieve}).

a) Dinámica de extensión de los glaciares en función del clima

Para simular la evolución de los glaciares en términos de volumen y de área, se calcula cada mes y por cada banda (o catchment) glaciar el balance de masa (diferencia entre la acumulación y la ablación). Después a la escala anual se calcula si el glaciar acumuló o perdió hielo. Para estimar el volumen de hielo en el glaciar, el modelo se basa sobre la relación propuesta por *Bahr et al. (1997)*:

$$V_{glaciar} \quad c \quad A^{b}_{glaciar} \qquad (3)$$

Donde, V (m^3) es el volumen glaciar, A (m^2) es el área glaciar calculada en base a imágenes de satélite, b = 1,36 y c = 0,048 son constantes calculadas en base a observaciones hechas sobre 144 glaciares en el mundo. Con el conocimiento de la densidad del hielo (0,9 gr/cm3) se puede calcular el área de la pérdida o ganancia de masa glaciar. Para una descripción detallada del funcionamiento de la parte glaciar del modelo, se recomienda reportarse al artículo *Condom et al*. (en revisión).

a) Hidrología de la parte no glaciar

Para el caso de la parte no glaciar se utiliza el algoritmo propio del programa WEAP, el cual consiste en 2 baldes (reservorios), donde el primero viene a ser la zona radicular y el segundo las zonas profundas. Se generan 3 tipos de flujo: la escorrentía superficial que viene a ser la producida a nivel intermedio, el flujo intermedio y por último, el flujo base. La descripción detallada del modelo está en *Yates (1996) y Yates et al. (2005)*. Sobre la Figura 2 se puede ver el esquema físico del modelo hidrológico propio de WEAP.

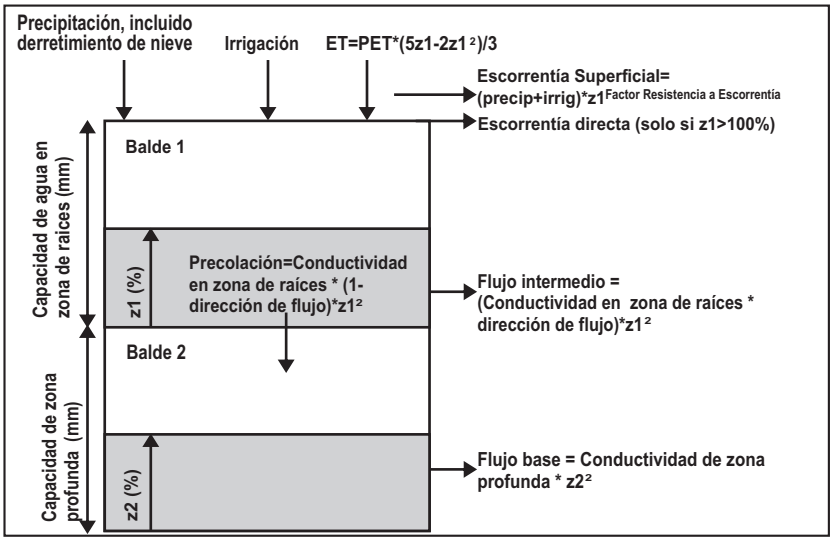


Figura 2: Esquema del funcionamiento hidrológico de la parte suelo y subsuelo del modelo WEAP con 7 parámetros: 1-Kc (no mostrado sobre la figura pero que permite calcular la Evapotranspiración Potencial o PET); 2 - Capacidad de zona profunda (Deep Cap-Dw); 3- Capacidad de zona de raíces (Sw factor-Sw); 4 - Factor de Resistencia a Escorrentía (Rf factor-RRF); 5- Conductividad en zona de raíces (Rf factor-Ks); 6- dirección de flujo (Dir flor-f) y 7- Conductividad en zona profunda (Deep Condición-Kd).

De la zona no glaciar se tiene 7 parámetros de calibración (Figura 2): Kc, Sw factor-Sw, Deep Cap-Dw, Rf factor-RRF, Rf factor-Ks, Deep Condición-Kd, Dir flow-f. Dos valores de inicialización deber ser entradas, la altura de agua en el balde 1 (Z_1) y por último la altura del balde 2 (Z_2).

Criterios de optimización

Se utilizaron dos criterios para evaluar las simulaciones de los caudales mensuales, el coeficiente de Nash y el coeficiente de determinación (r^2). Para evaluar la buena representación de la estacionalidad se calcula el coeficiente de determinación r^2 por la media interanual de cada mes entre la serie observada y simulada.

El coeficiente de Nash desarrollado por *Nash y Sutcliffe (1970)* está mostrado en la ecuación (3). Este coeficiente permite saber si los resultados simulados están en acuerdo con los valores observados, a la vez en términos de fase e intensidad. Cuando su valor es más próximo a 1 (o 100 en porcentaje) el modelo es más satisfactorio.

$$Nash \quad 1 \quad \frac{\sum_{t\ 1}^{n} Q obs,t \quad Q sim,t^{\ 2}}{\sum_{t\ 1}^{n} Q\overline{obs,t} \quad Qobs,t^{\ 2}} \qquad (3)$$

Donde $Q obs,t$ es el caudal observado; *Qsim,t* es el caudal calculado para el mes t ; $Q\overline{obs,t}$ es la media de los caudales observados durante el período de calibración; *n*, el número de observaciones durante el periodo.

RESULTADOS

a) Optimización de los parámetros

En esta parte, presentaremos dos tipos de resultados, las simulaciones del escurrimiento y las simulaciones del retroceso de los glaciares en la zona. Los parámetros optimizados son presentados en la Tabla 1. Durante la fase de calibración, los parámetros fueron optimizados respetando los valores permisibles para cada parámetro *(Singh et al., 2000)*.

Tabla 1. Parámetros de simulación más óptimos encontrados

Parámetros escurrimiento	Parámetros glaciares	Rímac	Mantaro
KC		0.9	1.2
Sw		9	9
Dw		7500	300
RRF		0.3	0.3
Ks		12	6
Kd		800	300
f		0.2	0.2
Z1		30	30
Z2		10	30
	a snow	300	300
	a ice	600	600
	Tϱ	1.7	1.7

b) Simulaciones del escurrimiento

Los resultados de simulación de solamente 3 puntos de control de interés particular están presentados en la Figura 3 con la estación de Chosica sólo para el río Rímac, Mejorada y Pongor (Mantaro) por los periodos de calibración y de validación. La Tabla 2 presenta una síntesis de los resultados para todos los puntos de control de las 2 cuencas.

Chosica acumula los escurrimientos provenientes tanto del río Sheque como del río San Mateo, su simulación para el periodo de calibración de acuerdo al criterio de Nash fue buena con un 0,82 pero su validación no fue tan buena (-0,14), esto se ve influenciada fuertemente por los datos de la estación de Sheque (nordeste de Chosica) que presentaba errores de lectura de precipitación a partir del año 1992; sin embargo, al observar el coeficiente de determinación (r^2) se observa aceptable para la calibración (0,62) y para la validación 0,41. Respecto a la estacionalidad tanto la calibración y validación muestran valores aceptables (Tabla 2) pero viendo que los datos simulados subestiman en casi 10 m^3/s los picos máximos para el mes de marzo, para el periodo de estiaje lo modelado subestima en aproximadamente 5m^3/s.

Para el caso de Mantaro los resultados fueron mejores. Por ejemplo Mejorada, la estación aguas arriba de la central hidroeléctrica Santiago Antúnez de Mayolo presenta unos coeficientes de Nash superiores a 0,6 tanto para la calibración como para la validación. En el caso de Pongor (aguas debajo de la central hidroeléctrica de Restitución) los resultados de simulación también presentan buena concordancia con los caudales observados. Por estos dos puntos de control, los r^2 para la calibración y validación se encuentran por encima de 0,72 y para el caso de la estacionalidad estos valores de r^2 se encuentran por encima de 0,93. En el caso de Pongor se tuvo problemas para simular los picos máximos debido a que no se conocen las descargas producidas por el aliviadero de la represa de Tablachaca (bocatoma de central hidroeléctrica) lo que arroja estos errores.

Tabla 2: Resultados de simulaciones en calibración y en validación por cada subcuenca; presentación del coeficiente de Nash, de determinación (r^2) y de estacionalidad. En Negritas se representan las cuencas aceptables en términos de simulaciones

		Caudal				Estacionalidad	
		Nash		r^2		r^2	
Estación	Cuenca	Calibración	Validación	Calibración	Validación	Calibración	Validación
Piñascocha	Mantaro	-0.03	-2.93	**0.61**	**0.65**	**0.94**	**0.92**
Yulapuquio	Mantaro	0.54	0.47	**0.63**	0.46	**0.94**	0.89
Canipaco	Mantaro	**0.55**	0.44	**0.79**	0.46	**0.96**	0.80
Casaracra	Mantaro	-0.02	0.52	**0.59**	**0.62**	0.76	**0.91**
Cochas Tunel	Mantaro	0.45	-0.67	0.52	**0.58**	**0.97**	0.89
Pachacayo	Mantaro	**0.63**	-0.24	**0.63**	**0.70**	**0.97**	**0.94**
Yanacocha	Mantaro	-0.83	-1.16	**0.74**	0.55	**0.98**	**0.93**
Angasmayo	Mantaro	**0.77**	0.46	**0.82**	**0.70**	**0.95**	**0.92**
Huapa	Mantaro	**0.71**	**0.72**	**0.74**	**0.66**	**0.98**	**0.97**
Huari	Mantaro	**0.70**	0.23	**0.77**	**0.76**	**0.99**	**0.99**
Chinchi	Mantaro	**0.72**	**0.57**	**0.77**	**0.65**	**0.94**	**0.94**
Upamayo	Mantaro	0.53	-0.05	**0.65**	0.44	0.74	0.63
Puente Chulec	Mantaro	**0.70**	-0.05	**0.72**	**0.67**	**0.95**	**0.97**
Puente Stuart	Mantaro	**0.75**	-0.24	**0.79**	**0.74**	**0.96**	**0.97**
Mejorada	**Mantaro**	**0.81**	**0.65**	**0.85**	**0.84**	**0.95**	**0.97**
Pongor	**Mantaro**	**0.75**	**0.70**	**0.82**	**0.72**	**0.94**	**0.93**
Santa Elena	Mantaro	**0.61**	0.33	**0.79**	**0.61**	**0.97**	**0.93**
Quillon	Mantaro	0.19	-0.54	**0.68**	0.44	**0.95**	**0.95**
Moya	Mantaro	**0.60**	0.32	**0.65**	0.54	0.90	**0.97**
Sheque	Rímac	**0.65**	-0.52	**0.62**	0.41	**0.90**	0.75
Chosica	**Rímac**	**0.82**	-0.14	**0.79**	**0.66**	**0.97**	**0.93**
Yuracmayo	Rímac	**0.91**	*	**0.68**	*	0.77	*
Río Blanco	Rímac	**0.68**	0.10	**0.69**	**0.71**	**0.96**	0.73
San Mateo	Rímac	0.44	0.05	**0.75**	**0.69**	**0.91**	0.89
Tamboraque	Rímac	**0.55**	0.46	**0.76**	**0.61**	**0.95**	0.90
Surco	Rímac	**0.83**	**0.64**	**0.79**	**0.70**	**0.95**	**0.90**

* Serie no muy larga

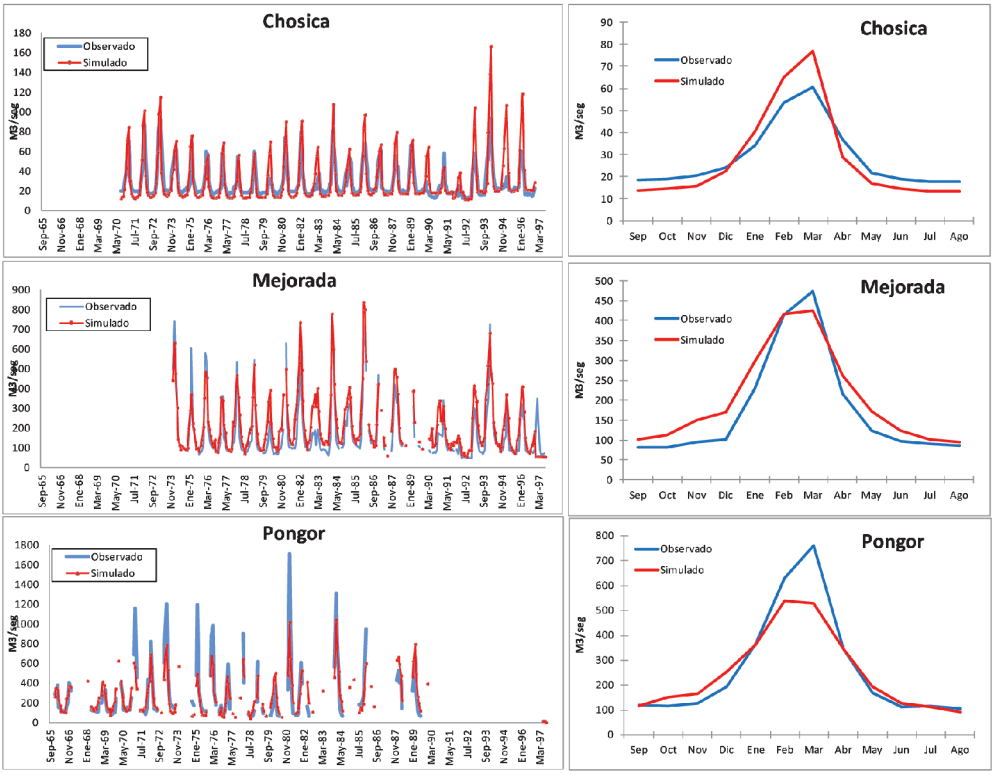


Figura 3. En la parte izquierda: escurrimientos observados y calculados por el periodo de calibración en las estaciones Chosica (cuenca Rímac), Mejorada y Pongor (cuenca Mantaro). En la parte derecha: régimen hidrológico por las tres estaciones durante el periodo total (1970-1997 por Chosica; 1973 - 1993 por Mejorada; 1965-1989 por Pongor).

Simulación del retroceso glaciar:

La Figura 4 presenta el resultado de la simulación de la evolución de la cobertura glaciar para los años 1988 y 1996 de 9 subcuencas glaciares del sistema Rímac-Mantaro. Las buenas correlaciones obtenidas (mayores a 0,74) y la baja dispersión respecto al eje intermedio muestran la correcta simulación entre las superficies simuladas y observadas.

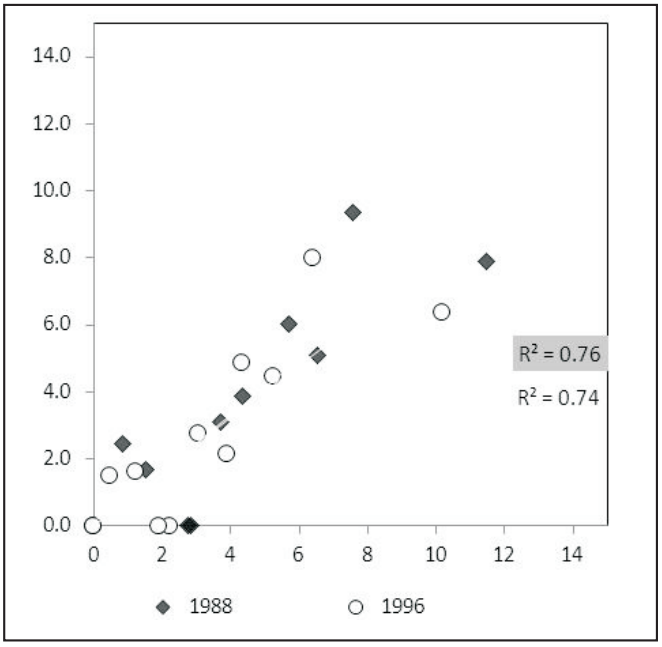


Figura 4. Áreas glaciares en km² observadas (imágenes satelitales) versus calculadas (por el modelo) por los años 1988 y 1996; cada rondo o cuadrado representa una subcuenca del modelo.

La cuantificación de la disminución del área de los glaciares por las 2 cuencas da por el observado en km^2 113 en 1970, 47 en 1988 y 39 en 1997. Por el simulado calculamos 39 km^2 en 1988 y 32 km^2 en 1997.

CONCLUSIONES Y PERSPECTIVA:

En vista de los resultados obtenidos durante el proceso de calibración y validación de las series históricas de caudales del sistema Rímac-Mantaro, se puede considerar que el modelo se encuentra listo para simular las variaciones de caudal de estos ríos bajo diferentes escenarios de cambio climático, lo cual permitirá ver la evolución de los glaciares bajo diferentes variaciones de temperatura, así como la variación de los caudales de los dos ríos bajo diferentes condiciones de precipitación en el futuro. Actualmente el SENAMHI y el MINEM en el marco de un convenio se encuentran generando escenarios de cambio climático para estas dos cuencas.

AGRADECIMIENTOS

A Duke Energy, el COES, Electroperu y Edegel, por su colaboración durante la ejecución de este proyecto. Asimismo, al equipo del Instituto Geofísico del Perú por la invitación y la organización del evento.

REFERENCIAS:

Bahr, D. B., M. F. Meier and S. D. Peckham. 1997. *The physical basis for glacier volume-area scaling*. Journal of Geophysical Research 102:20355-20362.

Condom, T., Escobar, M., Pouget, J.C., Purkey, D., Ramos, C., Suarez, W., Apaestegui, J., Vergara, W. (in revision). *Modelling the Hydrologic Role of the Glaciers using WEAP a case study with the Río Santa watershed (Peru), Journal of Hydrology.*

Hock, R. 2003. *Temperature index melt modelling in mountain areas*. Journal of Hydrology. 282, 104-115 pp.

Klein, A., and B. Isacks. 1998. *Alpine glacial geomorphological studies in the Central Andes using landsat thematic mapper images*. Glacial Geology and Geomorphology.

Nash, J.E., Sutcliffe, J.V. 1970. *River flow forecasting through conceptual models. Part 1 – A discussion of principles*. Journal of hydrology, 27 (3).

Schaefli, B., B. Hingray, I. M. Niggl, and A. Musy. 2005. *A conceptual glacio-hydrological model for high mountainous catchments*. Hydrology and Earth System Sciences 9:95-109 pp.

Singh, P., Kumar, N., Arora, M. 2000. *Degree-day factors for snow and ice for Dokriani Glacier, Garhwal Himalayas*. Journal of Hydrology, 235, 1-11 pp.

Suarez, W., Chevallier, P., Pouyaud, B., y P. López. 2008. *Modelling the water balance in the glacierized Paron Lake basin (White Cordillera, Perú)*. Hydrological Sciences 53 (1), 266-277 pp.

Yates D. 1996. *WatBal: An Integrated Water Balance Model for Climate Impact Assessment of River Basin Runoff*. Water Ressources Development. vol12, N°2,121-139 pp.

Yates D., Sieber J., Purkey D., Huber-Lee A. 2005. *WEAP21 – A demand-, príority- and Preference-Driven Water Planning Model Part 1: Model Characteristics, Water international*. vol. 30, 487-500 pp.

¿Por qué no se realizan operaciones de aumento de nieve en el Perú?

Ramiro Valdivia
Ciudadanía Ambiental
ravh@hvrcd.com

El retroceso glaciar acelerado en los Andes originado por el calentamiento global antropogénico CGA, ha sido monitoreado y modelado en algunas montañas, donde han desaparecido muchos con cotas inferiores a 5 000 msnm, viene asociado a una pérdida en el recurso agua para la época de estiaje (junio - septiembre) y afecta sensiblemente a los sectores agro, energía y salud (ej. agua para el 70 % de la población peruana asentada en valles de la costa desértica). Existen en marcha variados proyectos en la comunidad andina para atender las consecuencias del acelerado retroceso glaciar, ninguno para atender o mitigar el proceso.

Ciertamente, la recuperación de estos bancos de agua sólida, valiosos para los ecosistemas andinos de montaña, costeros y amazónicos, pasa por una lucha contra los forzantes antropogénicos del calentamiento global y el abatimiento de las emisiones de GI (Gases Invernadero), de forma que eventualmente pueda lograrse primero una estabilización y luego el retorno de los contenidos atmosféricos por debajo de 350 ppm (hoy en 387 ppm creciendo a tasas de 2,5 ppm anual). Siendo técnicamente factible el paso a una civilización pospetróleo, acelerar el cambio es un imperativo.

Validar este acierto es relativamente sencillo, basta contabilizar los usos de la energía global (~15 Tera Kw) y calcular, bajo supuestos de la "constante solar en superficie", la eficiencia actual de los sistemas de energía solar, que área sería necesaria cubrir. Se encuentra que con un cuadrado de 500 km de lado, superficie que cabe en muchos desiertos, sería más que suficiente para suplir las demandas de energía de toda la humanidad. Si añadimos la ingente energía hidroeléctrica, eólica, biomasa, tal migración de fuentes de energía es ciertamente posible, esencialmente requiere voluntades políticas para cambiar la dirección de las inversiones actuales de energías globales en combustibles fósiles, a fuentes limpias y renovables.

Además, siendo el CGA la razón principal del Cambio Climático Planetario CCP, existe un sesgo en la discusión a observar exclusivamente la variable temperatura, o los forzantes GEI antropogénicos; sin embargo, una fundamentación más correcta del CCP, requiere tomar en cuenta todos los componentes de forzamiento de la radiación terrestre, que hoy muestran un desbalance positivo de ~1,6 w/m^2 de calentamiento adicional (1,6 MW/km^2) (Figura 1, IPCC, 2007).

Este muestra la ciencia apropiada a tomar en cuenta en las discusiones para lograr acuerdos para la estabilización del clima planetario, la física correcta. El sesgo justifica los actuales Mercados del Carbono MC y STE Sistemas de Transacción de Emisiones, que negocian el

continuar emitiendo, compensando económicamente en teóricas sustracciones y reducciones, mediante forestación e inversiones en tecnologías emisoras más eficientes o limpias.

Sería deseable dar paso a un Mercado de Forzantes MF (de la radiación terrestre) y su STF Sistema de Transacción de Forzamientos (donde los MC y STE son un caso particular), facilitaría la negociación justa, con responsabilidades diferenciadas entre países, respecto al problema del CGA, equidad que se manifestaría de principio por ejemplo, al considerar el STF los forzamientos actuales de gases invernadero, que son producto de su acumulación histórica, factor ignorado en las actuales negociaciones, así mismo tomar en cuenta otros forzantes y albedo de las superficies glaciares y uso de la tierra, igualmente no considerados, que hoy se introducen en los MC bajo artificiales justificaciones de carbón equivalente, siendo factores físicos reales de forzamiento de la radiación terrestre (entre la radiación incidente del Sol y la re-emitida por el planeta al espacio exterior).

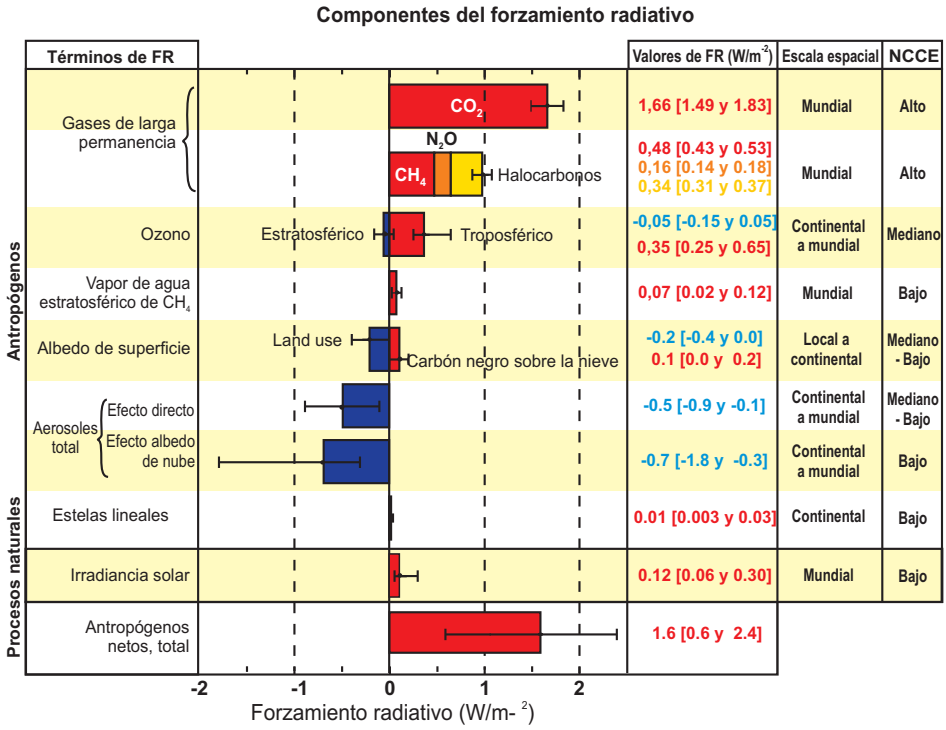


Figura 1. Tomado de IPCC, 2007

Sirva la discusión previa para mostrar que en la lucha contra el cambio climático, el mayor reto de la humanidad del siglo XXI, o del milenio según declaraciones de las Naciones Unidas no podrá ser abordado correctamente sin la física apropiada, y que si bien el forzamiento de calentamiento de los GI es el más importante, existen forzamientos de naturaleza diferente, que juegan un rol importante en el balance de radiación planetario, negativos o de enfriamiento (albedo por uso de la tierra, superficies glaciares, aerosoles), que no pueden ser ignorados y que, para buscar la estabilización del clima planetario, deben ser tratados de manera diferenciada, su atención no puede ser supeditada al sesgo de la exclusiva mitigación de los GEI, STE y MC.

Colateralmente, una reciente publicación de la Royal Society sobre: GeoIngeniería del Clima, da luces sobre el tema de la modificación intencional y planificada del clima a gran escala. Separa dos grandes tipos de métodos, aquellos para Atrapar y Secuestrar el Carbono ASC, (CO_2, CH_4 atmosféricos), de otros que tratan del Manejo de la Radiación Solar MRS. La re (y) forestación, clasificables dentro de los ASC no son consideradas geo-ingeniería, y en general concluye que se debe preferir ASC al MRS, que en muchos casos los costos de su implementación son mayores que la aplicación oportuna de las políticas de mitigación por forestación y migración a fuentes de energía limpias, y que la geo-ingeniería del clima propone métodos complementarios para evitar el cambio climático peligroso.

Para comparar las diferentes técnicas ASC(CDR) & MRS(MRS), se utilizan criterios de: efectividad, costos, impacto ambiental, riesgos, restricciones, efectos laterales, etc. se muestra cuadros resumen, tomados del Informe sobre Geo Ingeniería del Clima - Royal Society 2009.

Tabla 2. Comparación de la eficacia máxima de los métodos de los CDR diferentes

Desplegados para eliminar 1 GtC/Yr						
Técnica	**Costo**	**Impacto de los efectos ambientales previstos**	**Riesgo de efectos ambientales no previstos**	**Limitación máxima**	**Máx. reducción de CO2 (ppm)**	**Referencia**
Uso de bosques y reforestación	Bajo	Bajo	Bajo	Competencia con otros usos de tierra, especialmente agricultura	n/a	Canadell & Raupach (2008); Naidoo et al. (2008)
Biomasa con secuestro de Carbono (BECS)	Medio	Medio	Medio	Competencia con otros usos de tierra, especialmente agricultura. Disponibilidad de lugares confiscados	50 a 150	Read & Parahotam (2007); Korobeinikov et al. (2006)
Biomasa y carbón vegetal (biochar)	Medio	Medio	Medio	Oferta de productos agrícolas/ residuos forestales	10 a 50	Gaunt & Lehmann (2008)
Mayor erosión en la tierra	Medio	Medio	Bajo	Extracción y costos de la energía	n/a	Schuiling & Krijgsman (2006)
Mayor erosión - aumenta la alcalinidad del océano	Medio	Medio	Medio	Extracción y costos de la energía, precipitación de carbonato de océano	n/a	Kheshgi (1995); Rau (2008)
Captura de aire química y secuestro de carbono	Alto	Bajo	Bajo	Costo de disponibilidad de los sitios de secuestro	Ningún límite claro	Keith et al. (2005)
Fertilización de océano Fe	Bajo	Medio	Alto	Dinámica del sistema de carbono en los océanos	10 a 30	Aumont & Bopp (2006)

Océano N y fertilización con P	Medio	Medio	Alto	Costo y disponibilidad de nutrientes	5 a 20	Lenton & Vaughan (2009)
Mar de surgencia. Hundimiento	Imposi-ble				1 a 5	Zhou & Flynn (2005)

Tabla 3. Comparación de las técnicas SRM

Técnica SRM	**Máximo forzamiento radiativo (W/m2)**	**Costo por año por unidad de forzamiento radiativo ($10*9/yr/W/m2)**	**Posibles efectos secundarios**	**Riesgos (nivel de probabilidad máxima)**
Albedo de solución humano (a)	-0,2	2000	Cambio climático regional	L
Pastizales y cultivos albedo (b)	-1	n/a	Cambio climático regional. Reducción de los rendimientos de los cultivos	M L
Albedo de la superficie del desierto (c)	-3	1 000	Cambio climático regional. Impactos en el ecosistema	H H
Nube de albedo (d)	-4	0,2	Terminación de efecto. (h) Cambio climático regional	H H
Aerosoles estratosféricos (e)	Sin límite	0,2	Terminación de efecto. Cambio climático regional. Cambios en el inicio. Química	H M M
Espacio basado en reflectores (f)	Sin límite	5	Terminación de efecto. Cambio climático regional. Reducción de los rendimientos de los cultivos.	H M L
Convencionales de mitigación(g) (sólo para comparación)	-2 a -5 (g)	200 (g)	Reducción de los rendimientos de los cultivos.	L

Es notable que los métodos de modificación artificial de la precipitación no sean considerados, probablemente por el sesgo hacia la temperatura como mayor conductor del cambio del clima.

La Royal Society recomienda que, previo a cualquier experimentación desarrollo o implementación futura de métodos de geo-ingeniería, se deben considerar los siguientes criterios: 1) Legalidad 2) Efectividad 3) Temporalidad (para la implementación y efectos sobre el clima) 4) Impactos ambientales, sociales y económicos (incluyendo consecuencias inesperadas) 5) Costos 6) Mecanismos de financiamiento 7) Aceptación Pública 8) Reversibilidad (tecnológica, política, social y económica).

Acá, se usan dichos criterios para responder al título del artículo, bajo la asunción implícita de que un glaciar de montaña en retroceso requiere para su recuperación primordialmente ingresos adicionales de nieve. Esta es una tarea ambientalmente deseable de lucha contra el cambio climático local, teniendo claro que reducir la temperatura es también necesario, pero que la mitigación del calentamiento global es obligación ética planetaria.

Además, entendiendo que es un problema secular cuya solución involucra múltiples sectores, el autor ha propuesto reiteradamente, a distintos estamentos del Estado, se invierta en un perfil SNIP[1] para formalizar: *Operaciones Recurrentes de Aumento de Nieve en Glaciares Eco-sistémicamente (ORANGE), donde se propone trabajar con comunidades alto andinas, tareas peri-glaciares de andenería con agro-forestación nativa para mejorar las condiciones del albedo y humedad circundantes o de la zona de amortiguamiento; y con la alianza y concurso de la Cooperación Técnica Internacional junto a múltiples instituciones nacionales y academias, utilizar técnicas de la física de nubes para mejorar la eficiencia natural de precipitación de nieve, operando físicamente sobre nubes súper-frías no precipitadas*. Se evalúa esta propuesta.

1) **Legalidad:** La Ley de Aguas peruana encarga al Estado velar por el cuidado de las fuentes de agua, sin especificar cómo hacerlo en el caso de los glaciares, en tanto que los cualesquiera usos del agua recaen en la Autoridad Nacional de Agua (ANA), que pertenece al sector agricultura y tiene entre sus oficinas una unidad de glaciología; la calidad del agua recae en Salud, bajo la Superintendencia Nacional del Agua y Servicios de Saneamiento (SUNASS); los usos energéticos recaen en el Ministerio de Energía y Minas (MINEM); y el Ministerio del Ambiente, que cuenta con oficinas de Valoración de Recursos Naturales y Cambio Climático, además del Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) dentro de su mandato, previéndose que la ANA lo haga pronto, por lo que este sería el sector ejecutivo encargado.

[1] SNIP: Sistema Nacional de Inversión Pública

En la fecha, la Comisión de Pueblos Andinos, Amazónicos y Afro-Peruanos del Congreso, tiene interés en propulsar un proyecto de ley para mitigar el retroceso glaciar. En conclusión, hay un limbo entre el vacío legal específico y los mandatos genéricos no asumidos.

2) **Efectividad:** El retroceso glaciar da lugar a un entorno seco rocoso de bajo albedo, que provee un reforzamiento al calentamiento local; un modelo virtuoso de servicios ambientales donde las poblaciones a lo largo de la cuenca acordaran enviar sus residuos orgánicos tratados a la cabecera de cuencas, para realizar andenerías de agro-forestación peri-glaciar con especies nativas. Reduciría este forzamiento, proveyendo reducción del albedo y aumento de humedad local, junto al trabajo y medios, a comunidades en extrema pobreza involucradas en una estrategia para la preservación de la biodiversidad al implementar áreas de migración ad hoc. De otro lado, con el calentamiento global es de esperar una reducción en la eficiencia natural de precipitación, así como nieve en las zonas glaciares, las zonas de mayor cobertura nubosa por excelencia.

   Se observa con relativa frecuencia en estas zonas, nubes cargadas que pueden precipitar sin realizarlo, donde la dispersión de agentes catalíticos (humos AgI algunos gramos o, se-CO_2 o N_2-Líquido unos Kg, etc.) facilitaría completar este proceso. Declara la Organización Meteorológica Mundial (OMM) sobre las distintas técnicas MAT de Modificación Artificial del Tiempo Atmosférico, que en todas existen dudas, excepto en la disipación de nieblas frías (T<-5ºC) donde la eficiencia es tan alta que ni se ha evaluado cuánto. Este tipo de nubes o nieblas son las presentes sobre los glaciares y su disipación da lugar a precipitación sólida, siendo el mejor tiempo de operación, la madrugada.

   Adicionalmente, aunque en otros contextos latitudinales, las operaciones de aumento de nieve durante el invierno se realizan desde hace más de medio siglo en USA, China, Rusia, declarando ingresos adicionales entre 15 a 20 % anuales, por lo que extrapolando por altitud ante la ausencia de pruebas experimentales locales a la fecha, se estima que la efectividad de la propuesta ORANGE sea similar, lo que es mediana a alta efectividad, comparado al actual estado de inacción.

3) **Temporalidad:** La implementación de servicios ambientales en tareas comunales para el aseguramiento de agua, construyendo andenes agro-forestales con especies nativas, requiere de acuerdos de cuenca, para la provisión de compensaciones mediante materia orgánica tratada y remuneraciones, así como la construcción, la siembra y crecimiento de las especies, por lo que efectos sensibles de aumento de humedad y cambio de albedo en la zona de amortiguamiento pueden tomar unos años, pero sus permanentes efectos benéficos de regulación hidrológica lo ameritan.

   Por otro lado, las operaciones de modificación inducida de la precipitación sólida, desde nubes frías, son una tarea de montaje de tecnologías existentes, que en contextos políticos, institucionales y financieros apropiados, puede efectuarse en plazos muy cortos, semanas a meses, siendo sus efectos sobre el clima, ingresos adicionales de

nieve sobre glaciares en retroceso, inmediatos, aunque dependientes de las condiciones naturales del año hidrológico (de seco a per-húmedo) como de la eficacia física-científica de la siembra. Es la combinación de ambas tareas lo que garantizaría su mutuo suceso.

4) **Impactos ambientales, sociales y económicos**: De frenar el retroceso glaciar y eventualmente recuperar glaciares en los Andes, los impactos ambientales invaluables serían los de mantener los actuales beneficios brindados a los ecosistemas de montaña, costeños, amazónicos y la perspectiva de preservación de la biodiversidad vs desertificación. Socialmente las tareas de construcción de andenes tienen un alto valor estratégico, significa recuperar técnicas ancestrales y recobrar la memoria histórica, preservando la cosmogonía local. El impacto económico es altamente positivo sobre las comunidades, pues se revierte una situación de riesgo de pérdidas por escasez, a otra de ampliación de la frontera agro-forestal, logrando beneficios de los residuos orgánicos que actualmente generan contaminación por acumulación, más aseguramiento de fuentes de agua tradicionales. En caso de que las operaciones de modificación artificial del tiempo no se dieran de manera científicamente controlada, existe riesgo de generar exceso de precipitaciones, riesgo que aumenta sin realizar estas operaciones, creciente bajo los modelos actuales de evolución del clima, y pérdida del efecto temperante y regulador por la presencia de las masas glaciares, Apus de la cosmogonía andina. La apropiación local de la ciencia atmosférica aplicada es un valor estratégico cultural asociado a la propuesta.

5) **Costos:** La construcción de andenes en las zonas peri-glaciares requiere de piedras para los muros, que existiendo ahí en abundancia, su costo es nulo; sin embargo, el material orgánico residual proveído por las poblaciones de la cuenca, tendría costos de procesamiento y transporte. Además, los costos de mano de obra se pueden estimar por m^2 vertical de muro de piedra y m^2 horizontal de adecuación de terreno fértil e insumos de siembra, donde una media arbitraria de $5/$m^2$ para ambas puede ser apropiada y da lugar a valores millonarios, para dimensiones de decenas de km^2 por glaciar, aparentemente altos; ello se justifica más adelante bajo una óptica andina.

   Los costos operacionales anuales pueden asumirse en 250 K$, iguales a la media de inversión realizada en la sierra central peruana durante las operaciones para aumento de lluvia el año hidrológico 92-93, pudiendo ser sensiblemente menores por zona glaciar. Sin embargo, son requeridos costos iniciales en instrumental científico de monitoreo y operacional especializado del orden de 500 K$, para un generador de nitrógeno líquido, un vehículo aéreo no tripulado, generadores superficiales remotos de humos de AgI, LIDAR atmosférico, radar meteorológico y estaciones automáticas de monitoreo glaciar.

6) **Mecanismos de financiamiento:** Una economía moderna (necesaria dadas las crisis globales generadas por la economía convencional, que ha interferido con el clima planetario tornándolo peligroso al desarrollo humano), no puede seguir operando bajo supuestos de empresas como sistemas cerrados, si no abiertos a un entorno que afecta y puede afectarlo. Se habla entonces de sostenibilidad ambiental como requisito fundamental.

Así por ejemplo, en la discusión inicial se propone evolucionar los mercados del carbono y su sistema de transacción de emisiones, para lograr una negociación del clima planetario con mayor equidad, a los sistemas de transacción de forzantes para buscar el balance de radiación terrestre, donde el uso de la tierra y albedo son componentes físicos con igual realidad que la acumulación de los gases de efecto invernadero en la atmósfera. De lograr estos contextos el financiamiento estaría garantizado, en tanto ello se da, se deberá recurrir a los fondos para la mitigación de desastres proveídos por la "buena voluntad de los países desarrollados" y la Cooperación Técnica Internacional voluntaria, para cubrir costos de implementación inicial. Los costos de mantenimientos anuales u operacionales, se podrán cubrir bajo los mecanismos de servicios ambientales de los ecosistemas, con la participación de las empresas beneficiadas, generadoras eléctricas, agrícolas y mineras con responsabilidad social. Sin embargo, todo ello requiere primordialmente subsanar criterios de legalidad.

7) **Aceptación Pública:** La realización de operaciones para la recuperación glaciar es una propuesta original del autor, mereció ser presentada en la cartera de proyectos presentada por RREE en la cumbre del desarrollo sostenible Johannesburgo 2002, y está en los Planes de Manejo de la Comunidad Campesina Área de Conservación Privada Huayllapa en la Cordillera Huayhuash. Sin mediar participación del proponente ha sido incorporada en el Plan de Desarrollo de la Cuenca Alta del Río Rímac (Ordenanza Municipal Cocachacra), en la Agenda Climática Macro Centro (Huancavelica, Pasco, Ayacucho y Huancayo), la Agenda Social de Emergencia del Llamado Mundial a la Acción Contra la Pobreza, ha sido presentada en múltiples eventos universitarios científicos locales como el ECI, se comentó en radios de provincias y en RPP, mereció la atención de reportajes televisivos y medios como El Comercio y Caretas le han dedicado extensos titulares, es difundida en redes ambientalistas de internet.

   Esta positiva expectativa en la sociedad ante la propuesta, choca contra la indiferencia y extraña mala lectura de instituciones consultadas, que por ejemplo leen "proyecto" donde se escribe "propuesta" sin perfil ni unidad formuladora, …"por tanto declarada inviable".

8) **Reversibilidad (tecnológica, política, social y económica):** No existe nunca buen motivo para deshacer andenes. Igualmente, las inversiones propuestas en tecnología siempre serán útiles para mejorar la modelación atmosférica, y las operaciones de modificación artificial del tiempo, pueden detenerse a voluntad cualquier momento.

CONCLUSIONES

- No existen contextos de ética de conservación globales.
- No existen los contextos legales ni institucionales nacionales.
- Existe una inercia política y social negligente que debe ser evitada.
- Una opción de contingencia de interés público, se detiene por opiniones personales.
- Las instituciones se limitan a sus competencias de mandato, no amplían sus funciones operativas. El Estado se siente incapaz de invertir en un perfil ORANGE.

RECOMENDACIÓN:

Se invierta en un perfil SNIP – ORANGE en contextos oficiales.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Geoengineering the climate: science, governance and uncertainty. RS Policy document 10/09 - Issued: September 2009 Rs1636

CAPÍTULO III

POLÍTICAS NACIONALES Y REGIONALES SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO

Los aspectos de gestión y política son un componente de primer orden en la lucha contra los efectos negativos del cambio climático, por ello en este capítulo se presentan los avances de las regiones en este campo.

El capítulo se abre con el artículo "Los efectos del cambio climático en la región central" a cargo de Juan Carlos Castro, especialista de enlace regional del MINAM, que da una visión general de la problemática del cambio climático y las políticas asociadas en la cuenca del río Mantaro.

A continuación, 3 gobiernos regionales cuya jurisdicción política abarca parte de los territorios de la cuenca, presentan los avances de sus respectivas regiones en aspectos relacionados a políticas regionales sobre cambio climático: "Acciones del Gobierno Regional de Junín frente al cambio climático", a cargo de Elizabeth Oré - subgerente de la sub gerencia de Recursos Naturales y Medio Ambiente -, y Dante García - especialista ambiental -, ambos del Gobierno Regional de Junín; "Prácticas del Gobierno Regional de Huancavelica relacionadas al cambio climático", a cargo de Hugo Caballero, sub gerente de de la Gerencia de Medio Ambiente y Recursos Naturales del Gobierno Regional de Huancavelica; y finalmente "Las políticas del Gobierno Regional de Pasco frente al cambio climático en la cuenca del río Mantaro", a cargo de Melquiades Luis, subgerente de la Gerencia de Recursos Naturales y Gestión del Medio Ambiente del Gobierno Regional de Pasco.

El cambio climático y sus efectos en la región central

Juan Castro
Ministerio del Ambiente – MINAM
jcastro@minam.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Las responsabilidades de Perú por la emisión de Gases de Efecto Invernadero son reducidas (Figura 1), pero como país enfrenta muchos riesgos y sufrirá las consecuencias de los cambios climáticos globales.

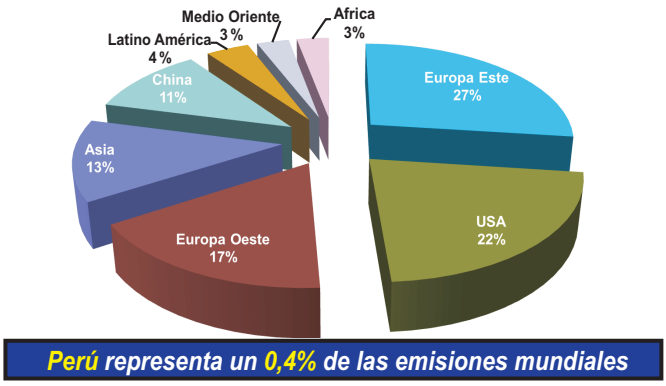


Figura 1. Emisiones Globales de GEI (Inventario de emisiones 2000, CONAM)

Entre estas consecuencias se cuentan: incremento de temperatura del aire y afectación a los glaciares tropicales, mayor frecuencia de inundaciones y sequías, que aumentarán las cargas de sedimentos y degradarán la calidad del agua en algunas regiones, disminución de los rendimientos de las cosechas, extensión de la distribución geográfica de las enfermedades transmitidas por vectores, aumento del nivel del mar, incremento de la tasa de pérdida de diversidad biológica, etc.

En el Perú, las emisiones nacionales en el año 2000 se estimaron en 120,3 millones de toneladas de CO_2 equivalente, lo cual significaría que las emisiones aumentaron aproximadamente 20 % (98,8 millones de toneladas de CO_2 equivalente) con relación al año 1994. Debido a la conversión de bosques y pasturas (deforestación) se ha emitido aproximadamente 110 millones de toneladas de CO_2 equivalente, habiendo capturado 53 millones por cambio en biomasa y stock leñoso.

Las emisiones por consumo de combustibles en el Perú son 24,2 millones de toneladas de CO_2 equivalente y aproximadamente el 40 % de estas son generadas en el sector transporte,

seguido por el sector residencial comercial y agricultura con 20 %, así como por Industrias de la transformación y conversión con 13 % de participación cada uno (Figura 2).

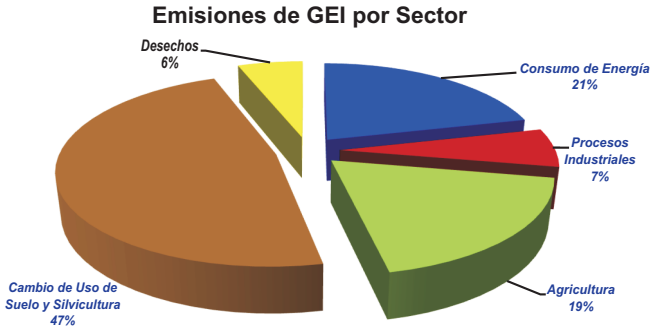


Figura 2: Emisiones de GEI por sectores – Perú (inventario de emisiones 2000, CONAM)

EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN CENTRAL DE PERÚ

La región central es considerada el área del país con mayor vulnerabilidad por la ubicación geográfica, especialmente en el valle del Mantaro[1]. Esta región es importante porque es la principal abastecedora de alimentos de Lima y precisamente uno de los efectos del cambio climático se reflejará en la seguridad alimentaria, asociado a la escasez de agua. Sin duda sería el sector agrícola el más afectado por el cambio climático, ya que disminuirían los rendimientos de las cosechas y la producción ganadera; también la acuicultura podría verse afectada. Dada la importancia del sector agrícola en la región es que se considera necesario adoptar como política regional la prevención de los efectos del cambio climático.

Entre los principales efectos para la agricultura podemos mencionar:

- La mayor exposición al estrés calórico alteraría la producción de los principales cultivos en la región como: el olluco, papa, oca, kiwicha, quinua, maca y cañihua.
- Los cultivos mejorados sufrirán alteraciones fisiológicas por el incremento de la temperatura lo que obligará a un desplazamiento hacia las partes altas.
- Los cultivos nativos se verán afectados por la aparición de plagas como gorgojos y polillas, lo que obligará a desplazar estos cultivos a zonas más frías y altas.
- El incremento de temperatura producirá un aumento de productos estriados, menor tamaño de los tubérculos y una alta tasa de pudrición.
- En algunos cultivos (alverja, habas, etc.) se elevará la proliferación de plagas, especialmente de cortadores, barrenadores de tallo, mosca minadora, entre otras.

Entre los principales efectos para la ganadería tenemos:

[1] IGP. 2003-2005. Estudio de Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca del Río Mantaro.

- La disminución en los volúmenes de agua y la priorización para uso poblacional generará que no se cuente con disponibilidad para el riego de las áreas de pastoreo y para el consumo directo por parte de los animales.
- La disminución del recurso hídrico por los deshielos de la cordillera generará que las grandes extensiones de terreno y áreas entren en proceso de desertificación afectando fundamentalmente las áreas de pastoreo.
- Debido al incremento de temperatura y la disminución de precipitación, las ricas especies palatables de la zona andina, - que son sustento de los animales domésticos – podrían disminuir, afectando la disponibilidad de alimentos para los animales, que a su vez, sirven de sustento a la población.
- Con los cambios en las condiciones ambientales mencionados, parásitos como el *Fasciola hepática*, podrían iniciar un proceso de adaptación a zonas de mayores altitudes, incrementando las enfermedades de animales domésticos de consumo.

También la población rural y urbana de la región central se verá afectada por el cambio climático, erosionando la estructura social, y generando conflictos sociales por acceso a recursos naturales, tales como el abastecimiento de alimentos. Entre los principales efectos se pueden nombrar:

- Incremento de enfermedades como malaria, dengue y otros que se creían controladas, debido a que los cambios ambientales podrían generar una aceleración del ciclo biológico de los vectores. Esto también afectaría la atención en los centros de salud, poco o nada preparados para atender y albergar a los pacientes afectados.
- Desabastecimiento de agua en las ciudades de la región generará conflictos sociales por la priorización en el uso de este recurso, debido a que las poblaciones de las ciudades se verán enfrentadas a los productores agrarios y ganaderos por el acceso a los recursos hídricos.
- Desabastecimiento de alimentos, esto debido a la disminución y/o merma de la producción agrícola y ganadera como consecuencia de la disminución en la disponibilidad de agua y el incremento de enfermedades y plagas.
- Desplazamiento de la población, debido a que al disminuir sus posibilidades de acceso de recursos naturales para subsistir, las poblaciones buscarán nuevas zonas o invadirán áreas, generando conflictos por recurso suelo.

MEDIDAS DE ADAPTACIÓN A LOS EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

Las medidas de adaptación a los efectos del cambio climático pasan en términos generales por la formulación de un buena estrategia regional de cambio climático, en la que se debe dar énfasis a mecanismos para superar las capacidades débiles o inexistentes de adaptación, poniendo especial atención en el fortalecimiento del Gobierno Regional; fortalecimiento de las Municipalidades Provinciales; fortalecimiento del Sistema Regional de Gestión Ambiental y generación de capacidades en la sociedad civil. Puntualmente pueden mencionarse:

a. Priorizar la prevención en los programas y proyectos vinculados con el cambio climático generando instrumentos de alerta temprana y de acción rápida (contingencias) frente a los eventos climáticos extremos.

b. La gestión integrada de cuencas debe ser el enfoque base para la gestión del territorio y la aplicación de políticas, estrategias y mecanismos de adaptación al cambio climático.
c. Promover el cambio de la matriz energética actual migrando hacia sistemas energéticos menos contaminantes, de manera que se mejore la competitividad de las actividades económicas.
d. Integrar en los proyectos de infraestructura productiva, la perspectiva del cambio climático, tanto en el ámbito de mitigación como en la de adaptación.
e. Incluir medidas de adaptación y atenuación para la gestión del agua destinada a la agricultura en los planes regionales de desarrollo.
f. Difundir el conocimiento sobre el cambio climático.
g. Incrementar áreas con cobertura vegetal (reforestación y forestación), especialmente en las cabeceras de las cuencas con la finalidad de retener agua.
h. Promover proyectos de manejo de praderas con la finalidad de sembrar agua en las partes altas de las cuencas.
i. Promover el cambio tecnológico en los sistemas de riego, migrando del riego por inundación hacia riego tecnificado (goteo, aspersión, otros)
j. Priorizar el revestimiento de canales de riego y de conducción de agua para evitar pérdida de agua por infiltración y evaporación.
k. Priorizar proyectos de afianzamiento hídrico (represas de lagunas) como sistemas eficientes de almacenamiento de aguas en un porcentaje alto de las lagunas disponibles.

El Gobierno Regional Junín y su accionar frente al cambio climático

Elizabeth Oré
Sub Gerente de Recursos Naturales y Medio Ambiente
Gobierno Regional de Junín
econunhez@yahoo.com

Dante García
Gobierno Regional de Junín
dgarcia12@yahoo.com

RESUMEN

Hablar de los resultados encontrados y del consenso de la comunidad científica de la información convincente sobre el cambio climático nos lleva a la conclusión inherente de definir a este problema ambiental como el más importante del presente siglo y como una realidad de generación antrópica. De ahí que el primer análisis, en países y regiones como el nuestro, está dirigido al análisis de la vulnerabilidad, el peligro y el riesgo de los sistemas físico, biológico y socioeconómico, y la actuación ulterior. La región Junín, es una región vulnerable dada las actividades primarias que desarrolla gran parte de la población y que pueden verse afectadas por la inestabilidad del clima a causa de sus cambios.

El Gobierno Regional Junín posee una política de prioridad en el marco de la gestión ambiental frente al cambio climático. En el año 2007 aprobó mediante decretos regionales, la Estrategia Regional de Cambio Climático y la Política Regional del Ambiente con la finalidad de contribuir con el mejoramiento de la calidad de vida, garantizando ecosistemas saludables, viables, y funcionales en el largo plazo; y el desarrollo sostenible regional, destacando la necesidad de proponer y desarrollar instrumentos que nos permitan enfrentar con buen pie los embates del cambio climático.

Para implementar esta estrategia y política, se centran esfuerzos para el fortalecimiento del Sistema Regional de Gestión Ambiental en materia de cambio climático a través del Grupo Técnico Regional de Cambio Climático, así como la generación y ejecución de proyectos de adaptación sobre este fenómeno, sin descuidar nuevas propuestas que involucren el estudio de glaciares, prioricen la atención al tema de los recursos hídricos, la educación ambiental y la gestión de riesgos.

INTRODUCCIÓN

Durante mucho tiempo las actividades humanas han generado grandes proporciones de gases como el dióxido de carbono hacia la atmósfera, los cuales incrementaron el riesgo de desequilibrar el efecto invernadero y derivar de ello un cambio climático en nuestro planeta. Son los países industrializados los que mostraron una mayor contribución de emisiones de estos Gases de Efecto Invernadero (GEI), como lo reportó la División de Estadísticas de las Naciones Unidas el año 2002. Nuestro país no es gran emisor de GEI ya que según este

reporte sólo representa el 0,1 % de las emisiones a nivel mundial. Pese a ello, en el valle del Mantaro se han registrado también incrementos de emisión de CO_2 pero como ya habíamos mencionado antes, la contribución de este gas de efecto invernadero a nivel de nuestra región no aporta significativamente al cambio climático dado que este fenómeno es de naturaleza global y sus causas y efectos interactúan en el ámbito del planeta y no se focaliza por grandes regiones.

Observando nuestro ámbito regional, recientes estudios científicos desarrollados por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) revelaron que entre junio de 1983 y agosto de 2006, el nevado Huaytapallana, ubicado al este de la ciudad de Huancayo perdió 50 % de su superficie glaciar, corroborando así que el retroceso en los glaciares andinos es una realidad alarmante que está causando efectos negativos importantes, como por ejemplo la disminución del recurso hídrico (*P. Lagos, Ch. Huggel & R. Zubieta 2008*). En la Figura 1 se evidencia el retroceso glaciar del nevado Huaytapallana que es sin duda el motor generador de recursos hídricos en la región Junín, dada su influencia sobre el valle del Perené y Mantaro, además de actuar como fuerte regulador climático y de precipitaciones. La disminución de sus hielos, debido al fenómeno de calentamiento global, genera disfunciones en el clima que afecta a todas las actividades de la población principalmente a la primaria relacionada a la agricultura así como el incremento del riesgo de desastres y afección a la salud.

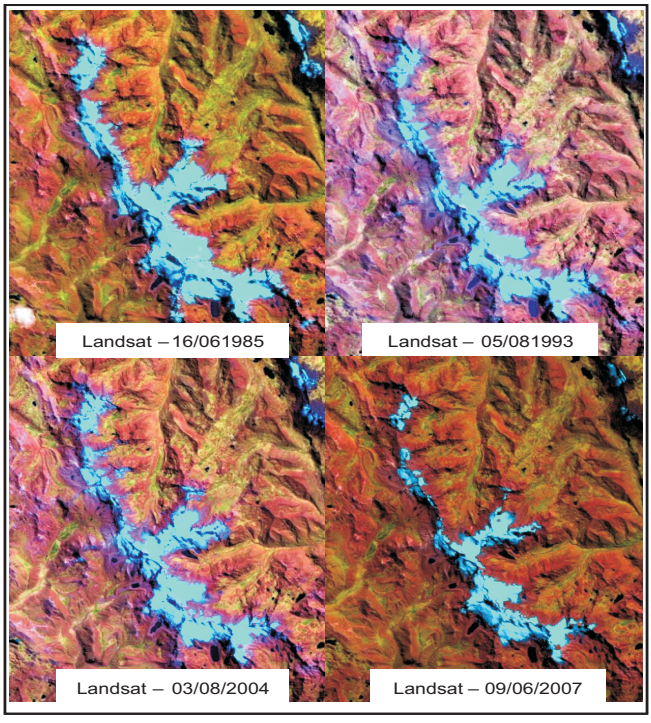


Figura 1. Imágenes Satelitales del Nevado Huaytapallana. Fuente: Análisis de teledetección de nevados en la región Junín – D. García J.

El estudio de vulnerabilidad en la cuenca del Mantaro del Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para Manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM) concluyó que durante los últimos 50 años se observó un incremento en la temperatura máxima alrededor de 1,3 °C, una tendencia negativa en 3 % de precipitación, incremento de frecuencia de heladas en los últimos 40 años, entre otras conclusiones importantes. Esto hace prever la necesidad de contar con información relacionada al riesgo y vulnerabilidad bajo el enfoque de cambio climático así como sistemas de información y pronósticos del tiempo en magnitud de alta certeza, y de manera continua con la finalidad de adoptar medidas necesarias en los diversos sectores de atención, sea el de educación, salud, agricultura, etc.

Esta visión inmediata de la realidad como situación negativa y el liderazgo de los procesos de cambio, mejora y crecimiento que tenemos que implementar los Gobiernos Regionales en el marco del proceso de descentralización, son motivos suficientes para asumir acciones inmediatas en la gestión del cambio climático iniciando por el fortalecimiento de las capacidades para la adaptación a los nuevos escenarios climáticos en nuestra región.

ENFRENTANDO EL CAMBIO: LAS ACCIONES

El Gobierno Regional Junín ha desarrollado una serie de instrumentos de gestión (Figura 2), con la finalidad de regular y vigorizar el accionar en la materia bajo un enfoque de mejora continua articulando el planteamiento de Deming: Planear, Actuar, Revisar y Mejorar, con nuestra contraparte de gestión ambiental: Política, Plan, Programa y Proyecto.

El Gobierno Regional Junín, en diciembre del 2007, aprobó mediante Decreto Regional Nº 003-2007-GR-JUNIN/PR la Política Regional del Ambiente, el cual establece cinco Políticas Regionales Ambientales (PRA) y orienta a una de ellas (PRA III) a la reducción de la vulnerabilidad al cambio climático y a los desastres naturales así como a la mejora de la capacidad de atención de emergencias. Se aprobó también, con Decreto Regional Nº 002-2007-GR-JUNIN/PR, la Estrategia Regional de Cambio Climático (ERCC), convirtiéndose la región Junín en la primera a nivel nacional en generar un instrumento de esta naturaleza, dando inicio a la gestación de políticas y lineamientos de carácter ambiental. Pero es sin lugar a dudas, la Ordenanza Regional Nº 083-2008-GRJ/CR, ordenanza regional del ambiente, aprobada en mayo de 2008, el marco general para el fortalecimiento de la gestión pública ambiental a nivel de la región Junín que delinea el Sistema Regional de Gestión Ambiental y emplaza a la generación e implementación de los instrumentos de gestión ambiental.

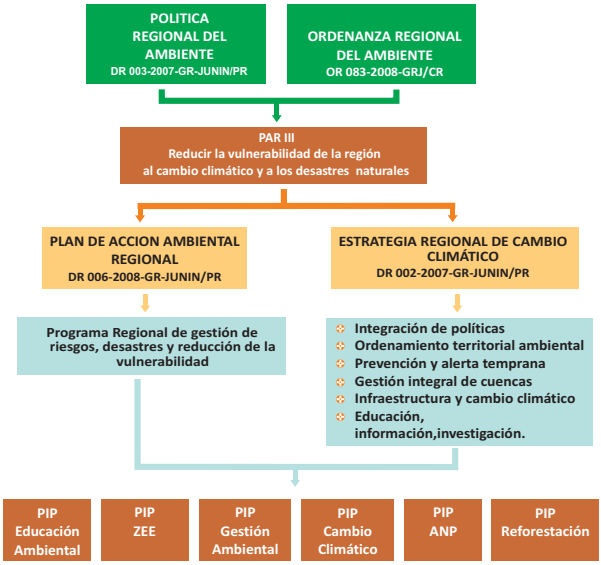


Figura 2. Instrumentos de gestión del Gobierno Regional de Junín

Bajo este marco político normativo, se aprueba en septiembre de 2008 el Plan de Acción Ambiental Regional mediante Decreto Regional Nº 006-2008-GR-JUNIN/PR como instrumento de gestión que contiene dentro de su estructura el Programa Regional de Gestión de Riesgos, Desastres y Reducción de la Vulnerabilidad que tiene como lineamientos de acción: a) la implementación de las medidas de adaptación en los sectores agrícola, energía y salud, b) el desarrollo de capacidades en zonas priorizadas, c) la gestión integrada de cuencas, d) formulación de proyectos hídricos y; e) el desarrollo de capacidades de prevención de emergencias y desastres asociados al cambio climático.

Conjugado a este, otro de los instrumentos de gestión mencionados es precisamente la Estrategia Regional de Cambio Climático que define siete políticas:

1. La incorporación de la perspectiva del cambio climático dentro de las demás políticas públicas de nivel regional y municipal.
2. La priorización del ordenamiento territorial ambiental a través de la ZEE.
3. La priorización de la prevención mediante alerta temprana y contingencias climáticas.
4. La incorporación del enfoque integrado de cuencas hidrográficas.
5. La promoción del cambio de la matriz energética.
6. La integración en los proyectos de infraestructura productiva la perspectiva del cambio climático.
7. La promoción de la participación ciudadana, educación ambiental, la información y la investigación científica.

La experiencia en este sector nos ha demostrado que la planificación y la acción deben ser prácticamente paralelas, por lo que sugerimos que la implementación de los instrumentos

de gestión deben generarse casi simultáneamente, mientras se diseñan estos o se corre el riesgo de dilatar el tiempo, dado todo el procedimiento administrativo que tiene que respetarse en el ámbito de la gestión pública. Considerando la necesidad presupuestal que amerita la implementación de los lineamientos y políticas específicas, desde la Sub Gerencia de Recursos Naturales y Medio Ambiente se opta, además de promover acciones diversas en la materia, por imbuir una cultura de proyectos principalmente de inversión pública que pueda poner en marcha el programa y la estrategia regional de cambio climático.

Una de las primeras acciones fue precisamente posicionar el tema cambio climático en el Día Mundial del Medio Ambiente del año 2008, a través del Curso *"Enfrentado el Cambio: desafíos frente al cambio climático en la región Junín"* que reunió a expertos de nivel nacional del SENAMHI, IGP y WWF Perú en conferencias magistrales, a la vez que se publicaba la *Estrategia Regional de Cambio Climático* para ser difundida. Desde entonces se promovieron diversas acciones que buscaban sensibilizar a la población como: el desarrollo de la *Bicicletada Tour "Por un aire limpio",* que además de promover el tema de la calidad de aire promocionaba el empleo de trasporte limpio; el *"1er Festival de Cine Ambiental",* con la proyección del film *"Una verdad incómoda"* que contó con la autorización de The Climate Project, fundación que promueve Al Gore por el cambio climático; la campaña *"Ellos llegaron antes, no permitas que se vayan primero: por la conservación de un ambiente natural"* poniendo énfasis en la importancia de las áreas naturales protegidas dada su fragilidad ante la amenaza del cambio climático, entre otras diversas acciones desarrolladas.

La preocupación del Gobierno Regional Junín es la de generar los mecanismos necesarios para la promoción de la investigación científica en la región que tiene entre sus temáticas precisamente al cambio climático. Durante estos dos últimos años se ha desarrollado el 1er y 2.° Encuentro Macroregional de Investigación Ambiental (EMIA), que buscaba definir lineamientos de investigación y consiguió generar la Agenda Regional de Investigación Ambiental en su última edición.

No obstante, desarrollar de manera planificada y continua acciones que implementen los instrumentos de gestión, se realiza a través de los proyectos de inversión pública gestados por la Sub Gerencia de Recursos Naturales y Medio Ambiente. Desde el Proyecto SNIP Nº 23338 "*Educación Ambiental No Formal en Autoridades y Comités de Base*" y su sub programa temático: *Calidad de Aire y Cambio Climático* se capacita a los líderes de instituciones y organizaciones de base de todos los distritos de las nueve provincias de la región Junín. Sin duda, el fortalecimiento de capacidades es el primer paso para encaminar mejores acciones. Esto se logra gracias a los proyectos regionales en ejecución SNIP Nº 62288 "*Fortalecimiento de la Gestión Ambiental"* y SNIP Nº 62266 *"Zonificación Ecológica y Económica*", gestados desde el año 2008, que busca robustecer el Sistema Regional de Gestión Ambiental a través del Grupo Técnico Regional de Cambio Climático y el Sistema Regional de Información Ambiental, así como los instrumentos de planificación a través de la ZEE regional, respectivamente.

Como medida de mitigación y forma de adaptación, no escapan de la visión del Gobierno Regional Junín los proyectos de reforestación tanto de nivel regional como focalizados

promoviéndolo tanto en zonas de comunidades como en áreas naturales protegidas. Por ello, se tienen los proyectos SNIP Nº 23301 "*Reforestación en sierra central*", SNIP Nº 23325 "*Reforestación en selva central*", SNIP Nº 12218 "*Rehabilitación de Ecosistemas Tropicales*" y SNIP Nº 1226 "*Restauración de la flora silvestre en la Reserva Nacional de Junín*".

Respecto a la atención de desastres, la Sub Gerencia de Defensa Civil, además de sus acciones continuas, gestionó el proyecto SNIP Nº 127543 "*Fortalecimiento de Centro de Operaciones de Emergencia Regional COER Junín*" fomentando la incorporación de riesgos y financiado por los Estados Unidos.

Pero es el proyecto SNIP Nº 75193 "*Fortalecimiento de la capacidades para la adaptación al cambio climático en la región Junín*" una primera aproximación específica para la gestión y acciones frente al cambio climático. Este proyecto viable, soportado y coordinado con dos de las autoridades nacionales expertas en la materia como el IGP y el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), contempla la implementación de una estrategia comunicacional con canales de difusión y sensibilización para posicionar el tema en el pensamiento comunitario que coadyuve a la mejor forma de adaptación ante este fenómeno global, la generación de instrumentos de gestión focalizada en áreas de atención prioritaria a través del Grupo Técnico Regional de Cambio Climático, la generación de información de vulnerabilidad y adaptación en las cuencas del Perené, Ene y Tambo para complementar información que existe en la cuenca del Mantaro con este tipo de enfoque, y el fortalecimiento de la red de observación hidrometeorológica que densificará la red para mejorar la generación de información del tiempo y clima en la región Junín y sentar las bases para un futuro sistema de alerta temprana, el cual será el siguiente paso en la gestión del cambio climático en la región Junín.

Con el empeño de vincular la irrefutable prioridad de los recursos hídricos y el cambio climático, en el marco del convenio de cooperación suscrito entre el Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo (PNUD) y el Gobierno Regional de Junín, se desarrollará un proyecto que pretende incorporar las medidas de adaptación y mitigación del cambio climático y fortalecer la gobernabilidad del agua en la región Junín, mediante el desarrollo de las capacidades locales y la creación de la Unidad Regional de Cambio Climático.

Entendiendo que el recurso hídrico es el punto más crítico socioambiental sobre el que se debe planificar para adoptar medidas acertadas de adaptación y considerando que el abastecimiento de agua de la ciudad de Huancayo (Junín) depende del nevado del Huaytapallana, se firmó un convenio con la Municipalidad Provincial de Huancayo, la Empresa SEDAM Huancayo y el IGP, bajo el soporte del Consorcio de Universidades The Ohio State University, McGill University, e Institut de Recherche Pour Le Développement, para el desarrollo del estudio de la disponibilidad hídrica en la subcuenca del Shullcas y las opciones de respuesta a los efectos del retiro glaciar del Huaytapallana por el cambio climático.

La naturaleza de gestión de la Sub Gerencia de Recursos Naturales y Medio Ambiente nos lleva a dirigirnos continuamente a la gestión del cambio climático. Las últimas aproximaciones dan lugar a generar fuertes nexos con el IGP y ser parte importante del

Proyecto "MAREMEX - Mantaro" cuyos resultados serán fuente orientador de otras acciones por parte del Gobierno Regional Junín. Asimismo, considerando que parte importante es la promoción de energías limpias a nivel de zonas rurales, se tiene en coordinación con Soluciones Prácticas – ITDG la implementación del proyecto "*Fortalecimiento de capacidades para la electrificación rural con energías renovables*" en el ámbito más inaccesible de la región, de manera que permita planificar la complementariedad del acceso a electrificación en las zonas en la que no está prevista el tendido eléctrico convencional.

No obstante el gran avance que ha tenido el Gobierno Regional Junín en la gestión del cambio climático, esto resulta probablemente insuficiente a la hora de avizorar los grandes desafíos y retos que aún nos aguarda. Pero es menester nuestro retroalimentar las metas planteadas, no decaer ante las adversidades y persistir en aras del mejoramiento de la calidad de vida en la región Junín.

Acciones del Gobierno Regional de Huancavelica relacionadas al cambio climático

Hugo Caballero
Gobierno Regional de Huancavelica
hcaballero20@yahoo.es

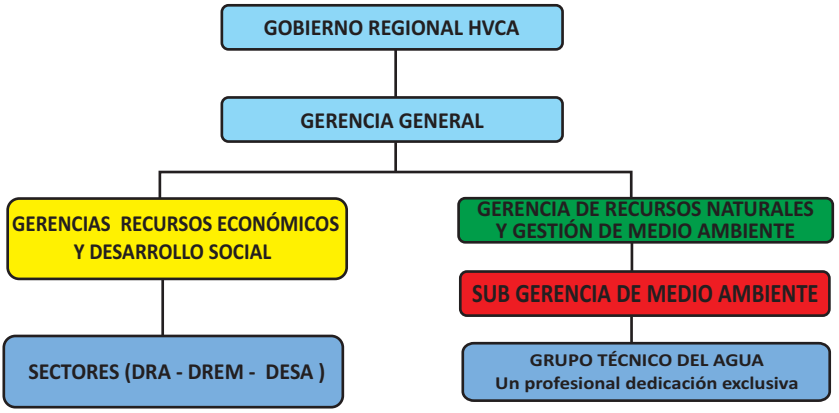
INTRODUCCIÓN

El Gobierno Regional de Huancavelica, a través de la Sub Gerencia de Gestión del Medio Ambiente, viene trabajando en el tema de cambio climático en dos ejes fundamentales como son: sensibilización de la población y ejecución de proyectos de forestación y reforestación en la provincia de Huancavelica.

Durante los últimos años, la región Huancavelica viene sufriendo los efectos del cambio de clima. Primero las heladas, luego las lluvias, que afectan a las poblaciones más pobres que generalmente se asientan en lugares vulnerables a peligros naturales, razón por la cual es importante el trabajo de sensibilización con la generación de empleo que se otorga en los proyectos de forestación y reforestación, que en los últimos cuatro años ascienden a ocho millones de soles.

ESTRUCTURA FUNCIONAL DEL GOBIERNO REGIONAL PARA ENFRENTAR EL CAMBIO CLIMÁTICO

El proceso de descentralización recién se viene implementando y requiere que los gobiernos regionales adecuen su estructura orgánica y documentos de gestión en función a que las gerencias regionales de recursos naturales cumplan con formular, coordinar, conducir y supervisar la aplicación de las estrategias regionales respecto al cambio climático. La estructura orgánica actual del gobierno regional de Huancavelica se encuentra en proceso de restructuración (Figura 1), resaltando que la conformación de los grupos regionales conformados por los diversos sectores y la sociedad civil depende de la sub gerencia de gestión del medio ambiente.



GESTIÓN AMBIENTAL:

La región Huancavelica tiene las siguientes políticas: Plan de Acción Ambiental al 2015 y la Agenda Ambiental Regional 2005-2007, aprobado con Ordenanza Regional N° 014-GR-HVCA/CR, del año 2004; y la agenda ambiental 2008-2010, aprobado con Ordenanza Regional N° 117-GR-HVCA/CR del año 2008, cuya evaluación de la agenda ambiental es la siguiente:

- Para el periodo 2005 -2007, se logró un avance acumulado del 65 % de las actividades programadas en los cuatro frentes, cuyo avance obtenido es regular considerando que muchos sectores no cumplieron con la programación dispuesta, y la falta de información por parte de las empresas privadas, fundamentalmente del sector minero que inicialmente participaron en la formulación de la agenda.

- Para el periodo 2008-2010 se tiene un avance promedio de 29,33 % sólo hasta el año 2008, ya que la evaluación hasta el año 2009 se encuentra en proceso de formulación y sustentación por los actores, y se estima que se llegará al 60 %.

FRENTE	DENOMINACIÓN	NÚMERO DE OBJETIVOS ESTRATÉGICOS	% CUMPLIDO 2008 -2010
VERDE	USO Y CONSERVACIÓN DE RECURSOS NATURALES Y DE BIODIVERSIDAD	05	29,75 %
MARRÓN	FOMENTO Y CONTROL DE CALIDAD AMBIENTAL	03	27,10 %
AZUL	FOMENTO DE LA CONCIENCIA EDUCACIÓN Y CULTURA AMBIENTAL	04	34,07 %
DORADO	COMERCIO Y AMBIENTE	05	26,45 %

Los lineamientos de política ambiental que tiene la región son los siguientes:

Visión:

En el 2015, la región Huancavelica es líder en gestión ambiental regional, participativa, multisectorial, que aprovecha y maneja racional e integralmente sus recursos naturales, la biodiversidad y sus cuencas de manera sostenible, con organizaciones fortalecidas y exportadoras de productos ecológicos competitivos, con una sociedad civil, concertada, empresas e instituciones ambientalmente responsables que contribuyen a la calidad de vida de su población, y con afirmación cultural.

Misión:

La CAR Huancavelica, como órgano directriz de la gestión ambiental, tiene la misión de planificar, coordinar, concertar y promover las tareas necesarias para lograr el mejoramiento de la calidad de vida de la población y armonía de la conservación, uso racional y sostenible de los recursos naturales y gestión de los ecosistemas y lograr el desarrollo sostenible.

Política Ambiental:

Promover el desarrollo sostenible con una gobernabilidad de la región Huancavelica, incentivando la cultura ambiental a sus pobladores, incidiendo en el adecuado aprovechamiento de sus recursos naturales para una mejor calidad de vida de la población.

El Sistema Regional de Gestión Ambiental tiene por finalidad desarrollar, implementar, revisar y recoger la política ambiental regional y las normas que regulan su organización para guiar la gestión de la calidad ambiental, el aprovechamiento sostenible y la conservación de los recursos naturales, así como el mayor bienestar de sus habitantes. Está integrado por entidades públicas, privadas y de la sociedad civil, entre otros, que asumen responsabilidades y niveles de participación.

ACCIONES EJECUTADAS EN EL MARCO DEL CAMBIO CLIMÁTICO:

1. Audiencia Regional sobre el agua y Medio Ambiente: se logró realizar una agenda para la provincia de Angaraes con el fin de enfrentar el cambio climático, con participación de comunidades campesinas y ONG SISAY.

2. Conformación del Grupo Técnico del Agua, mediante R.E.G.037-09/GOB.REG.-HVCA/GG, cuya función es proponer estrategias para el afianciamiento hídrico en las cuencas como respuesta a la adaptación al cambio climático. Este grupo tiene el apoyo de IPROGA y ONG de la región Huancavelica.

3. Conformación de equipo de trabajo cambio climático, vigilancia ambiental y resolución de conflictos que está integrado por la Fiscalía y Defensoría del Pueblo.

4. Jornada Regional “Cambio Climático, Desarrollo Regional y Reducción de la Pobreza”, cuyo objetivo ha sido lograr el diagnóstico de las actividades que se vienen ejecutando en la región para enfrentar el cambio climático.

5. Eventos de capacitación y sensibilización de autoridades locales en todas las provincias de la región, hasta lograr la elaboración de los planes integrales de gestión en residuos sólidos.

6. Formulación del Plan de Gestión Ambiental para las 5 provincias que se ubican en la cuenca del río Mantaro.

7. Ejecución del proyecto “Mejoramiento de la Educación Ambiental” cuyos resultados principales fueron:

- ✓ Capacitación de 2 500 docentes y 800 padres de familia en temas de educación ambiental y cambio climático.
- ✓ Concursos de ambientación escolar en las siete provincias de Huancavelica.
- ✓ Elaboración y edición de guías ambientales para educación inicial, primaria y secundaria.

8. Elaboración del proyecto: Fortalecimiento de Capacidades para elaborar la zonificación ecológica y económica con un presupuesto de dos millones, para su ejecución durante dos años.

9. Actividades programadas para el año 2010:
   - ✓ Elaboración de la agenda climática de la región Huancavelica. Para esto, se programó para el 22 y 23 de marzo 2010 el Primer Fórum Taller Cambio Climático y Vulnerabilidad, donde participaron ponentes del Ministerio del Ambiente, IGP, INDECI y de las 94 municipalidades distritales de la región.
   - ✓ Formulación de la Política de Gestión del Agua, para cuyo efecto se encuentra operativo el grupo técnico regional del agua.
   - ✓ Campañas de sensibilización ambiental a 2 500 personas en las 7 provincias del departamento.
   - ✓ Implementación de políticas ambientales en la región.

10. Ejecución de Proyectos Ambientales en el marco del cambio climático; con una inversión de ocho millones en los cuatro últimos años hasta el 31 de diciembre del 2009:

a) Ampliación de la Superficie Forestal en Áreas Rurales de 16 Distritos de la Provincia de Huancavelica:

Beneficiario : 79 comunidades campesinas ubicados en 16 distritos de la provincia Huancavelica.
Presupuesto Total : S/.5 870 469, 57
Presupuesto 2009 : S/.3 338 535 000 (ejecutado 55 %)
Periodo de Ejecución **:** 3 años (2009 al 2011)

Descripción de Proyecto*:*

- Conformación de 79 comités de gestión forestal;
- Instalación de 79 viveros forestales temporales,
- Producción de plantones en viveros (2 321 101) entre exóticas y nativas,
- Plantación en 1 741 has
- Fortalecimiento de capacidades en temas forestales.

Avance Físico *:* 10 %

b) Recuperación del medio ambiente de la cuenca del río Mantaro – Huancavelica:

Beneficiarios **:** 58 Comunidades campesinas ubicadas en 16 distritos de las provincias de: Huancavelica, Tayacaja, Acobamba y Churcampa.
Presupuesto Programado : S/. 3 547 617 470
Presupuesto Ejecutado : S/. 3 000 000 000

AVANCE FÍSICO:

N°	COMPONENTES	Unid Med.	Meta Total del Proyecto	Avance acumulado	% de Avance	Metas por Ejecutar	% por Ejecutar
I	**Conservación de Suelos con Agroforestería**						
1.1	**Obras Mecánico Estructurales:**						
	Terrazas de Absorción	Has	522	469 90	90,02	52,10	9,98
	Terrazas de Formación	Has	2 137	1 934 330	90,52	202 670	9,48
	Zanjas de Infiltración	Has	691	658 100	95,24	32,90	4,76
1.2	**Agroforestería:**						
	Instalación del vivero	N° Viver	58	58.00	100 00	-	0,00
	Producción de plantones (90% Tara y 10% Molle)	N° Plant	1 340 000	1 214 753 000	90,65	125 247 000	9,35
	Plantaciones	Has	3 350	2 222 290	66,34	1 127 710	33,66
II	**Capacitación y asistencia técnica**			-		-	
2.1	Eventos de capacitación	Evento	27		88,89	3,00	11,11

a) Forestación y Reforestación con los Grupos Organizados de las Unidades de Gestión Agraria en la Región Huancavelica:

Beneficiarios : 164 comunidades campesinas ubicadas en las provincias de Churcampa, Angaraes, Tayacaja, Acobamba, Castrovirreyna, Huaytara.
Presupuesto : S/. 5 502 589 270 (ejecutado 40 %)
Periodo de Ejecución **:** 2 años
Descripción del proyecto*:*

- Producción de 1 347 500 plantones de especies exóticas y nativas.
- Establecimiento de 1 225 hectáreas, con protección perimétrica, vigilancia de las plantaciones instaladas.

Avance físico **:** 4 %

d) Fortalecimiento de Capacidades Operativas de la Oficina Regional de Defensa Civil para la Prevención y Atención de Emergencias y Desastres:

Beneficiarios ***:*** Población de las 7 provincias de Huancavelica: Acobamba, Angaraes, Tayacaja, Churcampa, Huaytara, Castrovirreyna.

Descripción del proyecto*:*

- Construcción de 1 almacén regional.
- Implementación con una camioneta 4x4, dos unidades de transporte de carga con capacidad de 12 y 20 tm, un montacargas de 1,5 tm.
- Adquisición de equipos de prevención y atención de emergencias y desastres.
- Elaboración del planeamiento cartográfico de zonas de riesgo y vulnerabilidad regional.

Estado : Formulación de Expediente Técnico, implementación año 2010
Presupuesto : S/. 2 087 747 000

e) Apoyo a Emergencias y Desastres:

Beneficiarios **:**7 provincias de Huancavelica: Acobamba, Angaraes, Tayacaja, Churcampa, Huaytara, Castrovirreyna.
Presupuesto : S/. 57 876 000 (ejecutados 55 %)
Descripción de Proyecto : Organización de 31 talleres de capacitación, atención a 300 familias damnificadas.
Estado : 45 % de avance físico.

f) Estudios de Pre Inversión del Eje Ambiental:

- Conservación y manejo de la biodiversidad en las provincias de Huancavelica y Tayacaja con un presupuesto de 5 241 888 000 nuevos soles.
- Manejo de Pasivos Ambientales Mineros, con un presupuesto de 4 499 527 000 nuevos soles.
- Protección y sostenibilidad de plantaciones forestales en el departamento de Huancavelica, con un presupuesto de 5 926 446 000 nuevos soles.
- Forestación, manejo de praderas y conservación de suelos en Huaytara y Castrovirreyna.



Figura 1. Campañas de sensibilización en las siete provincias de la región Huancavelica por Día Mundial del Ambiente con participación de la población.



Figura 2. Concurso de ambientación escolar con participación de la población escolar en los tres niveles de inicial, primaria y secundaria, para cuyo efecto, se incentiva con premios a los centros educativos de la región.

Gobierno Regional de Pasco y el cambio climático en la cuenca del río Mantaro

Melquiades Luis
Gobierno Regional de Pasco
mikesoft20@hotmail.com

El Gobierno Regional Pasco viene adoptando medidas cautelares para afrontar los efectos negativos del cambio climático. En tal sentido, se planificaron diversos trabajos, actividades, grupos técnicos de carácter interno así como de carácter inter departamental; compartiendo mesas de trabajo técnico con los Gobiernos Regionales de Huánuco, Junín, Ayacucho, Huancavelica, la participación del CONAM[1], el Ministerio del Ambiente y el apoyo de algunas empresas privadas para gestionar la recuperación del ecosistema.

Se realizan diversas actividades ambientales con trabajos de sensibilización en fechas alusivas y coyunturales con las instituciones educativas, sectores públicos y gobiernos locales, conformando brigadas escolares, grupos técnicos juveniles con seminarios y talleres desarrollando temas afines al cambio climático, calentamiento global, entre otros.

Del mismo modo, desde el 2008, se realizan anualmente audiencias públicas de tipo ambiental para ver el avance, involucramiento y cumplimiento de las normas, estándares de calidad, agendas institucionales y el desarrollo de la agenda ambiental regional.

Así también se ejecutan proyectos para afrontar la degradación ambiental; para ello se prevé proyectos de inversión pública en todo el departamento, además de los proyectos de infraestructura básica, manejo de pastos, proyectos productivos y otros de tipo ambiental como:

- Reforestación de la micro cuenca Chaupihuaranga y afluentes en la provincia de Daniel Carrión – Pasco - SNIP Nº 8308.
- Fortalecimiento de capacidades para la Planificación Territorial en la Región Pasco - SNIP Nº 25643.
- Desarrollo de capacidades para la Gestión Integrada y Sostenible de los Recursos Hídricos en las Cuenca Hidrográficas de la Región Pasco.

El Gobierno Regional Pasco tiene el objetivo de evaluar la vulnerabilidad y los procesos de adaptación al cambio climático en sectores y áreas geográficas prioritarias, formulando propuestas de adaptación a este cambio y propiciando su incorporación en la toma de decisiones y formulación de políticas.

1. ***Del Sistema Regional de Gestión Ambiental Pasco:***
   El sistema es de carácter organizacional validado mediante Ordenanza Regional Nº 080-2006-GRP/CR con niveles de aprobación, (Alta Dirección del Gobierno Regional),

[1] El CONAM pasó a convertirse en el Ministerio del Ambiente el 14/05/2008, mediante Decreto Legislativo Nro. 1013.

de coordinación (CAR Pasco), de proposición (grupos técnicos regionales), y de ejecución (órganos del GRP, sector privado, público y gobiernos locales).

2. De la Política Ambiental Regional:

Es un conjunto de lineamientos, objetivos, estrategias, metas, programas de aplicación pública, que define el accionar de las entidades del Gobierno Regional, sociedad civil, sector privado en materia de protección del ambiente y la conservación de los recursos naturales. Esto con el objetivo del continuo mejoramiento de la calidad de vida de las personas; se validó mediante Ordenanza Regional Nº 018-2004-G.R.P./CR, con 16 lineamientos generales.

3. Del Plan de Acción y Agenda Ambiental Regional Pasco 2008-2010:

Planificado por frentes como: el Verde, para la conservación y utilización sostenible de los recursos naturales y la diversidad biológica; el Marrón, para control de la calidad ambiental; el Azul, para tratos de conciencia, educación y cultura ambiental; y el Dorado, para ver los casos de comercio y ambiente.

4. ***Del Seguimiento de Pasivos Ambientales Mineros sólo en la Cuenca:***

- Se desarrollan acciones de seguimiento a la evaluación y aprobación del plan de cierre integral de pasivos ambientales de origen minero en el río San Juan y Delta Upamayo, en coordinación con las instancias respectivas, así como otros proyectos.

- Se realiza trabajos preliminares de observación conjunta, tanto opinadas e inopinadas, con las instancias del Gobierno central como: OSINERGMIN, autoridades de la Municipalidad Distrital de Simón Bolívar y la participación de los sectores como DIRESA Pasco, Dirección Regional de Energía y Minas, Autoridad Local del Agua y el Ministerio Público para la recuperación, mitigación de pasivos ambientales de origen minero que está a cargo de Activos Mineros SAC (AMSAC) de Quiulacocha - Excélsior.

- De igual forma, la comisión multisectorial conformada por las autoridades sectoriales visita constantemente a los pasivos operacionales de las empresas mineras El Brocal, Aurex, Cía. Volcán S.A. (Laguna Yanamate - Relaveras), así como también Buena Ventura (Pozo Rico) que se desarrolla en el ámbito de las provincias de Pasco y Daniel Carrión, específicamente en la parte alta de provincia de Daniel Carrión, que es donde afectan de manera directa e indirecta a más de 10 comunidades campesinas. Esto con el fin de controlar y solicitar a la empresa que labora en el ámbito el control de sus aguas, generación de gases y el cuidado de los suelos tanto de flora y fauna, etc.

5. Empresas que Laboran en la Cabecera de la Cuenca del Mantaro:

En el departamento de Pasco operan empresas privadas de niveles artesanales, pequeñas y medianas:

EMPRESA MINERA	UBICACIÓN POR DISTRITOS
Cía. Minera Aurex	Simón Bolívar
Chancadora Centauro	Simón Bolívar (QUICAY)
Empresa de Artesanales Caleras/No Metálico	Simón Bolívar
Cía. Minera Panamerican Silver - (Huarón)	Huayllay
Sociedad Minera El Brocal	Tinyahuarco - Vicco
Cía. Minera Chungar (Volcán Cía. Minera)	Huayllay
Cía. Minera Volcán	Chaupimarca - Yanacancha- Simón Bolívar
Cía. Minera El Pilar	Yanacancha - Chaupimarca
Activos Mineros SAC (Ex Centromin Perú)	Simón Bolívar- Goyllarisquizga

2. De los Grupos Técnicos:

Los grupos técnicos existentes creados de acorde a la política ambiental nacional y regional, trabajan para hacer frente a la degradación de los suelos, contaminación del aire y de los recursos naturales, forestales e hídricos (originados por los efectos naturales y por la actividad irracional del hombre) y al efecto de cambio climático que se vive en nuestra región.

a) Grupo Técnico de Gestión Ambiental Chaupihuaranga Alta: fue creado el 22 de octubre de 2007 mediante la R.E.R Nº745-2007-G.R.PASCO/PRES y está conformada por 26 miembros, quienes realizan coordinaciones con el MINEM, OSINERGMIN y PCM para su participación en las reuniones. Tiene el objetivo de recuperar, conservar y proteger el medio ambiente, generando así el aprovechamiento sostenible de los recursos naturales de la subcuenca de río Chaupihuaranga.

Se expusieron las labores en cumplimiento de las EIA de las empresas Cemento Andino y Buenaventura Chacua, además se presentaron las conclusiones de la inspección de campo realizada por la comisión multisectorial para la identificación de impactos ambientales en las comunidades de la zona alta de la provincia de Daniel Carrión; en especial la vía del cruce de Yurajhuanca hacia el abra de Uchumarca, donde la presencia de polvo viene perjudicando los pastos de las comunidades.

Se logró la integración con la Dirección Regional de Transporte, Pro-Vías Pasco y Daniel Carrión, y la petición a OSINERGMIN para la fiscalización a las empresas mineras de Chancadora Centauro y Buenaventura Chacua.

b) Comisión Técnica de Manejo Sostenible de los Recursos Hídricos de la Región Pasco: se crea el 6 de agosto del 2007, mediante Resolución Ejecutiva Regional No 0582-2007-G.R.PASCO/PRES, conformada por 75 miembros, quienes trabajan en logros importantes para recuperar, conservar y proteger el recurso agua, promoviendo el uso sostenible.

c) El Comité de Gestión Ambiental Chinchaycocha : formado el 16 de diciembre del 2002, refrendado mediante la Resolución Suprema No 551-2002-PCM1, con aproximadamente 18 miembros pertenecientes a los Gobiernos Regionales de Pasco y Junín, con el objetivo de implementar el plan y sistema de manejo ambiental sostenible Chinchaycocha

DE LAS GESTIONES DE LA IMPLEMENTACIÓN DEL PLAN Y SISTEMA DE MANEJO AMBIENTAL SOSTENIBLE CHINCHAYCOCHA:

De acuerdo a la Ley 27642 del 19 de enero del 2002, se declara en emergencia ambiental la Reserva Nacional de Junín, se crea una Comisión Multisectorial Descentralizada – CMD y se le encarga formular en un plazo legal de 60 días (febrero - abril del 2002) el Plan y Sistema de Manejo Ambiental Sostenible Chinchaycocha, aprobado por la PCM a través de una R.S. Nº 551-2002-PCM, la que consideraba la instalación de la comisión de Gestión Ambiental del mismo con las subcomisiones programáticas para llevar a cabo los programas de manejo. Asimismo, en el año 2004 se precisa y modifica disposiciones de la resolución anterior al Plan y Sistema del Manejo Ambiental Sostenible, la que fue aprobada mediante la R.S. Nº 092-2004-PCM, que conforma el comité de Gestión Ambiental Chinchaycocha.

En el 2006, la Gerencia de Recursos Naturales constituyó el perfil del proyecto de inversión pública denominado *Manejo Ambiental y Desarrollo Agropecuario del Entorno del Lago Chinchaycocha,* que tuvo un presupuesto inicial de S/.200 000 000, el cual no fue ejecutado por diversos motivos, siendo la causa la observación del perfil que no estaba enmarcado netamente a la mitigación y recuperación de pastos y suelos, por lo que migraron a un proyecto productivo por sugerencia de instituciones como OPI y FONAM.

Otras actividades que se desarrollan con financiamiento privado

- La Consultora CESEL INGENIEROS realizó el *Plan de Manejo Ambiental de las Operaciones de Embalse y Desembalse* de la presa de Upamayo 2005-2007, estudio que se culminaba para fines del 2007 con los informes I, II, III que forman parte del Plan de Manejo Ambiental Chinchaycocha (dentro de la cuenca del Mantaro), y financiado por las empresas hidroenergéticas Electro Perú y Electro Andes.

- Para fines del 2006 se realizó el *Estudio de Remediación de los pasivos de origen minero en el río San Juan Delta Upamayo y parte norte del lago Chinchaycocha*, financiada por la Cía. Minera Volcán, Sociedad Minera El Brocal, Cía. Minera Aurífera Aurex, la empresa Activos Mineros (Ex Centromin) y por la consultora Water Management Consultants Perú S.A. El estudio fue aprobado por el Ministerio de Energía y Minas, esperando el cumplimiento de las acciones a desarrollarse por intermedio de OSINERGMIN, entidad que verificará el cumplimiento de las empresas en la mitigación de los pasivos históricos y de operación, ya que el grado de responsabilidad está definida con porcentajes en dicho estudio.

Desde el 2007, se inicia un nuevo proceso de acciones y propuestas para el desarrollo del Comité de Gestión del Lago Chinchaycocha y el cumplimiento de la Ley de Emergencia de la Cuenca del Río Mantaro. Las acciones fueron:

- La creación del *Grupo Técnico Estratégico Mantaro*, refrendado mediante decreto de Consejo Directivo Nº 021-2007-CONAM/CD del 11 de octubre del 2007. En él se integran los cuatro Gobiernos Regionales de Pasco, Junín, Ayacucho y Huancavelica, recayendo la función de la secretaría técnica en el CONAM-SER CENTRO. Se generó la propuesta inicial del Plan Operativo de Gestión Ambiental de la Cuenca del Río Mantaro, coordinando convenios y acuerdos regionales con disponibilidad presupuestal y con la participación de las empresas privadas, gobiernos locales y la sociedad civil involucrada en la cuenca.
- El Gobierno Regional Pasco identificó en el taller participativo ambiental, proyectos para ser validados en la asamblea final del presente presupuesto participativo el año 2010 como:

a) Fortalecimiento de la cadena productiva de la totora del lago Chinchaycocha.
b) Implementación del sistema de información ambiental regional y monitoreo de efluentes industriales urbanos de las cuencas hidrográficas de la región Pasco, en atención a la ley 28082-28608 (Ley de Emergencia Ambiental de la Cuenca del Río Mantaro).

Con estos proyectos se pretende congregar componentes de prevención, conservación, recuperación, y solución de los problemas existentes, empezando desde la cabecera de cuenca. Entre los logros obtenidos por el comité tenemos:

- La exposición del cumplimiento del Plan Chinchaycocha por parte de la consultora CESEL Ingenieros.
- Participación constante con las comunidades en la fiscalización a las empresas mineras: Volcán, Brocal, Aurex, Panamerican silver, entre otras, organizado por OSINERGMIN.
- Se conformó la nueva junta de la comisión ejecutiva de la reserva nacional Junín, con nuevo presidente del distrito de Vicco y la conformación del grupo técnico de alto nivel para la evaluación de los daños y perjuicios a las comunidades asentadas en el entorno del lago por efecto del embalse y desembalse.
- Se realizaron visitas de campo a las diferentes comunidades afectadas y se solicitó a DIGESA presentar los resultados del plan de monitoreo de aguas del Lago Chinchaycocha. Asimismo, se solicitó a la autoridad local del agua - ANA Pasco, presentar un plan de trabajo para la realización del inventario de infraestructura de drenajes.

c) Se crea la Comisión Multisectorial de Recuperación de la Laguna Patarcocha con el objetivo de recuperar el ecosistema de la laguna debido a que está situada en la más alta ciudad del mundo, aunque exista pretensiones de cerrarla, mediante convenio Nº 0026-2008-CM-HMPP realizado entre la Municipalidad Provincial de Pasco y la

Cía. minera Volcán (publicado en el diario oficial El Peruano el 6 de septiembre del 2008, Ítem 5.8#12) y cuyos logros están en proceso de adjudicación del proyecto para la ejecución en el año 2010-11 por un monto aproximado de S/.3 500 000 000 nuevos soles.

d) Comité de Gestión de Bosque Los Quinuales: Se crea con fines de planificar y gestionar el manejo del recurso forestal y de fauna silvestre en el ámbito. Conformado por 17 miembros, logró proponer la declaratoria como reserva de conservación regional al bosque Los Quinuales y la formulación del PIP de conservación de área natural, así como la firma de un convenio con la Municipalidad Distrital de Yanacancha para la activación y funcionamiento de la garita de control de transporte de madera en el centro poblado menor de Quinua.

e) Mesa Técnica Problemática de Plomo en Sangre: Operativo con la secretaria técnica de DIRESA. Presenta importantes avances en materia de muestras, estudios por parte del sector y ONG, realizando seguimientos técnicos a los pasivos de origen minero y otros.

f) Gesta Zonal del Aire: Este grupo culminó el plan de acción para el mejoramiento de la calidad del aire en la ciudad de Cerro de Pasco; entre tanto el estudio debe ser implementado y ejecutado. El plan no considera, para efectos del financiamiento; el presupuesto de las acciones que la empresa Volcán debe desarrollar en concordancia con los compromisos sectoriales asumidos con el Estado y El Ministerio de Energía y Minas debe garantizar el cumplimiento eficaz de las medidas que implemente la empresa para reducir las emisiones.

Finalmente, existen debilidades al interior del Gobierno Regional Pasco por la falta de sensibilización y de conocimiento de las autoridades de turno en materia ambiental; sin embargo, a medida que se presentan necesidades y carencias se viene superando la vivencia de los efectos negativos e irreversibles que se producen en la tala indiscriminada de nuestros bosques, el avance desmedido de la extracción de nuestros recursos no renovables como los recursos metálicos y no metálicos, el retroceso del panorama en nuestros nevados, la contaminación por diversos factores en los recursos hídricos, produciendo un “stress hídrico” en Cerro de Pasco. Así también, las construcciones de diversas obras de infraestructura que no cuentan muchas veces con un Estudio de Impacto Ambiental (EIA).

Por otra parte, no existen tratamientos de residuos sólidos y líquidos en nuestras ciudades. Sería de gran ayuda al medio ambiente presentar y ejecutar proyectos sobre la construcción de plantas de tratamiento de aguas residuales domiciliarias e industriales; obras de provecho para el futuro de los recursos agua. En ese sentido, esperamos que cada uno de nosotros adopte una forma diferente de vivir y ver en la vida, el futuro de los nuestros, cuidando nuestro único hábitat, nuestro planeta.

CAPÍTULO IV

AGRICULTURA Y CAMBIO CLIMÁTICO

Las especiales condiciones geográficas y socio-económicas de la cuenca del río Mantaro: sistema de riego bajo secano, grandes variaciones topográficas, parcelación de la tierra, dificultades para la inserción en mercados externos, etc. hacen que el sector agricultura sea sumamente susceptible tanto a la variabilidad climática como al cambio climático.

Por ello el creciente interés en el estudio de las múltiples facetas del sector en este contexto. Así este capítulo se inicia con dos artículos que describen los aspectos físicos del clima y sus efectos: "El clima y la agricultura en el valle del Mantaro", a cargo de Yamina Silva, investigadora del Instituto Geofísico del Perú, et al. ; y "Efectos del cambio climático en la región Junín" por Oscar Garay, especialista en cultivos andinos del INIA-EEA Santa Ana-Huancayo.

También se incluyen un artículo que recoge la problemática del riesgo de heladas: "El cambio climático y el riesgo de heladas en la agricultura del valle del Mantaro", a cargo de Grace Trasmonte, investigadora del Instituto Geofísico del Perú; y un artículo sobre los efectos de la lluvia y temperatura en un importante cultivo andino: "La influencia de la temperatura y precipitación en el cultivo de maíz amiláceo San Gerónimo y Blanco Urubamba en el valle del Mantaro", investigación realizada por Alex Ochoa de la Universidad Nacional del Perú.

Finalmente, Edouard Crespeigne, Edgar Olivera, Raúl Ccanto y María Scurrah, del Grupo Yanapai, presentan el artículo "Efecto de cambio climático sobre la eficiencia del seguro informal frente al impacto de los riesgos climático sobre la producción agrícola".

Clima y agricultura en el valle del Mantaro

Yamina Silva, Grace Trasmonte
Instituto Geofísico del Perú (IGP)
yamina.silva@igp.gob.pe

Alex Ochoa, Efraín Lindo, Lucy Giraldez, Samuel Baldeon, Grober Galindo
Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP)

Oscar Garay
Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA)
ogaray@inia.gob.pe

INTRODUCCIÓN

Como resultado del proyecto PROCLIM[1] se encontró que las sequías, heladas y los deslizamientos (huaycos) eran los principales peligros de origen hidrometeorológico que afectaban las actividades de la población, entre ellas a la agricultura. Es por ello que los agricultores deseaban tener información climática a mediano plazo (con meses de anticipación) para planificar sus actividades.

Esta fue la principal motivación para que el IGP, en el año 2006, postulara al Concurso del Fondo de Desarrollo de Servicios Estratégicos (FDSE), del Programa de Innovación y Competitividad para el Agro Peruano (INCAGRO), con el subproyecto *"Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura"*. El proyecto inició en marzo de 2007 y concluirá en junio del 2010.

El principal objetivo del subproyecto fue generar y usar pronósticos climáticos para la agricultura en la cuenca del río Mantaro, y los objetivos específicos fueron: a) Mejorar el conocimiento de los mecanismos que controlan los procesos físicos de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro y las causas de su variabilidad espacial y temporal; y b) Dar a conocer la importancia y el valor de la información climática sobre lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su uso por parte de los potenciales usuarios. Para cumplir con dichos objetivos se desarrollaron diversas actividades de investigación, trabajos de campo y de consulta a través de talleres y encuestas para conocer la opinión de los potenciales usuarios de la información climática.

Una parte fundamental del subproyecto fue el de generar capacidades locales mediante el desarrollo de tesis por estudiantes de la UNCP, estudios que nos permitieron conocer la influencia del clima en la fenología y fitopatología de los cultivos de quinua, maíz y papa. El subproyecto tuvo como socios estratégicos a la Facultad de Agronomía de la UNCP, así como al INIA a través de la activa participación de sus especialistas de la EE Santa Ana.

[1] Programa de Fortalecimiento de Capacidades Nacionales para manejar el Impacto del Cambio Climático y la Contaminación del Aire (PROCLIM), en el cual el IGP desarrolló el subproyecto "Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca del río Mantaro".

En el presente documento se hace un breve resumen de las principales actividades y los resultados encontrados, relacionados al clima y su variabilidad durante la campaña agrícola 2007-2008; así como la influencia de ésta en la productividad de los cultivos de papa, maíz y quinua analizados en las localidades de El Mantaro y El Tambo. Los resultados de otros estudios realizados en el marco del subproyecto son también publicados en este volumen *(Latínez, 2010[2]; Ochoa, 2010[3]; Sulca, 2010[4])*

ANTECEDENTES

El clima de la región andina del Perú es bastante variado, depende en gran medida de la altitud de la zona y su ubicación geográfica. Si bien la variación estacional es importante desde el punto de vista climático y para las actividades agrícolas, la variación diurna puede ser aun más importante debido a que el rango térmico diurno es bastante marcado, siendo incluso superior a 20 °C. La frecuencia de noches con temperaturas inferiores a cero grados aumenta rápidamente en regiones con altitudes sobre los 3 300 msnm. La temperatura disminuye con la altura a razón de 0,65 °C cada 100 m si el aire es bastante húmedo y 1,0° cada 100 m si el aire es seco, debido a estas variaciones el cultivo de quinua, por ejemplo, requiere de aproximadamente 15 días adicionales para alcanzar su madurez en regiones con mayor altitud (*Jacobsen y Sherwood, 2002*)

Según Villacorta y Talavera (*1976*), las posibilidades de éxito agrícola en un cultivo dependen y están condicionadas por el clima y el material genético. Dentro de las condiciones de cultivo en secano, la precipitación y su distribución temporal son los factores climáticos más importantes. Por otro lado, Jacobsen y Sherwood (*2002*) sostienen que los daños que ocasionan las bajas temperaturas en las plantas debido a las heladas, varía de acuerdo a la susceptibilidad que presentan las especies vegetales en los diferentes ciclos vegetativos, es por ello importante realizar ensayos en diferentes localidades y épocas de siembra durante varias campañas, ya que el clima varía cada año.

El daño ocasionado por una helada depende principalmente de la fase vegetativa en la que se encuentra el cultivo durante la ocurrencia del fenómeno y del grado de descenso de la temperatura. Datos registrados durante tres años indican que en el valle del Mantaro existen tres épocas de posible ocurrencia de heladas: del 26 al 30 de octubre, del 6 al 11 de noviembre y del 01 al 05 de diciembre (*Oscanoa, 2004*). Por otro lado, los factores físicos como la temperatura, pluviosidad, humedad, luz, movimiento del aire, etc., influyen en las fluctuaciones de las poblaciones de insectos. La temperatura es uno de los factores que más influencia tiene en la regulación del ciclo evolutivo de los insectos (*Romanik y Cadahia, 2003*).

Según Chávez J. (*1999*), los efectos perjudiciales de periodos cortos de calor y sequía frecuentemente pueden aliviarse mediante la siembra temprana o tardía en diferentes

[2] Determinación de la Predictibilidad de las Lluvias en Huayao mediante el Análisis de Correlación Utilizando las Variables ERSST y PDO

[3] Influencia de la Temperatura y Precipitación en el Cultivo de Maíz Amiláceo (Zea Mays L.) Cv. San Gerónimo y Blanco Urubamba en el Valle del Mantaro

[4] Identificación de Veranillos en el Valle del Mantaro

variedades, desde este punto de vista el pronóstico del clima con 1 a 3 meses de anticipación podría ser importante para la planificación de la siembra y el tipo de cultivo.

DATOS Y METODOLOGÍA

La zona de estudio estuvo delimitada por el valle del Mantaro, ya que desde el punto de vista agrícola es la zona más productiva de la cuenca, sin embargo los estudios físicos del clima abarcaron toda la cuenca. Los datos meteorológicos y climáticos utilizados son de las estaciones de Huayao, Jauja, Santa Ana y Viques.

Para entender la influencia del clima en los cultivos se llevó a cabo un diseño experimental en dos localidades del valle: la Estación Experimental Agropecuaria "El Mantaro" de la UNCP[5], ubicada en el distrito de El Mantaro, provincia de Jauja, a una altitud de 3 316 msnm y la Estación Experimental Agraria INIA[6] *Santa Ana*, situada en el distrito de El Tambo, provincia de Huancayo, a una altitud de 3 260 msnm.

Se consideraron tres cultivos: quinua, maíz y papa, y dos variedades de cada una de ellas, uno de periodo vegetativo largo y otro de periodo vegetativo corto, considerando que el segundo podría ser menos vulnerable ante las variaciones del clima. Las variedades escogidas de quinua fueron: *Blanca de Junín* y *Hualhuas*; de papa: *Yungay* y *Canchan*; y de maíz: *San Gerónimo* y *Blanco Urubamba*.

Características del experimento

Los tratamientos fueron: Localidades (El Mantaro y El Tambo) y variedades (dos en cada cultivo). Para la papa se empleó el diseño de bloques completamente randomizado con 4 repeticiones para cada localidad y el análisis de variancia de bloques completamente randomizado combinado para ambas localidades (*Giraldez, 2009*). Para la quinua y el maíz, se utilizaron el diseño experimental de Bloques Completos al Azar combinado (*Ochoa, 2010; Galindo, 2010*). El experimento se realizó a campo libre sin efecto de bordes empleando un distanciamiento entre surcos de 0,80 m con una siembra a golpes de 0,40 m (*San Gerónimo*) y 0,50 m (*Blanco Urubamba*) para maíz; para papa, 0,90 m entre surcos y 0,30 m entre plantas (*Yungay y Canchan*); y 0,80 m entre surcos y a chorro continuo (quinua), las cuales se distribuyeron en 5 surcos, cada surco con 9 m de longitud.

Las características evaluadas para los cultivos fueron:

a) Quinua: determinación peso de mil semillas, emergencia de plántulas en campo, días al panojamiento, días al 50 % de floración, días al estado de grano lechoso, altura de planta, diámetro de panoja, longitud de panoja, peso de grano.
b) Papa: porcentaje de emergencia, altura de planta, área foliar, peso de tubérculos por planta, número de tubérculos por planta.
c) Maíz: determinación del peso de mil semillas, porcentaje de emergencia, días al 50 % de floración masculina y femenina, altura de planta y a la inserción de mazorca

[5] Universidad Nacional del Centro del Perú
[6] Instituto Nacional de Innovación Agraria

superior, número de plantas por parcela, número de mazorcas por planta, número de granos por mazorca, rendimiento de mazorcas, rendimiento de grano (kg/ha).

RESULTADOS

Variaciones en el clima del valle

El clima en el valle se caracteriza por ser moderadamente húmedo desde el punto de vista de lluvias, con acumulados anuales del orden de los 750 mm. Las precipitaciones más intensas se presentan en los meses enero, febrero y marzo, mientras que las mínimas se registran en junio y julio (*Silva y Trasmonte, 2010*)

Los años 2007 y 2008, cuando se desarrolló la campaña agrícola del subproyecto, el clima del valle fue particularmente seco durante toda la campaña a excepción del mes de octubre. El déficit de lluvias tanto para el año 2007 como para el 2008 fue comparable a los registrados en el año 1992, considerando la sequía más severa ocurrida en la región. Consistente con el déficit de lluvias, la temperatura máxima registró valores superiores a su promedio histórico, en la estación de Huayao, la anomalía anual fue de +0,6 °C en el 2007, con respecto al periodo base 1971-2000. Las anomalías más significativas ocurrieron en los meses de octubre-diciembre del 2007 y abril del 2008 (Figura 1).

Con respecto a las temperaturas mínimas, el 2007 fue ligeramente cálido (anomalía anual de +0,36 °C, en promedio para Huayao, Jauja y Santa Ana, con respectos a la climatología del periodo 1971-2000 y 1992-2000 para Santa Ana), y el 2008 fue ligeramente frío (-0,13 °C a nivel anual). Sin embargo, mensualmente se presentaron anomalías negativas (condiciones frías) significativas en el valle, durante junio del 2007, y particularmente entre febrero y mayo del 2008, con valores mayormente entre –0,6 °C y –1,35 °C, presentándose los valores más extremos en marzo del 2008.

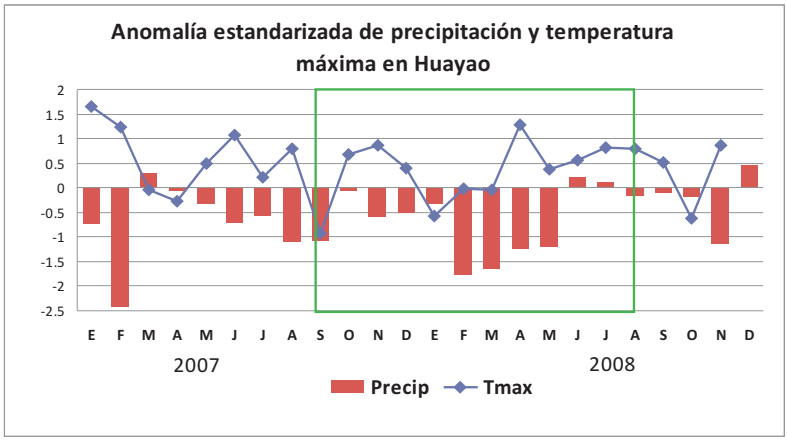


Figura 1. Anomalías estandarizadas de precipitación (barras rojas) y temperatura máxima del aire (línea azul) para Huayao durante los años 2007 y 2008. En el recuadro verde se indica el periodo de la campaña agrícola setiembre 2007-agosto 2008.

Analizando las diferencias entre la temperatura y precipitación registradas en las localidades de El Tambo y El Mantaro, encontramos que la precipitación en general fue ligeramente inferior en El Tambo, durante los meses de octubre, diciembre, febrero y marzo. Enero fue el mes más lluvioso en ambas localidades, registrándose 112 mm en El Tambo y 116 mm en El Mantaro. Sin embargo, los mayores efectos en la agricultura se dan, no por la cantidad acumulada en el mes sino por su distribución temporal. Como puede verse en la Figura 2, los primeros 30 días después de la siembra y entre los 60 y 90 días, la lluvia fue más abundante en El Mantaro. En cuanto a la temperatura, se encontró que ésta fue ligeramente superior a El Tambo.

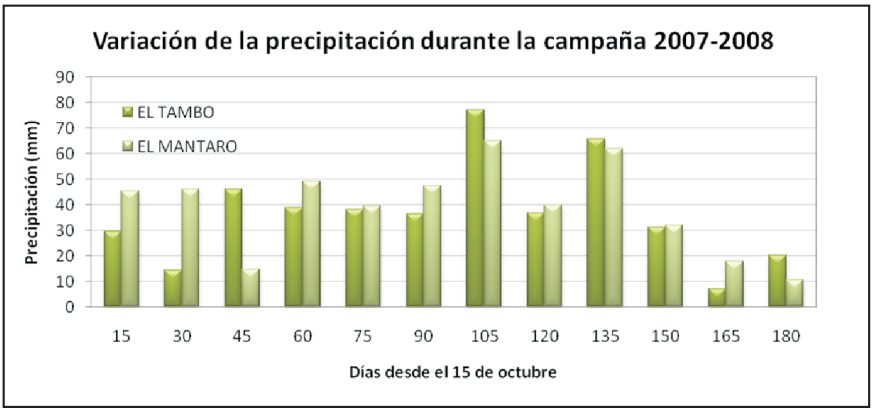


Figura 2. Variabilidad de las lluvias acumuladas cada 15 días después de la siembra de la papa en El Mantaro (Jauja) y El Tambo (Santa Ana).

Respuesta de los cultivos al clima

a) Quinua: La evaluación realizada por Galindo (2010) sobre el rendimiento de la quinua, indica que el peso de 1 000 semillas después de la cosecha para la variedad Hualhuas fue de 3,978 gramos y para la variedad *Blanca de Junín* 3,981 gramos, promedios inferiores al peso de 1 000 semillas antes de la siembra. Para los días al 50 % de floración, las variedades *Hualhuas y Blanca de Junín*, presentan promedios de 84 625 y 93 500 días, respectivamente; así mismo, en el estado de grano lechoso presentan promedios de 114,50 y 133,00 días, respectivamente. Notándose las diferentes características genéticas sobre cada variedad.

El peso de grano de quinua en la variedad Hualhuas (2 175 318 kg/ha) fue superior a la variedad *Blanca de Junín* (2 031 488 kg/ha) debido a que en la variedad *Hualhuas* los granos completaron el llenado, mientras que la variedad *Blanca de Junín* no llegó a completar el llenado de granos en su totalidad, debido al carácter tardío permaneció expuesta a las adversidades del clima en los meses de mayo y junio.

a) Papa: para la campaña agrícola 2007-2008, Giraldez (2009) encontró una relación lineal altamente significativa entre las variables climáticas (temperatura, precipitación y fotoperiodo) y el peso de los tubérculos de papa, siendo la temperatura del aire la que más influyen en el rendimiento de este tubérculo. Por otro lado, encontró que la variedad *Yungay* superó estadísticamente a la variedad *Canchán* en altura de planta, área foliar y peso de tubérculos por planta, y que el rendimiento en la localidad de El Tambo, analizando en las mismas variables mencionadas, superó a la localidad de El Tambo. De esta manera, los mejores rendimientos se obtuvieron en El Tambo en la variedad *Yungay*.

   Baldeón (*2010*) evaluó la fluctuación poblacional de la polilla de papa, encontrando que desde la fase de brotamiento de la semilla tubérculo hasta el inicio de emergencia de plántulas no se registraron individuos de la polilla de papa en campo, éstas se presentaron a partir del inicio de la emergencia de las plántulas. En la tercera evaluación se encontraron en total 9 polillas (6 larvas y 3 adultos), cuando la temperatura del aire promedio fue de 12,3 °C con una precipitación de 4,2 mm.

   La población de polillas fue incrementándose con el crecimiento de las plántulas (fase de crecimiento vegetativo), registrándose en esta etapa un pico con 145 polillas (con una población de 93 larvas y 52 adultos) cuando la temperatura promedio fue de 12,3 °C. A partir de esta etapa, la población de polillas fue decreciendo, a medida que la planta iba adquiriendo mayor resistencia al ataque de larvas, que perforan el tallo y pegan hojas para poder alimentarse de los tejidos de la planta. A partir de la etapa de maduración se registraron pocos individuos de polilla, siendo en su mayor parte adultos quienes ovipositan en los tubérculos descubiertos del suelo debido a un mal aporque.

b) Maíz: Según Ochoa (*2009*), en la campaña 2007-2008, el déficit de precipitaciones en la localidad de El Mantaro afectó a la variedad San Gerónimo en las fases de panoja, espigamiento y polinización, donde las precipitaciones máximas no superaron los 35 mm, mientras que la temperatura máxima estuvo alrededor de los 19 °C, y la mínima llegó a 0 °C en la fase de espigamiento. En la fase de maduración, las precipitaciones fueron máximas (167 mm) y se dieron las temperaturas máximas más altas (21,2 °C) mientras que las mínimas, a diferencia de El Tambo, no llegaron a 0°C (3,4 °C). Con respecto a la variedad *Blanco Urubamba Junín* en la localidad de El Tambo, se observó que durante la fase de espiga, donde esta variedad es más sensible al déficit hídrico y bajas temperaturas, hubo menos precipitaciones (39,7mm), las temperaturas durante el día fueron bastante elevadas (temperatura máxima promedio 26,6 °C) y las noches frías (temperatura mínima 1,4 °C). Durante la fase de maduración, se dieron las máximas precipitaciones (105,4 mm), pero la temperatura mínima disminuyó hasta - 0,8°C, siendo incluso inferiores en la fase de cosecha.

Con respecto a la presencia de cogolleros de maíz, Lindo (*2009*) indica que no se encontraron cogolleros desde la fase de germinación hasta el crecimiento lento, donde aparece una larva y dos pupas (total 3 cogolleros) cuando la temperatura promedio fue de 12,6 °C.

El número de cogolleros fue aumentando, registrándose el pico en pleno crecimiento rápido (6 cogolleros) a una temperatura promedio de 11,2 °C; posteriormente se observa una ligera disminución de cogolleros, hasta cuando el maíz entra a la última etapa de fructificación y en la maduración no se registró ningún individuo del total de cogolleros.

CONCLUSIONES

El clima en el valle del Mantaro durante los años 2007 y 2008, fue parcialmente seco. Las temperaturas máximas, en general, fueron superiores a su normal y la mínima ligeramente más frío.

Durante la campaña agrícola 2007-2008 en el valle del Mantaro, la precipitación acumulada en las diferentes fases fenológicas del cultivo de quinua estuvo dentro del rango de tolerancia, al igual que la temperatura; sin embargo, el rendimiento se vio afectado debido a que las precipitaciones fueron irregulares y presentaron periodos con ausencia de lluvias por varios días consecutivos (veranillos).

Las variables climáticas (temperatura, precipitación y fotoperiodo) en conjunto, influyeron en un 78,4 % sobre el rendimiento de cultivo de papa, siendo la temperatura la variable que tiene mayor influencia. La temperatura fue superior encontrándose fuera del rango óptimo para algunas fases fenológicas de este cultivo, entrando a un nivel crítico, pero todavía tolerable para la papa, a diferencia de otros cultivos menos resistentes a estas variaciones. Las condiciones ambientales secas y cálidas observadas en El Tambo, favorecieron a la mayor incidencia del complejo de polillas en el cultivo de papa, principalmente en la etapa de crecimiento vegetativo, siendo la variedad *Yungay* la más afectada.

Se encontró una influencia directa de la precipitación y temperatura del aire, en los rendimientos del cultivo de maíz en especial en la variedad *Blanco Urubamba*. En este cultivo, la cantidad de lluvia precipitada fue insuficiente para el requerimiento de la planta y las variaciones de temperatura afectaron significativamente en el cultivo en ambas localidades. Las mayores poblaciones de cogolleros fueron registradas en los meses de enero y febrero en ambas localidades, observándose un rango de 4 a 12 individuos en total.

REFERENCIAS

Baldeón, Samuel. 2010. *Efecto de 4 elementos climáticos en la fluctuación poblacional del complejo de polillas en dos variedades de papa en las localidades de El Tambo y El Mantaro*. Tesis para Optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

Chávez, J. 1999. *Dinámica de poblaciones de las semillas de teocintle (Zea mays L spp mexicana) Schader Iltis, bajo condiciones de stress*. Tesis profesional U.M.S.N.H. Morelia Mich.

Galindo, G. 2010. *Influencia de la precipitación y la temperatura en el cultivo de quinua (chenopodium quinoa wild.) var. Hualhuas y Blanca de Junín en el valle de El Mantaro*. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

Giráldez, L. 2009. *Influencia de la temperatura, precipitación y fotoperiodo en el cultivo de papa (solanum tuberosum) var.Canchán y Yungay en los distritos de El Tambo y El Mantaro*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

Latinez, K. 2010. *Determinación de la predictibilidad de las lluvias en Huayao mediante el análisis de correlación utilizando las variables ERSST y PDO*. En este volumen.

Lindo, E. 2009. *Fluctuación poblacional de los cogolleros del maíz (Zea mays L.) bajo condiciones de temperatura precipitación, humedad y radiación solar en el valle del Mantaro*. Tesis para Optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

Jacobsen, S. and Sherwood, S. 2002. *Cultivo de Granos Andinos en Ecuador - Informe sobre los rubros quinua, chocho y amaranto. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO)*. Centro Internacional de la Papa (CIP). Catholic Relief Services (CRS). Quito, Ecuador. 89 pp.

Ochoa A., Alex A. 2009. *Influencia de la temperatura y precipitación en el cultivo de maíz amiláceo (zea mays l.) Variedad San Gerónimo y Blanco Urubamba en el Valle del Mantaro*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo, Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo.

Ochoa. 2010. *Influencia de la temperatura y precipitación en el cultivo de maíz amiláceo (zea mays l.) Variedad San Gerónimo y Blanco Urubamba en el Valle del Mantaro*. En este volumen.

Oscanoa, C. 2004. *Proyecto maíz: Memoria anual 2003-2004. Instituto Nacional de Investigación y Extensión Agraria*. Estación Experimental Agraria "Santa Ana". Huancayo, Perú.

Romanyk, N. y D. Cadahia. 2003. *Plagas de insectos en las masas forestales. Sociedad Española de Ciencias Forestales*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid. 396p.

Silva, Y. y Trasmonte,G. 2010. *El clima en el valle del Mantaro. Memoria del subproyecto "Pronóstico estacional de lluvias en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura". IGP*. (En pre-prensa).

Sulca; J.C. 2010. *Identificación de veranillos en el valle del Mantaro*. En este volumen.

Villacorta, L. y Talavera V. 1976. *Anatomía del grano de quinua (Chenopodium quinoa Willd)*. Anales científicos. Vol. XIV: pp. 39-45. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima, Perú.

Cambio climático y el riesgo de heladas en la agricultura del valle del Mantaro

Grace Trasmonte
Instituto Geofísico del Perú
grace.trasmonte@igp.gob.pe

RESUMEN

El cambio climático está asociado al riesgo de desastres naturales, porque, si es que el clima está cambiando, uno debería preguntarse ¿Qué riesgo existe de que aminoren o se incrementen la intensidad, frecuencia, distribución, etc. de los peligros u amenazas naturales que ya existen en la región?

En la región Junín, en particular en el valle del Mantaro, el tema de riesgo de desastres no está muy estudiado, a diferencia del creciente interés por los problemas ambientales y los cambios en el clima que aquejan a la zona. Por otro lado, ya se ha identificado a las heladas como uno de los principales peligros naturales que afectan al valle, siendo la actividad agrícola una de las más afectadas por este tipo de evento (*IGP, 2005.a*).

Es de interés de este trabajo, presentar las principales características del peligro de heladas y la vulnerabilidad de los agricultores del valle del Mantaro ante ellas. Se dará énfasis a las heladas que afectan la actividad agrícola de la zona, analizando cómo ha evolucionado su intensidad y frecuencia en el valle, a través del tiempo. Se propone el uso de un Índice Integrado de Heladas (IIH), en el cual se considere los factores más importantes que, a nuestro entender, atenúan o acrecientan los impactos de las heladas.

Además, se analiza las principales vulnerabilidades que tienen los agricultores en el valle del Mantaro evaluadas en dos distritos de diferentes características de manejo hídrico, por secano en Quilcas (provincia de Huancayo) y con sistema de riego en Concepción (provincia de Concepción), así como algunas de sus fortalezas en cuanto a la gestión de riesgo de heladas, algunas de ellas realizadas desde tiempos antiguos. Finalmente, se recomienda que paralelamente al tema de cambio climático, y tomando como base el interés social, político y administrativo que se ha suscitado hasta la fecha, se promueva el estudio del riesgo y la gestión de riesgo de desastres, dentro de los planes, políticas y actividades de desarrollo de la región Junín.

ZONA DE ESTUDIO

El valle del Mantaro se ubica entre los paralelos 11°40' y 12°10' Sur y los meridianos 75°10' y 75° 15' Oeste, formado por el río del mismo nombre en su recorrido hacia la zona casi central de la cuenca. Aproximadamente tiene una longitud de 70 km desde los alrededores de la ciudad de Jauja (al norte) hasta las localidades de Pucará y Huacrapuquio al extremo sur, su ancho es variable con rangos entre 2 y 8 km, y presenta en sus zonas más bajas, altitudes entre 3 100 y 3 400 msnm, aproximadamente. Presenta una superficie aproximada total de

70 000 Has (*Vega, 2005*) y políticamente comprende parte de las provincias de Jauja, Chupaca, Concepción y Huancayo, en el departamento de Junín, región del mismo nombre.

PELIGRO DE HELADAS EN EL VALLE DEL MANTARO

Características generales de las heladas

Para el análisis se identificaron aleatoriamente once periodos con heladas que ocasionaron impactos en la agricultura del valle, por presentarse en época de pleno desarrollo de los cultivos en la zona; estos eventos se desarrollaron entre octubre y abril, y afectaron algunas zonas o la totalidad del valle del Mantaro (Tabla 1).

Tabla 1. Identificación de eventos de heladas en el valle del Mantaro, según impactos en la actividad agrícola de la zona

Fecha	Afectación	Fuente
25 febrero 1971	Quemado de las puntas de las hojas y muerte de flores en cultivos de papa en la Estación Experimental El Mantaro, Jauja.	Wissar (1972)
20 diciembre 1980	100 % de daño en cultivos de papa y maíz en estado de floración en todo el valle.	Rozas (1991) Villegas (1991)
7 de noviembre 1984	100 % de daño en cultivos de papa y maíz en estado de floración en todo el valle.	Rozas (1991) Villegas (1991)
28 de noviembre 1986	Destrucción de cultivos en la zona norte del valle.	Rozas (1991)
Campaña agrícola 89/90	Fuertes heladas y retraso de lluvias que afectaron extensas áreas de siembra de papa, maíz amiláceo, trigo, cebada y cultivos andinos en la sierra. El valle del Mantaro presentó temperaturas extremas.	CEPES (1989)
10, 11 diciembre 1991	Impacto en etapa de desarrollo de maíz, Fundo Experimental San Juan de Yanamuclo- Jauja.	Chipana (1995)
20, 21 abril 1992	Impacto en etapa de floración de maíz, Fundo Experimental San Juan de Yanamuclo- Jauja.	Chipana (1995)
17 enero 2005	Helada. Daños agrícolas sobre todo en las partes altas de las provincias de la sierra región Junín, especialmente en Jauja y Yauli.	Minag (2005)
23 noviembre 2005	Impacto de heladas en cultivos de Jauja, Chupaca, Huancayo, Concepción y otras zonas del valle.	CNR (2005), MINAG (2005)
15 octubre 2006	Heladas afectan principales cultivos en Jauja, Junín, Chupaca y Concepción.	MINAG (2006)
17 febrero 2007	Cuantiosas pérdidas por helada en Ayacucho, Junín, Huancavelica, Huánuco y Cerro de Pasco. Todas las provincias de la sierra de Junín fueron afectadas. Los cultivos dañados fueron: papas, habas, arbejas, maíz, trigo y cebada.	MINAG (2007), Gobierno Regional Junín, diario La República (2007), diario El Peruano (2007)

Elaboración propia

Según el análisis de los datos e información secundaria complementaria, las principales características de las heladas agronómicas en el valle del Mantaro se resumen en la Tabla 2.

Tabla 2. Características de las heladas agronómicas en el valle del río Mantaro

Variación horaria	La temperatura del aire a 1,5 m sobre el suelo (caseta meteorológica) desciende a valores cercanos o menores a 0 °C. La temperatura más baja suele presentarse entre las 4 y las 6 am (similar a las condiciones promedio), aunque también pueden darse valores cercanos a 0 °C a las 3 y las 7 am y, con menor frecuencia, alrededor de la 1 am. Las temperaturas bajas que se presentan con valores menores o iguales a 0 °C pueden durar entre 1 y 4 horas consecutivas. Las temperaturas horarias más bajas pueden descender entre 5 y 9 °C por debajo del promedio.
Variación diaria	En casi la totalidad de eventos se registró el valor más bajo de temperatura durante el día central, estos valores variaron entre +1° (evento del 17 de enero de 2005) y –2 °C (evento de 7 de noviembre de 1984), con un promedio general de –0,3 °C. También la mayoría de eventos (7 de 10) fueron precedidos y/o seguidos por otros periodos fríos, en uno a dos días, con valores que variaron también entre +1 y –2 °C.
Intensidad / Severidad	Se consideró intensidad fuerte cuando se presentaron temperaturas mínimas, menores o iguales a –2,0 °C, intensidad moderada cuando la temperatura más baja estuvo entre 0 °C y –1,9 °C y de intensidad suave cuando la temperatura mínima estuvo en el rango entre 0,1 °C y 2,0 °C.
Distribución mensual de la frecuencia	Durante el periodo entre enero de 1958 y marzo de 2008, se presentaron en el valle del Mantaro (Huayao) un total de 2 604 días con heladas de intensidad menor o igual a 0 °C, de las cuales 95 % ocurrieron entre fines de otoño e invierno (mayo a agosto) y sólo 5 % entre septiembre y abril durante la temporada grande de cultivo en la zona.
Periodo libre de heladas (PLH) y fechas de primera y última helada	Según SENAMHI (2005.b) para intensidades iguales a 0 °C (a 0,5 m del suelo), el PLH es de 218 días al año, con la fecha de última helada promedio el 22 de septiembre y de la primera helada el 28 de abril. Para heladas más intensas (*SENAMHI, 1989*), con temperaturas de -2 °C, el PLH comprende en promedio 280 días (aprox. 9 meses), desde el 18 de agosto al 25 de mayo, con desviaciones de +- 32,7 y +-15,7 días, respectivamente.
Tipos de heladas según su origen	Un análisis de la información meteorológica del valle del Mantaro durante los años 1984 a 1987 realizado por el SENAMHI (*1989*) concluye que 83% de las heladas (con temperaturas menores o iguales a 0,0 °C a 0,5 metros sobre el suelo) son heladas fundamentalmente de irradiación y el resto de tipo advectivo.
Distribución espacial en función de la información de la estación de Huayao	Según la investigación topoclimática que realizó el SENAMHI (*1989*), se puede inferir que la zona norte es la que más enfría en todo el valle durante los eventos de heladas radiativas y, por el contrario, se observa una relativa calidez en las zonas sur y sureste. Se asocian estas características, entre otros, principalmente a las diferencias de altitud de la zona norte respecto del sur. Por ejemplo, la ciudad de Jauja está a una altitud de 3 400 msnm, mientras que Viques está a 3 100 msnm.

Frecuencia y probabilidad de ocurrencia	La probabilidad de ocurrencia de heladas entre enero-marzo es en promedio de una vez cada cinco años para la zona centro-occidental del valle (Huayao), y se duplica al norte del valle (Jauja), de igual manera se duplica cuando consideramos el resto del periodo de siembra y desarrollo (entre septiembre y diciembre).

Elaboración propia

Tendencia en la frecuencia de heladas

El IGP (*2005.b*) encontró en su análisis de tendencias que entre 1960 y 2002 había aumentado la frecuencia de heladas $\leq$ 5 °C en la cuenca considerando el periodo setiembre a abril, a razón de 8 días/década, considerando información de cinco lugares: Cerro de Pasco, Marcapomacocha, Huayao, Pilchaca y Lircay. En el caso de Huayao (3 312 msnm, 12°02'18.1"S, 75°19'22W) para el periodo indicado se encontró una tendencia de incremento de +2,8 días con heladas/década. Al incorporar información desde el año 1923 (Figura 1) en Huayao, se observa también una tendencia similar de +3 días con heladas/década.

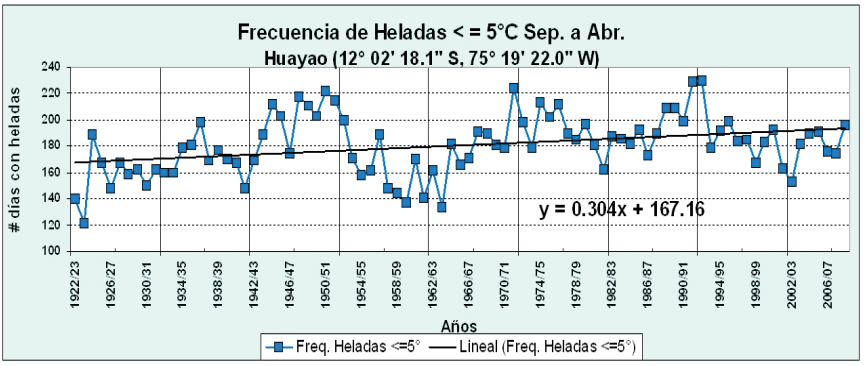


Figura 1. Tendencias en la frecuencia de heladas $\leq$ 5°C por año durante el periodo septiembre- abril. Entre 1960-2002 (panel superior) y entre 1958-2005 (panel inferior). Elaboración propia

Tendencia en la intensidad de heladas

Análogamente al análisis anterior se procedió con la intensidad de la heladas, tomando el mínimo valor que se dio en el año dentro del periodo septiembre - abril. En este caso, el IGP reportó que se observó un comportamiento variable en la tendencia histórica de las zonas analizadas de la cuenca del Mantaro. Actualizando los datos de Huayao no se observó ningún cambio en los resultados, es decir, no se observa alguna tendencia en cuanto a la intensidad máxima de heladas con los años (Figura 2). Si consideramos el periodo de ausencia de actividad agrícola (mayo - agosto) la tendencia hallada en Huayao fue positiva aunque muy ligera (0,1°C/década).

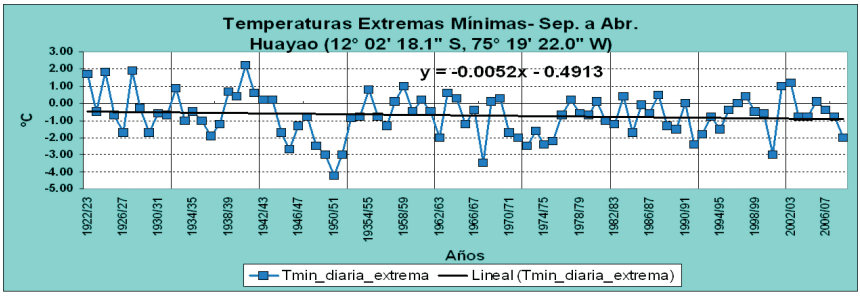


Figura 2. Tendencias en la intensidad de heladas (valor más extremo), durante el periodo septiembre- abril. Entre 1960-2002 (panel superior) y entre 1958-2007 (panel inferior). Elaboración propia

Heladas y su relación con el Fenómeno El Niño/La Niña

Se encontró que durante los eventos La Niña, se presentaron los valores históricos más fríos de helada, por ejemplo las Niñas: 1962, 1968, 1971, 1974-75, 2000, particularmente notorio en la década de 1968 – 1978, con un récord histórico en el evento La Niña 1974 (sobre todo en los meses de abril, septiembre y diciembre). Por otro lado, durante los Niños el comportamiento fue variable, con algunos años en los cuales no se presentaron heladas en dichos meses (1958, 1963, 1969, 1987 y 2002), o bien hubo algunos con desarrollo de pocos eventos de heladas aunque por encima de lo normal (1966, 1976, 1982 y 1995) especialmente en el mes de abril. Sin embargo, durante algunos eventos importantes hubo una reducción considerable en el periodo y la frecuencia de heladas para la zona, como El Niño extraordinario 1997-1998, en el cual las condiciones en el valle (Huayao) fueron en varios grados más cálidas de lo normal, especialmente entre diciembre de 1997 y abril de 1998, con una anomalía extrema de +4,7 en las temperaturas mínimas diarias.

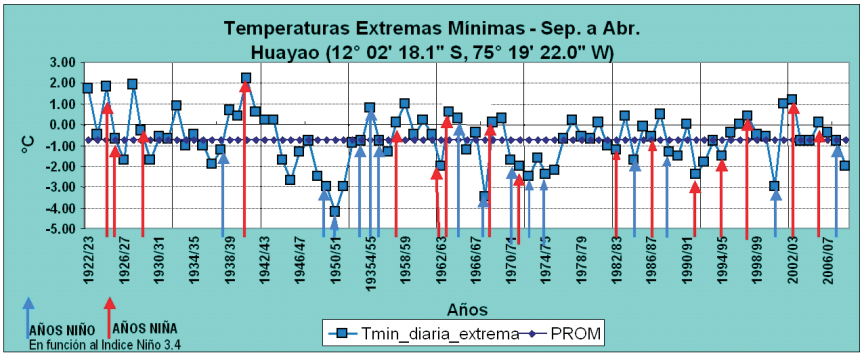


Figura 3. Heladas extremas en Huayao y su relación con el Fenómeno El Niño/La Niña (Temperatura Superficial del Mar en el Pacífico Central Ecuatorial- Área Niño 3.4). Periodos: septiembre-abril. Elaboración propia

Propuesta de un índice integrado de heladas para el valle del Mantaro

Si se seleccionaran los más importantes factores que intervienen en la "*peligrosidad*" de una helada y se integraran en un valor o índice, se tendría una forma más completa de caracterizar o definir el peligro de heladas. Esto no se hace actualmente pues se toma en cuenta sólo una o hasta dos propiedades; por lo general, el valor más bajo ocurrido y/o su duración.

Por esta razón, se propuso elaborar un índice de heladas, que se denominó Índice Integrado de Heladas (IIH), el cual a nuestro entender, reúne las más importantes propiedades que intervienen en la generación de heladas y aminoran o amplifican su impacto; y en el cual se considera al cambio climático como un factor que amplifica las situaciones de peligrosidad en el valle del Mantaro. Así:

$$IIH = f (FC1 + FC2 + FC3 + FC4 + FC5 + FC6 + FC7 + FC8)$$

Donde:

FC1 = Factor crítico 1, intensidad
FC2 = Factor crítico 2, duración
FC3 = Factor crítico 3, origen
FC4 = Factor crítico 4, frecuencia o probabilidad de ocurrencia
FC5 = Factor crítico 5, mes de ocurrencia
FC6 = Factor crítico 6, relación con otros eventos meteorológicos adversos
FC7 = Factor crítico 7, relación con El Niño/La Niña
FC8= Factor crítico 8, relación con cambio climático

Según este índice, el evento del 17 de febrero del 2010, en Huayao tuvo un **alto peligro de heladas**. Dicho evento fue categorizado de débil a moderado por SENAMHI, según la clasificación dada sólo por su intensidad.

VULNERABILIDAD Y ACCIONES DE PREVENCIÓN DE LOS AGRICULTORES DEL VALLE ANTE EL PELIGRO DE HELADAS

Se identificaron seis tipos de vulnerabilidad ante el peligro de heladas en la zona de estudio y diversos factores que intervienen en dicha vulnerabilidad, con sus respectivos indicadores (Tabla 3.a).

Tabla 3.a. Tipos y factores de vulnerabilidad ante heladas en el valle del Mantaro

Vulnerabilidad	Factores
Física	Tipo de cultivo, fenología del cultivo, disponibilidad hídrica, sectorización espacial, tipo de suelo de la zona.
Social	Organización comunal (general y ante las heladas), participación comunal, población normalmente afectada por una helada, desarrollo humano.
Económica	Ingreso promedio, dependencia económica respecto de la actividad agrícola, pérdida económica para los agricultores debido a la helada.
Educativa	Grado de instrucción, capacitación, acceso a temas educativos de los agricultores.
Política institucional	Capacidad de prevención y apoyo a la población, capacidad de respuesta y apoyo a la población, capacidad de interrelación, capacidad de integración de las autoridades y/o instituciones relacionadas a la prevención y/o respuesta ante eventos de heladas.
Científica-tecnológica	Avance científico-tecnológico en la zona.

Elaboración propia

La vulnerabilidad total (vt) es el promedio de todos los tipos de vulnerabilidad considerados:

$$VT = (VF + VS + VE + VEd + VPI + VCT)/N$$

Donde:

VF = Vulnerabilidad física
VS = Vulnerabilidad social
VE = Vulnerabilidad económica
VEd = Vulnerabilidad educativa
VPI = Vulnerabilidad político-institucional
VCT = Vulnerabilidad científico-tecnológica
N = Número de vulnerabilidades evaluadas

Si se divide la vulnerabilidad total entre 4 (atribuido a la situación más crítica) y se multiplica por 100, se tendrá la calificación o categorización que se presenta en la Tabla 3.b.

Tabla 3.b Calificación y valoración de vulnerabilidad total

Vulnerabilidad total (%)	*Calificación*	*Valoración*
0-19,9	Muy baja	0
20-39,9	Baja	1
40-59,9	Media	2
60-79,9	Alta	3
80-100,0	Muy alta	4

Elaboración propia

Mediante los criterios señalados se determinó la vulnerabilidad ante las heladas de dos grupos humanos con los que se trabajó en el valle: la junta de regantes de la subcuenca del río Achamayo (afluente del río Mantaro), Concepción; y la comunidad de Quilcas, Huancayo (Tabla 3.c).

La información se obtuvo mediante una encuesta tomada en talleres locales participativos. Además, se evaluó en ambas zonas el conocimiento local sobre las heladas y su manejo; y recogieron algunos testimonios de antiguos agricultores sobre la forma de gestión ante heladas y otros conocimientos relacionados.

Tabla 3.c Promedio de vulnerabilidad y vulnerabilidad total por grupo humano

Grupo humano	*Promedio de vulnerabilidad*	*vulnerabilidad total (vt)%*	*Calificación*
Agricultores de la Comisión de Regantes de la subcuenca del río Achamayo, Concepción	VT=(2,25 + 3,2 + 2,0 + 2,3 + 3 + 4)/6 VT= 2,8 VT%= 2,8/4*100%=70,0%	70,0	Vulnerabilidad alta
Agricultores de la Comunidad de Quilcas, Huancayo	VT=(2,75 + 2,3 + 2,0 + 3,33+ 3,25 + 4)/6 VT= 2,93 VT%= 2,93/4*100%=73,25%	73,25	Vulnerabilidad alta

Elaboración propia

Un buen número de los testimonios reconoce la condición de cielo muy despejado desde la tarde y/o la noche anterior a la caída de la helada (que se presenta en la madrugada), noches estrelladas y descensos bruscos de las temperaturas, con posible ingreso de persistentes vientos fuertes y fríos del Sur o el Oeste como condiciones previas a la presencia de una helada. Otros indicaron también que se presenta un intenso calor en el día anterior, y por la noche baja fuertemente la temperatura.

Por otro lado, un buen número de agricultores asocian algunas fechas o festividades importantes en la zona con la presencia de heladas, esto debido a que se han presentado en alguna o varias oportunidades; por ejemplo, en diciembre cerca de la navidad, en febrero en las fiestas de la Candelaria y carnavales, entre otros.

Sobre las acciones de prevención que realizan ante las heladas, mencionaron las siguientes:

- Riego anticipado (los que cuentan con sistema de riego).
- Arborizar el perímetro de la chacra (terrenos cercados con barreras vivas).
- Uso de plantaciones forestales cerca de las chacras. Entre las más utilizadas están el eucalipto, el quinual y el aliso.
- Siembra cuando el suelo no está muy caliente sino a una temperatura normal y según las fases de la Luna.
- Siembra de variedades de cultivos más resistentes a las heladas.
- Cubrir los cultivos con rastrojos.
- Producir humo quemando maleza, eucalipto verde o grama.
- Producir calor encendiendo troncos.
- Regar o humear el terreno en las cuatro esquinas.
- Hacer ruidos fuertes (repican campanas, revientan cohetes, chancan latas).

En ambas zonas hay una organización básica, sea porque los une el uso del agua o su comportamiento histórico. Pero para enfrentar el problema de las heladas en una zona más urbana, como Concepción, las acciones son más individualizadas o incluso familiares, y técnicamente más eficientes; en tanto que en una zona más rural y con menos recursos, como Quilcas, si bien tienen mayor capacidad de cooperación y participación comunal, los métodos de prevención y/o respuesta que utilizan son más simples, aunque se desconoce si son más o menos eficaces.

CONCLUSIONES

- Las heladas son muy frecuentes en el valle del Mantaro y si bien sólo el 5 % de ellas se dan entre septiembre y abril, estas pueden tener una recurrencia de 1 vez cada 5 años (Huayao), entre los meses de enero a marzo, y se duplica hacia el norte (Jauja) y sudoeste (sectores de Chupaca).

- No se observa tendencias definidas en la intensidad de heladas en el periodo septiembre y abril, aunque si un ligero incremento en la frecuencia de heladas de intensidad menores o iguales a 5 °C.

- Lo que si se observa es que existen oscilaciones naturales de baja o muy baja frecuencia, tanto en la intensidad y frecuencia de las heladas, y se recomienda un estudio más detallado.

- Eventos como El Niño o La Niña podrían ocasionar situaciones de valores extremos muy cálidos o muy fríos, respectivamente, entre los meses de septiembre y abril.

- Los agricultores del valle presentan una vulnerabilidad **alta** ante las heladas, pero existe en el valle algunas capacidades y fortalezas de conocimiento climático y su acción ante sus impactos, que deberían ser rescatadas, evaluadas y revaloradas.

- Faltan estudios de vulnerabilidad de la población a los peligros/ desastres naturales, y para diferentes actividades socio-económicas de la región.

- Paralelamente a la promoción de estudios sobre cambio climático, se debe promover temas o estudio del riesgo y la gestión de riesgo de desastres, los cuales sean también incorporados dentro de los planes, políticas y actividades de desarrollo de la región Junín.

- Los procesos participativos son excelentes herramientas para obtener productos más precisos, consensuados y adecuados a la realidad de una zona y son útiles en la generación de propuestas y planes de gestión, como en la Gestión de Riesgo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Centro Peruano de Estudios Sociales (CEPES). 1989. *La Naturaleza contra el agro- sequías, heladas y Plagas en la sierra*. En: Alerta Agraria, publicación mensual del Centro Peruano de Estudios Sociales. Editora: María Luisa de la Rocha. 6 diciembre 1989. p.3.

Chipana, Evaristo. 1995. *Características Morfológicas de la Mazorca (Zea Mays L.) asociada a la tolerancia al frio en Germosplasma peruano y foráneo*. Tesis para optar el grado de Magíster Scientae en Mejoramiento Genético de Plantas. Universidad Nacional Agraria. Lima.

Coordinadora Nacional de Radio (CNR), edición escrita. *Heladas y sequías destruyen cultivos*. 29 de noviembre 2005.

El Peruano, diario. 2007. *Bajas temperaturas ocasionan pérdidas*. 22 de febrero.

IGP. 2005.a. *Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro: Bajo la Visión del Cambio Climático*. Fondo editorial del Concejo Nacional del Ambiente. Lima- Perú, 90 p.

IGP. 2005.b. *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro*. Fondo editorial del Concejo Nacional del Ambiente. Lima- Perú, 104 p.

La República, diario. *Heladas dejan cuantiosas pérdidas en agro*. 22 de febrero 2007.

Ministerio de Agricultura. 2004 al 2007. *Informes coyunturales (varios) sobre fenómenos adversos en el valle del Mantaro*. Oficina de información agraria- DRA-JUNIN.

Rozas P., V. 1991. *Zonificación topoclimatológica del valle del Mantaro en función de períodos críticos de Heladas*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.

SENAMHI. 2005b. *Atlas de heladas*. Convenio de Cooperación Técnica Institucional SENAMHI- MINAG, Información Climática Oportuna. 67 p. Lima- Perú.

-------. 1989. *Estudio agroclimático del valle del río Mantaro*. Convenio SENAMHI- CORDE-Junín. 130 p. Lima- Perú.

Vega L., G. 2005. *Diagnóstico de la cadena productiva de la alcachofa*. Dirección Regional Agraria Junín. 20 p.

Villegas P., E. 1991. *Zonificación del valle del Mantaro según la intensidad y riesgo de ocurrencia de las heladas tradicionales.* Tesis para optar el título de Ingeniero Meteorólogo. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima. 141 p.

Wissar G., R. 1972. *Influencia de dosis y forma de aplicación de estiércol en el rendimiento de papa- variedad Renovación.* Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Centro. Huancayo- Junín. 66 p.

Efectos del cambio climático en la agricultura de la región Junín

Oscar Garay
Especialista en Cultivos Andinos del INIA-EEA. Santa Ana
Huancayo
ogaray@inia.gob.pe

PRESENTACIÓN

Este artículo se escribe sobre la base de un análisis institucional realizado por los investigadores agrarios del Instituto Nacional de Innovación Agraria – Estación Experimental Santa Ana – Huancayo, análisis ampliado con evidencias científicas de diferentes instituciones e investigadores; así como de productores, quienes ya perciben la presencia de los efectos del cambio climático, particularmente en la agricultura de la región Junín.

DEFINICIÓN DE CONCEPTOS

Según la Convención de Cambio Climático (Protocolo de Kyoto – Japón y la Convención de las Naciones Unidas), se define como cambio climático al "*cambio en el clima atribuible directa o indirectamente a las actividades humanas que altera la composición global de la atmósfera mundial la que se suma a la variabilidad climática natural observada durante períodos de tiempo comparables*". Esta definición incluye consideraciones, como el "*agujero de ozono*" y las "*extinciones*" de flora y fauna debido a una variación estadística significativa del estado global del clima.

Por otro lado, se resume que el cambio climático se debe a las emisiones de gases de invernadero, que trae como consecuencia el *calentamiento global* ocasionado principalmente por las excesivas emisiones de dióxido de carbono (CO2) y su consiguiente concentración en la atmósfera. Se afirma que en el periodo 1970-2004 se han incrementado en un 70 % las emisiones de gases llamados de *efecto invernadero* (GEI), debido a las actividades humanas. El incremento de la concentración del CO2 atmosférico ha pasado de 280 ppm en la era preindustrial (1750), a valores de 379 ppm en 2005, habiéndose producido un notorio incremento durante el periodo 1995-2005.

Como consecuencia de la emisión y concentración de gases en la atmósfera, se produce un incremento en la temperatura, que según la tendencia actual, se incrementará entre 1,4 ºC y 5,8 °C, entre 1990 y 2100, *(Houghton et al., 2001)* causando cambios en los ecosistemas y aumento en la reducción acelerada de los glaciares. La disminución drástica de los glaciares ocasiona menor volumen de agua para el consumo humano, el desarrollo de sus actividades, particularmente en la práctica de la actividad agropecuaria; por lo tanto, será inevitable su efecto negativo en la producción de cultivos, disminuyendo su rendimiento y generando diferencias importantes entre las regiones *(Rosenzweig y Liverman, 1992; McCarthy et al., 2001)*. Algunas estimaciones sobre los efectos del cambio climático a nivel mundial en el cultivo de la papa durante los próximos 50 años proyectan que la reducción del rendimiento puede oscilar entre 18 % y 32 % si las variedades no tienen una adaptación adecuada.

CONTEXTO MUNDIAL

La agricultura está íntimamente relacionada con numerosos problemas; entre ellos, el calentamiento global y la decreciente disponibilidad del agua, que traen como principal consecuencia la pérdida de la biodiversidad, hecho que incrementará la malnutrición y la pobreza que actualmente asola gran parte del mundo, de no tomarse las medidas pertinentes para mitigar los efectos del cambio climático.

El calentamiento global, más que un problema político y de entera responsabilidad de los países desarrollados, es el reto moral más importante que enfrenta la humanidad en su conjunto; se está hiriendo de muerte a nuestro hogar y consecuentemente atentando contra nuestras vidas y la de nuestros descendientes.

En una declaración del 16 de marzo del 2008, el Programa de la ONU para el Medioambiente (UNEP) advirtió que debido al calentamiento global, los glaciares del mundo están fundiéndose a una velocidad record en la historia, calificándolo como el más grave derretimiento de los glaciares en Europa.

Los expertos afirmaron que la rápida evolución de derretimiento de los glaciares, una de las principales fuentes del agua dulce de la humanidad, causará crisis de suministro del líquido en algunas zonas, e incluso provocará disputas por el agua en las zonas carentes de recursos hidráulicos. El informe de la organización de la ONU ha revelado que está acelerándose el derretimiento de los glaciares, desde la Cordillera de los Andes hasta el Polo Norte.

Los resultados de la investigación sobre 30 glaciares en nueve zonas montañosas demostró que la velocidad del derretimiento de los mismos durante el periodo 2005 – 2006, fue dos veces la registrada en el periodo 2004 – 2005. De acuerdo con el informe, se deduce que el nivel del mar continuará subiendo, causando inundaciones y la desaparición del 30 % de las especies. El Perú figura entre los tres países de Latinoamérica que sufre cambios físicos y biológicos muy severos (deshielos, deforestación, heladas, cambios en sistemas de agua, etc.).

¿CÓMO PERJUDICA EL CAMBIO CLIMÁTICO A LA AGRICULTURA?

Según la FAO, el cambio climático puede golpear a la agricultura en diversas formas. El cambio climático a largo plazo, en particular el calentamiento del planeta, podría afectar a la agricultura en diversas formas, y casi todas son un riesgo para la seguridad alimentaria de las personas más vulnerables del mundo:

- Sería menos previsible el clima en general, lo que complicaría la planificación de las actividades agrícolas.
- Podría aumentar la variabilidad del clima, ejerciendo más presión en los sistemas agrícolas frágiles.
- Los extremos climáticos (altas temperaturas y heladas, altas precipitaciones pluviales y sequías), que son casi imposibles de prever, podrían hacerse más frecuentes.
- Aumentaría el nivel del mar, lo que sería una amenaza para la valiosa agricultura de las costas, en particular en las islas pequeñas de tierras bajas.

- La diversidad biológica se reduciría en algunas de las zonas ecológicas más frágiles, como los manglares y las selvas tropicales.
- Las zonas climáticas y agroecológicas se modificarían, obligando a los agricultores a adaptarse, y poniendo en peligro la vegetación y la fauna.
- Empeoraría el actual desequilibrio que hay en la producción de alimentos entre las regiones templadas y frías, así como las tropicales y subtropicales.
- Avanzarían plagas y enfermedades portadas por vectores hacia zonas donde antes no existían.

EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA REGIÓN

El cambio climático a largo plazo, en particular el calentamiento del planeta, afectará a la agricultura en diversas formas y casi todas son un riesgo para la seguridad alimentaria de las personas más vulnerables de la región.

- El clima sería completamente irregular, principalmente en cuanto al inicio, intensidad y frecuencia de la precipitación pluvial se refiere, causando entre otros casos: sequía, reducción de glaciares (como el caso del Huaytapallana), disminución de los reservorios naturales y, por lo tanto, reducción de áreas bajo riego.

- Las temperaturas extremas (altas y bajas) causarían sequías por aumento de la evapotranspiración, disminución del agua para áreas bajo riego y/o riego complementario cuando hay presencia de "*veranillos*" en el periodo de lluvias. También causaría las *"heladas"* cuyo efecto en los cultivos es irreversible.



Desglaciación del nevado de Huaytapallana

- Por efecto de las temperaturas altas habría presencia de nuevas plagas, por aumento de la humedad, se presentarían nuevas enfermedades, principalmente las fungosas; las existentes como la rancha (*Phytophthora infestans*) y rhizoctoniasis (*Rhizoctononia solani*) en tubérculos, roya en cereales, etc., serían más virulentas, causando fragilidad en el sistema productivo de la región.

- La agrobiodiversidad se reduciría en algunas de las zonas ecológicas y se incrementaría en otras, ocasionando la variabilidad en la seguridad alimentaria.

- Existe también la probabilidad del incremento en la agrobiodiversidad, en su afán de adaptarse a las nuevas condiciones de clima, como consecuencia de una evolución natural ocurrida desde hace miles de años.

- El aumento del bióxido de carbono tiene efectos fertilizantes en muchos cultivos, esto incrementaría las tasas de crecimiento y la eficiencia de la utilización del agua. Pero falta aun despejar muchas interrogantes sobre sus posibles beneficios.

- La reducción de la biodiversidad y la reducción de los rendimientos de los cultivos, traerán consigo la erosión genética y problemas para garantizar la seguridad alimentaria, prioritariamente en las poblaciones frágiles.

- Algunos testimonios sobre el cambio climático y la agricultura:

  Martin Cruz. De la comunidad de Vicos *"Por primera vez estamos sembrando en estas alturas, mas antes sólo sembrábamos trigo Huascar, pero la variedad Mustu blanco todavía no, lo probamos porque ha cambiado demasiado el tiempo ahora hace mucho calor y además llueve demasiado".*



Granos de maíz de diferentes razas, cuya variabilidad se alteraría con el cambio climático

Don Agustín Tafur por su parte, nos comenta que *"El maíz produce en la parte media (3 600 msnm) hace 3 años normalmente, pero hace 5 años atrás producía, pero sólo consumías en choclo y en panca para los animales y en la parte baja ya es como costa porque ya produce frutales por la parte baja".*

Don Víctor Paucar, comunero de Vícos, corrobora lo afirmado por don Agustín al comentar "*Se observa los cambios en los cultivos, por ejemplo en la parte media ya producen el maíz choclero. Hace muchos años sólo producían maíz común y hasta plantas frutales como: manzana, lima, limón. Están creciendo normalmente en la*

parte media y en la parte alta ya se siembra trigo que a comparación de siete años atrás no sembrábamos, pero ahora si ya se adapta porque ahora hace más calor y además llueve demasiado"

CASOS PUNTUALES

Para entender mejor lo que ocurriría con la agrobiodiversidad regional, en el siguiente cuadro se especifica el hábitat de los principales cultivos de la zona andina de la región y la ocurrencia, como consecuencia del cambio climático.

Cultivo	Altitud (msnm)	Ocurrencia debido al cambio climático
Trigo Cebada	2 000 a 3 300	Cultivos que tienen amplio rango de adaptación, que garantizarían en el futuro, la base de la seguridad alimentaria, porque prosperarían en temperaturas relativamente altas y por su precocidad escaparían a cortos periodos de lluvia y por la existencia de variedades resistentes al desgrane, soportarían fenómenos climáticos como la granizada.
Arveja Haba	2 000 a 3 500	Leguminosas que prosperarían en un rango de adaptación medio (1 500 m), por el corto periodo vegetativo de las arvejas (3 a 5 meses) soportarían respecto a las habas (5 a 7 meses) cortos periodos de precipitación. Resistirían bajas temperaturas (heladas) salvo que el fenómeno ocurra en el periodo de floración y formación de vainas.
Maíz amiláceo Kiwicha	2 500 a 3 500	En el caso del maíz, tiene regular rango de adaptación (1 000 m de altitud), esto varía con la gama de razas que existe en la zona andina del país, así se tiene: La *San Gerónimo* se cultiva de 3 132 a 3 436 msnm; *Chimlos* se cultiva de 2 383 a 2 979 msnm; *San Gerónimo Huancavelicano* es la más dispersa y se encuentra de 2 656 hasta 3 383 msnm; *Confite Puntiagudo* se ubica de 2 656 hasta 3 441 msnm; *Granada* se encuentra de 2 995 hasta 3 412 msnm; *Pisccorunto* se ubica de 2 976 hasta 3 383 msnm; *Kculli* se encuentra de 2 874 hasta 3 274 msnm; *Cuzco* de 3 072 hasta 3 395 msnm. *Confite Morocho* de 2 745 hasta los 3 249 m; *Chullpi* de 2 857 hasta 3 237 m; *Morocho* de 2 667 a 3 313 msnm. En Huancavelica mencionan que en décadas anteriores, sembraban maíz en zonas más bajas que las actuales; esta afirmación nos indica que el cambio de clima alterará los pisos ecológicos hábitat de la variabilidad de razas, en muchos casos acortando su rango de adaptación. Con la kiwicha, ocurriría igual que con el maíz, porque su piso ecológico es igual *"donde crece el maíz crece la kiwicha"*.
Quinua	2 000 a 4 000	La quinua dependiendo de las variedades, tiene un periodo de crecimiento que fluctúa entre los 90 y 220 días. La planta crece preferentemente en climas y condiciones rigurosas. En las regiones con climas cálidos las semillas y los frutos son más acuosos y dulces, exuberantes y tentadores; mientras que en las frías son por lo general secos y amargos, concentrando mayor cantidad de proteínas y nutrientes. Por estas características, los efectos de cambio climático pasarían desapercibidos.

<table>
<tr>
<td>Papa nativa
Oca
Olluco
mashua</td>
<td>3 400 a 3 800</td>
<td>


Micoplasma en olluco a 3 200 msnm, por efecto de sequía
Los efectos del cambio climático sobre la producción de cultivos son complejos pues el crecimiento y rendimiento de las plantas están relacionados con la temperatura. La papa puede crecer en varios ambientes, pero está adaptada a climas templados (Haverkort, 1990). Por ejemplo, si la temperatura está por encima de los 17 °C, la tuberización disminuye en tanto que si es menor a 0 °C, los daños en el cultivo pueden llegar a ser bastante severos (Stol et al., 1991).
En las zonas agroecológicas de puna, zona propicia para la producción de papas nativas y otros tubérculos andinos, además del incremento que viene experimentando la temperatura, desde ya, se presentan con mayor frecuencia otros eventos climáticos que ponen en riesgo la producción agrícola.


Las papas nativas serían afectadas seriamente por altas temperaturas.
Las heladas, las sequías, “veranillos” y las granizadas, son algunas de las principales anomalías que se han manifestado durante los últimos años. El riesgo principal de estos fenómenos es la pérdida, tanto de la producción como de la diversidad genética, de las papas nativas. A esto se suma la mayor incidencia de la rancha. El nuevo rango de temperaturas alcanzado en la zona (de 12 °C hasta 24 °C) puede favorecer, en adelante, el desarrollo del tipo de hongo que la ocasiona (Phytophthora infestans), propiciando así el surgimiento de una enfermedad que hasta hace poco no afectaba a las regiones ubicadas por encima de los 3 800 msnm. Este es un claro ejemplo de cómo el incremento de las temperaturas representa un riesgo todavía no cuantificado bajo las actuales tendencias.
El rendimiento y la calidad de los tubérculos variarán en función de las horas frío que necesitan los cultivos; así en el caso de la papa nativa requiere de 2 a 8 horas frío durante la tuberización; de no darse estas condiciones tuberizará menos y de mala calidad; también se presentará micoplasma en olluco, noctuideos en oca, etc.; acortándose en general su rango de dispersión.
</td>
</tr>
<tr>
<td>Tarwi</td>
<td>3 400 a 3 800</td>
<td>Esta leguminosa andina, básicamente acortará su rango de adaptación y como en todos los cultivos de la zona andina de la región, por incremento de la temperatura, humedad relativa alta y veranillos, se incrementarán nuevas plagas y enfermedades.</td>
</tr>
<tr>
<td>Maca</td>
<td>3 900 a 4 200</td>
<td>Disminuirá mucho más su rango de adaptación y el producto no sería de calidad, caracterizándose por ser fibrosas, debido al aumento de la temperatura.</td>
</tr>
</table>

PROPUESTAS

- En base a la caracterización hecha de la agrobiodiversidad, se debe generar nuevas variedades de cultivares de corto periodo vegetativo, tolerante a plagas y enfermedades, resistentes a la sequía, temperaturas altas y heladas; cultivares que necesiten menos recursos hídricos, sin que esto signifique bajar la calidad de los productos y alcanzar mayor productividad.
- Recolección, evaluación, caracterización y conservación permanente de nuestra agrobiodiversidad, actividad que permitirá entre otros aspectos la variabilidad de la misma frente al cambio climático.
- En lo posible, manejar los cultivos con incorporación de materia orgánica (guano de corral y/o materia verde) a los suelos para aumentar su capacidad de retención de la humedad y aumentar su fertilidad, para así mitigar la degradación de este recurso natural.
- Intensificar la actividad forestal para: capturar el CO_2, generar los ojos de agua (manantiales), mitigar la erosión de los suelos y disminuir la "desertificación"; mediante el uso de especies forestales nativas que no consuman mucho recurso hídrico y propicien el desarrollo de la actividad agrícola.
- Promover el uso del riego tecnificado, a fin de evitar pérdida de agua como ocurre en el riego por inundación.
- Continuar e intensificar la producción y uso de semilla mejorada.
- Introducción de nuevos cultivos y cultivares, tolerantes y/o resistentes a las nuevas características del ecosistema.
- Estimular a los productores para conservar in situ la biodiversidad de cultivares que manejan frecuentemente.
- Erradicar la quema de rastrojos en los campos de cultivos y pastos naturales de las praderas.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Aguirre, Carlos. 2009. *Plan de acción para la adaptación al cambio climático en la agricultura y ganadería del valle del Mantaro 2010 – 2015.* Proyecto: "Vulnerabilidad al cambio climático de los ecosistemas agrícolas en América Latina y El Caribe". Taller 3, INIA, Huancayo, 2 y 3 de abril del 2009.

Fierro, Zapata.2009. *Escenarios climáticos futuros del agroecosistema: Evapotranspiración y sequías*. Huancayo, 2 y 3 de abril del 2009.

Lagos, Pablo. 2009. *Adaptación a los efectos del retiro glaciar en el valle del Mantaro, Tercer taller "Plan de Acción para la Adaptación al Cambio Climático de la Actividad Agraria en el Valle del Mantaro"*. INIA, Huancayo, 2 y 3 de abril del 2009.

Gómez, Vilma. *Efectos del cambio climático en los Andes del Perú*. Caso de la Comunidad Campesina de Quero – Junín. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima.

Gutiérrez, Raymundo. 2008. *Papas nativas desafiando al cambio climático: propuestas de adaptación tecnológica del cultivo de papas nativas frente al cambio climático en Cusco y Ancash*. Soluciones prácticas ITDG, Lima. Octubre 2008, 82 p.

Marticorena, Solis. *Fundición de La Oroya contaminó 2 300 km^2 de suelos con arsénico y plomo*. Fuente: //elcomercio.pe/noticia/367390/se-imagina-casi-toda-lima-envenedada-plomo-arsénico-si-eso-sucede-oroya.

Medina, Tulio. 2008. *Agrobiodiversidad y cambio climático.* INIA, Sub Dirección de Recursos Genéticos y Biotecnología. Taller sobre Cambio Climático, EEA Santa Ana, 2 y 3 de octubre de 2008.

Oscanoa ; C; Sevilla, R. 2009. *Incremento de rendimiento de maíz en sierra central del Perú a través de conservación de razas: estudio de líneas de base, Junín, Huancavelica y Ayacucho*. INIA, Lima.

Influencia de la temperatura y precipitación en el cultivo de maíz amiláceo (*Zea Mays L.)* Cv. San Gerónimo y Blanco Urubamba en el valle del Mantaro

Alex Ochoa [1]
Universidad Nacional del Centro
aaoa_2@hotmail.com

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tuvo como objetivos: a) Determinar la influencia de la precipitación y la temperatura en el cultivo de maíz amiláceo en dos variedades *San Gerónimo* y *Blanco Urubamba* en dos localidades del valle del Mantaro, b) Identificar las variaciones de la precipitación y temperatura en las dos localidades en estudio. El presente trabajo de investigación se desarrolló con el propósito de observar y analizar en campos experimentales el comportamiento de la precipitación y temperatura, y en qué forma influyen en el desarrollo y rendimiento en el valle del Mantaro.

INTRODUCCIÓN

El maíz amiláceo es uno de los cultivos que constituye una de las bases de la alimentación para el consumo humano en nuestro país. La región Junín es la mayor productora de maíz en grano seco, abasteciendo al principal mercado de Lima, y el valle del Mantaro aporta aproximadamente el 20 % de la producción nacional de maíz amiláceo.

Sin embargo, al ubicarse en la sierra alto andina del Perú, presenta ambientes bastante diferenciados con problemas de estiaje y heladas; asimismo, está sujeto a las insuficientes e irregulares precipitaciones pluviales provocando períodos de escasez de agua para los cultivos. Además, de variaciones de temperatura van desde los 0,7 °C a 21 °C, alcanzando muchas veces hasta -3 °C bajo cero, afectando a este cultivo.

El maíz amiláceo es el principal cultivo y su siembra está limitada al uso de variedades tradicionales como la *Blanco Urubamba* y *San Gerónimo*, con rendimientos bajos debido a que es cultivada principalmente por pequeños y medianos agricultores, mayoritariamente para autoconsumo constituyéndose en la base fundamental de su alimentación y economía.

El mercado de maíz amiláceo prefiere variedades como el *Blanco Urubamba*, siendo esta de un periodo largo, susceptible al frío, exigente al agua y un manejo agronómico riguroso, donde aumenta los riesgos y reduce notoriamente la rentabilidad a causa de las variaciones en el clima.

[1] Esta investigación es parte del subproyecto "Pronóstico Estacional de Lluvias y Temperatura del Aire en la Cuenca del Mantaro para su Aplicación en la Agricultura" a cargo del IGP con financiamiento del programa INCAGRO.

MATERIALES Y MÉTODOS

Zona de Estudio

El trabajo de investigación se realizó en dos distritos del valle del Mantaro: El Mantaro en la E.E.A. El Mantaro y El Tambo, en la E.E.A. Santa Ana

Tabla 1. Ubicación geográfica de los campos de experimento

LUGARES	E.E.A. EL MANTARO UNCP	E.E.A. SANTA ANA INIA
Altitud	3 316 msnm	3 260 msnm
Latitud Sur	12°02´18"	12°03´19"
Longitud Oeste	75°18´24" M. de Greenwich	75°16´33" M. de Greenwich

Material genético utilizado

Dentro del material genético utilizado en el experimento del cultivo de maíz amiláceo se encuentran los siguientes tipos: *Blanco Urubamba* de Junín y *San Gerónimo*.

Antecedentes meteorológicos

El valle del Mantaro se caracteriza por tener dos estaciones bien marcadas durante el año, la primera entre septiembre y abril donde se presenta la época lluviosa y las temperaturas más altas del año, además se aprecian heladas para los meses de enero, febrero y marzo.

La segunda estación comienza con la disminución de la precipitación pluvial para los meses de abril y mayo, presentándose la época seca entre los meses de junio y agosto, la temperatura disminuye hasta por debajo de 0 °C.

Diseño experimental

El trabajo de investigación se desarrolló en dos localidades (A: a_1 (El Mantaro y a_2 (Santa Ana)) combinados con dos cultivares de maíz (B: b_1 (San Gerónimo) y b_2 (Blanco Urubamba Junín)).

Se realizó el estudio en condiciones de campos en secano, es decir, donde no hay disponibilidad de riego, esperando las precipitaciones pluviales para el cultivo (octubre del 2007 a junio del 2008). Para medir la influencia de los dos factores se utilizó el Diseño Experimental de Bloques Completos al Azar Combinado.

Característica de las parcelas experimentales

En las experimentales se tuvo en consideración las siguientes características:

- Número de localidades : 2
- Número de variedades : 2
- Número de tratamientos : 4

- Número de repeticiones : 4
- Distancia entre surcos : 0,80 *m*
- Distancia entre golpes : 0,50 *m* (*Blanco Urubamba*)
  0,40 m (*San Gerónimo*)
- Número de surcos por parcela : 5
- Número de golpes por surco : 19 (*Blanco Urubamba*)
  22 (*San Gerónimo*)
- Número de semillas por golpe : 3
- Longitud de surco : 9 *m*
- Área neta parcelar : 36 m^2
- Área neta repetición : 72 m^2
- Área neta experimental/localidad : 288 m^2
- Área neta experimental : 576 m^2

Conducción experimental

- Muestreo y análisis de suelo
- Preparación del suelo
- Demarcación y trazado
- Siembra
- Abonamiento
- Desahíje
- Control de malezas
- Control fitosanitario
- Cosecha

Evaluaciones registradas

Se extrajeron los datos de la siguiente forma: en los 3 surcos centrales se tomaron 10 plantas al azar.

Técnicas, procesamiento y análisis de datos

Se calculó un promedio de cada tratamiento para cada característica de planta evaluada, estimando el efecto ambiental influenciado por la temperatura y precipitación para cada característica de las plantas evaluadas. Los resultados obtenidos fueron analizados y discutidos, basados en el resultado del análisis de varianza propio del diseño experimental y comparándolos mediante la prueba de Tukey al 0,05.

Evaluaciones realizadas:

- Determinación peso de mil semillas
- Porcentaje de emergencia

En campo:

- Emergencia de plántulas en campo
- Días al 50% de floración masculina y femenina
- Altura de planta y la inserción de mazorca superior

***Componentes de rendimiento**:*

- Número de plantas por parcela
- Número de mazorcas por planta
- Número de granos por mazorca

Rendimiento potencial:

- Rendimiento de mazorcas
- Rendimiento de grano (kg/ha)

Análisis estadístico

En este trabajo de investigación se empleó el diseño de bloques al azar (BCA) para cada localidad, así como el Diseño de Bloques Completas al Azar Combinado.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el cultivo de maíz amiláceo, la característica analizada más importante fue el rendimiento, ya que este cultivo es muy sensible a la ausencia de agua y bajas temperaturas; esto se observa en los resultados que se obtuvo en el análisis de varianza y las pruebas de Tukey, de los tratamientos basados en sus promedios.

La ausencia de precipitación en días claves del desarrollo del ciclo del maíz fue determinante para los rendimientos obtenidos. La temperatura afectó considerablemente a las variedades tardías (*Cuzqueado, Blanco Urubamba de Junín*), además se observó una escasez de agua en esta época lo que originó que éstas no tengan un buen llenado de grano. También se pudo observar que las variedades tardías presentaron un ligero tumbado de plantas, reacciones propias de falta de agua.

En las pruebas de significancia de los promedios de los tratamientos para el peso de grano (kg/ha), para los niveles del factor A (localidades); se observa que los niveles a1 (El Mantaro) y a2 (Santa Ana), con promedios de 1 232, 3 y 1 224, 2 kg/ha, respectivamente, no muestran significación estadística entre ellos.

La prueba de significancia de los promedios de los tratamientos para el peso de grano (kg/ha), para los niveles del factor B (variedades); se observa que el nivel b1 (*San Gerónimo*) ocupa el primer lugar con un promedio de 1 354 8 kg/ha y supera estadísticamente al nivel b2 (*Blanco Urubamba*) que presenta un promedio de 1 101 6 kg/ha, esto debido a que la variedad *San Gerónimo* presenta mayor número de mazorcas por planta y consecuentemente tendrá mayor peso por hectárea en condiciones de secano con relación a la variedad *Blanco Urubamba*.

Mientras que en la prueba de significancia de los promedios de los tratamientos para el peso de grano (kg/ha), para las interacciones AB; se observa que las interacciones a2b1 (Santa Ana – San Gerónimo) y a1b1 (El Mantaro – San Gerónimo), ocupan los dos primeros lugares con promedios de 1 389, 3 y 1 320, 4 kg/ha, respectivamente; y no muestran significancia estadística entre ellas, debido a que pertenecen a la misma variedad; además, no hay influencia medio ambiental.

Sin embargo, la interacción (Santa Ana – San Gerónimo) supera estadísticamente a las interacciones a1b2 (El Mantaro – Blanco Urubamba) y a2b2 (Santa Ana – Blanco Urubamba) que presentaron promedios de 1 144, 2 y 1 059, 1 kg/ha, respectivamente. Esta diferencia se debe a la influencia directa de la variedad *San Gerónimo*, que presentó mayor número de mazorcas por planta.

INFLUENCIA DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA EL LA PRODUCCIÓN DEL MAÍZ AMILÁCEO

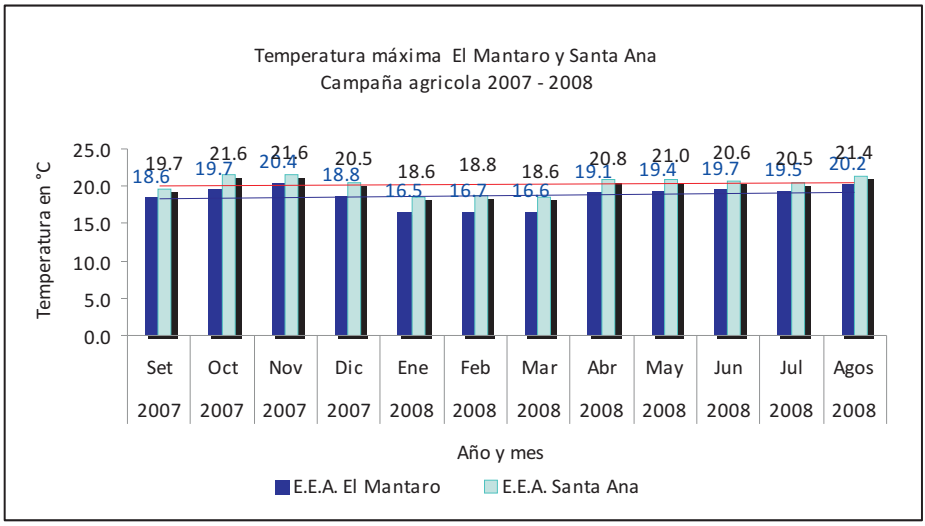


Figura 1. Comparación de las temperaturas máximas (°C) en las dos localidades Santa Ana y el Mantaro

En Figura 1, se observa el comportamiento de las variaciones de la temperatura máxima (°C) en ambas localidades, los cuales influenciaron en el desarrollo normal del cultivo evidenciando la tendencia lineal en la localidad de Santa Ana, donde alcanzó hasta 21,6 °C promedio; mientras que en la localidad de El Mantaro alcanzó hasta 20,4 °C promedio durante la campaña agrícola 2007-2008. Esta diferencia es significativa para un cultivo como el maíz amiláceo; *Bolaños, J. (1995)* señala que la temperatura es el elemento primario que influye sobre el desarrollo del maíz.

Los cultivares se clasifican en: madurez temprana o tardía, en base a sus requerimientos térmicos para cumplir ciertas etapas del desarrollo. La floración es generalmente usada como el evento del desarrollo que caracteriza los cultivares como tempranos o tardíos. *Andrade y Col., 1997* dentro de la fenología del maíz establecen las distintas fases del desarrollo por las que atraviesa un cultivo, teniendo en cuenta los cambios morfológicos y fisiológicos que se producen a medida que transcurre el tiempo.

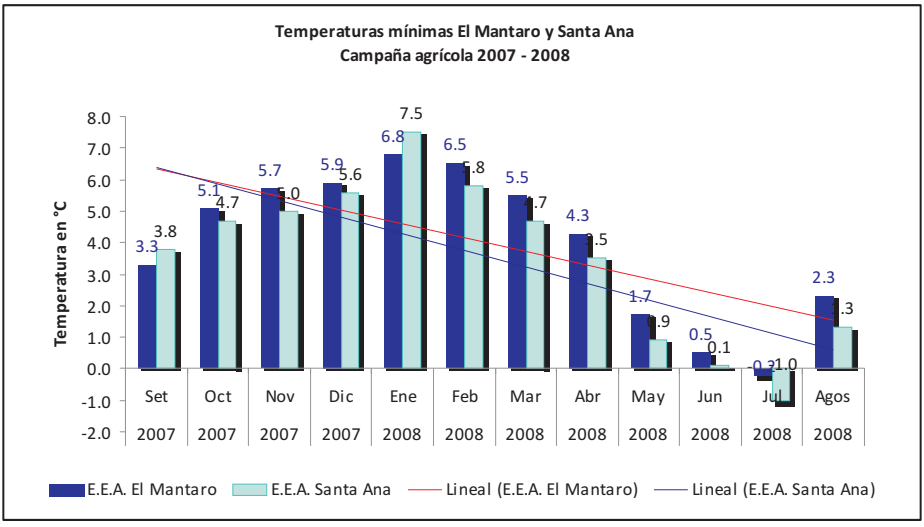


Figura 2. Comparación del las temperaturas mínimas (°C) en las dos localidades – Santa Ana y el Mantaro.

En la Figura 2, se observan las temperaturas mínimas durante el año agrícola 2007-2008. En ella, se distingue la influencia significativa para el normal desarrollo del cultivo de maíz amiláceo, donde según los datos observados en Santa Ana la temperatura mínima alcanzó -1,0 °C y -2°C.

Durante el periodo fenológico del cultivo de la variedad *San Gerónimo* (localidad Santa Ana), que es más sensible a la humedad durante las fases de panoja, espigamiento, polinización y maduración, se observó que la precipitación máxima alcanzada en la fase de panojamiento (15 días), hubo una precipitación de 55,9 mm con una temperatura máxima de 21,8 °C y una temperatura mínima de 4,4 °C, afectando y retardando el desarrollo del cultivo. En las fases de polinización y maduración fueron determinantes para el rendimiento, que no hubiera una adecuada precipitación y temperatura, la misma que disminuyó hasta 14 °C, afectando a la producción.

En el periodo fenológico del cultivo de la variedad *San Gerónimo* (localidad de El Mantaro), durante las fases más sensibles a la humedad y temperatura (panoja, espigamiento, polinización y maduración), fueron claves para un óptimo rendimiento. La precipitación máxima alcanzada en la fase de panojamiento en 15 días fue de 22,4 mm con una temperatura máxima de 12,4 °C y una temperatura mínima de 4,5 °C, afectando y retardando el desarrollo del cultivo. Las fases de polinización y maduración determinantes para el rendimiento se vieron afectadas por una baja en la temperatura de 0,0 °C.

Valentinuz y Paparotti (2004) concluyen que es conocida la gran caída del rendimiento de maíz en situaciones de estrés abiótico (falta de agua, falta de nutrientes, escasa radiación, altas o bajas temperaturas, suelos con condición edáfica desfavorable). El estrés, definido como todo factor que por su presencia o ausencia reduce el rendimiento potencial de un cultivo, afecta tan drásticamente al maíz cuando ocurre durante el periodo de floración que los rendimientos pueden caer hasta una décima del rendimiento potencial.

En el periodo fenológico del cultivo *Blanco Urubamba* (localidad de Santa Ana) durante las fases sensibles a la humedad y temperatura se observa que la precipitación máxima alcanzada en la fase de panojamiento en 15 días fue de 59,2 mm con una temperatura máxima de 21,4 °C y una temperatura mínima de 4,6 °C, afectando y retardando el desarrollo del cultivo. En las fases de polinización y maduración fueron determinantes para el rendimiento donde no hubo una adecuada precipitación y temperatura, que bajó hasta -0,8 °C, afectando a la producción.

Durante el periodo fenológico del cultivo *Blanco Urubamba* (localidad de El Mantaro) durante las fases se observaron las variaciones climáticas que se presentan actualmente, donde se encuentra que la precipitación máxima alcanzada en la fase de panojamiento en 15 días fue de 70,7 mm, con una temperatura máxima de 19,0 °C y una temperatura mínima de 2,2 °C; afectando y retardando el desarrollo del cultivo.

Las fases de polinización y maduración fueron determinantes para el rendimiento. En la fase espigamiento bajó la temperatura hasta -0,6 °C en la fase maduración, afectando altamente al cultivo y normal desarrollo y producción. *Marmolejo (2000*) cita que, los daños las ocasionan las bajas temperaturas (heladas); la cantidad de daños por helada varía de acuerdo a la susceptibilidad que presentan las especies vegetales en los diferentes ciclos vegetativos, por ello es de gran importancia realizar el ensayo en diferentes localidades y época de siembra durante varias campañas.

Tabla 2. Comparación del peso de grano (t/ha) bajo la influencia de la precipitación y temperatura en las dos localidades.

	E.E.A. Santa Ana		E.E.A. El Mantaro	
	San Gerónimo	**Blanco Urubamba**	**San Gerónimo**	**Blanco Urubamba**
Pp. acum. (mm) Periodo fenológico	445,7	467,8	481,1	496,0
Peso de grano kg/ha	1320,0	1144,0	1390,0	1060,0

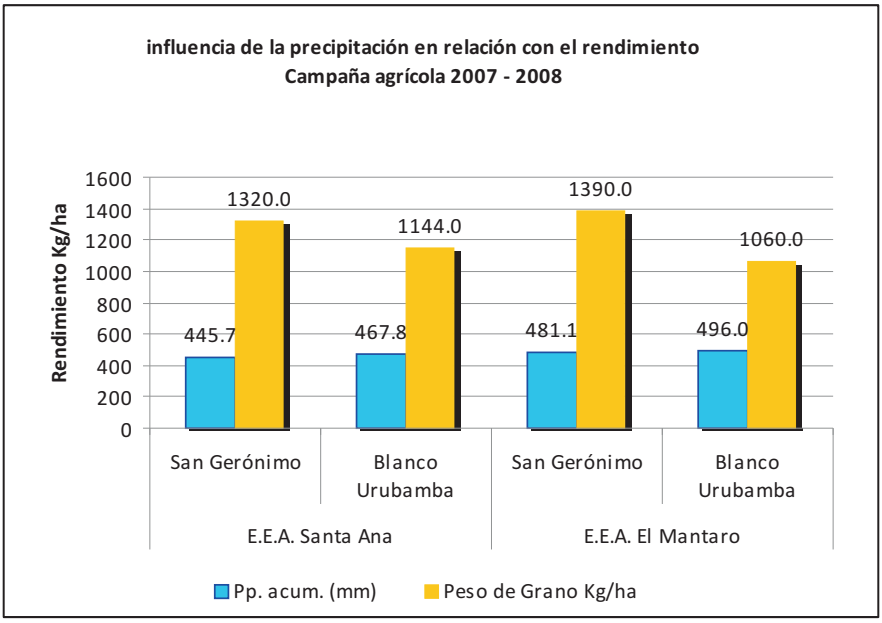


Figura 3. Influencia de la precipitación en relación con el rendimiento del cultivo de maíz amiláceo

En la Tabla 2 y la Figura 3, muestran la influencia de la precipitación en la producción del rendimiento de granos de maíz en dos localidades. Además, se observa que en la localidad de El Mantaro hay mayor precipitación que en Santa Ana, pero menor temperatura; sin embargo, la precipitación fue menor que el requerimiento de agua para este cultivo, tal como lo mencionan *Nicosia y Martín (2004)* que el cultivo de maíz tiene buen comportamiento en el desarrollo con precipitaciones de hasta 700 mm; por debajo de ello, conviene riego complementario. Esto significa que para nuestras condiciones y, con materiales de alta performance, el riego complementario debería cubrir el déficit más las pérdidas de agua por escurrimiento, transporte y aplicación (totalizando 700 a 1 000 mm), repercutiendo en el rendimiento de ambas variedades, especialmente para la variedad *Blanco Urubamba*.

CONCLUSIONES

- El peso de 1 000 semillas después de la cosecha para la variedad *Blanco Urubamba* fue de 348 125 gramos y para la variedad *San Gerónimo* 345 000 gramos, promedios menores que el peso de 1 000 semillas antes de la siembra, esto por la influencia de la precipitación y la temperatura. Para los días al 50 % de floración masculina, las variedades *Blanco Urubamba* y *San Gerónimo* presentan promedios de 91 y 60,25 días, respectivamente; así mismo, en la floración femenina presentan promedios de 95,50 y 69 días, respectivamente. Siendo éstos promedios menores que cuando se aplica riego; por lo tanto, hubo influencia de la temperatura.

- El número de mazorcas por planta entre localidades no varía significativamente; mientras que entre variedades los promedios fueron: para la variedad *San Gerónimo* de 1,86 y para *Blanco Urubamba* 1,02 mazorcas, respectivamente. Referente al peso de mazorca entre localidades, se obtuvo mayor peso en El Mantaro con un promedio de 0,143 kg por mazorca, mientras que en Santa Ana el peso fue de 0,136 kg. Entre variedades, el peso promedio para *Blanco Urubamba* fue de 0,154 y 0,126 kg/mazorca para la variedad *San Gerónimo*. En el peso de grano, en ambas localidades no mostraron diferencia estadística; mientras que, entre variedades sobresalió la *San Gerónimo* con un promedio de 1 354,8 kg/ha, superando a *Blanco Urubamba* que tuvo 1 101,6kg/ha.

- La localidad de El Mantaro presenta mayor precipitación que en Santa Ana, pero menor temperatura; sin embargo, la precipitación fue menor que el requerimiento de agua para el cultivo de maíz, repercutiendo en el rendimiento de ambas variedades, especialmente para la *Blanco Urubamba*.

AGRADECIMIENTOS

A la Dra. Yamina Silva, coordinadora general del subproyecto *"Pronóstico Estacional de Lluvias y Temperaturas en la Cuenca del Río Mantaro para su Aplicación en la Agricultura"*, ya que este estudio se desarrolló como trabajo de Tesis para optar el grado académico de Ing. Agrónomo, en la *Universidad Nacional del Centro del Perú* (Huancayo). Asimismo, mi gratitud al Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por las facilidades y apoyo brindado en especial al Ing. Oscar Garay.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Alfaro. 2002. *Estrategias de mejoramiento genético en maíz (Zea mayz L.) para tolerancia al estrés por sequía*. FANAIAP-CENIAP-IIA. Maracay, Aragua-Venezuela

Andrade y col. 1997. *Densidad de plantas en maíz*. CERBAS, INTA, EEA Balcarce. Boletín Técnico 108. 24.

Bolaños, J. 1995. *Physiological bases for yield differences in selected maize cultivars from Central America*. *Field Crops Res.,* 42: 69-80.

Cortés, M. 1995. *Avances recientes en mejoramiento para la tolerancia a sequía*. Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo. Sub-programa de fisiología de maíz.

FAO. 1996. *Manual de captación y aprovechamiento del agua de lluvia*. Tomo I: Bases técnicas y experiencias en África y Asia Critchley, Hill; Siegert, Klaus. FAO. Oficina de la FAO Para América Latina y el Caribe. Santiago. 161.

Levitt, J. 1980. *Responses of plants to environmental stresses*. Academic Press, New York.

Marmolejo. 2000. *Mejoramiento genético de plantas cultivadas*. Facultad de Agronomía. Universidad Nacional del Centro del Perú. Huancayo.

Parsons, L. 1991. *Respuesta de la planta a la deficiencia de agua. En mejoramiento de plantas en ambientes poco favorables Ed*. By Meryl Christiansen. Noriega Editores 534 pp. Mexico

Oscanoa, C. 2000. *Informe final. P.N.I en maíz y arroz, campaña agrícola 1999-2000*. INIEA.

Osorio, G. 2000. *Glosario de estadística y Diseños experimentales*. Huancayo, Perú.

Ritchie, S. and J. J. Hanway. 1982. *How a corn plant develops*. Iowa State Univ. of Science and Technology. Coop. Ext. Service. 48.

Valentinuz y Paparotti. 2004. *Rendimiento potencial y tolerancia al estrés de maíz.*

Vásquez, A. V. 1990. *Experimentación agrícola*. Diseños estadísticos para la investigación científica y tecnológica. Editores Amaru. Lima, Perú.

El efecto de cambio climático sobre la eficiencia del seguro informal frente al impacto de los riesgos climáticos sobre la producción agrícola

Edouard Crespeigne, Edgar Olivera, Raúl Ccanto y María Scurrah
Grupo Yanapai – University of Namur
yanapaihyo@yahoo.com

TEMA DE INVESTIGACIÓN

En la comunidad de Ccasapata, departamento de Huancavelica, el riesgo de perder parte o la totalidad de una cosecha es real debido a que la producción agrícola está ligada al clima. Allí, regularmente ocurren eventos climáticos extremos como sequías, heladas o granizadas. Las cosechas se ven severamente reducidas por estos fenómenos, y en ocasiones llega a perderse todo el cultivo.

Estos eventos climáticos han formado parte de la realidad de los agricultores andinos desde tiempos inmemoriales, razón por la cual adaptaron sus técnicas agrícolas y usan estrategias para afrontar estos eventos extremos.

Morlon (*1992*), Mayer (*2004*), Blum (*1989*), Gonzales de Olarte (*1984*) y Figueroa (*1981*) han descrito las diversas relaciones de reciprocidad que existen en las comunidades, pero no han analizado el papel de estas relaciones como seguro informal[1]. En este estudio, nos centraremos en la fuerte helada que golpeó los campos de los agricultores el 17 de febrero del 2007. Explicaremos cómo una relación de reciprocidad llamada *allapakuy* permite a los agricultores asegurarse contra la pérdida de su cosecha.

La inminencia de riesgo empuja a los agricultores andinos a poner en práctica estrategias de protección y de respuesta frente a los eventos climáticos extremos. Los comuneros cuentan con estrategias agronómicas y no agronómicas para disminuir el riesgo. Entre las primeras, las más importantes son la diversificación de los cultivos, las fechas de siembra y de las parcelas. Las principales estrategias no agronómicas son la diversificación de las diferentes fuentes de ingreso y la migración.

El riesgo juega un papel fundamental en el fenómeno de la pobreza. Los riesgos climáticos son determinantes en las comunidades rurales andinas, en las que los pequeños agricultores dependen principalmente de la agricultura para su subsistencia; perder la producción que esperan por el advenimiento de eventos extremos como la helada exacerba los efectos de la pobreza (Figura 1). En períodos de estabilidad, un pequeño agricultor puede manejar los quehaceres diarios con toda normalidad, pero su vida puede transformarse en un calvario si se presenta un hecho negativo inesperado.

[1] Crespeigne, 2008.



Figura 1. Campo de cultivo de ocas afectadas por las heladas, pérdida que genera pobreza

Naturalmente, la eficiencia de las estrategias para disminuir los riesgos agrícolas es limitada. Los campesinos nunca están libres de sufrir un evento climático negativo. Cada vez que constatan que van a perder su cosecha, se ven obligados a tomar acciones para enfrentar los daños que les causa este hecho. Una de estas estrategias es recurrir al seguro informal; es decir, compartir el evento negativo o la pérdida entre los campesinos que participan en esta modalidad de ayuda mutua, que puede incluir diversas relaciones de reciprocidad.

La teoría predice la inexistencia de estrategias de distribución del riesgo en el marco de los impactos covariados[2]. Los Andes se caracterizan por la presencia de un sinnúmero de microclimas, pisos ecológicos y fenómenos climáticos localizados, como heladas, granizadas y variaciones de temperatura (*Trivelli, Escobal y Revesz; 2006*). Como consecuencia de esta variedad, no todas las familias son afectadas en igual forma por un fenómeno natural. La existencia de diversos microclimas en los Andes ha configurado una forma de compartir el riesgo climático mediante una estrategia de ampliación de las fronteras geográficas de los vínculos de reciprocidad.

Los cambios climáticos en los Andes son cada vez más evidentes. Se manifiestan en eventos meteorológicos extremos, complejos y covariados. Como señalan el Instituto Geofísico del Perú (IGP) y el Consejo Nacional del Ambiente (CONAM, *2005*); respecto a las heladas, éstas aumentaron su tendencia durante los últimos 40 años; el número de heladas de septiembre a abril, en promedio se ha incrementado a razón de 8 días por década, 40 días en 50 años.

[2] La distinción entre impactos covariados e idiosincrásicos es crucial porque determina el tipo de estrategia utilizada. Los impactos covariados son aquellos que afectan a todo un grupo, como una epidemia, o los ocasionados como consecuencia de los eventos climáticos extremos en la producción agrícola, mientras que los impactos idiosincrásicos son los que afectan a las personas en forma aislada, como las enfermedades o accidentes.

En este contexto, luego de la helada ocurrida el 17 de febrero del 2007, se realizó un estudio exploratorio para identificar las estrategias ex-ante y ex-post que utilizan los campesinos para mitigar los efectos o adaptarse a estos eventos extremos. Además, nos preguntamos si estas estrategias serán suficientes en el futuro, en un escenario climático más dramático que el actual. Es probable que, en esas condiciones, el *allapakuy* pierda eficiencia como seguro informal para compartir el riesgo climático.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El 17 de febrero del año 2007, los Andes peruanos soportaron una fuerte helada que afectó toda la región del sur y del centro de la cordillera, perjudicando a gran número de campesinos. Se trató de una helada excepcional, pues normalmente estas son localizadas y afectan a una minoría de la población. En Ccasapata Chopcca, el 98,5 % de los hogares declararon haber sufrido los efectos del evento. Del total de la población afectada, el 61 % declararon haber sufrido los efectos de las heladas en el curso de los cinco años precedentes al de la catástrofe del 2007.

En estas condiciones de daño generalizado, se puede esperar que los mecanismos de reciprocidad funcionen de manera deficiente como seguro. Sin embargo, aunque prácticamente todos los hogares fueron afectados, la amplitud del daño varió debido a los diversos microclimas y a la manera errática en que cae una helada. En los Andes, según donde se ubique la parcela, la disminución de las temperaturas será amplificada o disminuida.

Siendo el aire frío más pesado que el aire caliente, por regla general, las tierras más bajas y con un relieve más o menos plano son las más afectadas por las heladas, mientras que las parcelas con leves pendientes son las menos afectadas. Este fenómeno de «*inversión de temperatura*» (*Morlon 1992*) es la razón por la cual, según la ubicación de sus terrenos, los habitantes de Ccasapata fueron afectados de manera desigual por la gran ola de frío del 2007. Y la disminución de las cosechas luego de las heladas fue, sin duda, distribuida diferentemente entre los campesinos.

En la Tabla 1 se observa la estimación de los campesinos sobre su cosecha después del siniestro del 2007. Se puede ver que el 16,42 % de los habitantes declararon no haber sido afectados de manera significativa. El 67 % manifestaron que su cosecha fue mala; es probable que una parte de ellos hayan sufrido sólo una pequeña merma en la producción agrícola. Estos resultados muestran, en primer lugar, que las personas fueron afectadas de manera heterogénea; y en segundo término, que el fenómeno, aunque siempre es covariado, afectó a una parte menos significativa de la población (83,5 % contra 98,5 %) de lo que parecía a simple vista.

Tabla 1. Apreciación del resultado de la cosecha después de la helada del 2007

Criterio de apreciación	Porcentaje
Sin consecuencia por la helada	2,99
Muy mala	16,42
Mala	67,16
Normal	11,94
Buena	1,49
Total	100,00

Para traducir esta pérdida a un valor en nuevos soles, se ha utilizado el precio de los cultivos según el mercado de Paucará. Así, el costo promedio de la pérdida por estas heladas fue de 441 nuevos soles por familia, con una desviación estándar de 639 nuevos soles y de valores variante entre 20 y 4 000 nuevos soles.

Las personas que no sufrieron las consecuencias de este evento extremo o sufrieron poco estuvieron dispuestas a brindar su ayuda a aquellas que fueron afectadas seriamente. La Figura 2 representa la distribución del costo de la helada del 2007 (densidad de Kernel) para el 98,5 % de la población afectada.

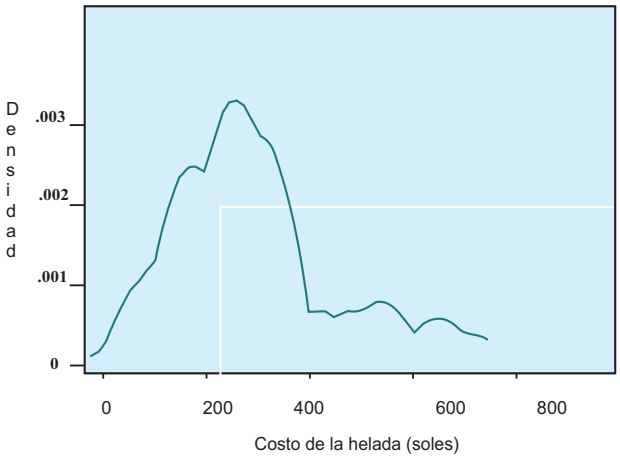


Figura 2. Distribución de Kernel del costo de la helada del 2007

Se podría dudar de que la distribución de daños sea lo suficientemente heterogénea como para permitir el seguro informal. Sin embargo, la relación de reciprocidad que permite compartir el riesgo en caso de una mala cosecha (más adelante describiremos el mecanismo) se produce entre personas que pertenecen a grupos diferentes, que a menudo viven fuera del centro poblado o de la comunidad. La ayuda mutua utilizada para compartir riesgos idiosincrásicos ocurre habitualmente al interior de la comunidad, y se basa en el

ayllu, que es un grupo de hogares vinculados por relaciones de parentesco. Al ampliar las fronteras geográficas de la distribución del riesgo (fuera del ayllu), los campesinos andinos han llegado a compartir riesgos covariados en un vecindario próximo. Dada la existencia de diversos pisos ecológicos y de numerosos microclimas, las diferentes comunidades se ven afectadas de manera desigual por un mismo acontecimiento. Además, ellas por lo general son vulnerables a riesgos agrícolas de naturaleza diferente. Esta heterogeneidad del efecto de un evento sobre la población permite repartir el riesgo entre personas que pertenecen a grupos y comunidades diferentes.

Además de las heladas, existen numerosos factores que pueden afectar la cosecha de un campesino en Ccasapata. Entre estos, se pueden mencionar las lluvias intensas, las inundaciones, la escasez de lluvias, la elevación de la temperatura, así como el incremento de diversas plagas y enfermedades que atacan los cultivos. Se trata, en su mayoría, de fenómenos locales, con una amplitud relativamente limitada en comparación con la intensa helada del 2007. Al cuantificar la pérdida económica de estos fenómenos, se determinó una pérdida promedio de 132 nuevos soles por familia contra 441 para el caso de la helada acontecida. Así, se observa que la helada es la primera causa de daños a las cosechas, lo cual no sorprende, ya que los campos de la comunidad de Ccasapata se extienden entre los 3 700 y 4 200 metros de altitud.

A pesar de todos los esfuerzos que hagan los campesinos para reducir el riesgo (principalmente usando estrategias de diversificación de cultivo, fechas de siembra y de tipo de terreno), nunca estarán libres de obtener una mala cosecha. Si esto sucede, los comuneros deben hacer uso de todo su ingenio para compensar la pérdida y estar en condiciones de alimentar a su familia. Para lograr este objetivo, ellos recurren principalmente a tres estrategias: la migración temporal, la venta de ganado y el *allapakuy (Crespeigne, 2008)*. En este estudio explicaremos de qué manera esta última estrategia, que toma la forma de una relación de reciprocidad, permite compartir el riesgo.

LA DISTRIBUCIÓN DEL RIESGO Y EL *ALLAPAKUY*

Cuando un campesino obtiene una mala cosecha, puede dirigirse a uno de sus conocidos que obtuvo una buena cosecha para proponerle ayudarlo a cosechar. Esta ayuda será retribuida en especie con el producto de la cosecha. Esto es lo que se llama *allapakuy,* "*ayudar a cosechar*". En los Andes, el *allapakuy* es una tradición que se remonta a la época precolombina y que es frecuentemente utilizada para hacer frente a las malas cosechas.

La solicitud de realizar el *allapakuy* toma la forma de un pedido ceremonial: el campesino caído en desgracia va donde el otro a ofrecerle su ayuda, y acude con las manos llenas de alimentos, en señal de ofrenda. Al aceptar el regalo, el propietario accede a establecer el vínculo de reciprocidad. El trato se concretará entre personas que ya tienen establecida de antemano una relación de confianza. Si solamente es un campesino el que ha sufrido los efectos de la mala cosecha, él ofrecerá su ayuda a los otros miembros de la comunidad; pero si el acontecimiento afectó a toda la comunidad, él podrá visitar a sus conocidos de las comunidades vecinas.

Resulta notable la diferencia de ingresos obtenidos entre el *allapakuy* y el trabajo agrícola remunerado. En la provincia de Huancavelica, un trabajador gana 10 nuevos soles por un día de trabajo en el campo. Pero cuando una persona realiza el *allapakuy*, recibe entre uno y un costal y medio de papas, o medio costal de maíz. En el mercado, un costal equivale a 60 kilogramos de papa y se vende a 40 soles, aproximadamente. La remuneración, por consiguiente, cuadruplica el salario en el mercado del trabajo agrícola. Esta constatación ya ha sido señalada por otros autores. Volkmar Blum (*1989*) constató un pago 15 veces superior al salario en moneda que estaba vigente en esa época.

Profundicemos el análisis sobre esta diferencia de precios. ¿Cómo se puede explicar que una persona acceda a perder dinero o cosecha aceptando formar parte de una relación de *allapakuy*? La primera explicación, dada por Figueroa (*1981*) es la de un incremento de salarios en forma de pago en especies, debido a la demanda fuerte de mano de obra en el tiempo de la cosecha. Por otro lado, ¿cómo explicar que el salario en moneda no fluctúe en el transcurso del año? Durante la época de la siembra, la demanda de trabajo también es muy alta, puesto que es necesario labrar rápidamente todos los terrenos, trabajar la tierra y, después, sembrar en un lapso corto. Además, la cosecha es una actividad que requiere poco esfuerzo físico y en la cual puede participar toda la familia, mientras que la siembra es una tarea exigente, que pueden realizar únicamente los hombres. Por este motivo, el precio de la mano de obra tendría que ajustarse a la demanda; es decir, se debería observar un incremento, pero este no se produce.

También se podría pensar que el *allapakuy* sirve como un medio para acceder a una alimentación más diversificada. Blum (*1989*) cita las palabras de un campesino que justifica el sacrificio aceptado: *«Ellos no pueden cultivar el maíz y, cada año, vienen para poder tener acceso al maíz. Solamente de este modo lo pueden obtener»*. Esta explicación es, por decir lo menos, sorprendente, si se toma en cuenta que el trueque y el comercio son dos medios que cumplen este papel. El campesino que acepta la relación de *allapakuy* podría proponer el intercambio, y así evitaría perder la diferencia entre el salario agrícola y el pago tan significativo que requiere esta tradición.

Además, Blum (*1989*) insiste en que se trata de un sacrificio aceptado, del cual dan testimonio los campesinos que aceptan la ayuda de los demás. El autor cita las palabras de otro campesino que justifica la pérdida sufrida: *«Debido a que hay escasez de alimentos, muchos vinieron a ofrecerse. Puesto que todos son mis amigos, yo no los puedo rechazar»*. Aceptar la ayuda de los demás en el marco del *allapakuy* constituye, entonces, en un sacrificio para el campesino. Y la razón para aceptarlo es que sabe que, al hacerlo, podrá solicitar la reciprocidad si él, a su vez, llegara a tener una mala cosecha en el futuro.

Mayer (*2004*), en su descripción del *allapakuy* en Tangor, explica los motivos de la pérdida consentida por parte del campesino: fue la costumbre la que le obligó a aceptar su oferta de ayuda de "*allapakuy*". Estaba en juego una obligación moral; en efecto, habría sido difícil rechazar el pedido de una persona necesitada. Y sobre la base de las nociones de reciprocidad, quién sabe en un futuro fallará una cosecha en Yanacocha, con lo cual él mismo tendría que buscar las papas en otros pueblos, inclusive quizá Tangor, donde podría recurrir a la reciprocidad ya establecida con don Eulogio, quien estará en deuda con él.

El *allapakuy* se parece, en realidad, a una institución informal de distribución del riesgo. Los campesinos con suerte aceptan transferir una parte de su cosecha a los menos favorecidos, sabiendo que, al hacerlo, se aseguran el acceso al mismo trato de favor cuando, a su vez ellos, tengan la misma necesidad.

Los agricultores de Ccasapata recurren de manera regular al *allapakuy* para enfrentar las malas cosechas. El 52 % de los entrevistados recurrieron al *allapakuy* durante la cosecha del 2007; de ellos, el 81 % declararon que el objetivo fue enfrentar una mala cosecha. Asimismo, todos los comuneros que recientemente habían ayudado a los demás a cosechar sus tierras señalaron que la producción del dueño de la chacra había sido normal o buena. Así, se observa claramente que el *allapakuy* es un mecanismo de redistribución de los más afortunados hacia aquellos que sufrieron pérdidas.

El *allapakuy* se produce con mayor frecuencia entre los comuneros de Ccasapata. La diversidad de los tipos de terrenos y de los riesgos a los que están expuestos es suficiente para convencerlos de compartir una parte sustancial del riesgo entre los miembros del mismo centro poblado. Si el impacto afecta a la mayoría de los habitantes de Ccasapata, ellos aún tienen la opción de ir a buscar respaldo en alguno de los 16 centros poblados que forman parte de la nación Chopcca.

Los agricultores de los 16 pueblos se reúnen regularmente en una asamblea general. Además de abordar otros temas, ellos utilizan este espacio como un canal efectivo de intercambio de información acerca de la producción, el mercado, los costos y la gestión de riesgos. Todos los habitantes de Ccasapata han construido relaciones privilegiadas con los comuneros de los centros poblados vecinos y saben que puede contar con estos vínculos para buscar ayuda en caso de una mala cosecha. La Tabla 2 muestra los lugares donde los habitantes de Ccasapata practicaron el *allapakuy* en la cosecha del 2007.

Tabla 2. Lugares donde se llevó a cabo el *allapakuy* en la cosecha del 2007

Lugares	Porcentaje
Ccasapata	77.78%
Otros Centro Poblado Chopcca	8.33%
Otra Comunidad	13.89%
Total	100.00%

La diversidad geográfica y climática de la comunidad Chopcca es tal que permite que el *allapakuy* desempeñe su papel de mecanismo utilizado para compartir el riesgo frente a la mayoría de los fenómenos meteorológicos extremos (86 % de los casos). Sin embargo, algunas de estas relaciones recíprocas se produjeron entre campesinos de diferentes comunidades.

EL EFECTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO SOBRE LA EFICIENCIA DEL SEGURO INFORMAL *"ALLAPACUY"*

Como hemos mencionado, durante los últimos 50 años las heladas aumentaron un promedio de 40 días (IGP-CONAM 2005), y se puede inferir que esta tendencia se va a ir acentuando. Además, no se refiere sólo a las heladas, sino a todos los eventos climáticos covariados, es decir, las sequías y los períodos de lluvias torrenciales. *"El calentamiento puede provocar cambios bruscos en los patrones climáticos regionales, como los monzones o la de El Niño. Estos cambios tendrían graves consecuencias para la disponibilidad de agua e inundaciones (...).* (*Stern, 2006*)

La consecuencia directa de este fenómeno es que los campesinos van a experimentar un incremento de eventos negativos, frente a lo cual la diversificación de cultivos puede llegar a ser de poca ayuda. Los campesinos enfrentarán una difícil situación, con pérdidas más frecuentes de sus cosechas, lo que a su vez generará más pobreza. (Figura 3)



Figura 3. Campos de cultivo de papa afectado por la helada.

Otra consecuencia indirecta de este fenómeno será la disminución de la eficiencia del allapakuy como mecanismo de seguro informal. A mayor severidad de los impactos climáticos, los agricultores tendrán que desplazarse a lugares más distantes, y el costo del viaje será más alto. Un costo más alto tendrá un impacto negativo sobre la eficiencia del allapakuy, por lo que el beneficio de esta relación de reciprocidad será menor.

Otro punto muy importante en el tema de las relaciones de reciprocidad es la circulación de las informaciones. Al interior de una comunidad, la información circula fluidamente: todos los comuneros se conocen y saben cómo fue la cosecha de cada uno. Si los campesinos tienen que usar el allapakuy en lugares más distantes, fuera de la comunidad, la información circulará con menor eficiencia, ya que no se sabrá realmente quién tuvo buenas o malas cosechas. Esto abre la posibilidad de engañar sobre las cantidades de productos obtenidas

en las cosechas, sobre todo porque fuera de la comunidad no existen los mecanismos de control que impiden a los campesinos mentirse entre ellos. Al llevar el *allapakuy* fuera de la comunidad, los campesinos enfrentarán un problema de confianza, lo que seguramente llevará a muchos agricultores a negarse a participar en esta relación de reciprocidad. Si ello ocurre, las posibilidades de los campesinos de asegurarse ante una mala cosecha se verán disminuidas. Además, fuera de su propia comunidad, los campesinos tienen muchos menos conocidos lo que, a su vez, disminuye las posibilidades de hacer uso del *allapakuy*.

Lo señalado conllevará a que se acelere el empobrecimiento del campesino en casos de eventos climáticos extremos y generalizados, pues se romperán los mecanismos sobre los cuales se sustenta este seguro de reciprocidad conocido como *allapakuy*. Los campesinos, entonces, van a tener que hacer un mayor uso de las otras estrategias para enfrentar los eventos climáticos extremos, lo cual supone el riesgo de empobrecimiento: si usan más su ahorro líquido, se empobrecerán en el corto plazo. Pero si se produce un caso extremo y tienen que vender sus activos productivos, se empobrecerán a largo plazo. Los hogares pobres pueden también cambiar sus costumbres agrícolas con cultivos de bajo riesgo. Esta respuesta en sí mismo puede reducir la renta media de estas personas. *Stern* (*2006*) apoya plenamente esas ideas afirmando que *"Las estrategias de supervivencia adoptadas por los pobres para hacer frente al cambio climatico puede dañar sus perspectivas a largo plazo. Del mismo modo, si hay un riesgo de fenómenos meteorológicos extremos y más frecuentes, a continuación, los hogares también pueden tener períodos más cortos de recuperación, aumentando así la posibilidad de verse empobrecidos".*

CONCLUSIONES

Se han mostrado diversos mecanismos usados por los comuneros, resaltando su capacidad excepcional para conservar relaciones ancestrales de reciprocidad que les sirven, entre otras cosas, para compartir el riesgo. Numerosos antropólogos, economistas y agrónomos ya han comentado ampliamente respecto a la utilidad primordial de las diferentes relaciones de reciprocidad. El aporte de este trabajo consiste en demostrar que el *allapakuy* también tiene la función de compartir el riesgo.

Hemos explicado también que el recurrir a una u otra estrategia, es una decisión determinada sobre todo por el tipo de impacto que afectó al hogar. Los impactos idiosincrásicos conducen a recurrir a la ayuda mutua dentro del ayllu, barrio o centro poblado. En cambio, los impactos climáticos o covariados empujan a las familias a salir a fronteras geográficas más amplias.

Por otra parte, queda como una tarea para estudios posteriores investigar si los campesinos más ricos prefieren retirarse de los grupos de ayuda mutua por falta de interés de participar en la estrategia de distribución del riesgo. En efecto; por un lado, ellos están menos expuestos al riesgo (*Crespeigne, 2008*); y por el otro, tienen mayor capacidad para nivelar su consumo, gracias a una mayor acumulación de activos. La utilidad que se saca de una eventual participación en la distribución del riesgo es, pues, menor en los hogares con mayores recursos, porque ellos están relativamente menos expuestos y, además, cuentan con la capacidad de afrontar solos un eventual impacto. Tampoco les interesa relacionarse con familias más pobres, más expuestas y menos capaces de devolverles el favor.

Esto pone en cuestión el tema de las desigualdades y de la eficacia del *allapakuy,* pues parecería que es útil únicamente para personas que están en el mismo grado de pobreza o vulnerabilidad, pero excluye a los más pobres y a los más ricos. Pero si las personas con mayores recursos y las más pobres no participan en la ayuda mutua, se incrementarán las desigualdades. Vemos, pues, que la distribución del riesgo es más eficaz cuando se produce entre un gran número de personas en igualdad de condiciones. Una comunidad más desigual verá disminuir la eficacia del seguro informal, hecho que a su vez, conducirá a una mayor desigualdad.

La cuestión de las desigualdades plantea una falsa visión de la pobreza. Los hogares más pobres están más expuestos al riesgo porque cuentan con menos tierras expuestas a los posibles eventos climáticos extremos; y, por otra parte, se encuentran con menos posibilidades de afrontar este riesgo porque están excluidos de la ayuda mutua y no poseen los recursos individuales necesarios (Figura 4). La pobreza es, a la vez, la causa y la consecuencia de la exposición a los riesgos.



Figura 4. Los agricultores con escasos recursos son los más afectados por los eventos climáticos extremos

El estudio analiza los efectos potenciales del cambio climático sobre la eficiencia del *allapakuy* como seguro informal. Hemos establecido que en un escenario de eventos climáticos más amplios, el *allapakuy* perderá eficiencia. La primera consecuencia de no contar con un seguro recíproco será el empobrecimiento de los campesinos en el corto plazo, pues tendrán que hacer uso de sus activos líquidos para enfrentar al evento climático, con el riesgo de empobrecerse en el largo plazo, cuando tengan que vender sus activos productivos.

El estudio del riesgo está fuertemente ligado a los problemas de la persistencia de la pobreza. Por eso es importante comprender el medio ambiente en el cual viven los campesinos

andinos, los riesgos a los cuales están expuestos, así como los instrumentos con los que se defienden. Solamente tratando de comprender cuáles son las fortalezas y las debilidades de los pobres en su capacidad para defenderse del riesgo podremos proponer políticas de ayuda adecuadas, las que deberían dirigirse, especialmente y antes que nada, a los hogares más pobres, puesto que ellos son los más vulnerables.

BIBLIOGRAFÍA

Blum, V. 1989. *Campesinos y teóricos agrarios: pequeña agricultura en los Andes del sur del Perú.* Lima. Instituto de Estudios Peruanos.

Coate, S. y M. Ravaillon. 1993. *"Reciprocity without Commitment: Characterization and Performance of Informal Insurance Arrangements"*. *Journal of Development Economics* 40, pp. 1-24.

Crespeigne, E. 2008. *"Risques et Stratégies dans une communauté des Andes Centrales, [Riesgos y estrategias en una comunidad de los Andes centrales]"*. Tesis presentada para obtener el grado de magíster en Ciencias Económicas, University of Namur (disponible en las bibliotecas del Instituto de Estudios Peruanos y del grupo Yanapai)

Figueroa, A. 1981. *La economía campesina de la sierra del Perú.* Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.

Gonzales de Olarte, E. 1984. *Economía de la comunidad campesina*. Lima. Instituto de Estudios Peruanos.

Instituto Geofísico del Perú-Consejo Nacional del Ambiente. 2005. *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro*. Lima. CONAM.

Mayer, E. 2004. *Casa, chacra y dinero: economías domésticas y ecología en los Andes.* Lima. Instituto de Estudios Peruanos.

Morlon, P. 1992. *Comprendre l'agriculture paysanne dans les Andes Centrales.* París: INRA editions.

Stern, N. and al. 2006. The *Stern Review of the Economics of Climate Change*. Cambridge : Cambridge University Press.

Trivelli, C., J. Escobal y B. Revesz. *Pequeña agricultura comercial: dinámica y retos en el Perú.* Lima. Instituto de Estudios Peruanos.

CAPÍTULO V

EVENTOS EXTREMOS EN LA CUENCA DEL RÍO MANTARO

La cuenca del río Mantaro es altamente vulnerable a eventos meteorológicos extremos relacionados con la variabilidad climática, y de acuerdo con proyecciones recientes, esta vulnerabilidad se incrementaría en los próximos años debido al cambio climático (IGP, 2005). A pesar de ello, existe solamente un limitado número de investigaciones en los aspectos físicos de estos eventos y su aplicación para la prevención de desastres.

Por ello, este capítulo presenta una primera aproximación a investigaciones recientes – varias de ellas en curso -, referidas a los eventos extremos producidos en la cuenca del río Mantaro. Los siguientes temas desarrollados son: "Modelo holístico de evaluación de riesgo de desastres como herramienta para la adaptación al cambio climático", a cargo de Miguel Pérez, miembro de la FIGAE de la Universidad Nacional Federico Villarreal; "Estudio geológico de flujos de los escombros en el cono de deyección de la subcuenca del río Shullcas- región Junín" a cargo de Luis Ocampo y Juan Carlos Gómez del Instituto Geofísico del Perú; "Mapa de correlación de precipitación observada y satelital sobre la cuenca del Mantaro (2000-2006)" por Berlín Segura, Ken Takahashi y Pablo Lagos del Instituto Geofísico del Perú; "Temperaturas en el proceso de difusión en suelos y sensibilidad del modelo Sbdart", por Miguel Saavedra Huanca de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos; y la "Identificación de Veranillos en el Valle del Mantaro", por Juan Sulca de la Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Modelo holístico de evaluación de riesgo de desastres como herramienta para la adaptación al cambio climático

Miguel Pérez
Miembro del CIPREMID FIGAE - UNFV (Centro de Investigación para la Prevención Y Mitigación de Desastres de la FIGAE - UNFV)
Consultor Independiente de la Dirección General de Calidad Ambiental - Vice ministerio de Gestión Ambiental del Ministerio Del Ambiente
mapaxxi@hotmail.com

RESUMEN
El objeto de este artículo es presentar un modelo conceptual consistente y coherente, de Evaluación de Riesgo de Desastres (ERD), a partir de un enfoque holístico, análisis crítico y sinergia de criterios y conceptos del ambiente, combinado con los enfoques y evolución de los conceptos de riesgo, amenaza y vulnerabilidad[1]. Los procedimientos seguidos para la construcción del modelo de ERD están basados en la ecuación general del Ambiente Global (AG) que es igual a: Ambiente Natural (AN) x Ambiente Social (AS) x Ambiente Construido (AC), propuesto por el autor, ligado a la ecuación universal de riesgos comunitarios (Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad) de White (*1975*): "el riesgo a sufrir desastres depende no sólo de la magnitud de la amenaza como tal sino de la vulnerabilidad de la sociedad expuesta a la amenaza".

Como resultados alcanzados se propone una forma nueva y amplia de conceptuar el ambiente como ambiente global, constituyéndose en el andamiaje teórico que sobre él se construyera el modelo conceptual de gestión holística y sostenible de riesgo y desastre (Ghs-RD), y el modelo de ERD. Se concluye que el riesgo mismo es el problema fundamental y que el desastre es un problema derivado y que parte de las dificultades para lograr una gestión efectiva ha sido la falta de una concepción holística e integral del riesgo que facilite su estimación e intervención desde una perspectiva multidisciplinaria. Con el fin de demostrar la correcta utilización y versatilidad del modelo se implementó en comunidades andinas de Huaraz en el marco del programa APELL[2] que también puede ser replicable en la cuenca del río Mantaro y utilizado como herramienta para la adaptación al cambio climático.

INTRODUCCIÓN
Las formas como se definan los términos distan de ser un mero ejercicio semántico. Por el contrario, constituyen un paso fundamental y una influencia determinante en la organización del conocimiento y, en consecuencia, en la manera en que se encara la investigación y la acción necesarias para enfrentarlas *(Lavell, 1993).*

Así, tanto los conceptos como sus significados expresan diferentes enfoques hacia el ambiente o riesgo que ha evolucionado mediante los años desde la perspectiva disciplinar desde la cual se ha abordado su noción *(Cardona, 2001).*

[1] Forma parte del objetivo general de la tesis sustentada (2009) por el autor.
[2] Programa de Concientización y Preparación para Emergencias a Nivel Local, PNUMA.

En ese contexto, el AG, en concordancia con la visión heliocéntrica de Copérnico; el hombre se constituye en el centro del ambiente global, que equivale decir, ver al ciudadano, a la comunidad, y a la humanidad en general como el centro de las cosas, libre de dominar la naturaleza de todas las formas posibles *(Nebel, 1999)*. Pero esta acción tiene límites y consecuencias que está condicionado por las vertientes divergentes de su actitud: positiva (proactiva/ avenencia) o negativa (reactiva/ aversión) para con sus semejantes y para con los factores tanto del ambiente natural y del ambiente construido, con efecto bumerán que revierte sobre el mismo. Esta actitud puede que esté condicionada o radique en la educación ambiental adquirida *(Novo, 1988 citado por Conesa, 1995).*

La vertiente negativa o actitud negativa del hombre frente a su AG causa degradación, contaminación, deterioro, etc., configurando problemas ambientales que en sí mismo representan riesgos y posibles desastres constituyendo de esa manera un desarrollo insostenible en el lugar donde vive. Por el contrario, el hombre proactivo o con actitud positiva frente a su AG va a prevenir, mitigar, controlar y proteger configurando un hábitat más justo, seguro y próspero, contribuyendo así a establecer un desarrollo sostenible comunitario. Pero, para conservar y/o proteger el AG debe antes conocerse o evaluarse y una forma de hacerlo es a través de la aplicación de ERD.

La ERD es una herramienta para evaluar y estimar el riesgo que aporta a la eficiencia y efectividad de la gestión en el ámbito institucional en tanto y cuanto se emplee un adecuado método holístico e integral basado en una consistencia conceptual de acuerdo con el enfoque unificado de las disciplinas involucradas en su valoración, considerándolo de naturaleza estratégica en vez de táctica en el proceso de evaluación y, que incorpore los criterios propios de nuestra realidad.

EL AMBIENTE GLOBAL Y DESARROLLO SOSTENIBLE

Con el tiempo y según enfoque de las diversas disciplinas científicas, el concepto del ambiente ha ido incorporando nuevos elementos por lo que tiene diferentes acepciones. En ese sentido, la concatenación de las significados y clasificaciones del ambiente de reconocidos autores, dentro de un marco analítico que enfatiza procesos y productos, desde una perspectiva holística, nos permite ofrecer una forma nueva de definir el ambiente por un concepto más amplio y a la vez delimitado fijándolo como ambiente global (Figura 1), constituyéndose en el andamiaje conceptual que dio soporte para diseñar, estructurar y describir el modelo aquí propuesto.

Así, se entiende Ambiente Global como: un sistema global complejo, formado por un conjunto de elementos naturales, sociales y artificiales, que tiene lugar en un espacio territorial acotado y momento determinado, de múltiples y variadas interacciones, en permanente modificación por la acción humana o natural y que rige y condiciona la existencia y desarrollo de la vida animal, vegetal y del hombre, presente y futura.

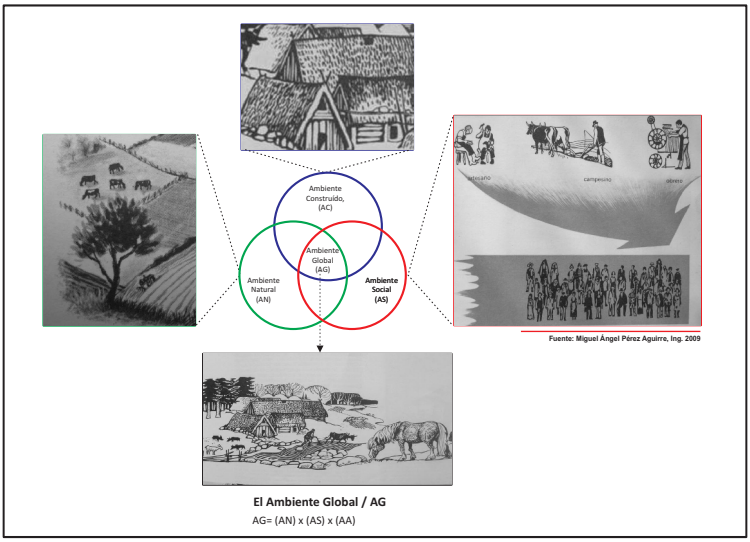


Figura 1. Ambiente Global. Fuente. Elaboración propia

A partir de la anterior definición planteamos la siguiente fórmula:

$$AG = (AN) \times (AS) \times (AC)$$

AG= Ambiente Global [3]
AN= Ambiente Natural
AS= Ambiente Social
AC= Ambiente Construido o Artificial

El enfoque holístico, al que aquí se hace referencia, significa proceso de integración y desagregación, conservando las sinergias o relaciones entre componentes. Es la noción de pensamiento complejo, que separa y reúne, que distingue -sin desunir- y religa.

En el *AG* se distinguen tres tipos de ambientes:

[3]El hecho de multiplicar los elementos del AG significa que están integrados e interactuados. Que están íntimamente ligados, no pudiendo existir los unos sin los otros, excepto el AN, que contiene los elementos básicos del AG, que son aquellos ecosistemas cuyo estado actual previsible presenta riesgos para el desempeño de la función del sistema que rige y condiciona las posibilidades de vida en las comunidades o en la Tierra.

Ambiente Natural (AN): es aquel subsistema en que los elementos se dan naturalmente, sin intervención humana. Corresponde a las sustancias abióticas (orgánicas e inorgánicas), condiciones de vida (factores físicos y químicos), sustancias bióticas (productores, consumidores y desintegradores) y la forma como dichos elementos se relacionan o integran en una unidad natural, es decir, en el ecosistema.

Ambiente Social (AS): corresponde a los seres humanos organizados en sociedad. Comprende la cultura, la economía, etc.

Ambiente Construido(AC): es el ambiente modificado por los seres humanos. Corresponde a todo lo construido por el hombre (máquinas, edificios, aparatos, etc.).

A su vez, se puede diferenciar dos clases: Ambiente Global - urbano (AG-u) y Ambiente Global-rural (AG-r), pudiendo ser representado geométricamente de la forma siguiente:

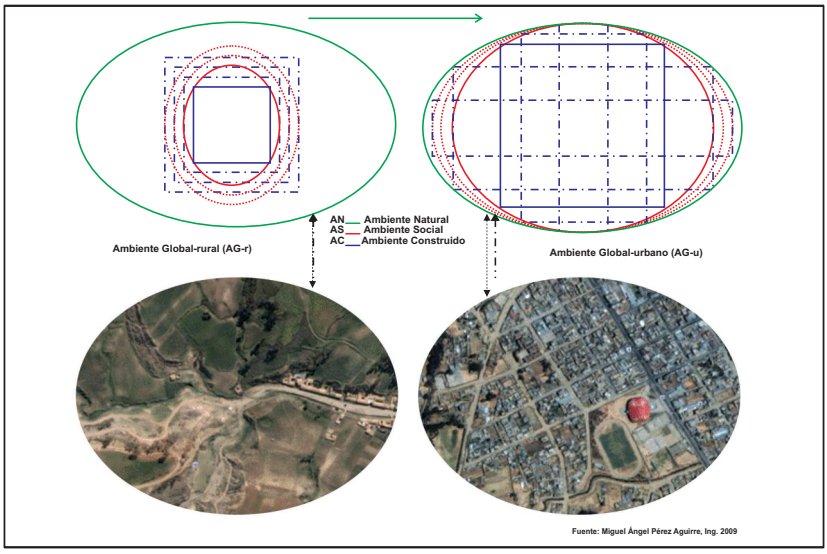


Figura 2: Representación geométrica del AG.
Fuente. Elaboración propia

En la Figura 2, en un intento de representar y diferenciar geométricamente un sitio rural de lo urbano, asumiendo que ambos escenarios tienen áreas iguales y que existe una tendencia de cambio constante generado por un proceso de evolución y transformación de uno con respecto al otro, se puede señalar que el ambiente natural del AG-u se ve disminuido en sus componentes en tanto y en cuanto el ambiente social y ambiente construido crezca; en cambio en el AG-r predomina el ambiente natural debido a la presencia de pocos elementos del AS y AC. Pero, en el proceso de mutación de lo rural hacia lo urbano se configuran amenazas, vulnerabilidades, riesgos y desastres producto del hacinamiento, tugurización, despreocupación ambiental de los pobladores, etc.

Por otra parte, pero ligado a lo anterior, entendemos por desarrollo ambiental global sostenible (DagS), en concordancia con el significado de desarrollo sostenible propuesto por Brundtland en 1987, como aquella forma de desarrollo que incluyen dimensiones del ambiente natural, social y económico integrados, circunscrito a la dimensión institucional, las cuales guardan estrecha relación entre sí y cada una tiene implicaciones sobre las demás. Dependiendo del enfoque que se le dé para ver cual tiene más importancia, los tres elementos no deben estar siempre equilibrados.

ENFOQUE Y EVOLUCIÓN DE LOS CONCEPTOS: RIESGO, AMENAZA Y VULNERABILIDAD

Inspirado en las investigaciones de Lavell *(1994/96)*, Andrew Maskrey *(1998)* y Cardona *(1996/2001a /2003b)* aquí se presenta a modo de resumen una revisión de los enfoques de las ciencias naturales, las ciencias aplicadas y las ciencias sociales en relación con los conceptos del riesgo de los desastres, a fin de sentar las bases para una visión holística del riesgo que unifique los diferentes enfoques y faciliten identificar con claridad de qué manera se puede llevar a cabo una evaluación y gestión del riesgo con eficacia y efectividad.

La concepción del riesgo y la terminología asociada a su definición no sólo ha variado con el tiempo; también, ha variado desde la perspectiva disciplinaria desde la cual se ha abordado su noción. Así, las ciencias naturales enfocan sus esfuerzos en el estudio de los procesos naturales que dan origen a las amenazas naturales; las ciencias aplicadas ponen énfasis en el estudio de la vulnerabilidad física; y, de manera más amplia, las ciencias sociales trata sobre la vulnerabilidad global.

Pero todas estas ciencias tienen algo en común, la seguridad del hombre, como centro de preocupación. Sin embargo, la especialización en aspectos muy específicos no ha facilitado una valoración integral y transdisciplinar del riesgo que permita desagregarlo en sus componentes de diferente índole. En efecto, a pesar de los notables avances en la concepción de riesgo desde los diferentes ámbitos del conocimiento no existe en realidad, en nuestro país, una concepción que unifique las diferentes aproximaciones o que recoja de manera consistente y coherente los distintos enfoques.

GESTIÓN HOLÍSTICA Y SOSTENIBLE DE LOS RIESGOS Y DESASTRES

En el Perú se invierte muy poco en la gestión de riesgos comunitarios, puesto que la política en materia de riesgos y desastres se ha centrado principalmente en la respuesta y atención a situaciones de emergencia o desastres (BID, 2004) como lo viene practicando el INDECI a consecuencia del enfoque reduccionista del riesgo de los tomadores de decisiones *(Chuquisengo et al., 2001)*. Este enfoque no explica cabalmente las complejas interacciones que se generan entre los sistemas que componen las etapas del desastre.

Por el contrario, para anticiparse a los riesgos y desastres rurales y reducir sus efectos, por ejemplo, es menester un enfoque holístico y sostenible de la gestión, que abarque todas las fases del desastre: antes, durante y después, enmarcado en nuevas políticas y mecanismos institucionales que propicien una acción eficaz *(Lavell, 1996; Cardona, 2003a; Rodríguez, 2005).*

Pero para tener un enfoque holístico de la gestión se debe de tener claro el concepto del mismo *(Cardona, 2003a).* A partir del cual permitirá direccionar las acciones hacia la reducción de riesgos, principalmente. Aunque debe advertirse que el concepto de gestión de riesgo posee en la actualidad muy diversos significados, cuyas diferencias radicales en interpretación han provocado múltiples debates *(Rodríguez, 2005)*; sin embargo el autor de este artículo propone un nuevo concepto y modelo de gestión de riesgo y desastre, desde una óptica holística y sostenible (Ghs-RD). Así, en la figura siguiente se esquematiza gráfica y conceptualmente la interdependencia y el refuerzo mutuo entre los componentes del modelo.

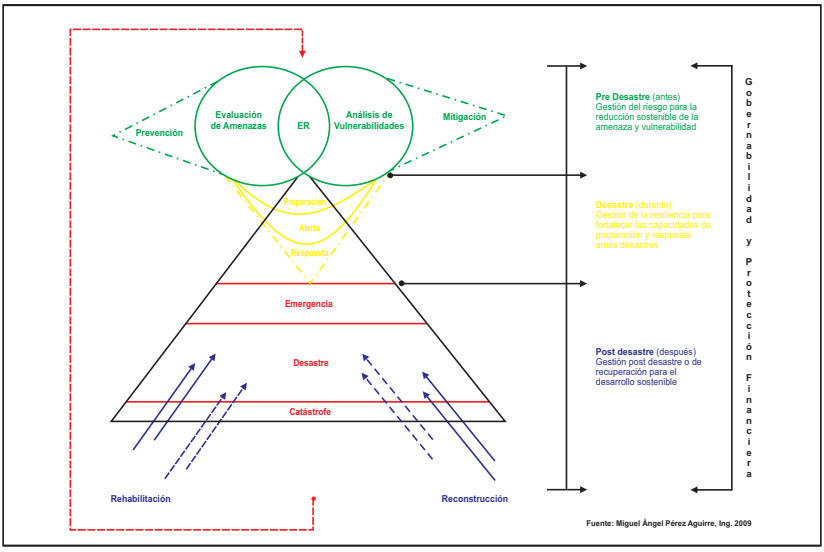


Figura 3: Modelo conceptual de Ghs-RyD
Fuente. Elaboración propia

Se entiende por Ghs-RyD al proceso eficiente de planificación, organización, participación, concertación, dirección y control dirigido a la reducción sostenible de la amenaza y vulnerabilidad (predesastre), a la resiliencia para fortalecer las capacidades de las comunidades en preparación y respuesta ante eventos ya ocurridos (desastre), y a la rehabilitación/ reconstrucción (postdesastre) en una comunidad, íntimamente ligado a una gobernabilidad y protección financiera para que la gestión propicie una acción eficaz, concreta y sostenible.

En la Figura 3 se aprecia cada una de las etapas del desastre conteniendo sistemas de intervención, a su vez cada sistema está dividido en subsistemas o áreas *(Kolluru, 1994; Rodríguez, 2005)*. Ninguna de las etapas del desastre es más importante que otra, porque cada una tiene su objeto y su significado. De hecho, la evaluación y reducción de riesgos, la gestión de la resiliencia y la recuperación posdesastre constituyen un círculo que se repite, tomando la experiencia de los sucesos y corrigiendo errores para el futuro (Bell, et al., 2003.)

Todas las etapas de la gestión de riesgos y desastres son importantes, y el manejo de las mismas debe ser integral. No hay que olvidar que la gestión no se reduce a una obra o a una acción concreta, se refiere al proceso por medio del cual un grupo humano toma conciencia del riesgo o desastre que enfrenta, lo analiza y lo entiende, considera las opciones y prioridades en términos de su reducción o recuperación, considera los recursos disponibles y diseña las estrategias e instrumentos necesarios para enfrentarlo, negocia su aplicación y toma la decisión de implementarlas.

Importa precisar que los desastres pueden considerarse como una serie de etapas o fases en una secuencia de tiempo. La identificación y entendimiento de estas fases ayuda a describir las necesidades relacionadas al riesgo y a los desastres y a conceptualizar actividades adecuadas para el control de los mismos.

MODELO CONCEPTUAL DE EVALUACIÓN DE RIESGO DE DESASTRES (ERD)

La ERD constituye la mejor herramienta disponible para dar soporte, con base científica, a la toma de decisiones por los responsables de la gestión. El riesgo se define como la probabilidad y severidad de que ocurra un efecto adverso sobre algún elemento del AG como consecuencia de la exposición a un fenómeno causal. La ERD es el procedimiento que permite estimar esta probabilidad.

Este modelo propuesto adopta el concepto de que los riesgos de desastres se generan y se materializan en el AG de un contexto rural o urbano, y vincula los elementos propios de evaluación con la reducción del riesgo, dentro del marco de la “gestión del riesgo para la reducción sostenible de la amenaza y vulnerabilidad".

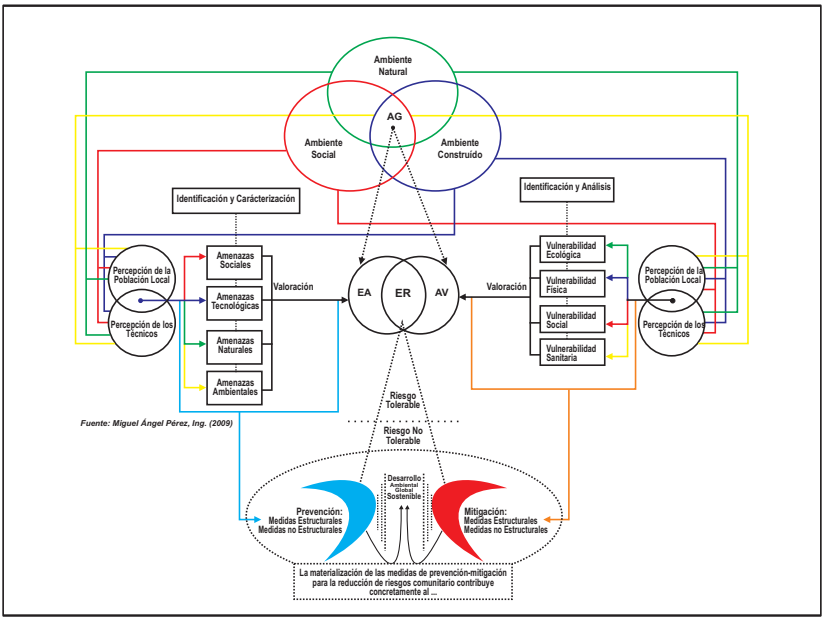


Figura 4: Modelo conceptual ERD
Fuente. Elaboración propia

El modelo conceptual que se presenta en la Figura 4 intenta resumir cinco pasos para ERD que están estrechamente interaccionados unos con otros. Para hacer efectivo este modelo, debe dividirse la intervención de cada uno de los pasos en tres fases: trabajo de precampo; campo; y, poscampo, requiriendo de modos (métodos), procedimientos y medios (instrumentos) específicos, para definir las pautas de cómo, cuándo, dónde y cuántas observaciones serán necesarias realizar para cumplir con el objeto de cada paso. Estos métodos e instrumentos a utilizarse pueden ser tomados y adecuados de los EIA, ZEE, etc.

Primer Paso: Diagnóstico de Línea Base del Ambiente Global de la comunidad (DLB-AG-c) en estudio

El DLB constituye la herramienta básica de todo estudio de ERD, que tiene como objeto describir y caracterizar cada uno de los distintos elementos (AN, AS, AC) del AG presentes en el área en que se llevará a cabo el estudio en cuestión.

La información o datos a obtenerse del DLB servirán de insumo para generar criterios que permitan evaluar las amenazas, analizar las vulnerabilidades y estimar el riesgo, y por ende, formular propuestas de reducción para cada uno de los riesgos estimados no tolerables. El DLB estará en función a la profundidad o nivel de detalle con que se acometa el estudio de ERD.

Segundo Paso: Evaluación de las amenazas

El procedimiento es el siguiente:

a) Promover la participación de la población local (divulgando objetivos y beneficios de la ERD a llevarse a cabo a través de reuniones comunitarias, trabajos de reconocimiento en campo, etc.) a fin de generar sinergias de percepciones sobre los peligros;

b) Identificar, ubicar y delimitar el área geográfica donde se presentan factores que configuran las amenazas, mediante observación directa, formatos técnicos, encuestas o entrevistas, material cartográfico e instrumentos tecnológicos, con el fin de determinar el desarrollo histórico o alcance del posible impacto de un peligro determinado. Las amenazas pueden, ser: naturales, sociales, tecnológicas y ambientales; estas se gestan en los ambientes: natural, social, construido y global, respectivamente;

c) Caracterizar las amenazas, describiendo las variables (V) y parámetros (p) distintivos de cada una. Las variables son los factores que influyen y/o determinan el grado de peligrosidad. Por ejemplo, entre otros factores o variables de la amenaza Huayco, es la meteorología y sus parámetros: temperatura, precipitación, horas de sol, etc.

d) Valorar cada una de las amenazas identificadas de acuerdo a sus variables y parámetros más resaltantes que definen el peligro en cuestión, utilizando formulas, matrices, tablas, etc., mediante un criterio ponderativo o de asignación de pesos, a fin de determinar el grado de peligrosidad.

e) Finalmente, elaborar en forma preliminar un mapa de amenazas.

Tercer Paso: Análisis de las vulnerabilidades

El procedimiento es como sigue:

a) Suscitar la participación de los moradores (divulgando objetivos y beneficios del estudio, realizando reuniones comunitarias, reconocimiento en campo, etc.) a fin de generar sinergias de percepciones sobre los distintos tipos de vulnerabilidad presentes en el ámbito en estudio. Las vulnerabilidades pueden clasificarse en cuatro grupos: ecológica, social, física y sanitaria, originados en los ambientes: natural, social, construido y global, respectivamente;

b) Identificar, ubicar y delimitar el sitio donde se presentan factores que configuran las vulnerabilidades, mediante observación directa, fichas técnicas, encuestas o entrevistas, material cartográfico e instrumentos tecnológicos, con el fin de determinar la categorización de los elementos o conjuntos de elementos vulnerables expuestos a las amenazas.

c) Caracterizar las vulnerabilidades a partir de la información obtenida en campo describiendo las variables y parámetros distintivos de cada una. Las variables son los factores que influyen y/o determinan el nivel de vulnerabilidad. Por ejemplo, entre otros factores o variables de la vulnerabilidad física: tipo de material de construcción utilizada en viviendas, y sus parámetros, son: adobe, piedra, material noble, etc.

d) Valorar cada tipo de vulnerabilidad de acuerdo a sus variables y parámetros más resaltantes que definen a la misma, utilizando tablas con criterio cualitativo o cuantitativo, previamente diseñadas, para determinar el nivel de vulnerabilidad parcial y total.

e) Finalmente, elaborar en forma preliminar un mapa de zonificación de vulnerabilidades.

Cuarto Paso: Estimación del riesgo

Para calcular el riesgo corresponde realizar un análisis y una combinación de datos teóricos y empíricos con respecto a la probabilidad por cada una de las amenazas evaluadas, es decir la fuerza e intensidad de ocurrencia de un fenómeno peligroso, así como el análisis de las vulnerabilidades que ofrece el contexto expuesto al fenómeno o la capacidad de resistencia de los elementos (población, viviendas, infraestructura, etc.) expuestos a la amenaza, dentro de una determinada área geográfica. Aquí, importa aclarar que el valor total o parcial de la vulnerabilidad determinada es constante.

En ese contexto, es recomendable el uso del método matemático basado fundamentalmente en la aplicación de la ecuación universal de riesgos de desastres (Riesgo = Amenaza x Vulnerabilidad) de Gilbert White (expresado en términos de probabilidad, que representa además el fundamento de la teoría de riesgos), pero ligado o asociado al método descriptivo, basado en el uso de una matriz de doble entrada Matriz de Amenaza y Vulnerabilidad.

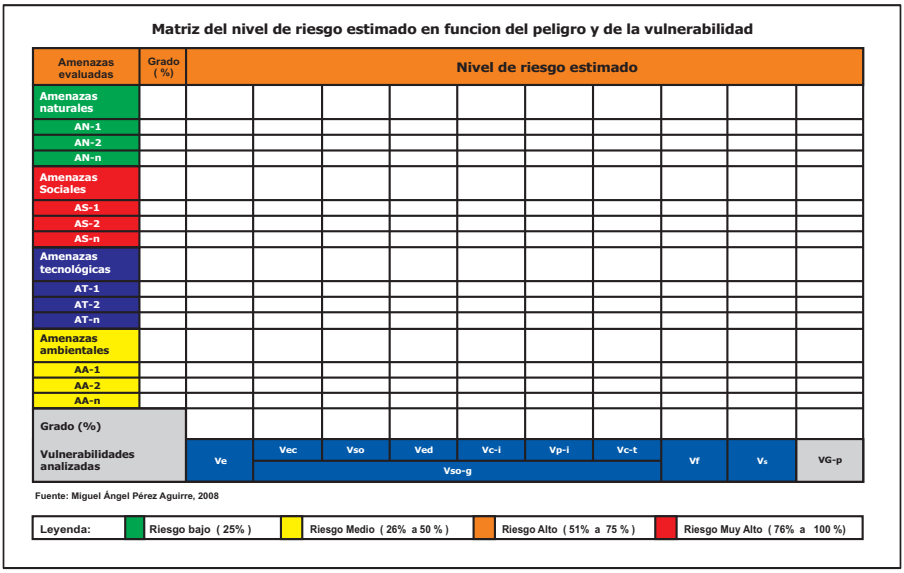


Figura 5: Matriz del nivel de riesgo estimado. Fuente. Elaboración propia

Para tal efecto, se requiere que previamente se hayan determinado los niveles de probabilidad (expresado en porcentaje) de ocurrencia de la amenaza evaluada y del análisis de vulnerabilidad, respectivamente. Con ambos porcentajes, se interrelaciona, por un lado (vertical), el valor y nivel estimado de las amenazas; y por otro (horizontal) el valor y nivel de las vulnerabilidades parciales y de la vulnerabilidad global (promedio) determinado en la respectiva Matriz (Figura 5).

En la intersección de ambos valores se podrá estimar el nivel de riesgo esperado, cuyo indicador porcentual permitirá determinar un total aproximado de pérdidas y daños (en el ambiente social, ambiente natural y ambiente construido). Cambios en uno o más de estos parámetros modifican el riesgo en sí mismo, es decir, el total de pérdidas esperadas y consecuencias en un área determinada.

A partir de los resultados de la matriz anterior, se puede "ajustar" los mapas de amenaza y vulnerabilidad previamente elaboradas, para luego ser integrados haciendo uso del SIG en un mapa de riesgos que servirá de insumo para elaborar plan de contingencia o similar.

Quinto Paso: Prevención y Mitigación para la Reducción de Riesgos de Desastres

El riesgo significa peligro en algún grado para todos los miembros de una comunidad propensa por lo que involucra una serie de problemas que son interdependientes, dinámicos e inciertos, que requieren una acción colectiva para poder resolverlos.

Entonces, una vez que el riesgo no tolerable es reconocido por la comunidad implica que se debe hacer algo para reducirlo, lo que debe comprometer a instituciones no sólo del sector público, sino también del sector privado y a la comunidad misma. Dicho de otra forma, las medidas de reducción deben realizarse en forma concertada entre los responsables,

quienes de acuerdo con su competencia deben reglamentar usos y realizar intervenciones a través de la definición de instrumentos administrativos, jurídicos y fiscales.

Las recomendaciones deben sugerir implementar acciones de prevención-mitigación para reducir los riesgos de desastres expresados en medidas de orden estructural y no estructural a mediano y largo plazo; estas acciones deberán ser coherentes y consecuentes con lo expresado en las conclusiones del estudio. Deberán formularse en forma clara y concisa, ser contundentes, seguras sin ambigüedades y deben recoger las ideas u opiniones de la población local. Es de importancia anotar que recién con la materialización de dichas medidas se estaría contribuyendo concretamente al DagS.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Banco Interamericano de Desarrollo - BID. 2004. *Gestión de riesgo a desastres naturales.* Consultado el 07 de noviembre del 2004.

Bell, Paul C., Sarmiento, Juan Pablo, Segura, Nelly, Compiladores. 2003. *Conferencia hemisférica para la reducción de riesgos: contribución al seguimiento de la Tercera Cumbre de las Américas.* Informe (1a: 2001: San José, Costa Rica) - 1d. San José, Costa Rica: INTERNEM.

Cardona, D. 1996. *Variables involucradas en el manejo de riesgos. Aspectos técnicos, científicos, sociales y políticos.* En desastres y sociedad: revista semestral de la Red de estudios sociales en prevención de desastres en América Latina. Especial: predicciones, pronósticos, alertas y respuestas sociales Nº 6, Lima - La Red.

Cardona, O. D. 2001a. *Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejo.* Tesis Doctoral. Universitat Politécnica de Catalunya. Barcelona - España.

Cardona, O.D., Hurtado, J. E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A.C., Velásquez, L.S. y Prieto, S.D. 2003a. *La noción de riesgo desde la perspectiva de los desastres: marco conceptual para su gestión integral.* BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión de Riesgos, Universidad Nacional de Colombia, Manizales.

Cardona, O.D., Hurtado, J. E., Duque, G., Moreno, A., Chardon, A.C., Velásquez, L.S. y Prieto, S.D. 2003b. *Indicadores para la medición del riesgo: fundamentos para un enfoque metodológico.* BID/IDEA Programa de Indicadores para la Gestión.

Chuquisengo, Orlando y Gamarra, Luis. 2001. *Propuesta metodológica para la gestión local de riesgos de desastres: Una experiencia práctica.* ITDG AL, Lima - Perú.

Conesa, F. V. 1995. *Guía metodológica para la evaluación del impacto ambiental.* 2a ed. Mundi Prensa. España.

Kolluru, V., Rao. 1994. *Evaluación y administración de riesgos.* McGraw-Hill. New Jersey.

Lavell, A. (Comp.). 1994. *Viviendo en riesgo: comunidades vulnerables y prevención de desastres en América Latina.* LA RED-FLACSO-CEPREDE-NAC. Tercer Mundo Editores. Bogotá.

Lavell, A. y E. Franco. 1996. *Estado, sociedad y gestión de los desastres en América Latina.* LA RED-FLACSO-IT Perú. Lahmann. Lima - Perú.

Maskrey, A. (Ed.) 1998. *Navegando entre brumas: la aplicación de los sistemas de información geográfica al análisis de riesgo en América Latina.* IT Perú y LA RED, Tercer Mundo Editores.

Nebel, Bernard J. y Wright, Richard T. 1999. *Ciencias ambientales. Ecología y desarrollo sostenible.* Sexta edición. Prentice Hall, México.

Rodríguez, Virginia Irene. 2005. *Gestión integral de riesgos: planificación para la reducción de riesgos y manejo de desastres.* Revista: Ingeniería Sanitaria y Ambiental. Edición Nº 79 de marzo/ abril, 2005. Publicación AIDIS, Argentina.

White, G. Y E. Haas. 1975. *Assessment of Research on Natural Hazards.* Cambridge, MA. MIT Press.

Estudio geológico de flujos de los escombros en el cono de deyección de la subcuenca del río Shullcas - región Junín

luis Ocampo, Juan Carlos Gómez
Instituto Geofísico del Perú
luis.ocampo@igp.gob.pe

RESUMEN

En la secuencia estratigráfica del cono de deyección del río Shullcas se han reconocido dos ciclos sedimentarios pertenecientes al Cuaternario y controlados por las condiciones climáticas (épocas de lluvia y desglaciaciones) y la morfología del terreno. Estos ciclos empiezan y culminan con la depositación de bloques y arcillas respectivamente, y han sido interrumpidos por movimientos en masa, los que se caracterizan por haber sido formados a partir de una descarga violenta de agua, relacionado a flujos de escombros. Esto permite inferir que la subcuenca del río Shullcas es geodinámicamente activa, puesto que, históricamente han ocurrido aluviones en los periodos interglaciares, los cuales pueden incrementarse como consecuencia del retroceso glaciar observado en las últimas décadas.

INTRODUCCIÓN

Los flujos de escombros son procesos de movimientos en masa compuestos por una mezcla de materiales finos (arcillas, limos y arenas) y detritos (gravas y bloques), que tienen un alto grado de saturación igual o muy cercano al 100 %. La alta concentración de partículas finas sumado al incremento de agua le da a la masa de suelo, un comportamiento dinámico similar al de un fluido viscoso y denso, capaz de viajar decenas de kilómetros modificando la geomorfología del lugar.

Los tipos y la magnitud de los flujos de escombros dependen de la geomorfología, litología y el clima *(Brayshaw y Hassan, 2009)*, y actualmente han sido citados como el principal tipo de fenómeno asociado al acelerado retroceso de los glaciares desde la década de los 70's *(Portocarrero, 1980; Ames, 2003; Breien et al, 2008; Kaldova, 1998; Horstman, 2004).*

Por su viscosidad y la velocidad con la que viajan (entre 18 – 58 km/h) estos fenómenos tienden a erosionar y transportar una gran cantidad de sedimentos, cuando se desplaza sobre materiales inconsolidados, transportando bloques de roca de gran tamaño *(Breien et al, 2008)* y capaces de viajar decenas de kilómetros, modificando la geomorfología del río y en muchos casos causando daños a la infraestructura rural, urbana y a la seguridad humana *(Kaldova, 1998).*

Los flujos de escombros, al igual que los sedimentos fluviales, se depositan en zonas donde hay un decremento de la pendiente, como es el caso de los conos de deyección, quedando registrados en la secuencia estratigráfica de este último. Por lo tanto, son clasificados como geodinámicamente activos, en donde episódicamente ocurren fenómenos de flujos de escombros *(Larsen et al, 2002).*

En la presente investigación se expone, de forma preliminar, los avances del estudio desarrollado en la subcuenca del río Shullcas, afluente del río Mantaro, en donde las condiciones geográficas y climatológicas han contribuido a que se ubiquen glaciares tropicales tipo circo a lo largo de la cordillera Huaytapallana, los que han experimentado un acelerado retroceso *(Zubieta y Lagos, 2009; Morales, 2001)* debido al incremento de 1,3 °C en la temperatura máxima en los últimos 50 años *(IGP, 2005)*. Esto hace que la zona tenga un alto potencial de susceptibilidad a la ocurrencia de movimientos en masa, principalmente aluviones, que pueden afectar a la ciudad de Huancayo, asentada sobre el cono de deyección del río Shullcas.

OBJETIVO

Conocer el comportamiento geodinámico superficial de la subcuenca del río Shullcas, en base a estudios geomorfológicos, sedimentológicos y estructurales. Este estudio permitirá reconocer y delimitar eventos aluvionales, que por su magnitud originaron cambios importantes en la geomorfología de la subcuenca del río Shullcas.

DESCRIPCIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

La subcuenca del río Shullcas, afluente del río Mantaro, está ubicada en flanco oeste de la cordillera oriental de los Andes centrales del Perú, región Junín, entre las coordenadas 11°57' y 12°08' de latitud Sur 75°04' y 75°45' de longitud Este. Tiene un área aproximada de 232,5 km^2. Está conformada por lagunas glaciares tales como: Chuspicocha, Lazohuntay, etc., que dan origen a las quebradas Pichcapuquio y Antayaco, en cuya confluencia, a 4 300 msnm, nace la quebrada Ucushcancha que al juntarse con la quebrada Ronda, en los 4 070 msnm, dan origen al río Shullcas que desemboca en el río Mantaro a la altura de la cota 3 273 msnm. (Figura 1)

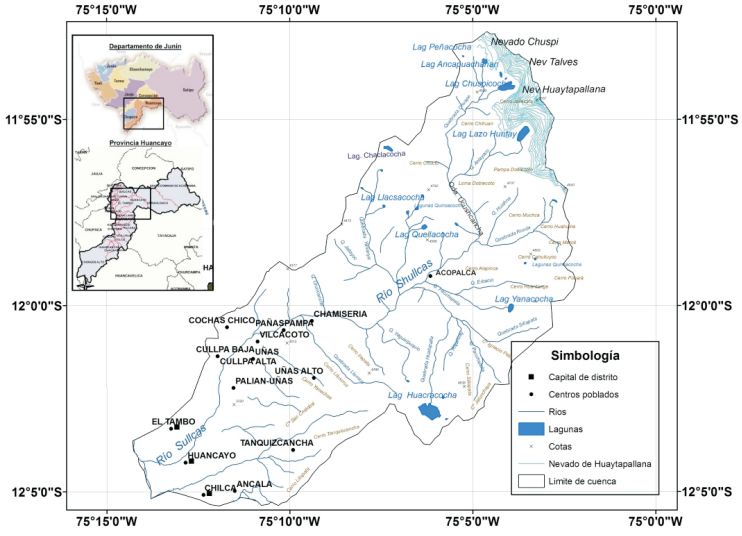


Figura 1: Ubicación y red de drenaje de la subcuenca del río Shullcas

La unidad geomorfológica más elevada (5 557 msnm), es la cordillera Huaytapallana, clasificada como geodinámicamente activa *(INGEMMET, 1980)* y donde las condiciones climatológicas presentan temperaturas por debajo de 1,5 °C, que favorece la conservación de los glaciares tipo circo, en ambos flancos de la cordillera. La fusión glaciar en el flanco Occidental da origen a las lagunas Lazohuntay y Chuspicocha, las cuales están represadas de manera natural por morrenas formadas en el último avance glaciar.

En la superficie Puna, entre los 4 800 y 3 800 msnm, se aprecian valles glaciares, depósitos morrénicos y tills formados a partir de la acción geológica glaciar iniciada en el Cuaternario pleistocénico *(Dollfus, 1974).* Debajo de los 3 800 msnm, la geomorfología se caracteriza por tener valles en forma de "V" que indican el predominio de la acción geológica fluvial.

El cono de deyección del río Shullcas se ubica entre los 3 300 - 3 500 msnm (Figura 2), sobre el cual se asienta la ciudad de Huancayo. Es el lugar en donde se acumula la mayor cantidad de sedimentos debido al decremento de la pendiente, esto involucra una disminución en la capacidad erosiva y de transporte de sedimentos, lo que favorece la depositación de estos últimos.

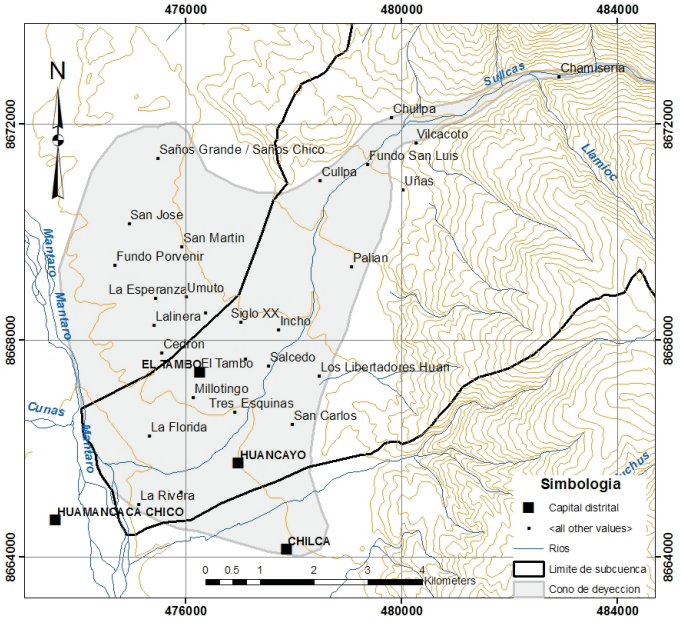


Figura 2: Cono de deyección del río Shullcas. Las líneas punteadas delimitan la zona proximal, media y distal.

La cordillera Huaytapallana tiene una dirección andina (SE-NW) constituida por gneis y esquistos de edad precámbrica. Sobreyaciendo discordantemente se encuentran: Flish (intercalación de arcillas y areniscas) del Grupo Excelsior, secuencias calcáreas del Grupo Tarma y las molasas (sedimentos clásticos continentales) del Grupo Mitu; todas estas, unidades del Paleozoico que afloran con dirección andina en la parte media y alta de la subcuenca del río Shullcas. El grupo Mitu se halla intruido por diques de composición diorítica, también del Paleozoico; mientras que, el Mesozoico está representado por las calizas del Grupo Pucará que afloran mayormente a lo largo de la quebrada Ucushcancha (Figura 1) y cuya resistencia a la erosión ha contribuido a la formación de valles empinados.

El rasgo estructural más importante en el área de estudio es la falla inversa Huaytapallana, ubicada al Este de la cordillera del mismo nombre, con dirección andina, buzamiento 50° al NE, y cuya reactivación origina sismos de moderada magnitud en la zona estudiada *(Dorbath et al, 1990)*.

METODOLOGÍA

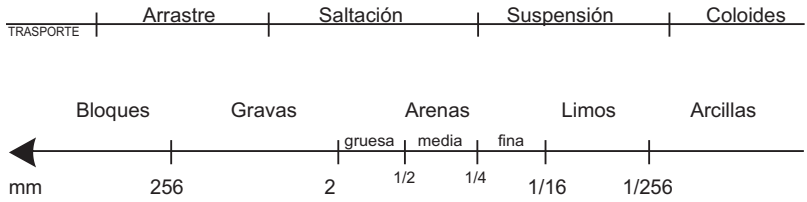
La metodología que se utilizó en el presente estudio consiste en actividades de gabinete y trabajos de campo.

El trabajo de gabinete consiste en el cartografiado de depósitos glaciares y aluviales a partir de la interpretación de imágenes satelitales Aster y fotografías aéreas. Esto permitió delimitar las principales zonas de acumulación de sedimentos, así como el cono de deyección del río Shullcas e identificar la zona de influencia glaciar, la cual probablemente llegó hasta los 3 800 msnm, en donde aún se aprecian geoformas glaciares como valles en U y depósitos de tills.

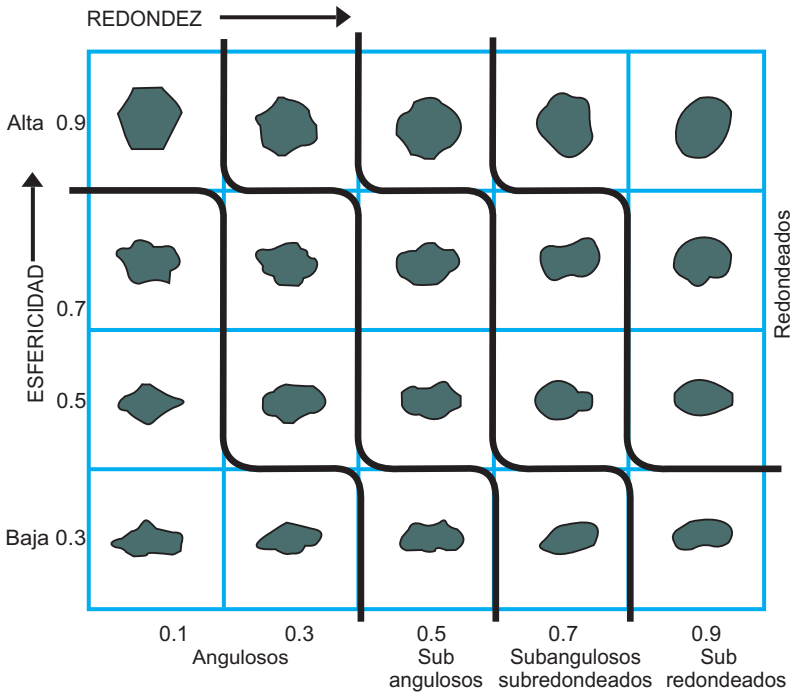
Las actividades de campo consisten principalmente en describir visualmente las características geométricas, texturales y sedimentológicas de los depósitos aluviales usando herramientas de geólogo, wincha y tablas para la determinación del índice de redondez y esfericidad tomado de *Krumbein y Sloss, 1969* (Figura 3b).

La metodología seguida para la elaboración de una sección consiste en:

- Diferenciar cada uno de los estratos del depósito, en base a sus características texturales.
- Identificar visualmente el tipo de componentes litológicos, a partir de los cuales, se puede inferir la fuente o zona de aporte.
- Determinar el tamaño de los sedimentos según la clasificación granulométrica tomada de Inmaculada, 1977 (Figura 3a).
- Determinar el grado de redondez y esfericidad que indicará el tipo de transporte y la distancia o recorrido de los clastos, así como las condiciones sedimentológicas a partir de la cual se depositó dicho material.



(a)



(b)

Figura 3: (a) Clasificación granulométrica en mm, tomado de Inmaculada, 1977. (b) Tabla visual para la determinación de esfericidad y redondez, según Krumbein y Sloss (1955).

Secciones estratigráficas

Las secciones estratigráficas fueron hechas para determinar el tipo de transporte y las condiciones de sedimentación que predominaron al momento de la depositación de los materiales. Las secciones se han ubicado en parte proximal, media y distal del cono de deyección (Figura 4), diferenciándose, según sus características texturales, los estratos mostrados en la Tabla 1.

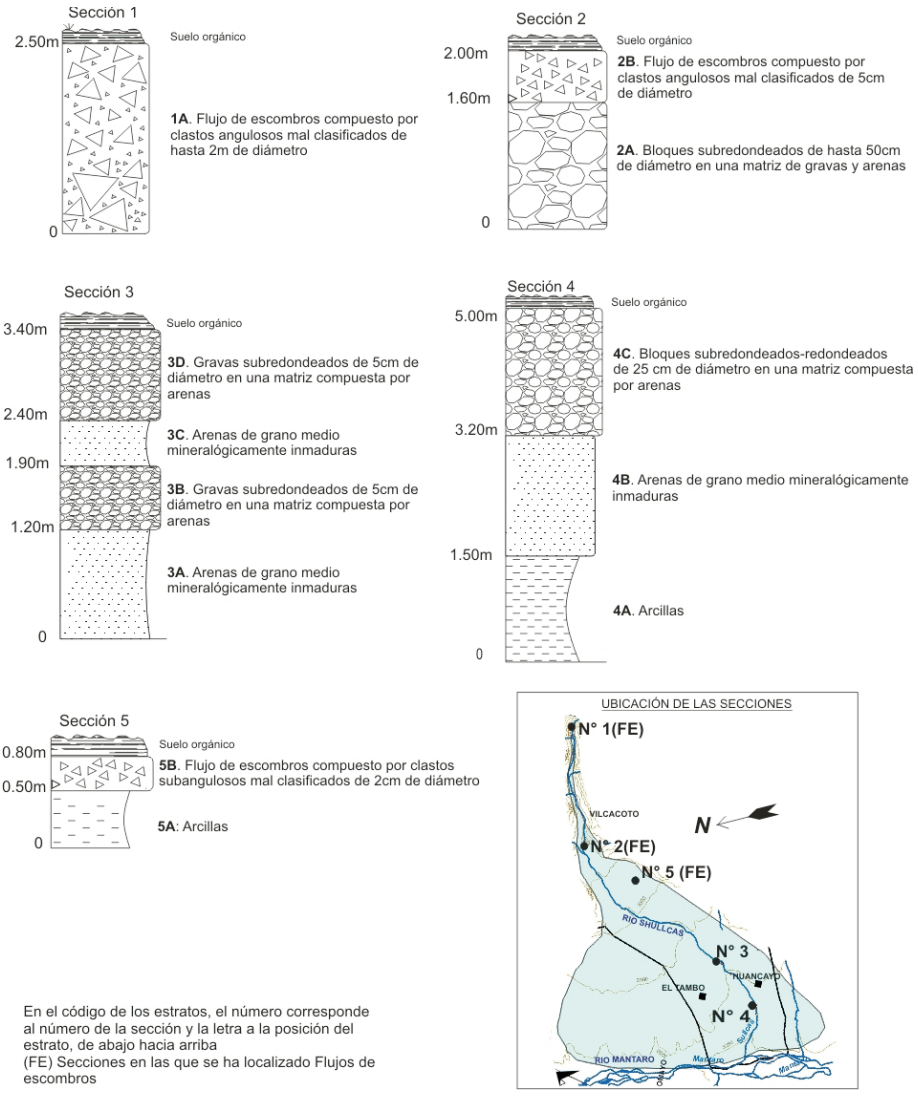


Figura 4: Secciones estratigráficas

Tabla 1: Características texturales de las secciones estratigráficas

Sección	*Estrato*	*Espesor (m)*	*Tipo de depósito*	*Tamaño prom.*	*Redondez*	*% matriz*	*Tipo de matriz*
1	1A	3,50	Flujo de escombros	50cm	Angulosos-subredondeados	25%	Gravas y arenas
2	2B	0,40	Flujo de escombros	5cm	angulosos subredondeados	30	limo-arcillas
	2A	1,60	Bloques	40cm	subredondeados-redondeado	10	Gravas y arenas
3	3D	1,00	Gravas	5cm	subangulosos-subredondeados	20	arena
	3C	0,50	Arenas	1mm	angulosas	NM	NM
	3B	0,70	Gravas	5 cm	subangulosos-subredondeados	20	arena
	3A	1,20	Arenas	1mm	angulosas	NM	NM
4	4C	1,80	Bloques	25cm	subredondeados-redondeado	30	Gravas. Arenas, arcillas
	4B	1,70	Arenas	1mm	angulosas	NM	NM
	4A	1,50	Arcillas	*	*	*	*
5	5B	0.20	Flujo de escombros	2cm	subredondeados-	70	limo-arcillas
	5A	0.50	Arcillas	*	*	*	*

NM Características texturales no medidas
***Por el tamaño de los sedimentos estas características no se pueden determinar visualmente**

Interpretación:

El cono de deyección del río Shullcas es el resultado de la depositación de sedimentos aluviales a partir de corrientes de agua alimentadas por las precipitaciones y principalmente por la fusión glaciar ocurrida en los periodos interglaciares del Cuaternario *(Dollfus, 1974)*.

Es probable que el ciclo de sedimentación empezara con la depositación de sedimentos, cuyos tamaños varían de bloques a gravas; en la parte proximal del cono a partir de corrientes turbulentas capaces de transportar bloques de 40 cm de diámetro que se caracterizan por ser redondeados o subredondeados (estrato 2A), lo que indica el desgaste mecánico producido por el arrastre en el momento del transporte.

Hacia la parte distal del cono hay una disminución en el tamaño de los sedimentos debido a que la capacidad de transporte del río disminuye a medida que la corriente de agua avanza

por pendientes más bajas. Por lo que se encontrarán gravas y arenas en la zona media y arcillas en la zona distal del cono.

En la sección 3 (parte media del cono), la intercalación de gravas y arenas se debe a periodos de sedimentación que indican un régimen de mayor y menor intensidad fluvial, respectivamente. Por el tamaño e índice de redondez de las gravas (subredondeados – subangulosos), estas pudieron transportarse por saltación y arrastre en corrientes relativamente turbulentas. Por otro lado, las arenas se depositaron a partir de corrientes de menor intensidad y su inmadurez mineralógica (grado de diferenciación entre los minerales que presenta el sedimento y la que presentaban las rocas que formaban el área fuente), indica que ha predominado la meteorización mecánica o su cercanía al área fuente; probablemente rocas metamórficas del macizo Huaytapallana o areniscas del Grupo Excelsior.

La acumulación y relleno de las depresiones disminuye la capacidad para erosionar y transportar sedimentos, cerrando el ciclo de sedimentación, la depositación de arenas y arcillas (estratos 4A, 4B y 5B). La presencia de bloques de hasta 25 cm sobre sedimentos finos (Estrato 4C) se debe a un incremento de la acción geológica fluvial, relacionado a una mayor pluviosidad o periodos de deshielo lo que incrementó la turbulencia del río aumentando su capacidad para erosionar y transportar sedimentos y a partir del cual se inició otro ciclo de sedimentación.

Sin embargo, se han observado tres depósitos de “flujos de escombros” con características texturales y sedimentológicas muy diferentes a las que corresponden a un ciclo de sedimentación normal. Estos depósitos (estratos 1A, 2B y 5B) se caracterizan por estar compuestos por fragmentos rocosos en una matriz limo-arcillosa. El medio a partir de los cuales se formaron estos depósitos se caracterizó por ser un flujo hiper concentrado con un alto contenido de partículas finas, que le dieron una alta densidad y viscosidad y la capacidad de trasportar bloques de hasta 2 m de diámetro (Sección 1). La depositación de este flujo fue tan rápido que no permitió el desgaste de los bloques en el momento del transporte, que usualmente son angulosos, y tampoco permitió una adecuada clasificación u ordenamiento de los sedimentos. Por las características de la matriz (limo-arcillosa), se infiere que el lugar donde probablemente se originaron estos flujos de escombros pudieron ser depósitos que se caracterizan por tener un alto contenido de materiales finos como tills ubicados sobre los 3 800 msnm o depósitos coluviales ubicados a ambas márgenes del río Shullcas.

DISCUSIÓN

Basándose en las publicaciones de *Braysaw y Hassan (2009)* y *Brein et al (2008)*, la subcuenca del río Shullcas reúne las condiciones geológicas, morfológicas y climatológicas para originar flujos de escombros a partir de: el desborde de alguna laguna glaciar originado por el colapso del dique morrénico; deslizamiento de suelos saturados o intensas precipitaciones que incrementan el caudal del río aumentando su capacidad para erosionar y transportar sedimentos inconsolidados. Visualmente no es posible distinguir entre estos tipos de flujos, pero la presencia de estos eventos en la columna estratigráfica del cono de deyección del río Shullcas (estratos 1A, 2B y 5B) indicaría que históricamente, durante el cuaternario, han ocurrido estos fenómenos de movimiento en masa.

Por lo tanto, esta subcuenca es geodinámicamente activa, en donde los flujos de escombros ocurren episódicamente iniciados por agentes detonantes, principalmente lluvias intensas y sismos.

Como ejemplo actual de la ocurrencia de estos fenómenos, sólo se mencionará el aluvión ocurrido en diciembre de 1990, donde el desborde de 1 350 429 m^3 de agua de la laguna Chuspicocha (producto de 6 días de intensas precipitaciones), erosionó y transportó 900 000 m^3 de depósitos glaciares (tills), incrementando el volumen y viscosidad del flujo. Los materiales arrastrados (rocas, cadáveres y troncos) represaron el río Shullcas en el puente ferrocarril, formando una laguna que inundó el barrio Salcedo y en la que se depositaron clastos subangulosos a subredondeados que fueron trasportados desde la desembocadura de la laguna Chuspicocha en la quebrada Chuspe (Figura 1).

CONCLUSIONES

- Hasta el momento de este análisis, se tienen 3 depósitos de flujos de escombros reconocidos en la subcuenca del río Shullcas que se caracterizan texturalmente por su matriz limo-arcillosa, mala selección y la angulosidad de sus componentes líticos. Por estas características se puede inferir que estos depósitos se originaron a partir de la rápida descarga de un flujo cargado de sedimentos finos (limos y arcillas) capaz de transportar sedimentos del tamaño de bloques. De estos eventos, el correspondiente, la denominada sección 1 (ubicado en la parte proximal del cono de deyección, localidad de Chamisería) fue el más severo y de mayor magnitud. Este depósito tiene un espesor promedio de 3,5 m y es la sección que muestra una mayor variación en el tamaño de los sedimentos, encontrando desde arenas a bloques angulosos mal clasificados de 2 m de diámetro.

- Evidencia de flujos de escombros en la subcuenca del río Shullcas revelarían que históricamente han ocurrido este tipo de eventos aluvionales durante el cuaternario. Esto indica que esta subcuenca es geodinámicamente activa y reúne las condiciones para que se puedan generar este tipo de fenómenos, que se incrementarían como consecuencia de los cambios climáticos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ames Marquez Alcides. 2003. *Formación y desarrollo de las lagunas en la cordillera blanca*. Glaciorisk Project, Deliverables

Brayshaw Drew, Hassan Marwan. 2009. *Debris flow initiation and sediment recharge in gullies*. Geomorphology 109. 2009. 122-131

Breien Hedda, Favio V De Blasio, Anders Elverhoi, Kaare Hoeg. 2008. *Erosion and morphology of a debris flow caused by a glacial lake outburst flood, Western Norway*. Landslides

Dollfus Oliver. 1974. *La cordillera de los Andes presentación de los problemas geomorfológicos.* Bull. Inst. Fr. Et. And. Vol. III, N° 4. 1 - 36 pp.

Dorbath C., Dorbath L., Cisternas A., Deverecheré J. and Sebrier A. 1990. *Seismicity of the Huancayo basin (central Peru) and Huaytapallana fault.* Journal of South American Earth sciences vol. 3 N°1. 21-29 pp.

Horstman Britta. 2004. *Glacial lake outburst floods in Nepal and Switzerland.* New treat due to climatic change GERMANWATCH. 1-8 pp.

IGP. 2005. *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro.* Vol III. Edición CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.

INGEMMET. 1980. *Estudio Geodinámico de la cuenca del río Mantaro: Departamentos Junín – Huancavelica.* Boletín N° 5, Serie C – Geodinámica e ingeniería geológica.

Inmaculada Corrales Zaranza. 1977. *Estratigrafía.* Editorial Rueda – Madrid.

Kalvoda Jan. 1998. *Geomorphological Hazard in high mountains.* Facultad of Science, Charles University, Prage. Vol 46.

Krumbein y Sloss. 1969. *Estratigrafía y sedimentación.* 1ra Edición en español.

Larsen Matthew, Wieczorek Gerald, Eaton Scott, Morgan Benjamin and Torres Heriberto. 2002. *Peligros naturales en los abanicos aluviales: El desastre ocasionado por flujos detríticos e inundaciones repentinas en Venezuela.* Publicación de la USGS versión en español.

Portocarrero Cesar. 1980. *Retroceso de glaciares en el Perú: Consecuencias sobre los recursos hídricos y los riesgos geodinámicos.* Bull. Inst. études andines, 24 (3). 697-706 pp.

Morales A. Benjamin. 2001. *Aspectos físicos de alta montaña en los andes peruanos.* Boletín de la Sociedad geológica del Perú v91., 7-17 pp.

Zubieta Ricardo y Pablo Lagos. 2009. *Evolución y fluctuaciones en los frentes glaciares de la cordillera Huaytapallana.* Conferencia macroregional: Cambio climático en la cuenca del río Mantaro, balance 7 años de estudios.

Mapa de correlación de precipitación observada y satelital sobre la cuenca del Mantaro (2000-2006)

Berlin Segura, Ken Takahashi y Pablo Lagos
Instituto Geofísico del Perú
berlin.segura@igp.gob.pe

RESUMEN

En este estudio se ha diseñado mapas de correlación de precipitación observada para la estación de Huayao (dato puntual) y precipitación estimada según el satélite GOES (dato espacial), sobre la cuenca del Mantaro, para el periodo de lluvias de enero a marzo del 2000 al 2006. Se ha encontrado que la precipitación observada en Huayao tiene mayor correlación con la precipitación estimada en el área ubicada hacia el sudoeste de Huayao de longitudes 75,3 ° y 75,6° O y latitudes 12,2° y 12,5° S (Área 3). Como resultado se obtuvo que la correlación de precipitación observada y estimada diaria fuera de 0,36, la cual se va incrementando cuando se trabaja con los acumulados de precipitación de 3, 5 y 10 días, obteniendo correlaciones de 0,42, 0,48 y 0,54, respectivamente.

INTRODUCCIÓN

Las lluvias en la cuenca del Mantaro se producen durante los meses de enero, febrero y marzo, esto se pudo apreciar en la climatología mensual de la precipitación según el atlas climatológico *(IGP, 2005)* y lo estimado por satélite *(Segura et al.)*.

El objetivo del presente trabajo es estudiar la distribución espacial y temporal de la precipitación observada en la estación meteorológica de Huayao y lo estimado por el satélite GOES, según la técnica Hidro-Estimador (HE). La técnica de estimación de lluvias por satélite fue originalmente desarrollado por Vicente et al.[1], de resolución espacial 4 km, que calcula la precipitación en tiempo real.

DESCRIPCIÓN DE LA TÉCNICA

La técnica de estimación de lluvia por satélite fue originalmente desarrollada por Vicente et al[2] en la National Oceanic and Atmospheric Administration/National Environmental Satellite Data and Information Service (NOAA/NESDIS), donde se usa la banda infrarroja de 10,7 µm del satélite Geoestationary Operacional Environmental Satellite (GOES), de resolución espacial 4x4 km. El cálculo se basa en la ley potencial de regresión logarítmica que es derivado de un análisis estadístico entre la lluvia instantánea, medido por radar en la superficie, y la temperatura del tope de la nube, según la banda infrarroja del satélite GOES. La tasa de lluvia estimada (ecuación 1), está ajustada por factores de humedad, tasa de crecimiento y gradiente de temperatura (*Vicente et al.*[3]) y los factores de paralaje y orografía (*Vicente et al.* [4]).

[1] Vicente, G.A., R. A. Scofield, and W. P. Menzel. 1998
[2y3]2 Vicente, G.A., R. A. Scofield, and W. P. Menzel. 1998
[4] Vicente, G. A., J. C. Davenport, and R. A. Scofield, 2002

$$R \quad 1.1183 \quad 10^{11} \exp \quad 3.6382 \quad 10^{2} T^{1.2} \qquad (1)$$

Donde:

R = Tasa de lluvia en milímetros por hora (mm/h)

T = Temperatura del tope de la nube en Kelvin (K)

METODOLOGÍA

El estudio comprende el área de la cuenca del Mantaro. Se usaron datos de precipitación puntual observada diaria en la estación meteorológica de Huayao de latitud=12°02'18.1"S, longitud= 75°19'22"O y altitud=3 312 97 msnm (*Fuente de datos: IGP*), precipitación espacial diaria estimada por satélite sobre la cuenca del Mantaro (Fuente de datos: NOAA/NESDIS), periodo de lluvias de enero a marzo del 2000 al 2006. Los cálculos de precipitación acumulada de 3, 5 y 10 días, fueron realizados con el programa Fortran 90. Los mapas de correlación fueron diseñados con el programa Grid Analysis and Display System (GrADS).

Para poder apreciar mejor la relación entre la precipitación diaria observada en la estación de Huayao (ubicada dentro de la Cuenca del Mantaro) y lo estimado por satélite, los datos observados fueron corridos un día hacia delante (mov). Se encontró que la precipitación estimada en el Área 3 (A3) de longitudes 75,3 y 75,6° O y latitudes 12,2 y 12,5° S, que se encuentra al suroeste de la estación de Huayao, tiene mayor correlación con la precipitación observada en esta estación.

RESULTADOS

Se muestra el histograma y el diagrama de dispersión de la precipitación observada en Huayao y estimada por satélite (Área3) en pentadas (Figuras 1 y 2). Como resultado, se obtuvo una correlación de 0,36 entre la precipitación diaria estimada por satélite en el Área 3 y lo observado (mov) en la estación de Huayao. Esta correlación se ve incrementada con los acumulados de precipitación observada y estimada, de 3, 5 y 10 días, se obtuvieron correlaciones de 0,42, 0,48 y 0,54 respectivamente, se muestran mapas de correlación de precipitación diaria y pentadas (Figuras 3 y 4).

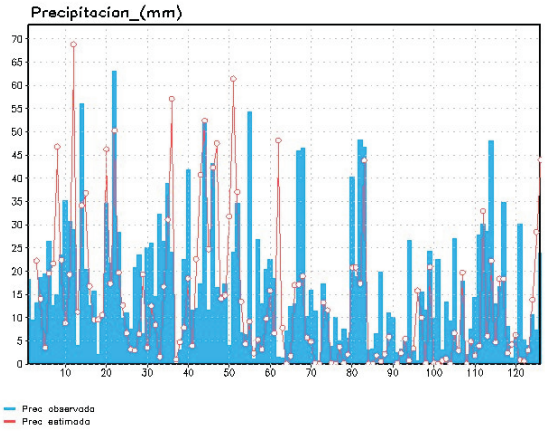


Figura 1: Histograma de precipitación en pentadas observada en Huayao (línea celeste) y estimada por satélite en Área 3 (línea roja), periodo de 2000 a 2006. Fuente de datos: NOAA/NESDIS, procesamiento: IGP.

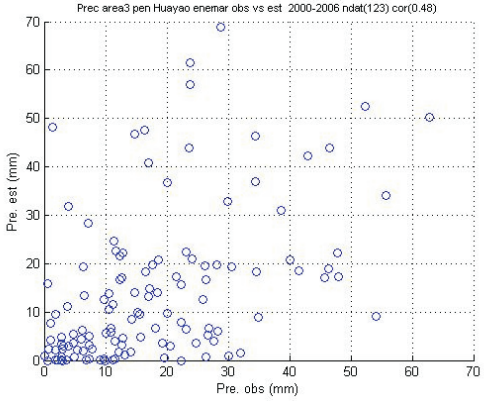
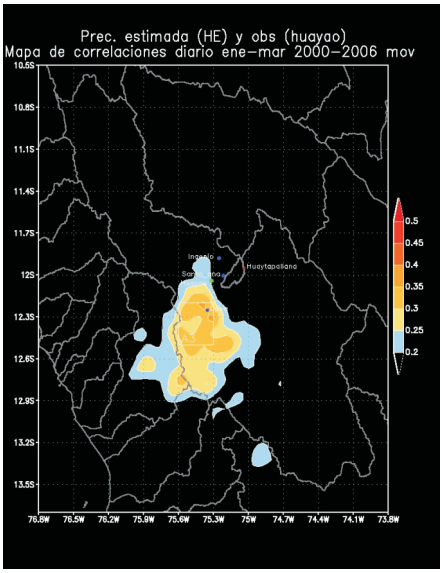
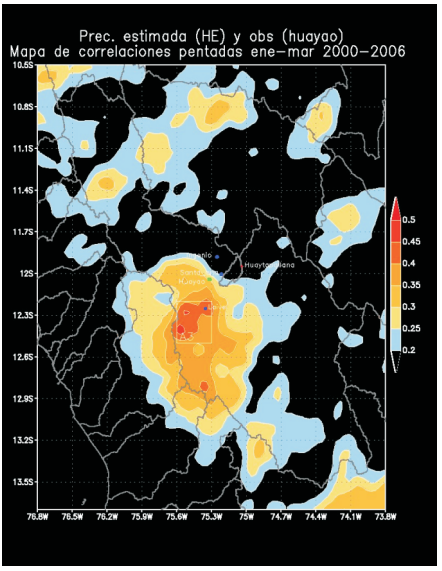


Figura 2: Diagrama de dispersión de precipitación en pentadas observada en Huayao y estimada por satélite (Área3), periodo de 2000 a 2006.

Fuente de datos: NOAA/NESDIS, procesamiento: IGP





Figuras 3 y 4. Mapa de Correlación de precipitación observada en la estación de Huayao (punto de color verde) y estimada por satélite, diaria y pentadas, sobre la cuenca del Mantaro. (Fuente de datos: NOAA/NESDIS, procesamiento: IGP)

Por lo tanto, la correlación espacial encontrada de 0,5 en promedio, nos indica que existe una gran relación entre la precipitación estimada por satélite y las lluvias en Huayao, pero esta correlación espacial no se encuentra sobre la misma estación de Huayao sino, hacia el sudoeste (Área 3). Además, este resultado nos ayudará a validar la precipitación estimada por satélite sobre la cuenca del Mantaro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Instituto Geofísico del Perú. 2005. *Atlas Climático de Precipitación y Temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro*. Fondo Editorial del Consejo Nacional del Ambiente. Lima-Perú

Segura, C. B., Mosquera, V. K., Silva, V. Y. 2006. *Monthly and annual average of the precipitation for the Mantaro river basin from images of GOES satellite*. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO). 8, 2006. Foz do Iguau. Proceedings So Jos dos Campos: INPE 2006. 1175-1180. CD-ROM.

Vicente, G. A., R. A. Scofield, and W. P. Menzel. 1998. *The Operational GOES Infrared Rainfall Estimation Technique.* Bulletin of American Meteorological Society 79. 1883-1898 pp.

Vicente, G. A., J. C. Davenport, and R. A. Scofield. 2002. *The role of orographic and parallax corrections on real time high resolution satellite rainfall estimation*. Int. J. Remote Sens. 23, 221-230 pp.

Temperaturas en el proceso de difusión en suelos y sensibilidad del modelo *Sbdart*[1]

Miguel Saavedra[2]
Escuela de Física
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
msaavedra17@gmail.com

RESUMEN

Este trabajo se divide en dos partes, el primero se enfoca en desarrollar un modelo numérico unidimensional para modelar las temperaturas anómalas debajo de la superficie del suelo utilizando como forzante principal la radiación. La segunda parte está enfocada a realizar el análisis de sensibilidad del modelo SBDART (Santa Barbara DISORT Atmospheric Radiative Transfer) a la resolución espacial considerando nubes del tipo cumulus. Al comparar las salidas del modelo numérico para el suelo con la solución analítica se concluye que representa bien las anomalías de temperatura. La cantidad de radiación de onda larga incidente en superficie (LW-I) simulada por el modelo SBDART es poco sensible a la resolución del modelo presentando diferencias de 0,05 W/m^2 al variar la resolución de 0,2 a 1,0 km, esto considerando un espesor óptico de 0,29. Esta diferencia disminuye al incrementar el espesor óptico.

INTRODUCCIÓN

Este trabajo está motivado principalmente por los daños económicos y sociales que causan las heladas del tipo radiativas, que es uno de los eventos extremos más importantes en los Andes. Teniendo en cuenta que el valle del Mantaro es una de las zonas propensas a sufrir este tipo de fenómeno *(IGP, 2005)*, es que se propone realizar el estudio en esta zona.

La helada radiativa es causada principalmente por pérdida de energía de la superficie del suelo en forma de radiación en el rango infrarrojo (onda larga), *(Geiger, 2002)*. Una de los factores que favorecen la ocurrencia de este fenómeno son los cielos despejados (libre de nubes), lo cual reduce el flujo de onda larga emitida por la atmósfera que incide en la superficie (LW-I) y deja sin compensar la radiación emitida por la superficie hacia la atmósfera, resultando en un balance neto de pérdida de energía radiativa.

Lo que se desarrollará en este informe representa la parte inicial de un trabajo más amplio que tiene como objetivo determinar las temperaturas mínimas asociadas a las heladas, dadas las condiciones atmosféricas y propiedades del suelo. En esta parte inicial se requiere comprender por un lado, la dependencia que tiene la distribución de temperatura a las propiedades del suelo y los flujos de energía en la atmósfera, y por otro, ver la importancia que tiene la resolución del modelo en los cálculos que este realiza. Por ello se ha dividido este trabajo en dos partes: una dirigida a los procesos en el suelo donde se describirá

1 Avance de la tesis. Caracterización física de heladas radiativas en el valle del Mantaro
2 Tesista del proyecto MAREMEX – IGP. Asesores: Ken Takahashi y Grace Trasmonte

como es la distribución de la respuesta de la temperatura a forzantes en la superficie, y otra dirigida a la parte atmosférica donde por ahora nos concentraremos a evaluar cómo se comporta LW-I a variaciones de la resolución, temperatura y vapor de agua.

PARTE 1:

TEMPERATURAS EN SUELOS: PROCESO DE DIFUSIÓN

En esta parte se describirá el comportamiento y distribución de las temperaturas en diferentes tipos de suelo, para esto se desarrollará un modelo numérico basado en la ecuación de difusión de calor.

La ecuación unidimensional, que describe la distribución vertical de energía dentro del suelo está gobernada por la ecuación de difusión de calor, que matemáticamente se expresa de la siguiente manera:

$$C\frac{T}{t} \quad \frac{}{z} \quad k\frac{T}{z} \qquad \text{.... (1)}$$

Donde: T es la temperatura que tiene dependencia temporal (t) y espacial (z). Algunos parámetros del suelo en esta ecuación son la conductividad térmica k y capacidad térmica ρC donde ρ es la densidad y C el calor específico, el cociente de estos dos nos da otro parámetro denominado difusividad ($D \quad k / \quad C$), estos varían de acuerdo al tipo de suelo (arena, suelo orgánico, etc.) y son importantes ya que regulan la distribución de temperatura en el suelo y tienen una dependencia importante en la cantidad de agua que contienen *(Geiger, 2002)*.

La ecuación 1 dice que la variación de temperatura es proporcional al negativo de la divergencia del flujo de energía; es decir, si la divergencia del flujo en una porción de terreno es positiva en un intervalo de tiempo, la temperatura se reducirá en el tiempo que se mantenga esta divergencia.

METODOLOGÍA

En adelante se describen las consideraciones realizadas para desarrollar un modelo numérico que permitirá conocer la distribución de temperaturas en diferentes tipos de suelo.

Para la resolución numérica de la ecuación de difusión de calor (Ec. 1) se usó las condiciones de frontera siguientes:

$$k\frac{T}{z} \quad F(t) \quad T \quad \text{en } z \quad 0 \qquad \text{. . . (2.a)}$$

$$T(z \quad ,t) \quad 0 \qquad \text{. . . (2.b)}$$

Dada la ecuación 2.a y la Figura 1, el flujo neto de energía en superficie es igual a la diferencia entre una forzante (F) que está principalmente asociada al flujo neto de radiación y un término dependiente de la temperatura multiplicada por una constante $30W/m^2/K$ (Coeficiente de transferencia de calor) asociada en mayor parte a la ganancia o pérdida de energía, ya sea por condensación o evaporación. El valor exacto de esta constante no es importante en esta etapa del estudio, ya que se busca ganar entendimiento del comportamiento del modelo. Más adelante se utilizarán formulaciones más realistas de los flujos superficiales.

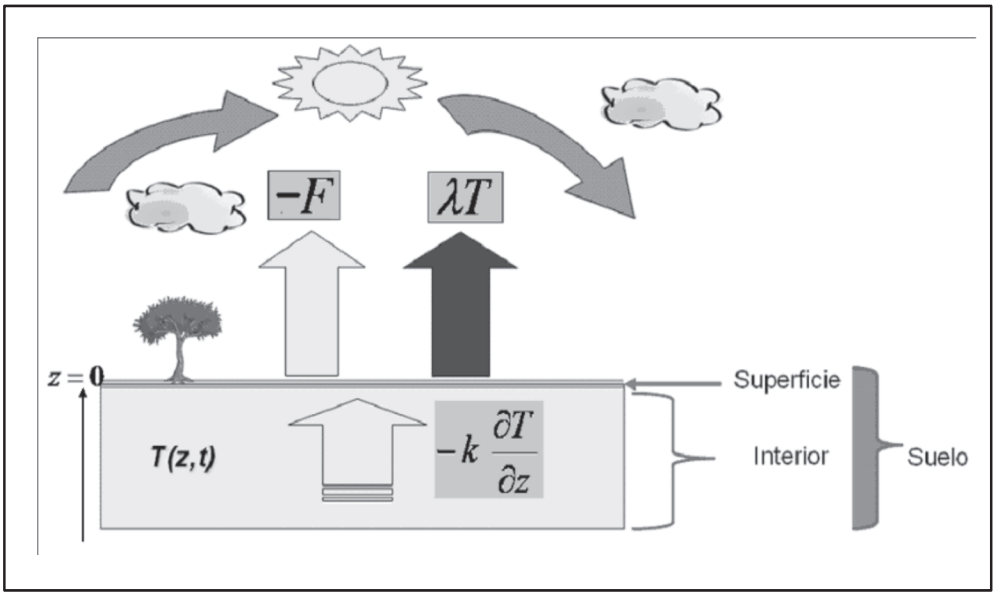


Figura 1. Durante las horas del día la forzante F sufre variaciones debido a la posición del sol y al enfriamiento nocturno de la superficie terrestre lo que origina variaciones en el flujo de energía en el suelo y, por tanto variaciones de temperatura.

La solución numérica de la ecuación 1 está dada para suelos con propiedades que no varían ni en el espacio ni en el tiempo, siendo esta una aproximación de la realidad. La forzante F de la ec. 2.a que se usará para el modelo de difusión es el de una onda seno con amplitud de 400 W/m2 y con periodo correspondiente al ciclo diurno (24 horas), esto con el fin de representar aproximadamente la ganancia de energía durante el día por efecto predominante de la radiación solar, y pérdida durante la noche por efecto del enfriamiento de la superficie terrestre.

La profundidad de penetración estará dada por la profundidad a la cual la temperatura máxima en superficie se reduce a su e-ava parte (2,72 aproximadamente).

Se han obtenido las distribuciones de anomalías de temperatura para suelo orgánico, arena seca y agua, esto en un intervalo de tiempo de 48 horas con el fin de observar las oscilaciones.

Solución Analítica

Para las condiciones de frontera dadas por las ecuaciones 2.a y 2.b, la ecuación de difusión (Ec. 1) puede resolverse de forma analítica y está dada por:

$$T(z,t) \quad T_0 \exp \frac{z}{\sqrt{2}d} \exp i \frac{1}{\sqrt{2}d}(z \quad \sqrt{2}d \quad t) \qquad \ldots (3)$$

Donde: $d \quad \sqrt{\frac{D}{}}$

T_0 es la amplitud de la temperatura y está dada por:

$$T_0 \quad F_0 \qquad \sqrt{\frac{.C \quad k}{2}}^{2} \qquad \sqrt{\frac{.C \quad k}{2}}^{2}{}^{\frac{1}{2}} \qquad \ldots (4)$$

$\sqrt{2}d$ es la profundidad de penetración, es la frecuencia angular correspondiente al ciclo diurno (24 horas) y representa el desfase entre la temperatura T y la forzante F.

Solución Numérica

Si bien para el caso idealizado considerado se puede obtener una solución analítica, para casos más realistas, será conveniente resolver las ecuaciones numéricamente. Por este motivo, en esta sección se describen los resultados de la implementación de la solución numérica del modelo difusivo.

Haciendo uso de ecuación 1 y usando las representaciones numéricas de primer orden (diferencias finitas) para las derivadas *(Nakamura, 1992)*, se obtiene:

$$T_i^{n\ 1} \quad T_i^n \quad \frac{D \quad t}{(\quad z)^2} T_{i\ 1}^n \quad 2T_i^n \quad T_{i\ 1}^n \qquad \ldots (5)$$

Asimismo, se usó diferencias finitas hacia delante de segundo orden para resolver numéricamente la ecuación en la frontera

$$T_0^n \quad \frac{F^n \quad \frac{k}{2 \quad z} T_2^n \quad 4T_1^n}{\frac{3k}{2 \quad z}} \qquad \ldots (6)$$

Los subíndices indican los puntos discretizados en la componente unidimensional (z) y los superíndices la discretización en el tiempo.

$$t_n \quad n.\ t \quad z_i \quad (i).\ z$$

RESULTADOS

En la Figura 2 se encuentran los resultados obtenidos analítica (izquierda) y numéricamente (derecha) para un intervalo de tiempo de 48 horas, inicialmente la ecuación numérica difiere de la analítica, debido a que las condiciones iniciales para la solución numérica es de 0 K para toda la columna del suelo. Sin embargo, esto va evolucionando en el tiempo por efecto de la forzante F hasta llegar a estabilizarse luego de transcurrido un tiempo. En ambos casos a 0,2 m ya no se encuentran fluctuaciones de temperatura.

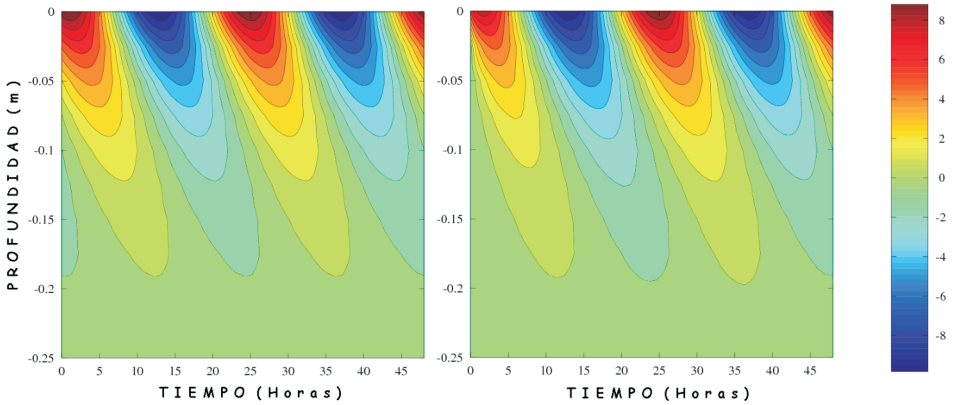


Figura 2. En la derecha se muestra la distribución de temperatura que se obtiene mediante el modelo numérico, y a la izquierda, la distribución de temperatura dada por la solución analítica. Ambas distribuciones corresponden al agua, donde no se considera las corrientes o flujos de este.

La profundidad de penetración de las anomalías de temperatura no tienen relación directa con los valores de conductividad térmica o capacidad térmica (Tabla 1), pero sí con la difusividad (D) esto debido a que existen algunos tipos de suelo cuya capacidad para transmitir energía es más predominante que la capacidad para absorberla, por lo que las fluctuaciones de temperatura se observan a mayor profundidad. Como ejemplo podemos mencionar una arena seca ($D=0{,}01 \times 10^{-4} m^2 s^{-1}$) y suelo orgánico ($D=0{,}001 \times 10^{-4} m^2 s^{-1}$) con profundidades de penetración de 20 cm y 6 cm, respectivamente.

Tabla 1. Parámetros característicos para 3 tipos de suelos: arena seca, suelo orgánico, y agua. Los parámetros son de izquierda a derecha, conductividad, capacidad térmica, difusividad térmica, profundidad en que la amplitud de T(0, t) decae a su e-ava parte y amplitud de la temperatura en superficie T(0, t). Los valores de k y ρC fueron tomados de Farouki, 1896 y Reuter, 1947.

Tipo de suelo	k [Wm^{-1}]	C [$10^6\ Jm^{-3}\ K^{-1}$]	D [$10^{-4}\ m^2\ s^{-1}$]	$\sqrt{2}d$ [m]	T_0 [K]
Arena seca	1.7	1.17	0.01	0.2	10.1
Suelo orgánico	0.25	2.50	0.001	0.06	11.39
Agua	0.6	4.19	0.001	0.06	9.8

Las amplitudes de temperatura para arena seca, suelo orgánico y agua fueron 10,1, 11,39 y 9,8 K, respectivamente. Estos valores dependen del producto de los dos primeros parámetros de la tabla, es decir, si este producto se incrementa, la amplitud de temperatura en superficie será cada vez menor, esto lo explica la ecuación 4. Las variaciones de estas amplitudes sólo explican el efecto de las dos propiedades citadas en la Tabla 1; sin embargo, estas pueden diferir si se considerase que el parámetro también varía con el tipo de suelo.

PARTE 2:

SENSIBILIDAD DEL MODELO SBDART

La variable que se usará para verificar la sensibilidad del modelo será la cantidad de radiación de onda larga que incide en la superficie terrestre (LW-I).

Modelo SBDART

Este es un modelo desarrollado por la Universidad de Santa Bárbara (California), simula la transferencia radiativa en la atmósfera (dispersión, absorción, emisión, etc), incluyendo la interacción de la radiación tanto solar como terrestre con las componentes atmosféricas como vapor de agua, dióxido de carbono, metano, etc.

Algunas de sus características resaltantes son:

- Está desarrollado íntegramente en lenguaje FORTRAN.
- Es un modelo de planos paralelos y permite un máximo de 65 capas.
- Tiene un archivo de principal de entrada (atms.dat), el cual contiene información de la distribución de temperatura, presión, densidad de vapor de agua y densidad de ozono en toda la atmósfera.
- Puede introducirse datos asociados con nubes, por ejemplo: espesor óptico, cantidad de agua líquida, tamaño de las gotas, etc.

METOLOGÍA

Sensibilidad: Resolución (z)

Para ver la sensibilidad del modelo SBDART a la resolución se hará una idealización de la atmósfera como la mostrada en la Figura 3. Las consideraciones que se hace son:

- La presión está definida por la ecuación hidrostática.
- La temperatura desciende a razón de 6 K/km con una temperatura en superficie de 303 K hasta una altura de 15 km. Luego de esto se considera una isoterma de 213 K hasta la última capa ubicada a 100 km de altura.
- La densidad de vapor de agua se mantiene prácticamente nula (humedad específica de 10^{-10} g/kg).
- El ozono sigue una distribución estándar correspondiente a una zona tropical (tomado del código fuente del modelo SBDART).
- Además de esto, también se consideró una nube cuya base y altura están ubicadas a 1 y 8 km, respectivamente.

En la Figura 3, el perfil de temperatura se divide en dos partes; donde la primera **A** corresponde a aquella parte donde la temperatura varia a razón de 6 K/km y, la segunda a la isoterma **B** (arriba de los 15 km). La parte **A,** a su vez se divide en **A1** (0 – 8 km) y **A2** (8 – 15 km). Se hace esta división con el fin de no exceder el máximo de capas que admite el modelo.

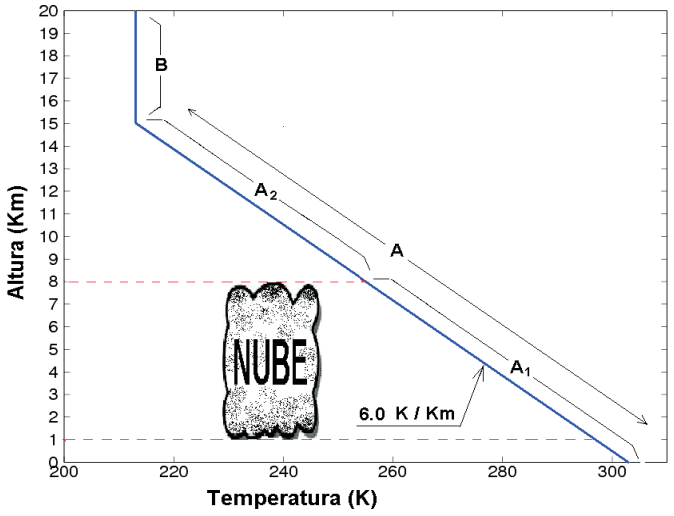


Figura 3. Divisiones que se consideran para ver la sensibilidad del modelo debido a la resolución: A1, A2 y B. Las resoluciones que se consideran para A2 y B son 1,0 km y 10 km, mientras que A1 será variable (0,2, 0,5 y 1,0 km). La temperatura decae a razón de 6,0 K/km.

La resolución de las secciones **A2** y **B** son de 1 km y 10 km, respectivamente, y se mantendrán fijas, mientras la resolución de A1 estará sujeta a tres experimentos con resoluciones de 0,2, 0,5 y 1 km. También se hace el experimento para tres valores de espesor óptico (tau = 0,29, 0,69 y 1,4).

Sensibilidad: Temperatura capa límite y densidad de vapor de agua.

Para ver la sensibilidad de LW-I a las variaciones de temperatura dentro de la capa límite se ha realizado un experimento considerando el perfil mostrado en la Figura 4. En este perfil se considera que la capa límite tiene una altura de 1 km y que la temperatura desciende a razón de 9,8 K/km (Adiabática seca) desde la superficie (a 0 km) que se encuentra a $T_{s=}$ 25 °C (valor estándar), la densidad de vapor de agua aquí, varía en función de la humedad específica q.

$$_{V} \qquad _{V}(q,T,P) \qquad \ldots (7)$$

La humedad específica dentro de la capa límite se considera constante con un valor estándar de q_s=10 g $_{\text{vapor de agua}}$/kg $_{\text{aire}}$ hasta la altura donde se origina la capa de inversión (1 km).

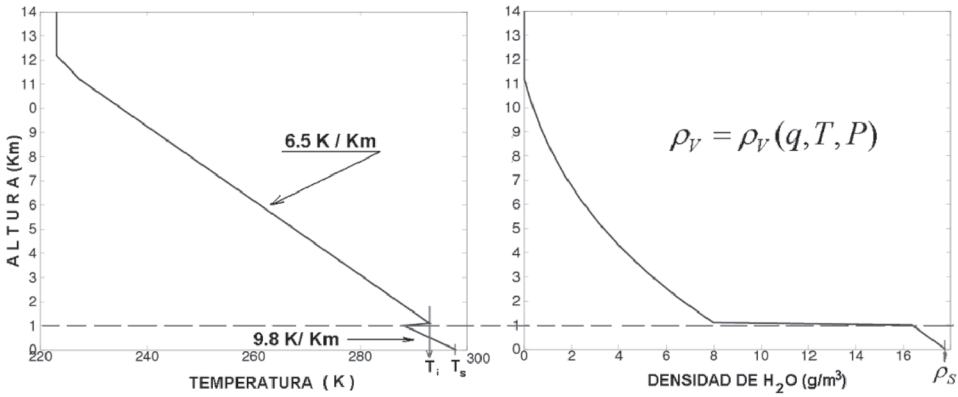


Figura 4. Perfiles estándar de temperatura (ºK) y densidad de vapor de agua (g/m^3) para las pruebas de sensibilidad de LW-I

Manteniendo el perfil descrito procederemos a variar los valores estándar de T_s y q_s y, de manera independiente. Se procederá a enfriar la superficie de 25 °C a 21 °C y luego calentarla de 25 °C a 29 °C. En ambos casos, las capas por encima de la superficie del suelo se encontrarán más frías de acuerdo a la razón de enfriamiento (9,8 K/km). Los valores de humedad específica varían desde 5 hasta 15 g $_{\text{vapor de agua}}$/kg $_{\text{aire}}$.

RESULTADOS

Sensibilidad a la resolución

El número de capas correspondiente a los diferentes tipos de resolución dentro del **A1** fueron 56, 32 y 24, tal como se muestra en la Tabla 2. En la parte sombreada se dan los valores de LW-I para los diferentes tipos de resolución y tau.

Para tau = 0,29 LW-I se incrementa en 0,05 W/m^2, mientras que para tau = 0,69 se incrementa en 0,2 W/m^2 al aumentar la resolución desde 1,0 hasta 0,2 km. Para los tres tipos de resolución los valores de LW-I convergen para un tau = 1,4.

Tabla 2. Los cuadros sombreados representan LW-I en W/m^2 para diferentes tipos de resolución de A1 y número de capas.

# Capas	Resolución **A1**	Tau = 0.29	Tau = 0.69	Tau = 1.4
56	0,2 Km	**166,39**	**219,12**	**276,97**
32	0,5 Km	**166,38**	**219,11**	**276,97**
24	1,0 Km	**166,34**	**219,10**	**276,97**

SENSIBILIDAD: TEMPERATURA Y HUMEDAD ESPECÍFICA DE LA CAPA LÍMITE.

En la Figura 5 se muestra la sensibilidad de LW-I a las variaciones de humedad específica y temperatura en la capa límite para diferentes horas del día. La cantidad de LW-I se incrementa relativamente con las horas del día; es decir, la LW-I a las 6 de la mañana es menor que a las 8, 10 y 12 horas del día. Ambas gráficas muestran una distribución casi lineal cuyas pendientes están indicadas en la Tabla 3, donde se indica que por incremento de un grado de temperatura (K) LW-I sufre un incremento de 3,92 W/m^2 para todas las horas en cuestión y por una variación en humedad específica de 1,0 $g_{vapor\ de\ agua}/Kg_{aire}$ se presenta una variación de 4,8 W/m^2 en promedio considerando las horas en cuestión.

Tabla 3. Valores de sensibilidad de LW-I debido a la temperatura en W/m2/K y debido a la humedad específica en W/m^2 por variación de vp (10 $g_{vapor\ de\ agua}/kg_{aire}$).

Tiempo [Horas]	Sensibilidad (T_S) [W/m2/K]	Sensibilidad (q_S) [W/m2/vp[3]]
6	3,91	48,35
8	3,92	48,24
10	3,92	47,90
12	3,92	47,72

[3] vp = 10 g/kg. Por ejemplo a las 6 horas (Tabla 3) hay una variación de 48,35 W/m^2 por cada variación de 10g/Kg en humedad específica.

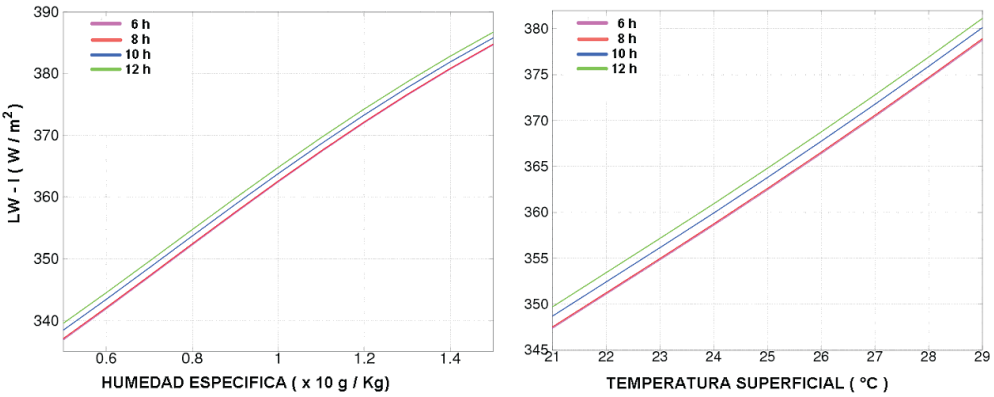


Figura 5. Sensibilidad de LW-I debido a variaciones de la humedad específica (Izquierda) y de temperatura de la superficie (capa límite) para diferentes horas del día: 6 (rosado), 8 (rojo), 10 (azul) y 12 (verde) horas.

CONCLUSIONES

Parte 1

El modelo numérico representa bien el modelo matemático propuesto para el proceso de difusión en suelos sin vegetación, esto considerando que las propiedades físicas (conductividad y capacidad térmica) no varían con la profundidad.

El incremento de la profundidad de penetración de la temperatura se encuentra asociada a un incremento de la difusividad térmica, el cual está regulado por la capacidad de absorber energía y transmitirla.

Sin embargo, las amplitudes de temperatura, dependen de la conductividad y la capacidad térmica, así como también del coeficiente de transferencia de calor , que para los casos analizados se ha considerado constante.

Parte 2

En general, se puede afirmar que la sensibilidad de LW-I debido a la resolución, es mínima. Para bajos contenidos de vapor de agua el incremento de la resolución de 1 km a 0,2 km genera un incremento de LW-I de 0,5 W/m^2 para un espesor óptico de 0,29. Mientras que el espesor óptico (o cantidad de agua líquida) de la nube se incrementa la LW-I deja de ser sensible a la resolución, en el caso idealizado, este valor puede encontrase a partir de tau =1,0.

La sensibilidad de radiación de onda larga (incidente en superficie) a la variación de temperatura y humedad específica en la capa límite muestran que ambos son significativos.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Geiger, R. 2003. *The climate near the ground (sixth ed)*. Oxford. Rowman & Littlefield. 584 pp.

Reuter, H. 1947. *Zur theorie der nächtlichen Abkühlung der bodennahen Schicht u. Ausbildung der Bodeninversion*. Sitz-B. Wien. Akad.

Farouki, O. T. 1986. *Thermal properties of soils. Series on rock and soil mechanics*. Sol. 11. Trans tech. 136 pp.

Nakamura, S. 1992. *Métodos numéricos aplicados con software*. México. Prentice-Hall hispanoamericana. 570 pp.

K. N. Liou. 2002. *An introduction to atmospheric radiation*. Second edition. International geophysics. Series vol 84. Academic press. 599 pp.

Viúdez-Mora, A., J. Calbó, J. A. González, and M. A. Jiménez. 2009. *Modeling atmospheric longwave radiation at the surface under cloudless skies, J. Geophys*. Res. 114 pp.

Instituto Geofísico del Perú. 2005. *Atlas climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro*. Fondo editorial del Consejo Nacional de Medio Ambiente – Lima – Perú. 104 pp.

Identificación de veranillos en el valle del Mantaro

Juan Sulca
Universidad Nacional Mayor de San Marcos
sulcaf5@gmail.com

RESUMEN
En el presente trabajo se realiza la comparación de los métodos de deciles y del índice de anomalías estándar para la identificación de veranillos, dichos métodos analizan los datos de las lluvias diarias y en pentadas (acumulados de 5 días consecutivos), respectivamente, para los meses de enero-marzo para el valle del Mantaro. Se analiza la climatología de las lluvias para las estaciones de Huayao, Jauja, Ingenio, Víques (periodo: 1971-2009) y Santa Ana (periodo 1992-2009).

Se define un veranillo sobre la base del método de deciles, cuando el 80 % de las estaciones meteorológicas registran, más de 7 a 15 días consecutivos, lluvias diarias menores a 0,3 m/día. Con el método de índices de anomalías estandarizadas se identifica un veranillo cuando ocurra 2 pentadas consecutivas con valores menores o iguales a –1.

La ocurrencia de veranillos, según la definición dada con el método de deciles demuestra que este fenómeno es muy frecuente en el valle del Mantaro y se registran dos eventos por año. El 90% de los veranillos ocurridos son aquellos con déficit de lluvias durante 10 días consecutivos; sin embargo, también existen aquellos eventos más intensos en los cuales la ausencia de lluvias fue por más de 15 días, como se dio en el año 1993.

INTRODUCCIÓN
El valle del Mantaro está localizado en los Andes centrales peruanos, el 75 % de la agricultura del valle se realiza bajo el sistema de secano, es decir, depende principalmente de las lluvias que precipitan en la temporada pico de lluvias.

Es una zona de ocurrencia normal de veranillos por año. Este fenómeno es muy perjudicial para la actividad agrícola debido a que está muy relacionado con la cantidad de recurso hídrico que necesitan las plantas en su fase fenológica. Para la ganadería, afecta en la extensión de campos de pastoreo como un posible factor de aumento de enfermedades, etc.

El presente trabajo trata la identificación de eventos de veranillos en el valle del Mantaro para el periodo 1992 - 2009, fenómeno que se manifiesta con la falta de lluvias en el valle en un periodo de 7 a 15 días consecutivos, en plena temporada pico de la estación de lluvias (enero, febrero y marzo).

MARCO TEÓRICO

Se definen los principales conceptos utilizados en este estudio:

Sequía

Consiste en una precipitación anormalmente baja con respecto a la media esperada de la zona estudiada *(Porta et al., 1994)*. No es fácil establecer una definición general y objetiva de sequía ya que existen criterios diferentes según la finalidad y la índole del estudio a realizar *(Elías and Castellví et al., 2001; citado por Porta et al., 1994)*.

(Wilhite y Glantz et al, 1985) citado por Valiente et al, 2001; detectaron más de 150 definiciones de sequía sobre la base de la definición operacional (conocimiento detallado de los datos climáticos, ya sea en forma horaria, diaria, mensual, estacional, anual, decanal, etc.), categorizándolas en 4 grupos dependiendo de la disciplina científica que es analizada: sequía meteorológica, sequía hidrológica, agrícola y efectiva (este último en relación de cuantificación socioeconómica).

Sequía meteorológica

Palmer et al., 1965 define sequía meteorológica como un periodo o intervalo de tiempo, generalmente del orden de meses o años, durante el cual la humedad en una zona está por debajo de su valor climatológico.

Veranillo

Se conceptualiza como un intervalo de pocos días, en el cual la cantidad de lluvias es ínfima o cero con respecto a su valor medio en el periodo pico de lluvias. Si este fenómeno es persistente en el tiempo y de duración prolongada, podría ser la antesala de un evento extremo denominado sequía.

Según *Magaña et al.,* un veranillo *"Es una disminución relativa de la actividad convectiva y de precipitación conocida como Midsummer Drought (MSD), "canícula" o "veranillo", esta definición depende de la región o zona de estudio"*.

Definiremos operacionalmente un veranillo para el valle cuando el 80 % de las estaciones meteorológicas registren más de 7 a 15 días consecutivos, con lluvias diarias menores a 0,3 m/día; y su intensidad se clasificará en tres tipos de acuerdo a su duración (Tabla 1).

Tabla 1. Propuesta de clasificación de la intensidad de los veranillos.

Duración	Evento asociado
7 a 10 días	Veranillo moderado
10 a 15 días	Veranillo intenso
15 ó más	Sequía meteorológica

MÉTODOS DE IDENTIFICACIÓN DE VERANILLOS

Se utilizarán 2 métodos diferentes: el índice de anomalías estandarizadas y deciles.

Índice de Anomalía Estandarizada

Este índice se calcula restando la lluvia de una pentada i-ésima con el valor medio de dicha pentada i-ésima y dividiendo el resultado entre la desviación estándar de dicha pentada i-ésima *(Ogallo et al., 1984; Lapinel et al,. 1998 citados por Medina and Izaguirre et al., 2005)*. Los valores cercanos a cero nos indican que las lluvias están cerca de su valor medio; en el caso de valores negativos, nos indican valores menores a su media o deficiencia de lluvias; y para los valores positivos, nos indican valores por encima de su valor medio o un superávit de lluvias.

Para él cálculo del valor del IAE de la pentada i-ésima, se utilizará la siguiente expresión:

$$IAE= (P_i – P_m)/\delta i \quad (1)$$

Donde:
Pi: valor de lluvias de la pentada i-ésima (mm/5 días)
Pm: valor medio de la pentada i-ésima (mm/5días)
δi : desviación estándar de la pentada i-ésima

En la Tabla 2, se presenta la clasificación de los eventos de acuerdo al rango de valores de IAE.

Tabla 2. Valores del Índice de Anomalía Estandarizada –IAE (Adaptado del McKee et al. 1993)

Valores del IAE	Evento asociado
+2	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

Usando este método definiremos un veranillo cuando 2 o más pentadas consecutivas tienen valores de IAE $\leq$1.

DECILES

Es un método que consiste en dividir en 10 intervalos iguales de 10 % de la serie de datos total de lluvias, tal que inicialmente la serie de datos estén ordenados en forma creciente *(Gibbs and Maher et al. 1967)*. Con este método se identificará un veranillo si el 80 % de las estaciones meteorológicas registran, de 7 a 15 días consecutivos con lluvias menores al decil 3 (0,3 mm/día).

ZONA DE ESTUDIO

El valle del Mantaro (Figura 1) se encuentra ubicada en la parte central del Perú en la región Junín, entre las cordilleras occidental y central de los Andes peruanos. El valle de Mantaro

tiene una dimensión de 53 km de largo, la parte más angosta tiene 4 km y 21 km la parte más ancha. La altura sobre el nivel del mar es de 3 330 metros en promedio para el valle.

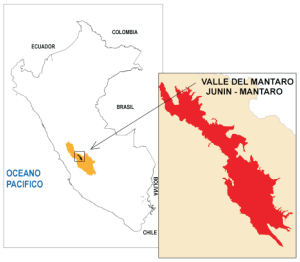


Figura1. Ubicación del valle del Mantaro (rojo)

Datos

El presente trabajo se basa en el tratamiento de datos de lluvias acumuladas diarias de cinco estaciones meteorológicas ubicadas en el valle del Mantaro para los años que se indican en la Tabla 1. Se ha completado la serie de datos de lluvias diarias en las estaciones de Jauja (2005 y 2006), Ingenio (2005, 2006, 2007, 2008 y 2009) y Viques (2005, 2006, 2007, 2008 y 2009) con los datos proporcionados en la página web: http://www.senamhi.gob.pe/; donde los casilleros en blanco en los datos de lluvias significan valores nulos o cero[1]. No se cuentan con datos para el año 2004 en las estaciones de Jauja, Ingenio y Viques.

Tabla3. Ubicación de las estaciones meteorológicas en el valle del Mantaro

Estación	Longitud(°)	Latitud(°)	Altura(msnm)	Datos(años)
Huayao	75,32	12,04	3 308	1971-2009
Jauja	75,47	11,78	3 322	1971-2009
Ingenio	75,26	11,88	3 450	1971-2009
Viques	75,23	12,16	3 186	1971-2009
Santa Ana	75,22	12,0	3 295	1992-2009

Fuente: IGP (Huayao) – SENAMHI (otras estaciones)

METODOLOGÍA

Se calculó la climatología de lluvias para los meses de enero, febrero y marzo en el valle, como un promedio aritmético de las lluvias de las 5 estaciones (Huayao, Jauja, Ingenio y Viques) para el periodo 1971-2000. Para ello, se calcularon las pentadas (acumulados 5 días consecutivos) a partir del 1 de enero al 31 de marzo (18 pentadas). Se considera a la duodécima pentada con acumulados de 6 días para un año bisiesto debido a la presencia del día 29 de febrero[2].

[1] Ing. Luis Vara, Oficina de Estadística del SENAMHI, comunicación personal.
[2] Todd Mitchell del Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean (JISAO), comunicación personal.

Se calculó el Índice de Anomalías Estandarizadas de las lluvias (IAE) para el periodo 1992-2009, utilizando la climatología de lluvias (1971-2000), basándose en los valores del IAE (ecuación 1), y se enlistó los veranillos identificados en la Tabla 4.

Se calculó los percentiles a los datos de lluvias diarias para cada una de las 5 estaciones meteorológicas del valle para los meses de enero, febrero y marzo del periodo 1992 al 2009 (Tabla 3). Con ese soporte, se elaboró la Tabla 4 donde se muestra los veranillos identificados.

Tabla 4. Eventos de veranillos en el valle mediante el uso del IAE.

Caso	Fecha de inicio del evento	# de pentadas	Duración(días)
1	22/03/1992	17-18	10
2	15/02/1993	10-11	10
3	01/01/2002	1-2-3	15
4	01/01/2003	1-2	10
5	05/02/2003	10-11	10
6	16/01/2005	4-5	10
7	15/02/2006	10-11	10
8	26/01/2007	6-7	10
9	15/02/2007	10-11	10

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Climatología de lluvias del valle del Mantaro

En la Figura 2.a se observa que la precipitación mínima en el valle del Mantaro se presenta en la pentada 18 (finales de marzo). La precipitación media es aproximadamente 20 mm/5días. Se observa también que las lluvias aumentan desde la primera pentada (enero) hasta la sétima pentada (febrero) 30 mm/5dias, y a partir de la decimotercera pentada (marzo) las lluvias empiezan a descender.

Las lluvias más frecuentes en el valle son menores a 20 mm/5días, mientras que las lluvias menos frecuentes son las mayores a 40 mm/5días (Figura2.b).

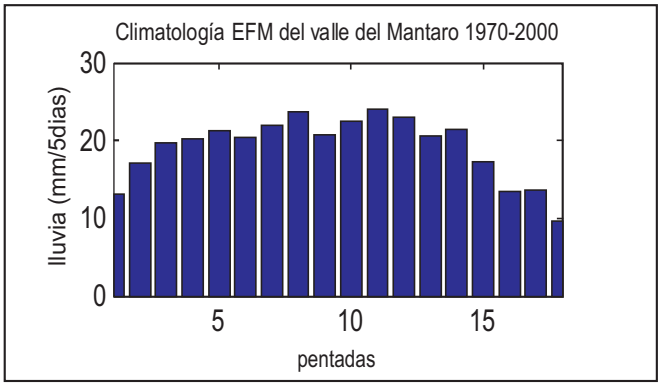


Figura 2.a. Climatología de lluvias para el valle del Mantaro basándose en el periodo 1970-2000

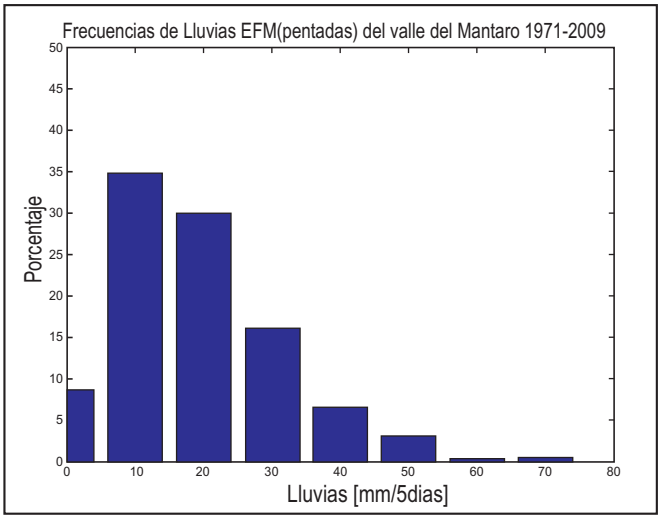


Figura 2.b. Distribución de frecuencia de lluvias (pentadas) en el valle para el periodo 1971-2000

VERANILLOS IDENTIFICADOS CON EL IAE

En la Tabla 4 se observa que en promedio, la frecuencia de los veranillos en el valle del Mantaro es de 0,5 casos por año (9 eventos en 18 años). El promedio de duración de un veranillo con esta metodología es 11 días.

Asimismo, el 40 % de los veranillos identificados se caracterizan por pertenecer al grupo de dos veranillos por año (2003 y 2007) y el 60 % restante, al grupo de un veranillo por año (1992, 1993, 2005, 2006). Finalmente observamos que este método registra el veranillo más intenso con tres pentadas consecutivas en el año 2002.

DECILES DE LLUVIAS

La Tabla 5 muestra los valores de los deciles para cada una de las estaciones y evidencia que son similares. Se observa que alrededor del 30 % de lluvias diarias tienen valores menores a 0,3 mm/día (decil 3). El valor medio de las lluvias en el valle es de 1,5 mm/día; y se advierte que las lluvias más intensas están por encima de los 6 mm/día (decil 8).

Tabla5. Deciles de las lluvias diarias de las 5 estaciones ubicadas en el valle para los meses de enero, febrero y marzo, del periodo 1992-2009.

Decil	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Huayao	0	0	0,3	0,8	1,4	2,5	3,8	6,1	10,41	39,4
Jauja	0	0	0,3	1	1,75	2,8	4,2	6,27	9,21	34,6
Ingenio	0	0	0	0,6	1,5	2,3	3,6	5,41	8,4	36,3
Viques	0	0	0	0	0	2,3	4,5	7,81	13,03	46,8
SantaAna	0	0	0	0,7	1,6	2,6	4,2	6,4	9,62	35,5

VERANILLOS IDENTIFICADOS MEDIANTE LOS DECILES

Según el método de deciles, se identificaron 14 eventos de veranillo (Tabla 6). Se observa que en promedio, la frecuencia de los veranillos en los meses de enero, febrero y marzo es de 0,78 casos por año (15 eventos en 18 años). El promedio de duración de un veranillo es de 10 días. Además, con este método se distingue un mismo porcentaje en la cantidad de veranillos moderados e intensos. Asimismo, el 85 % de los veranillos identificados, se caracterizan por pertenecer al grupo de dos veranillos por año (1992, 1993, 1998, 2002, 2005 y 2007) y los 15 % restantes al grupo de un veranillo por año (1997, 2006 y 2008). Finalmente observamos que se registró un evento de sequía meteorológica con 18 días consecutivos en el año 1993.

Tabla 6. Identificación de veranillos en el valle del Mantaro (enero, febrero y marzo) en el periodo 1992-2009.

Caso	Fecha de inicio del evento	Duración(días)	Clasificación
1	15/01/1992	7	Moderado
2	21/03/1992	11	Intenso
3	03/01/1993	10	Intenso
4	10/02/1993	18	Sequía meteorológica
5	18/03/1997	11	Intenso
6	12/02/1998	9	Moderado
7	22/03/1998	7	Moderado
8	01/01/2002	10	Intenso
9	21/03/2002	9	Moderado
10	16/01/2005	11	Intenso
11	25/02/2005	11	Intenso
12	16/02/2006	8	Moderado
13	26/01/2007	10	Moderado
14	16/02/2007	8	Moderado
15	16/03/2008	12	Intenso

DISCUSIÓN

Las Tablas 4 y 6 nos muestran los resultados de los veranillos identificados usando estos 2 métodos: *índice de anomalías estandarizadas* y *deciles,* respectivamente. Comparando dichas tablas observamos:

El método de deciles identifica una mayor cantidad de veranillos que el método del índice de anomalías estandarizadas (50 % más), esto debido a que el método de deciles identifica los

veranillos con el uso de datos diarios en los años 1992, 1998, 2002, 2006 y 2007. Así también, el método de deciles identifica veranillos en los años 1997, 1998 y 2009; mientras que el método del IAE no identifica veranillos. Las fechas de inicios y duración de veranillos identificado por ambos métodos no necesariamente coinciden.

En el año 1992, el método de deciles identifica dos veranillos, mientras que el método del IAE sólo identifica uno. Para el veranillo en común, la fecha de inicio es 22/03/1992 y tiene una duración de 10 días. Con respecto al segundo veranillo identificado por el método de deciles (15 a 21 de enero) y no identificado por el método del IAE, se debió a que en la pentada 3 (11 a 15 de enero) tiene valor de IAE igual a –0,8.

En el año 1993, el método de deciles identifica un evento de sequía meteorológica que se inicia desde 10 de febrero con una duración de 18 días, sin embargo, para el método del IAE en estas fechas identifica un veranillo en la pentada 10 y pentada 11 (15/02/1993 a 24/02/1993). La diferencia radica en que en estas fechas se reportó lluvias intensas, las que predominan en el cálculo IAE en la pentada 9 y en la pentada 12, con valores de 0,1 y 0,7, respectivamente. Con respecto al veranillo identificado por el método de deciles (03 al 10 de enero) y no identificado por el método del IAE, se debió a que las pentadas 1, 2 y 3 (las que contienen las fechas del 03 a 12 de enero) tienen valores de IAE igual a –0,8 , -1 y 0,1 respectivamente.

El año 2002 es análogo al año 1992 en la cantidad de veranillos identificados. Para el veranillo común a ambos métodos se observa una coincidencia en la fecha de inicio (01/01/2002), pero no se observa lo mismo en el tiempo de duración (Tabla 4 y Tabla 6). El método de deciles identifica un veranillo de 10 días y el método del IAE identifica un veranillo de 15 días (tres pentadas consecutivas). La diferencia radica en que en los primeros 10 días de enero no se registraron lluvias, aunque a partir de la fecha se registraron pocas lluvias no. El método de deciles no considera esto último para la identificación de veranillo pero el caso del IAE sí lo considera, ya que los valores del IAE para estas pentadas son menores a -1. El segundo veranillo identificado por el método deciles tiene una duración de 10 días, mientras que el método IAE, no lo identifica en esas fechas (21/03/2002) debido a que las pentadas registran valores del IAE mayores a -1.

Para el año 2003, el método de anomalías estandarizadas identifica 2 veranillos; mientras el método del decil no los identifica como veranillo debido a la predominancia de lluvias con valores mayores y próximos a 0,3 mm/día. Al realizar el cálculo de los valores del IAE, no son valores menores a -1.

El año 2005 es análogo al año 1992, pero en este caso, existe una coincidencia en las fechas de inicio de veranillo (16/01/2005) con la duración (10 días). Sin embargo, el segundo veranillo detectado por el método de deciles es de 10 días (25 de febrero a 6 de marzo); mientras que el método del IAE no lo identifica como veranillo debido a que la pentada 12 (25 de febrero a 1 de marzo) tiene valor a –0,8 y la pentada 13 (2 a 6 de marzo) un valor aproximado a –1.

En el año 2007 existe una coincidencia de los métodos en la identificación de 2 veranillos, tanto en la fecha de inicio y duración (Tabla 5 y Tabla 6).

En el año 2008, el método de deciles identifica un veranillo con duración de 12 días y se inicia el 16/03/08, pero el método del IAE no lo identifica como veranillo debido a que estas fechas corresponden a las pentadas 15, 16 y 17. Sin embargo, en este caso la pentada 15, 16 y 17 (12 al 26 de marzo) tienen valores de IAE mayores a –1 en varios de ellos.

CONCLUSIONES PRELIMINARES

De las observaciones anteriores distinguimos que existe una buena aproximación en la identificación de veranillos en ambos métodos utilizados, la diferencia radica principalmente en que el método de deciles usa los datos diarios y con ello, se observa claramente el comportamiento del déficit de lluvias. Sin embargo, en el caso del IAE, al usar las pentadas, está supeditado a los valores de la climatología de las pentada i-ésima y en el mismo valor de la pentada i-ésima, debido a que se puede dar un día o más de lluvias intensas y estos valores pueden predominar en el valor de la pentada i-ésima y al realizar el IAE este muestre valores cercanos o mayores a cero.

En el valle del Mantaro, la presencia de veranillos es frecuente, pues se presentan mayormente dos eventos por año. Siendo el tiempo de duración de los veranillos de 10 días consecutivos con lluvias menores a 0,3 mm/día; esto último muestra una disminución en la cantidad de precipitación de lluvias en el valle del Mantaro.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Elías, C. F., Castellví, S. F. 2001. *Agrometereología*. Ed. Mundi-Prensa. Madrid. 151-152 pp.

Gibbs, W. J. and Maher, J. V. 1967. *Rainfall deciles as drought indicators.* Bulletin No. 48, Bur. Met., Australia, 84 pp.

Magaña V. 1999. *The Midsummer Drought over México and Central América, Journal of Climate*. vol. 12: 1577–1588.

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, 233-236 pp.

Medina A. X, Izaguirre A, I. 2005. *Análisis y evaluación de sequía meteorológica en la cuenca del río Cauto*. Mapping, Vol. 101 , 20-24 pp.

Palmer W. 1965. *Meteorological drought., U.S. Department of Commerce Weather Bureau*. Washington D.C, Research Paper Vol. 45, 58 pp.

Smith, D.I., Hutchinson, M.F. & Mcarthur, R.J. 1993. *Australian climatic and agricultural drought: Payments and policy*. Drought Network News vol. 5, 11:12 pp.

Valiente, O. 2001. *Sequía: definiciones, topologías y métodos de cuantificación*. investigaciones geográficas, Vol. 26, 58-80 pp.

CAPÍTULO VI

PROYECTOS ACTUALES

Actualmente se vienen desarrollando interesantes iniciativas de investigación-acción sobre adaptación al cambio climático en la cuenca del río Mantaro, desarrolladas tanto por instituciones del sector público como por organismos internacionales y ONG, y que son presentadas en este capítulo

El artículo "Cambio climático en los Andes: Iniciativas lideradas por el Ministerio del Ambiente" a cargo de Eduardo Durand, brinda un panorama general del trabajo realizado por el Ministerio del Ambiente por empoderar el tema de cambio climático tanto a nivel nacional como regional.

A continuación se presentan los avances de tres proyectos que se vienen desarrollando en diferentes zonas de la cuenca: "Adaptación al cambio climático en contextos de desarrollo territorial rural: La experiencia de Jauja", presentado por Javier Escobal y Carmen Ponce, investigadores del Grupo de Análisis para el Desarrollo (GRADE); "Adaptación al impacto del retroceso acelerado de glaciares en los Andes Tropicales – PRAA", por Ana Iju, especialista nacional del PRAA; y "Gestión de riesgos y cambio climático: Retos del Proyecto MAREMEX – Mantaro", presentado por Alejandra Martínez, investigadora del Instituto Geofísico del Perú.

Finalmente, el artículo "Tendencias de desarrollo local en localidades de los Andes Peruanos que confrontan desafíos en el contexto del cambio climático: El caso de las microcuencas: Huacrahuacho (Cusco) y Mollebamba (Apurímac)" a cargo de Lenkiza Angulo y Maruja Gallardo del Programa de Adaptación al Cambio Climático-PACC, describe las tendencias de desarrollo local vinculadas al cambio climático en otras zonas andinas del Perú, que sin embargo, por sus características comunes con la cuenca del Mantaro, ofrece una interesante comparación de problemáticas similares.

Cambio climático en los Andes: iniciativas lideradas por el Ministerio del Ambiente

Eduardo Durand
Dirección General de Calidad Ambiental
Ministerio del Medio Ambiente
edurand@minam.gob.pe

CONTEXTO NACIONAL

En el año 2003 se aprueba la Estrategia Nacional de Cambio Climático[1], la cual establece como parte de sus objetivos principales la *reducción de los impactos adversos del cambio climático a través de estudios integrados de vulnerabilidad y adaptación*, y el control de las emisiones de contaminantes locales y de gases de efecto invernadero; estableciendo 11 líneas de acción estratégicas para orientar la gestión del cambio climático en el Perú.

En el año 2009, el Ministerio del Ambiente aprueba la Política Nacional del Ambiente[2], la cual establece lineamientos de política relacionados con la adaptación y mitigación al cambio climático, entre los cuales se incluyen el incentivo para la aplicación de medidas para la mitigación y adaptación al cambio climático con un enfoque preventivo; establecimiento de sistemas de monitoreo, alerta temprana y respuesta oportuna frente a los desastres asociados al cambio climático; conducción de los procesos de adaptación y mitigación al cambio climático difundiendo sus consecuencias, así como capacitación a los diversos actores sociales para organizarse; y promoción del uso de tecnologías adecuadas y apropiadas para la adaptación al cambio climático y mitigación de gases de efecto invernadero y de la contaminación atmosférica.

A nivel regional, la Ley Orgánica de Gobiernos Regionales[3] dispone que cada gobierno regional elabore su Estrategia Regional de Cambio Climático y Diversidad Biológica, la cual debe formularse en el marco de la Estrategia Nacional de Cambio Climático; para lo cual el Ministerio del Ambiente elaboró la "Guía para la Elaboración de la Estrategia Regional frente al Cambio Climático", publicada en el 2009, con la finalidad de orientar a las autoridades regionales a definir acciones para hacer frente al cambio climático.

Es así que, con la finalidad de impulsar la implementación de la Estrategia Nacional de Cambio Climático a nivel nacional, el Ministerio del Ambiente ha propuesto un programa de iniciativas, proyectos y programas para la adaptación y mitigación frente al cambio climático, el cual constituye una primera aproximación para establecer acciones prioritarias en relación al cambio climático en el país.

---

[1] Mediante Decreto Supremo N° 086-2003-PCM

[2] Aprobada por D. S. No. 012-2009-MINAM

[3] Ley N° 27867, Artículo 53 inciso c). "Funciones en materia ambiental y de ordenamiento territorial: ….c) Formular, coordinar, conducir y supervisar la aplicación de las estrategias regionales respecto a la diversidad biológica y sobre cambio climático, dentro del marco de las estrategias nacionales respectivas"

INICIATIVAS EN LOS ANDES

El Ministerio del Ambiente lidera diversas iniciativas enfocadas en los ecosistemas de montaña (Figura 1), incluyendo evaluaciones de vulnerabilidad y adaptación a nivel de cuencas y proyectos que implementan medidas específicas de adaptación al cambio climático en los Andes.

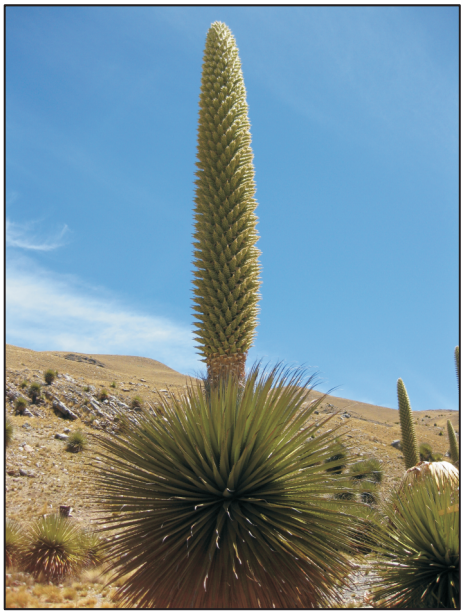


Figura 1. Puya Raimondi, característica de un ecosistema de montaña

Evaluación Local Integrada de la Cuenca del Río Santa – ELI Santa

Elaborada en el marco de la Segunda Comunicación Nacional, la ELI Santa tuvo como objetivos evaluar la vulnerabilidad y proponer procesos de adaptación a los efectos del cambio climático para su incorporación en los procesos participativos de ordenamiento territorial de la cuenca del río Santa, y fortalecer la percepción y roles de acción de los actores de la cuenca ante el cambio climático.

La cuenca del río Santa es importante debido a que alberga la mayor cantidad de glaciares tropicales del país y de la región andina, y sus recursos hídricos contribuyen a dos grandes proyectos de irrigación en la costa peruana: Chavimochic y Chinecas. Como parte de la ELI Santa se evaluaron las tendencias en el clima y se generaron escenarios de cambio climático, se determinó la vulnerabilidad actual y futura; asimismo se definieron propuestas de adaptación relacionadas con salud, educación, electricidad, agua y saneamiento, riesgos y defensa civil, turismo y agricultura para el Callejón de Huaylas, área priorizada para el estudio.

Glaciares y Cambio Climático

En el marco de la Segunda Comunicación Nacional, el SENAMHI realizó un estudio para determinar la relación entre el cambio climático y retroceso glaciar y su implicancia en la disponibilidad hídrica. El Perú contiene aproximadamente el 71 % de los glaciares tropicales del mundo y algunos de los ríos perennes del país están alimentados por estos glaciares que están desapareciendo rápidamente debido al cambio climático. El Perú ha registrado una de las tasas de retroceso de glaciares más rápidas del mundo, evidenciándose que en los últimos tres decenios ha desaparecido entre 20 % y 30 % del área cubierta por los glaciares. Desde 1980, los glaciares peruanos han perdido un 22 % de su superficie (500 km^2), el equivalente a cerca de diez años de suministro de agua para Lima. (Figuras 2 y 3)



Figura 2. Nevado Pastoruri



Figura 3. Nevado Huaytapallana

Algunas de las medidas de adaptación propuestas para hacer frente a los efectos del retroceso glaciar son: respetar y recuperar el uso ancestral del agua en la parte alta de la cuenca por parte de las comunidades, monitoreo permanente de los glaciares a fin de conocer la magnitud de influencia del cambio climático y las afectaciones en el ciclo hidrológico, y afianzamiento de lagunas y la defensa de poblados en zonas de alta vulnerabilidad al retroceso glaciar.

Proyecto "Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA"

El PRAA es un proyecto financiado a través del Banco Mundial y administrado por la Secretaría General de la Comunidad Andina. El PRAA se implementa en Bolivia, Ecuador y Perú siendo el Ministerio del Ambiente la entidad responsable de su implementación en el Perú. Tiene como objetivo general reforzar la resiliencia de los ecosistemas y economías locales ante los impactos del retroceso glaciar en los Andes Tropicales a través de la implementación de actividades piloto que muestren los costos y beneficios de la adaptación al cambio climático.

Las zonas priorizadas para la implementación del PRAA son la subcuenca del río Shullcas, que abarca los distritos de Huancayo y El Tambo, en la región Junín, asociada al nevado Huaytapallana; y Santa Teresa, en la provincia de La Convención, región Cusco, en las microcuencas asociadas a los nevados Salkantay y Sacsara.

El PRAA implementará medidas específicas de adaptación para mejorar la eficiencia en la gestión y uso del agua y suelo con un enfoque de gestión integral de cuencas, a fin de lograr que las comunidades adecuen sus actividades a la inminente reducción de la disponibilidad de agua debido al derretimiento glaciar. Las mejores prácticas en el uso del agua incluyen sistemas de riego tecnificado, mejoramiento en infraestructura de almacenamiento de agua, reforestación, conservación de praderas altoandinas, diversificación de la producción agrícola, uso de especies resistentes a stress hídrico, entre otras.

Adicionalmente se tiene prevista la generación de información técnica y científica que pueda ser útil para la toma de decisiones a nivel regional y local, incluyendo la determinación de escenarios de cambio climático al año 2030, evaluación de los impactos del cambio climático y medidas de adaptación en cultivos seleccionados y caracterización de la oferta hídrica y escenarios de disponibilidad hídrica al año 2030. Asimismo, se realizará el monitoreo de dos glaciares seleccionados mediante la instalación de estaciones hidrometeorológicas y la utilización de imágenes del satélite japonés ALOS. Otros estudios contemplados en el marco del PRAA incluyen la evaluación del impacto del cambio climático en páramos y evaluación económica de los impactos del retroceso glaciar.

El PRAA promueve la inclusión de la temática del cambio climático en la planificación del desarrollo regional y local a través del apoyo y participación en la elaboración e implementación de estrategias regionales y locales de cambio climático.

El financiamiento total del PRAA en Perú es de US$ 8 290 000 de los cuales US$ 2 840 000 corresponde a la donación a través del Banco Mundial y US$ 5 450 000 corresponde a la

contrapartida aportada por entidades nacionales (en efectivo y en especie) para un periodo de 4 años (agosto 2008 – septiembre 2012).

Proyecto: "Programa de Adaptación al Cambio Climático – PACC"

El PACC es una iniciativa de cooperación bilateral entre el Ministerio del Ambiente y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE, liderada en su implementación regional por los Gobiernos Regionales de Apurímac y Cusco y facilitada por el Consorcio Intercooperation, Libélula y PREDES.

El propósito final del PACC es que, bajo el nuevo contexto del cambio climático, se consolide la base de vida y se reduzca la vulnerabilidad de estratos sociales de mediana y alta pobreza en las áreas de trabajo del programa, disminuyendo la migración por afectaciones ambientales ocasionadas por el cambio climático.

El objetivo general del PACC es promover, en las regiones de Apurímac y Cusco, la implementación de estrategias y medidas de adaptación ante el cambio climático, por parte de poblaciones e instituciones públicas y privadas; así como la capitalización de aprendizajes que permitan incidir en las políticas públicas de distinto nivel.

Las zonas priorizadas para la implementación del PACC son la microcuenca de Huacrahuacho, distritos de Checca y Kunturkanqui, provincia de Canas, en la región Cusco; y la microcuenca de Mollebamba, distrito Juan Espinoza Medrano, provincia de Antabamba en la región Apurímac.

Los resultados esperados del PACC son los siguientes:

- Conocer vulnerabilidades mediante un diagnóstico de vulnerabilidad y condiciones de adaptación ante la variabilidad climática y el cambio climático, en regiones Cusco y Apurímac, desarrollada con la participación de autoridades, instituciones y poblaciones afectadas.
- Monitorear e Informar a través de un Sistema Regional de Información para la Adaptación al Cambio Climático en Cusco y Apurímac, construido y puesto a prueba en su funcionamiento.
- Actuar desarrollando medidas demostrativas de adaptación en la gestión de los recursos hídricos, la seguridad alimentaria y la reducción de riesgos de desastres, en microcuencas priorizadas en Cusco y Apurímac.
- Aprender e incidir en políticas públicas de nivel local, regional, nacional y procesos de negociación internacional, recogen propuestas generadas desde la acción del programa con los actores institucionales y sociales involucrados.

La donación total para la implementación del PACC es de US$ 4 700 000, monto financiado por la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación – COSUDE para un periodo de 3 años (febrero 2009 – diciembre 2011).

Proyecto: "Gestión Integral Adaptativa de Recursos Ambientales para Minimizar Vulnerabilidades al Cambio Climático en Microcuencas Altoandinas"

Este proyecto es ejecutado de forma conjunta por los organismos de las Naciones Unidas: Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo – PNUD, la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, Oficina Panamericana de la Salud – OPS, y el Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente – PNUMA, siendo el Ministerio del Ambiente la contraparte nacional del proyecto.

Estos organismos proponen, con base en sus ventajas comparativas y en concordancia con sus respectivos mandatos, establecer sinergias para desarrollar un amplio rango de actividades para el fortalecimiento de capacidades de los gobiernos regionales, locales y familias rurales. Esto será complementado por generación de información, proyectos demostrativos y asistencia específica para el uso de métodos sostenibles para agricultura y manejo de recursos naturales.

El objetivo del proyecto es fortalecer las capacidades de los gobiernos regionales, locales y organizaciones de base para la gestión integral y adaptativa ante las vulnerabilidades del cambio climático en dos microcuencas altoandinas en Apurímac y Cusco.

Las zonas priorizadas para la implementación del proyecto son las microcuencas de Santo Tomás, provincia Chumbivilcas, en la región Cusco; y Challhuahuacho, provincia Cotabambas, en la región Apurímac.

Los resultados esperados del proyecto son los siguientes:

- Aumentar las capacidades de los gobiernos provinciales y distritales para planificar, desarrollar, implementar, reportar y coordinar iniciativas compatibles con el manejo sostenible de recursos naturales y sus servicios ambientales asociados e incorporan medidas para la adaptación al cambio climático en sus instrumentos de programación y regulación.
- Mejorar las capacidades de asociaciones de productores y organizaciones de base para desarrollar, acceder y aplicar, de forma participativa y coordinada, prácticas sustentables para el manejo de recursos naturales y sus servicios ambientales asociados en concordancia con sus necesidades y en respuesta las condiciones cambiantes.
- Mejorar el acceso y participación de las asociaciones de productores y poblaciones locales en modelos innovadores y competitivos basados en sistemas de producción que son compatibles con un manejo sostenible de los recursos naturales; asimismo utilizan potencialidades locales y apuntan a mercados sostenibles y de comercio justo para incrementar sus niveles de ingreso y calidad de vida.

La donación total para la implementación del proyecto es de US$ 3 900 000 monto financiado por PNUD, FAO, OPS y PNUMA para un periodo de 3 años (septiembre 2008 – septiembre 2011)

AVANCES EN LA CUENCA DEL MANTARO

Para la cuenca del Mantaro, se cuenta con la *Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro*, estudio que evaluó la vulnerabilidad y los procesos de adaptación a los efectos del cambio climático de los diferentes sistemas productivos y socioeconómicos. Como resultado de la ELI Mantaro se han determinado propuestas de adaptación al cambio climático, propiciando su incorporación en las políticas y procesos de desarrollo regional. Asimismo, se han formulado escenarios de cambio climático al año 2050 y 2100 para la cuenca.

Evaluación Local Integrada para la Cuenca del Río Mantaro[4] - ELI Mantaro

El río Mantaro es uno de los ríos más importantes de los Andes Centrales Peruanos cuyo 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.

Esta cuenca es de gran importancia económica para el país debido a su contribución en la generación de energía eléctrica (abastece el 37,6 % de la demanda del Sistema Eléctrico Interconectado Nacional – SEIN), a su producción agrícola que abastece principalmente a Lima y a la vulnerabilidad de sus poblaciones, cuyas actividades económicas como la agricultura y ganadería son influenciadas por variaciones en el clima.

El principal problema asociado al cambio climático sería la menor disponibilidad del agua debido a la reducción de las precipitaciones y el retroceso de los glaciares. La reducción proyectada en las precipitaciones tendrá el efecto de una sequía prolongada, por lo que tanto la agricultura de secano como la agricultura bajo riego sufrirían los efectos de una menor disponibilidad del recurso hídrico. El aumento en la temperatura puede provocar mayor incidencia de enfermedades y plagas en los cultivos.

La producción de energía hidroeléctrica también se verá afectada por los cambios en las precipitaciones, considerando que de acuerdo a las proyecciones en la zona del lago Junín, las precipitaciones disminuirían en 10 %. En el sector salud, la falta de precipitaciones incidiría en aumentar los días con cielos despejados, lo que sumado la alta radiación UV que recibe la cuenca se traduciría en el aumento de enfermedades relacionadas con ésta, tanto en la piel como en los ojos.

La ELI Mantaro identificó medidas de adaptación para los tres sectores priorizados (agrosilvopastoril, generación de energía hidroeléctrica y salud). Además, se identificaron las acciones necesarias para que las medidas de adaptación puedan ser incorporadas a nivel local y regional.

Las medidas de adaptación propuestas para la actividad agrosilvopastoril están orientadas a la mejor gestión y uso eficiente del recurso hídrico, pastos y tierra, así como en la sensibilización de la población. Las medidas de adaptación relacionadas con la generación

[4] "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". IGP - CONAM, 2005.

de energía hidroeléctrica giran en torno al uso eficiente de la energía eléctrica, el aprovechamiento de otras fuentes de generación de energía, y la mejora de la información disponible para la realización de estudios, pronósticos y sistemas de alerta temprana. Finalmente las medidas propuestas para el sector salud están vinculadas a la prevención y detección temprana de enfermedades, la capacitación del personal médico, así como la educación y sensibilización de la población.

Escenarios de Cambio Climático

Cuenca del Mantaro al 2050

Para la generación de escenarios en la cuenca del río Mantaro, el SENAMHI realizó la regionalización dinámica de los escenarios climáticos globales producidos por el National Center for Atmospheric Research (NCAR), utilizando el modelo climático global CCSM2 (Climatic Community System Model 2) para los escenarios emisión de gases de efecto invernadero denominados A1 y B2.

Los escenarios climáticos para el año 2050 muestran un aumento de 1,3 °C de la temperatura media en verano, así como el incremento del rango diurno de temperatura de aproximadamente 1 °C. Además, se espera que se incremente el número de días con heladas en los meses de verano en 30 días. En promedio, se espera una disminución de las precipitaciones de 3 % por década (15 % en 50 años). Diferenciando por zonas, la disminución será de 10 %, 19 % y 14 % respecto a las actuales en las zonas norte, centro y sur del valle, respectivamente.

Cuenca del Mantaro al 2100

El SENAMHI elaboró los escenarios de cambio climático para fines del siglo XXI para el escenario de emisiones A1B, utilizando el modelo climático atmosférico global de muy alta resolución (20 x 20 km) del Instituto de Investigación Meteorológica (MRI) y la Agencia Meteorológica Japonesa (JMA).

Los escenarios de cambio climático muestran que para fines del siglo XXI, las temperaturas máxima y mínima en la cuenca del Mantaro se habrán incrementado, en promedio, 2,7 °C y 2,3 °C, respectivamente; la reducción de las precipitaciones se acentuará en verano e invierno y en los sectores norte y centro principalmente.

Proyecto "Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA"

Las intervenciones del PRAA en la región Junín están focalizadas en la subcuenca del río Shullcas, perteneciente a la cuenca del Mantaro. Se tiene previsto generar información científica y técnica que apoye los procesos de toma de decisiones a nivel regional y local, incluyendo la generación de escenarios de cambio climático al año 2030 para la cuenca del Mantaro, evaluación de impactos del cambio climático y medidas de adaptación en cultivos priorizados en la subcuenca del Shullcas (maíz y papa) y caracterización de la oferta hídrica y escenarios de disponibilidad hídrica al año 2030. Adicionalmente, se tiene previsto realizar la caracterización y evaluación del comportamiento de un glaciar seleccionado en el nevado Huaytapallana y la evaluación del impacto económico del retroceso glaciar.

En la subcuenca del Shullcas se implementarán medidas específicas de adaptación al cambio climático, incluyendo actividades de reforestación, conservación de praderas altoandinas, implementación de sistemas de riego tecnificado y mejoramiento de canales de riego. Asimismo, se promoverán mejores prácticas agrícolas y uso de especies resistentes a stress hídrico, organización para la gestión del agua y se elaborará un plan de gestión integral del recurso hídrico para Huancayo.

Adaptación al cambio climático en contextos de desarrollo territorial rural: la experiencia de Jauja[1]

Javier Escobal
Grupo de Análisis para el Desarrollo – GRADE
jescobal@grade.org.pe

Carmen Ponce[2]
Grupo de Análisis para el Desarrollo – GRADE
cponce@grade.org.pe

Para contribuir con el debate/estudio sobre cómo se vienen adaptando las poblaciones rurales y qué rol pueden tener los actores locales, los gobiernos regionales y nacionales así como la cooperación técnica internacional para ampliar las capacidades de adaptación y resiliencia de dichos actores para hacer frente al cambio climático, este estudio se concentra en el territorio de Jauja, en la sierra central del Perú.

Jauja es un territorio donde los niveles de pobreza y pobreza extrema son relativamente altos (49 % y 17 %, respectivamente)[3]. Simultáneamente, es un territorio donde coexisten un importante nivel de degradación de la base de recursos naturales, una creciente escasez de agua para uso agrícola, un alto riesgo de inundación por problemas asociados a sistemas inadecuados de protección y evacuación de aguas fluviales y una creciente impredecibilidad climática. Todo ello configura un escenario donde la vulnerabilidad socio-ambiental se exacerba. Al mismo tiempo, Jauja se ubica en una de las zonas más dinámicas de la sierra central, donde la articulación con Lima ha permitido tasas de crecimiento económico por encima de otras zonas de la sierra del Perú. Dicho dinamismo ha impuesto una mayor presión sobre la base de recursos naturales del territorio.

El propósito del estudio es entender las iniciativas que se vienen dando o aquellas que se podrían desarrollar a escala local para incrementar la capacidad de los actores locales y las comunidades para enfrentar la mayor vulnerabilidad que trae el cambio climático. Para ello, el estudio ha explorado las siguientes preguntas de investigación:

- ¿Qué estrategias emplean los hogares para reducir su vulnerabilidad frente al riesgo climático? ¿Qué rol juega el mayor o menor acceso a activos privados y públicos en su capacidad de adaptación?

[1] Este es un resumen de un trabajo elaborado por encargo del Centro Latinoamericano para el Desarrollo Rural (RIMISP) en el marco del estudio "Desarrollo Territorial y Cambio Climático" financiado por el Banco Mundial. El estudio es parte del Programa "Dimensiones Sociales del Cambio Climático" y abarca estudios de caso en 6 países (Senegal, Burkina Faso, Nigeria, República Dominicana, México y Perú).

[2] La investigación que aquí se resume contó con la valiosa asistencia de Sara Benites. Asimismo, para una parte importante del trabajo de campo cualitativo se contó con la participación de Beatriz Canales.

[3] Mapa de Pobreza INEI 2007.

- ¿Qué rol juegan los distintos grupos sociales (con mayor o menor capital social y mayor o menor experiencia enfrentando riesgos climáticos) en su capacidad a enfrentarse al cambio climático?
- ¿Qué rol juegan distintos arreglos de gobernanza en lograr una mayor capacidad adaptativa frente al cambio climático en el territorio, desarrollando opciones más o menos inclusivas?
- ¿Qué rol juega la mayor o menor interacción entre instituciones locales y las regionales, nacionales y supranacionales en la capacidad de adaptación frente al cambio climático?

EL TERRITORIO BAJO ESTUDIO

En la cuenca del Mantaro se pueden encontrar distintos microclimas que hacen que actores sociales relativamente cercanos puedan enfrentar condiciones climáticas muy distintas. Jauja no es la excepción. En este territorio se pueden identificar distintas micro-cuencas donde las diferencias de altitud, geología, temperatura y precipitación son muy marcadas, generando distintos patrones de uso del suelo, agua y demás recursos naturales.

Las diferencias de altitud, topografía del terreno así como el acceso a infraestructura vial y de comunicaciones generan gran heterogeneidad al interior del territorio. El estudio se ha concentrado en dos subcuencas: Yanamarca y Yacus. Es interesante anotar que las subcuencas de Yanamarca y de Yacus son en promedio similares entre sí, aunque al interior de ambas hay un importante nivel de heterogeneidad que reproduce razonablemente la heterogeneidad de todo el territorio. Mientras que el grueso de la población de la subcuenca de Yanamarca se ubica entre los 3 300 y 3 500 msnm, la mayor parte de la población de la cuenca de Yacus se ubica entre los 3 300 y 3 800 msnm. Producto de ello, la importancia relativa de la actividad ganadera (que incluye el cultivo de pastos así como la actividad ganadera de vacunos y ovinos) es algo mayor en esta segunda subcuenca. En la subcuenca de Yanamarca, en cambio, la actividad agrícola es más importante y mantiene una vinculación significativamente mayor a los mercados.

MÉTODO DE TRABAJO

Con el objetivo de analizar conjuntamente la dimensión micro y meso del territorio bajo estudio, se diseñó una estrategia metodológica que usó un conjunto de metodologías cualitativas y cuantitativas de recojo de información.

Se partió del diagnóstico elaborado en el marco del PROCLIM para la cuenca del río Mantaro, lo que fue complementado con bibliografía adicional que contribuyó a entender mejor el territorio y elaborar el diseño del trabajo de campo cualitativo y cuantitativo[4]. La muestra para la encuesta de hogares se seleccionó a partir de un proceso de muestreo aleatorio, estratificado y multietápico. En la primera etapa se seleccionó a las subcuencas de Yanamarca y Yacus, al interior de estas se estratificó entre parte alta y baja, utilizando como punto de corte los 3 500 msnm. Al interior de cada estrato se seleccionó dos distritos y al interior de estos se muestreó hogares en un total de 16 centros poblados. Los distritos seleccionados aleatoriamente son Molinos y Masma Chiche en la subcuenca de Yacus, y Marco y Acolla en la subcuenca de Yanamarca. Se encuestó a un total de 300 hogares.

[4] Un ejemplo notable se puede encontrar en Tillmann, T. (1997): Las estrellas no mienten... Agricultura y ecología subjetiva andina en Jauja (Perú). Quito: Ediciones Abya-Yala, 1997.

Adicionalmente, se realizó un trabajo de campo cualitativo intenso en el territorio. Los instrumentos aplicados incluyeron la realización de grupos focales y entrevistas semiestructuradas. Se realizó un total de 11 grupos focales a diferentes grupos sociales como Mujeres del Programa de Vaso de Leche (programa social de apoyo a la población en situación de pobreza que prioriza la atención a niños de 0 a 6 años, mujeres gestantes y lactantes), grupos de productores agropecuarios, líderes locales, miembros de comités de regantes, entre otros. Asimismo, se realizó 16 entrevistas semiestructuradas a nivel local. Se entrevistó a autoridades de gobiernos locales y al propulsor de la agenda ambiental en el gobierno provincial, a funcionarios de programas que operan en la zona, como el PSI (Programa Subsectorial de Riego), y a líderes locales como el propulsor de la Mancomunidad de Distritos del Yacus y el propulsor de la iniciativa de reforestación en Tingopaccha, entre otros. Finalmente, se realizó alrededor de 15 entrevistas a nivel supraterritorial, las que incluyen a funcionarios de programas del Ministerio de Agricultura, organismos técnicos especializados del sector público, funcionarios de cooperación internacional y otros profesionales expertos en la temática ambiental.

RESULTADOS DE LA INVESTIGACIÓN

La población local tiende a asociar el *"cambio climático"* a problemas que deben ser atendidos por los gobiernos local o nacional, sobre los que la población no tiene mayor capacidad de reaccionar a nivel individual. En el discurso se recoge una clara demanda por iniciativas estatales de escala subterritorial que les permitan reducir la vulnerabilidad en la producción agropecuaria ante la creciente incertidumbre climática. A esta demanda se suma en algunos casos la necesidad por planificar y administrar mejor el uso del agua en el territorio, y con ello reducir las tensiones entre la parte alta y baja de las subcuencas, no sólo en el área de producción agrícola sino también en el intercambio entre áreas rurales (proveedores, en partes altas) y áreas urbanas (usuarias). En este contexto, dos tipos de instituciones cobran particular importancia en la discusión sobre capacidades de adaptación ante el cambio climático: los gobiernos local, provincial y regional por un lado y las instituciones (formales e informales) que regulan el uso de agua en el territorio. En ambos casos se trata de instituciones que forman parte de estructuras mayores que funcionan a nivel extraterritorial.

Un primer hecho que cabe destacar es que el Gobierno Regional de Junín a través de su Subgerencia de Recursos Naturales y Medio Ambiente, fue la primera región en crear en junio del año 2005, el Grupo Técnico Regional de Cambio Climático, Vulnerabilidad y Adaptación. La Estrategia Regional resultante abarca el periodo 2007-2021. Asimismo, la política regional ambiental, de carácter vinculante, es un referente importante pues considera al cambio climático como una prioridad central. Los instrumentos con los que cuenta incluyen el ordenamiento territorial ambiental, los mecanismos de prevención y alerta temprana, la gestión integrada de cuencas, el cambio de matriz energética, la evaluación ambiental estratégica y la incorporación del componente ambiental en la formulación del presupuesto y la inversión pública.

Si bien el Gobierno Regional de Junín parece contar con varios planes en marcha, la mayor parte de la discusión y formulación de planes de desarrollo local parece concentrarse en mejoras en la calidad de agua afectada por relaves mineros y residuos sólidos, y no tanto en la incertidumbre que el cambio climático estaría generando en los ciclos productivos y la

disponibilidad de agua (dos aspectos que fueron reiteradamente reportados por la población local).

Siguiendo con las iniciativas locales, el Gobierno Provincial ha avanzado en la creación de la Comisión Ambiental Municipal como órgano de coordinación y concertación de la política y gestión ambiental[5]. Asimismo, realizó talleres participativos sobre temas de ordenamiento territorial y zonificación ecológica económica. En dicha Comisión participan, por el lado del sector no gubernamental el CIP Yacus[6], la ONG ADALID y la Universidad Nacional del Centro; mientras que por el lado público, la Unidad de Gestión Local (UGEL Jauja), la Comisión Ambiental Regional de Junín, el Programa Subsectorial de Irrigaciones del Ministerio de Agricultura y el Proyecto Mantaro Revive. Asimismo, se avanzó de manera incipiente en la promoción del riego tecnificado (riego por aspersión, microaspersión, por goteo) a partir de parcelas demostrativas implementadas en coordinación con el Programa Subsectorial de Irrigaciones.

Adicionalmente, el gobierno provincial ha avanzado en alianzas con otro gobierno provincial (Concepción) para acceder a financiamiento del Gobierno Regional para desarrollar un proyecto de acondicionamiento territorial (zonificación ecológico económica). Sin embargo, las acciones emprendidas a nivel del Gobierno Provincial continúan centradas en toma de conciencia, implementación de normas y proyectos de reforestación de pequeña escala, quedando aún pendiente el despliegue del Plan de Acción y Agenda Ambiental Provincial de Jauja 2008-2015, aprobado en diciembre del 2007.

A nivel de municipalidades distritales, ocurrió un avance significativo en el desarrollo institucional de la subcuenca de Yacus, donde se creó una mancomunidad de municipios distritales. La creación formal de la mancomunidad de Yacus permitirá en principio a los municipios que la integran acceder a financiamiento del Gobierno Central de manera preferente y con ello, financiar proyectos de mayor envergadura y que incorporen a diferentes partes de la subcuenca. Sin embargo, hasta el momento uno de los principales obstáculos para su consolidación es la debilidad de los cuadros técnicos de las municipalidades rurales que son los encargados de plantear los proyectos a ser financiados.

A pesar de que hay avances importantes en los espacios de planificación a nivel del territorio, aún no ha se logrado articular estas propuestas con las iniciativas del gobierno regional. Se observa una desarticulación entre el gobierno provincial, principal propulsor de los planes de desarrollo ambiental, y el Gobierno Regional de Junín y Gobierno Nacional.

El segundo tipo de institución que cabe mencionar es el asociado a la regulación de acceso y uso del agua. Los cambios impredecibles en frecuencia e intensidad de lluvias y eventos extremos han generado una intensificación de los conflictos estacionales vinculados al uso

[5] A las cuales se unen la Subgerencia de Gestión Ambiental y la Comisión Permanente de Regidores de Gestión Ambiental.
[6] Aunque actualmente no se encuentra activo.

del agua, debido a que su demanda para consumo humano, generación de energía hidroeléctrica y uso agrícola, se enfrenta con la escasez y, sobretodo, incertidumbre en los flujos de agua.

Si bien la disponibilidad de agua es bastante heterogénea, la preocupación por el acceso y normas de uso del recurso es creciente y generalizada en el territorio. Se observan diversas iniciativas de captación y regulación de agua para uso agrícola que incluyen desde proyectos de reforestación en diferentes partes del territorio hasta un gran proyecto de infraestructura de riego en la margen derecha del río Mantaro.

VULNERABILIDAD AL CAMBIO CLIMÁTICO EN EL TERRITORIO

Con relación a los principales cambios en las condiciones climáticas locales, los actores del territorio coinciden en que el principal problema radica en la mayor incertidumbre climática, la que se habría exacerbado en los últimos diez años. Sin embargo, cuando se pregunta por el tipo de evento climático que más afecta al territorio, se encuentra cierta heterogeneidad: mientras en las partes bajas los mayores riesgos están asociados a sequías e inundaciones, en las partes altas los principales problemas estarían asociados a heladas.

En la zona de estudio los meses de enero a marzo estaban caracterizados históricamente como la época de lluvias, entre junio y agosto el clima era muy frío y se presentaban heladas en las partes altas de las microcuencas; mientras las partes bajas enfrentaban la estación seca. La percepción obtenida a partir de las encuestas y entrevistas apunta a que este patrón estacional se ha vuelto incierto, lo que afectó seriamente la rentabilidad de las estrategias de generación de ingresos que se venían implementando y agudizó la vulnerabilidad en salud y exacerbó la conflictividad en torno al manejo de recursos, en especial el agua. Estos impactos han generado reacciones diversas que a su vez han tenido distinto grado de éxito.

En la dimensión productiva, los agricultores reportan tener una serie de problemas asociados a las nuevas condiciones climáticas. En primer lugar, la creciente incertidumbre climática dificulta el cálculo del periodo óptimo de siembra y cosecha. Según los entrevistados, antes el clima era "más parejo y más estable" que ahora[7]. Un ejemplo mencionado en varias oportunidades es la aparición repentina (inesperada) de la helada en el periodo de floración de la papa, el principal cultivo de la zona, tras lo cual se reduce la productividad del cultivo y en algunos casos, incluso la destrucción de la cosecha entera. Asimismo, en partes altas se reporta que la producción de subproductos de la papa como el chuño (papa seca, expuesta al sol y a fríos extremos) se ha visto afectada por el incremento abrupto de la temperatura en épocas en las que tradicionalmente se enfrentaba heladas. Adicionalmente, según reportes de los agricultores (además del estudio de PROCLIM), las nuevas condiciones climáticas repercuten en una mayor presencia de plagas que afectan los cultivos. Ante este problema, se recurrió a un uso excesivo de agroquímicos, lo que según la población consultada, habría llevado a un deterioro del ecosistema e incluso la desaparición de algunos animales endémicos (sapo, aves).

[7] Citas recogidas en grupos focales y entrevistas: "Antes de enero a marzo era época de lluvias, había un cronograma, pero ahora no.." "Hace 20, 30, 40 años el tiempo era normal, confiabas para sembrar, curso natural de floración".

Con relación a la producción ganadera en partes altas del territorio, las temperaturas extremas y la mayor variabilidad climática han reducido la calidad y cantidad de los pastos disponibles obligando a los productores a recurrir a la compra de pastos cultivados reduciendo la rentabilidad del negocio ganadero (carne y leche). En el caso de camélidos y ovinos que no están acostumbrados al consumo de pastos cultivados, la menor calidad de la alimentación (pastos naturales) se ha traducido en una menor calidad y cantidad de fibra o lana. Cabe resaltar que la construcción de cobertizos y producción o compra de pastos cultivados es señalada por los entrevistados como la estrategia más efectiva para protegerlos de las temperaturas extremas y proveerles alimentación adecuada. Sin embargo, debido a sus altos costos esta estrategia no sería viable para la mayoría de productores del territorio. Esta percepción fue corroborada en la encuesta, donde menos del 5 % de los productores pecuarios reportaron llevar a cabo este tipo de prácticas.

Finalmente, la variabilidad climática ha exacerbado los ya existentes problemas asociados a la geología superficial, especialmente deslizamientos y erosión de suelos en las partes medias de las microcuencas, incrementando la vulnerabilidad a deslizamientos de roca y lodo hacia las partes bajas de las microcuencas, cuando en época de helada se suscitan incrementos repentinos de las temperaturas en las partes altas.

ESTRATEGIAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO A NIVEL INDIVIDUAL Y COMUNAL

Siguiendo a *Agrawal (2008)*[8], se clasificó las estrategias identificadas en las entrevistas preliminares a la encuesta en varios tipos, las asociadas a la diversificación de portafolio de actividades y tecnologías productivas, las asociadas a la acumulación de recursos para enfrentar periodos de escasez, y las asociadas a estrategias de movilidad (migración temporal, remesas). Todas ellas fueron incorporadas en la encuesta. A estas se añaden estrategias comunales que se evidencian tanto en las estrategias reportadas a nivel individual como en estrategias colectivas que se explicitan más adelante.

Es importante resaltar que casi un tercio de los hogares encuestados implementa al menos una estrategia aunque ninguna estrategia específica es masivamente utilizada por los hogares del territorio. Al respecto, es importante notar que las principales estrategias reportadas por los hogares están asociadas a la adaptación de tecnologías productivas y de protección de recursos. Además, se observa heterogeneidad entre la parte alta y baja del territorio, en especial en la subcuenca de Yanamarca.

Como es de esperar, los hogares en condición de pobreza son los grupos más vulnerables en términos de su capacidad de implementar estrategias individuales para afrontar las nuevas condiciones climáticas. Un grupo particularmente vulnerable es el de familiares que dependen económicamente del migrante (niños, padres ancianos). Aquellos con menor capital financiero o capacidad de acceder a él tienen menores posibilidades de implementar estrategias de protección de sus recursos productivos. Sin embargo, más allá de la restricción financiera, el análisis econométrico encuentra que los activos fundamentales para implementar este tipo de estrategias son la educación (asociada a información y

[8] Agrawal, Arun. 2008. The Role of Local Institutions in Adaptation to Climate Change. Washington, DC, USA: The World Bank.

capacidad de elegir la estrategia más adecuada para el tipo de amenaza que el hogar enfrenta) y el capital social (entendido como el acceso a redes y contactos que faciliten el acceso a información o actividades promovidas por programas públicos como PSI, gobiernos locales y ONG).

Más allá de las respuestas individuales, hay una serie de procesos institucionales que se están gestando en la zona, principalmente en torno a iniciativas de reforestación, algunos de los cuales fortalecen las capacidades de adaptación al cambio climático de la población local. Estos procesos han sido liderados en algunos casos por personas específicas, con el respaldo de sus comunidades, y en otros por las municipalidades distritales y provinciales del territorio. Entre los primeros resalta el de la comunidad de Tingopaccha, en la parte alta del valle de Yanamarca. Hace quince años esta parte del territorio enfrentaba problemas de escasez de agua, sobrepastoreo y erosión de suelos, entre otros. Para hacer frente a estos problemas se inició un proceso masivo de reforestación con pino. Luego de más de diez años, se observa una mejora notable en la disponibilidad de agua.

Asimismo, las autoridades del territorio, en especial la Municipalidad Provincial de Jauja, muestran un interés especial por la reforestación como medida para enfrentar la escasez de agua y problemas asociados a eventos climáticos extremos como las inundaciones y avalanchas. Años atrás, a la deforestación para ampliación de frontera agrícola se sumaban tradiciones locales como el "cortamonte" durante la época de carnavales. Esta celebración consiste en el corte ritual de árboles y es una de las más arraigadas de la región. La Municipalidad Provincial calcula que en un solo año pueden desparecer hasta 10 000 árboles. Para subsanar los efectos negativos se ha emitido recientemente una ordenanza que instituye el "plantamonte" o *sachatalqui xauxa;* es decir, la obligación de los padrinos del "cortamente" de plantar previamente diez unidades por cada árbol que se tenga previsto derribar durante la celebración. Con el fin de asegurar la viabilidad de esta ordenanza, la municipalidad ha facilitado la contratación de bandas y músicos para acompañar el plantado.

ESTRATEGIAS DE GENERACIÓN DE INGRESOS A ESCALA TERRITORIAL

Los resultados de la exploración retrospectiva (usando la encuesta de hogares) dan cuenta del cambio importante en la estructura de ingresos en el territorio a lo largo de los últimos 25 años. La importancia relativa de la actividad agrícola independiente se ha reducido (de 55 % a 38 %), la actividad ganadera ha mantenido su importancia relativa, mientras que la importancia del trabajo asalariado no agrícola y del ingreso por remesas y transferencias se ha incrementado sustantivamente.

La percepción de los productores es que la productividad y los ingresos por ventas de la actividad agrícola han disminuido y hay una tendencia a que se incremente la importancia relativa del autoconsumo. La disminución de la importancia relativa de los ingresos agrícolas se ha visto compensada por la inserción de los miembros del hogar (típicamente el jefe del hogar generalmente) en actividades no agrícolas independientes (albañil, obrero de construcción, aparición de un pequeño negocio de comercio al por menor) y agrícolas asalariadas (peón agrícola). También se observa que, en comparación con años anteriores, los hogares han empezado a recibir ingresos por transferencias, en especial del Programa

JUNTOS (programa público de transferencias condicionadas) y remesas, asociadas a la migración de algún miembro del hogar a otras zonas del país. Respecto al pasado más distante (hace 25 años) las actividades económicas agrícola y ganadera continúan siendo las más importantes, pero el incremento del peso de las fuentes de ingresos por actividades no agropecuarias es percibido como muy relevante.

Este cambio en la estructura de ingresos se puede explicar en parte por el cambio en la estructura de precios relativos en las últimas dos décadas, donde el encarecimiento del costo de los insumos para producir papa (el principal cultivo del valle) habría reducido la rentabilidad de la actividad agropecuaria. Ello, aunado a la mayor incertidumbre climática, a una pérdida de fertilidad de las tierras agrícolas (65 % de los hogares perciben que la fertilidad de sus tierras agrícolas se ha reducido en los últimos 10 años) y a crecientes problemas en el acceso a agua para riego (76 % de los hogares reportan tener problemas de acceso a agua para riego) configura un escenario donde la actividad agrícola habría reducido su atractivo debido a los simultáneos aumento en riesgo y reducción de la rentabilidad relativa de la misma.

La mejora del precio relativo de los productos lácteos y carnes respecto a la papa habría permitido que los ingresos pecuarios sustituyan a los agrícolas, especialmente en la subcuenca de Yacus. En cambio, en la subcuenca de Yanamarca, la menor importancia relativa del ingreso agrícola ha sido compensada con un incremento importante de las fuentes asociadas a remesas y transferencias, en un contexto donde 37 % de los hogares (29 % en Yacus y 40 % en Yanamarca) tienen vinculaciones económicas fuera del territorio, ya sea vía doble residencia o a través de conexiones vía remesas con familiares.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Agrawal, Arun. 2008. *The role of local institutions in adaptation to climate change*. Washington, DC, USA: The World Bank.

Tillmann, T. 1997. *Las estrellas no mienten... Agricultura y ecología subjetiva andina en Jauja (Perú)*. Quito: Ediciones Abya-Yala, 1997.

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

Ana Iju Fukushima
Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA
aiju@minam.gob.pe

IMPACTO DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LOS GLACIARES ANDINOS

Los glaciares constituyen la principal reserva de agua dulce del mundo dando sustento a los ecosistemas y poblaciones que dependen de sus deshielos. En la región andina juegan un papel importante como reguladores del sistema hidrológico al proveer de agua durante las épocas de poca lluvia permitiendo contar con un caudal mínimo de agua para consumo humano, agricultura, generación hidroeléctrica y otras actividades económicas.

Vergara et al. (*2007*)[1] subraya que, de acuerdo a los modelos de circulación global, el aumento de temperatura en los Andes excedería las proyecciones para las zonas bajas. La tasa de incremento de temperatura en los Andes sería al menos dos veces mayor que el incremento promedio de temperatura. Estos cambios afectarán irreversiblemente la ecología andina, incluyendo a los glaciares tropicales y otros sistemas de alta montaña (Figura 1). Según los resultados de algunos estudios, se estima que los glaciares andinos de baja altitud podrían desaparecer completamente en los próximos 10 a 20 años *(Bradley et al, 2006 y Ramírez et al, 2001 citado en Vergara, 2007 p. 4*).

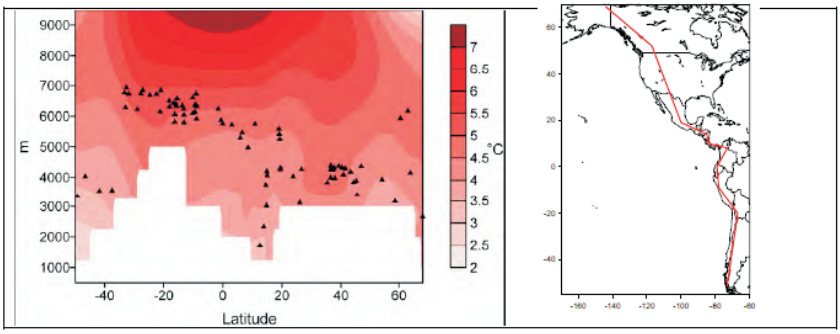


Figura 1. Cambios proyectados en temperatura para la Cordillera Americana desde Alaska hasta el sur de Chile entre 1990-1999 y 2090-2099. Fuente: Bradley et al, 2006 citado en Vergara, 2007 p. 4

El Perú cuenta con el 71 % de los glaciares tropicales del mundo. En los últimos años, los glaciares peruanos han presentado una tasa de deglaciación preocupante. Se estima que desde el año 1980 ha desaparecido el 22 % de la superficie cubierta por glaciares, afectando los procesos de regulación del flujo hídrico de la costa peruana. Otro de los impactos del

[1] Vergara et al, 2007. *Visualizing Future Climate in Latin America: Results from the application of the Earth Simulator.* World Bank

retroceso glaciar es el incremento de lagunas y sus volúmenes, aumentando de esta manera los riesgos de desastres debido al desborde de estas lagunas y formación de aludes.

En el caso de la cuenca del Mantaro, el caudal del río Mantaro 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 Oriental y Occidental. En total son siete ríos los que drenan en el valle del Mantaro por la vertiente oriental, incluyendo al río Shullcas (*SENAMHI, 2007*[2]).

El río Shullcas es alimentado por los desagües de las lagunas Chuspicocha y Lazo Huntay, y éstas, a su vez, por la fusión del hielo glaciar de la cordillera Huaytapallana, manteniendo un caudal permanente durante todo el año, el mismo que se incrementa durante los meses de enero-marzo.

En el cono de deyección del río Shullcas se ubica en Huancayo, uno de los centros poblados más importantes de la región central del país, con aproximadamente 700 000 habitantes. Las aguas del río Shullcas constituyen la principal fuente de abastecimiento de agua potable para Huancayo; asimismo alrededor de 2 mil hectáreas de cultivos se abastecen del agua del río Shullcas en ambas márgenes del río (*INRENA 2007, citado en SENAMHI, 2007 p. 19*).

Diversos estudios muestran que la desaparición de los glaciares está estrechamente vinculada al cambio climático global. Los modelos de circulación global prevén un aumento generalizado de la temperatura en los Andes, la cual sería más elevada por encima de los 4 000 msnm. De acuerdo a los experimentos realizados por SENAMHI con el modelo japonés de alta resolución utilizando el supercomputador Simulador de la Tierra, se proyecta que para fines del siglo XXI, las temperaturas máxima y mínima en la cuenca del Mantaro se habrán incrementado, en promedio, 2,7 °C y 2,3 °C, respectivamente; acentuándose también la reducción de las precipitaciones en verano e invierno, y en los sectores norte y centro de la cuenca principalmente.

Del análisis realizado como resultado de estos experimentos, se prevé que las zonas más vulnerables de la cuenca del Mantaro corresponden a los sectores próximos a la subcuenca del Shullcas y a las partes altas del sector norte de la cuenca, es decir el calentamiento y reducción de lluvias se manifestarán más explícitamente en estos sectores ubicados por encima de los 4 000 msnm (*SENAMHI, 2007*).

El aumento de la temperatura produciría un aumento temporal de los caudales de los ríos abastecidos por glaciares, seguido de una drástica disminución en el volumen de los recursos hídricos. Una disminución en la oferta hídrica sumado a la reducción proyectada de las lluvias afectaría las actividades que dependen de este recurso, tales como las actividades agropecuarias, generación de energía hidroeléctrica y consumo humano.

[2] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología – SENAMHI, 2007, *Escenarios de Cambio Climático en la Cuenca del río Mantaro para el año 2100*. Fase de preparación del "Proyecto de Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA".

El proyecto "Adaptación al Impacto del Retroceso Acelerado de Glaciares en los Andes Tropicales – PRAA" es implementado con el objetivo de reducir la vulnerabilidad de las poblaciones que viven en cuencas dependientes de glaciares frente a los impactos del cambio climático. Una de las cuencas priorizadas en el PRAA es la subcuenca del río Shullcas, en la cual se implementarán medidas de adaptación al cambio climático bajo el enfoque de gestión integral de la cuenca, promoviendo la mejor gestión del recurso hídrico así como mejores prácticas para el manejo de suelos.

¿QUÉ ES EL PRAA?

El PRAA tiene como objetivo reforzar la resiliencia de los ecosistemas y economías locales ante los impactos del retroceso glaciar en los Andes Tropicales a través de la implementación de actividades piloto que muestren los costos y beneficios de la adaptación al cambio climático en cuencas seleccionadas en Bolivia, Ecuador y Perú. Cuenta para su implementación con fondos de donación recibidos a través del Banco Mundial por un total de US$ 7,49 millones del GEF[3] y US$ 0,85 millones del fondo PHRD del gobierno japonés, este último para la implementación de una red de monitoreo de glaciares. Estos fondos son administrados por la Secretaría General de la Comunidad Andina a solicitud de los países beneficiarios, y se ejecutarán hasta septiembre 2012.

Cabe mencionar que el monto total estimado para la ejecución del PRAA, incluyendo los aportes de contrapartida de entidades nacionales y otros recursos adicionales aportados por entidades socias se estima en aproximadamente US$ 33 millones. El monto total estimado para Perú es de US$ 2 840 000 de recursos de donación y US$ 5 250 000 de recursos de contrapartida, de estos últimos el 85 % son recursos en efectivo y el resto en especies.

En el Perú, la entidad responsable del PRAA es el Ministerio del Ambiente, a través de la Dirección General de Cambio Climático, Desertificación y Recursos Hídricos del Viceministerio de Desarrollo Estratégico de los Recursos Naturales. Con la finalidad de facilitar la ejecución del PRAA, el Ministerio del Ambiente ha establecido alianzas con diversas entidades nacionales, regionales y locales a través de la suscripción de convenios de cooperación interinstitucionales con el Ministerio de Agricultura-AGRORURAL, SENAMHI y la Municipalidad Distrital de Santa Teresa. A la fecha están en proceso la suscripción de convenios con otras entidades involucradas en la ejecución del PRAA, incluyendo al Gobierno Regional de Cusco, Gobierno Regional de Junín, Instituto Geofísico del Perú y SEDAM Huancayo.

ZONAS DE INTERVENCIÓN DEL PRAA

Las actividades piloto de adaptación al cambio climático se ejecutarán en dos cuencas priorizadas, las mismas que han sido seleccionadas considerando su vulnerabilidad, importancia política, impacto socio-económico, pobreza y su relación con glaciares, así como la disponibilidad de información de base que facilitó el diseño de las medidas de adaptación a ser implementadas.

[3] GEF es el Fondo Mundial del Medio Ambiente

Subcuenca del Shullcas:

El río Mantaro es uno de los ríos más importantes de los Andes Centrales Peruanos cuyo 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. Esta cuenca es de gran importancia económica para el país debido a su contribución en la generación de energía eléctrica, producción agrícola que abastece principalmente a Lima y población involucrada. Dentro de la cuenca del Mantaro el área de trabajo específico seleccionado como ámbito de intervención del PRAA es la subcuenca del Shullcas (Figura 2), asociada al nevado Huaytapallana.

Microcuencas en Santa Teresa:

La cuenca del Urubamba en la región Cusco es importante debido a la presencia de glaciares y su impacto en la disponibilidad del recurso hídrico, así como su importancia económica y su valioso patrimonio cultural y natural. Dentro de la cuenca del Urubamba, el área de trabajo específico definido para la implementación del PRAA son las microcuencas ubicadas en Santa Teresa, en la provincia de La Convención, asociada a los nevados Salkantay y Sacsara.

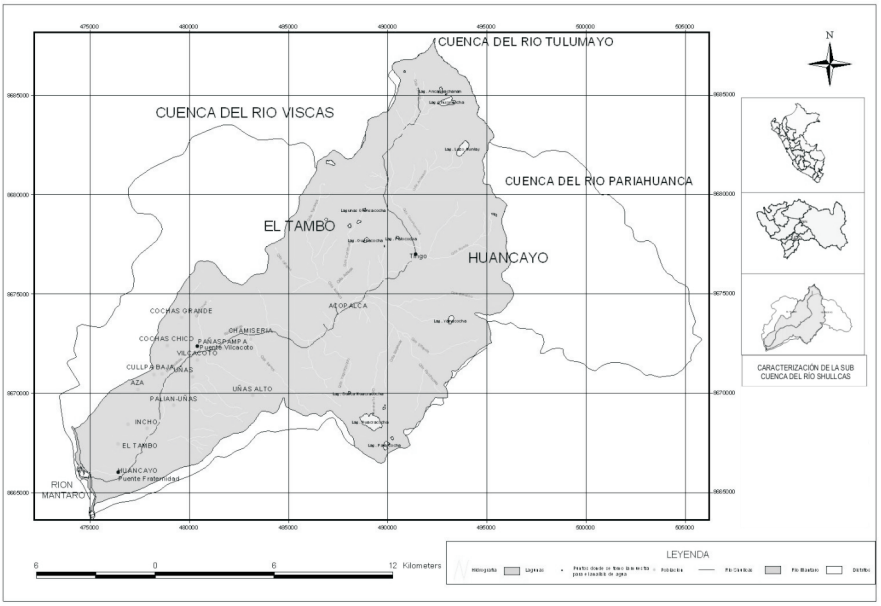


Figura 2. Ámbito de trabajo del PRAA en la región Junín: subcuenca del Shullcas

COMPONENTES DEL PRAA

El PRAA está organizado en tres componentes:

Componente 1. Diseño específico de medidas de adaptación

Este componente está orientado a generar información útil para el diseño de medidas de adaptación, promoviendo la utilización de esta información en los procesos de planificación local y regional y de asignación de presupuestos. Adicionalmente, este componente incluirá el diseño e implementación de una estrategia de comunicación para la difusión de la temática del cambio climático e impactos del retroceso glaciar así como de los avances y resultados específicos del PRAA.

Para la región Junín, como resultado de este componente, se contará con un Atlas Climático actualizado y escenarios de cambio climático al 2030 para la cuenca del río Mantaro así como con un estudio de caracterización agroclimática, evaluación del impacto del cambio climático (al año 2030) y propuesta de medidas de adaptación para cultivos seleccionados en la subcuenca del río Shullcas; ambos estudios están a cargo del SENAMHI.

Asimismo, se apoyará a los gobiernos locales en la formulación de estrategias locales de adaptación al cambio climático, apoyando igualmente al logro de las políticas y estrategias regionales con relación a cambio climático y gestión de recursos hídricos.

Componente 2. Implementación de medidas piloto de adaptación al cambio climático

Este componente está orientado a implementar medidas piloto de adaptación al cambio climático para mejorar la gestión del recurso hídrico en las cuencas glaciares seleccionadas, a fin de lograr que las comunidades afectadas puedan adecuar sus actividades a la inminente reducción de la disponibilidad del recurso debido al derretimiento glaciar.

Específicamente, se implementarán mejores prácticas para el uso del recurso hídrico, incluyendo sistemas de riego tecnificado, mejores prácticas agrícolas, mejoramiento en la infraestructura de almacenamiento de agua, diversificación de la producción agrícola, utilización de especies resistentes a estrés hídrico y variaciones de temperatura. También se tiene previsto la implementación de prácticas para la conservación de praderas altoandinas y reforestación, así como planes de gestión a nivel de cuencas y fortalecimiento de las organizaciones para la gestión del agua. Asimismo, se han previsto elaborar diagnósticos y planes de acción frente a desembalses y aluviones de lagunas glaciares.

Las medidas de adaptación al cambio climático se implementarán a través de la ejecución de 3 pilotos, para lo cual se formularon diversos proyectos que se organizaron según lo siguiente:

Piloto 1. Implementación de un Plan de Gestión de Agua orientado a mejorar el uso del recurso hídrico

El piloto 1 se implementará en la región Junín a través de los siguientes proyectos:

- Proyecto de inversión pública "Reforestación en la Subcuenca Shullcas" financiado por AGRORURAL y el Banco Mundial.

- Proyecto de inversión pública "Conservación de Praderas Altoandinas en la Subcuenca Shullcas" financiado por AGRORURAL y el Banco Mundial.

Piloto 2. Implementación de un Plan de Producción Agrícola que considere la reducción de la disponibilidad de agua debido al retroceso glaciar.

El piloto 2 se implementará en la región Junín a través de los siguientes proyectos:

- Proyecto de inversión pública "Sistema de riego tecnificado en la subcuenca Shullcas" financiado por AGRORURAL y el Banco Mundial.
- Proyecto de inversión pública "Mejoramiento de canal de riego en la subcuenca Shullcas" financiado por AGRORURAL y el Banco Mundial.

Piloto 3. Implementación de un Plan Integral de Gestión del Agua en Huancayo que considere la reducción de escorrentía debido al retroceso glaciar

El piloto 3 se implementará en la región Junín a través del siguiente proyecto:

- Proyecto "Construcción de capacidades para la adaptación a los efectos del cambio climático en el uso y la gestión del agua en áreas urbanas de la subcuenca Shullcas" financiado por CARE-UNHABITAT y el Banco Mundial.

Los proyectos de inversión pública serán ejecutados por AGRORURAL con el acompañamiento de CARE como socio estratégico del PRAA, mientras que el proyecto del piloto 3 será ejecutado por CARE.

Componente 3. Monitoreo de Glaciares

Este componente está orientado al monitoreo del comportamiento glaciar en dos nevados seleccionados: Huaytapallana (Figura 3) en la región Junín y Salkantay en la región Cusco. Se instalarán 2 estaciones hidrometeorológicas en los nevados seleccionados y se contarán con imágenes del satélite japonés ALOS de las áreas glaciares.



Figura 3. Foto del Huaytapallana

Específicamente para la región Junín, como resultado de este componente, se contará con un estudio de la caracterización de la oferta hídrica y escenarios de disponibilidad hídrica al año 2030 para la subcuenca del río Shullcas, el cual está a cargo de SENAMHI. Adicionalmente, como parte del componente 3 se realizará un estudio para la evaluación económica de los impactos del retroceso glaciar y un estudio sobre los impactos del cambio climático en páramos.

¿QUÉ SE ESPERA LOGRAR?

Como resultado del PRAA se espera lograr que:

- Las implicancias del retroceso glaciar y cambio climático sean consideradas en la planificación regional y local.
- Las medidas piloto de adaptación a ser implementadas generen información y lecciones útiles respecto a costos y beneficios de la adaptación, con la finalidad de poder ser replicadas a mayor escala.
- La red de observación y monitoreo de glaciares sea operada y mantenida por el SENAMHI y produzca información relevante y confiable.
- El conocimiento y sensibilización local y regional respecto a los impactos del retroceso glaciar se incremente.

Gestión de riesgos y cambio climático: retos del proyecto MAREMEX- Mantaro

Alejandra Martínez
Instituto Geofísico del Perú
alejandra.martinez@igp.gob.pe

INTRODUCCIÓN

La cuenca del río Mantaro es altamente vulnerable a eventos meteorológicos extremos relacionados con la variabilidad climática, y de acuerdo con proyecciones recientes, esta vulnerabilidad se incrementaría en los próximos años debido al cambio climático (*IGP, 2005c*). Los eventos meteorológicos extremos constantemente generan desastres *naturales* que afectan a la población del país y a sus principales actividades económicas. A pesar de ello, existe solamente un limitado número de investigaciones en los aspectos físicos de estos eventos y su aplicación para la prevención de desastres.

En la cuenca, el valle del Mantaro concentra el grueso de actividades relacionadas con comercio y servicios, y la agricultura de la zona provee de importantes productos (papa, haba, maíz, kiwicha, etc.) a las principales ciudades de la costa, como la capital del país; por otro lado, entre el 70-75 % de la agricultura se hace bajo el sistema de secano, es decir, dependiente de las lluvias. Existe además una enorme parcelación de la tierra, con cerca de un 80 % de parcelas pertenecientes a muy pequeños, pequeños y medianos productores, que tienen como característica la diversificación de cultivos, lo que impide su inserción en mercados muy grandes (por ejemplo para exportación). Así, esta diversificación es un mecanismo de protección ante eventos climáticos y meteorológicos extremos (*Torres, 2008*) y variaciones en el mercado.

La población del valle es de aproximadamente 500 000 habitantes, los cuales están localizados principalmente en tres ciudades: Huancayo, Jauja y Concepción, donde se concentra cerca de un 70 % del total de la población; no obstante, este porcentaje es relativo dado que existe una población flotante que se moviliza entre los entornos rural y urbano, gracias a la estacionalidad de la agricultura. En el valle coexisten y se complementan dos entornos paralelos: el urbano y el rural, con importantes diferencias como la densidad poblacional, actividades económicas diversas, entre otros. Sin embargo, el entorno urbano tiene componentes rurales y el entorno rural, a su vez, tiene componentes urbanos y las fronteras entre ambos entornos son – en muchos casos - difusas, y los enlaces muy fuertes (*De la Cadena, 1988*).

Tanto la población urbana como la rural son altamente vulnerables a los eventos meteorológicos extremos, los mismos que pueden convertirse en desastres de gran magnitud. Estos eventos han sido identificados usando diferentes fuentes de información, como datos

meteorológicos, información de periódicos locales, entrevistas y encuestas. Los resultados son mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Eventos meteorológicos identificados en el valle del Mantaro, y sus impactos negativos. Adaptado de Martínez (2007)

Ámbito	Eventos meteorológicos identificados y sus impactos negativos		
	Lluvias intensas que provocan deslizamientos	**Sequías**	**Heladas**
Urbano	Pérdidas en infraestructura de transporte (puentes, caminos, etc.), vivienda y agua potable; pérdidas de vidas humanas	Cortes en el servicio de agua potable; reducción en la generación de energía hidroeléctrica	Enfermedades bronco pulmonares, especialmente en niños y ancianos
Rural	Pérdidas de tierras agrícolas, semillas, infraestructura agrícola (canales, caminos rurales, etc.), erosión	Conflictos de agua; descenso en el rendimiento de los cultivos; incremento de plagas y enfermedades de las plantas	Enfermedades bronco pulmonares, especialmente en niños y ancianos; impactos agropecuarios como descenso en el rendimiento de los cultivos; bajo rendimiento de leche y carne vacuno y ovino (*)

(*) Testimonios de vida de los agricultores valle del Mantaro (Conveagro, 2007)

Los eventos meteorológicos identificados son: eventos de lluvias intensas, sequías y heladas, con impactos bien diferenciados para los entornos rural y urbano, los mismos que se ven agravados porque con frecuencia estos eventos ocurren simultáneamente. Entre estos impactos están: pérdida de vidas humanas, daños en casas e infraestructura urbana, pérdida de infraestructura agrícola, disminución en la producción agropecuaria, pérdidas en hombres/hora de trabajo, niño/horas de estudio, escasez de alimentos, cortes en el servicio de agua potable y energía eléctrica, etc., los mismos que no siempre son fácilmente cuantificables.

A esta situación se suma la amenaza del cambio climático y las consecuencias negativas que podría acarrear. Escenarios climáticos futuros desarrollados para la zona de estudio *(Takahashi, 2005; IGP, 2005b)*, presentan resultados que son coherentes con las tendencias de los datos meteorológicos observados, y con la percepción de la población *(IGP, 2005c)*. Los resultados para la zona central de la cuenca del río Mantaro, donde se encuentra localizado el valle del río Mantaro, nos dan los siguientes resultados esperados para el año 2050:

- Aumento de la temperatura en 1,3 °C.

- Disminución de un 19 % de la precipitación durante los meses de diciembre a febrero.
- Disminución de 6 % en la humedad relativa.

Estos resultados son alarmantes, ya que impactarían directamente en el ya acelerado proceso de ablación del glaciar Huaytapallana, afectando el abastecimiento de agua potable y agua para la agricultura, e incrementando los conflictos por agua que surgieron en los últimos años. Además, el incremento de temperatura del aire elevaría la presencia de plagas y enfermedades en la agricultura; y la disminución de humedad relativa podría significar heladas más frecuentes e intensas. También debe tenerse en cuenta numerosos factores socioeconómicos, como el incremento poblacional, el cual a su vez aumentaría la presión sobre los recursos.

Adicionalmente, la gestión de riesgos aún está escasamente desarrollada, situación que se debe - en parte -, a la falta de información sobre las características y desarrollo de los eventos extremos; la debilidad de las instituciones y su escasa interacción entre ellas y con la población; escaso acceso a la información por parte de las comunidades potencialmente afectadas, etc. Todos estos factores finalmente afectan las acciones que deben ser tomadas, antes, durante y después de estos eventos meteorológicos, y no existen planes de prevención a largo plazo, sólo planes de contingencia ante emergencias, y que en muchos casos no llega a la población directamente afectada.

EL PROYECTO MAREMEX-MANTARO

Es en el contexto descrito líneas arriba, que en febrero del año 2009 se dio inicio al proyecto "Manejo de Riesgos ante Eventos Meteorológicos Extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) Como Medida de Adaptación Ante el Cambio Climático en el Valle del Mantaro", conocido como MAREMEX-Mantaro. Proyecto ejecutado por el Instituto Geofísico del Perú[1] con financiamiento del International Development Research Centre (IDRC) de Canadá[2], y con una duración de 36 meses, tiene por objetivo principal el de fortalecer la capacidad en el manejo del riesgo ante eventos meteorológicos extremos por parte de la población así como de las instituciones que tienen el manejo de los recursos naturales a su cargo, a fin de disminuir la vulnerabilidad de la población urbana y rural en el valle del Mantaro.

Entre los objetivos específicos que busca el proyecto están: a) Fortalecer y profundizar los estudios sobre causas, ocurrencia e impactos de heladas, sequías y fenómenos de lluvias intensas en la región; b) Identificar los actores claves involucrados y evaluar las actuales capacidades de los pobladores del valle del Mantaro en el manejo del riesgo de desastres, por eventos meteorológicos extremos; c) Elaborar un plan integrado de manejo de riesgo y estrategias de adaptación frente a heladas, sequías y lluvias intensas en el valle del Mantaro, con la participación de autoridades locales, gobiernos regionales, comunidades, ONG y otros actores relevantes, y d) Promover el fortalecimiento institucional y difusión de los resultados del proyecto a la población, instituciones y medios científicos, a través de la

[1] www.igp.gob.pe
[2] www.idrc.ca

creación o fortalecimiento de capacidades de investigación de entidades e investigadores locales en temas de adaptación al cambio climático.

Los sectores económicos priorizados son aquellos en los que se identificaron mayores impactos negativos ocasionados por eventos meteorológicos extremos: salud, agricultura y ganadería. Paralelamente, se han identificado tres temas transversales de estudio: recurso agua, género y educación.

Debido a la amplitud de la zona de estudio, también se priorizaron zonas de estudio, las que se escogieron tomando en cuenta varios factores: representatividad de ecosistemas, vulnerabilidad a la ocurrencia de los eventos meteorológicos identificados, accesibilidad, existencia de zonas urbanas de importancia, interés e intención de participar, etc.

Se identificó un corte transversal al valle que finalmente sobrepasó sus límites generalmente reconocidos, y que incluyen a las subcuencas de Achamayo, Shullcas y Alto Cunas, que corresponden a las provincias de Concepción, Huancayo y Chupaca, respectivamente. Las zonas urbanas priorizadas son las capitales de cada una de las provincias involucradas y cuyos nombres son coincidentes. Adicionalmente se identificaron distritos en zonas rurales específicas de estudio: 9 de Julio, Anexo de Acopalca y San Juan de Jarpa, que corresponden a las subcuencas de Achamayo, Shullcas y Alto Cunas, respectivamente. En la Figura 1 se puede apreciar un mapa de las zonas descritas[3].

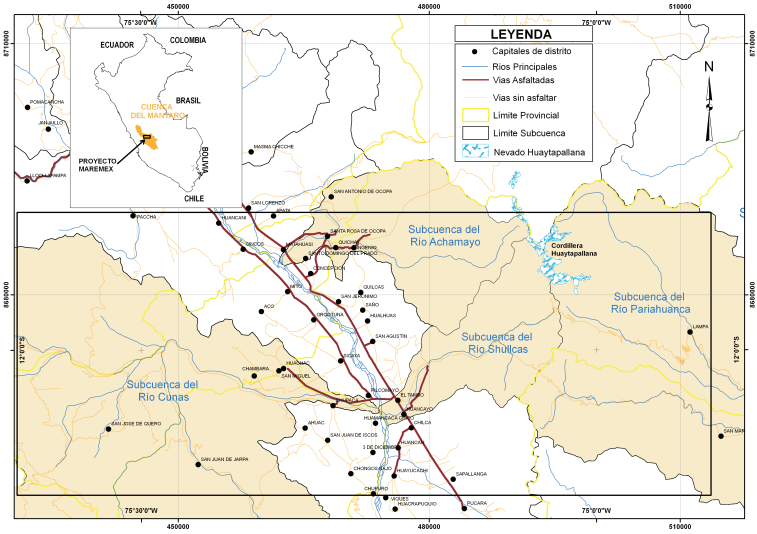


Figura 1. Mapa de la zona de estudio: subcuencas de Cunas, Shullcas y Achamayo, tomando un amplio corte transversal que se extiende más allá del valle del Mantaro. Elaboración: Ricardo Zubieta – Instituto Geofísico del Perú

[3] La inclusión de la subcuenca del río Pariahuanca se encuentra en evaluación.

COMPONENTES Y PRINCIPALES ACTIVIDADES DEL PROYECTO

El proyecto se desarrolla a través de tres componentes principales: a) Fortalecimiento y profundización de estudios en ciencias atmosféricas en la región; b) Evaluación de la prevención actual y acciones de prevención por parte de los actores del valle y elaboración participativa de planes de manejo de riesgo local; y c) Fortalecimiento institucional, sensibilización y difusión.

Al ser éste un proyecto de investigación-acción, las componentes buscan cubrir tanto los aspectos de investigación científica como los de acción a nivel de autoridades, instituciones y población local. En la Figura 2 se hace una sistematización de los componentes y su ubicación en el marco de investigación acción. El primer componente se centra en la búsqueda del entendimiento de los procesos físicos que gobiernan la ocurrencia de los eventos meteorológicos priorizados, por lo que este componente es el que fija la base climática, ancla de los otros dos componentes.

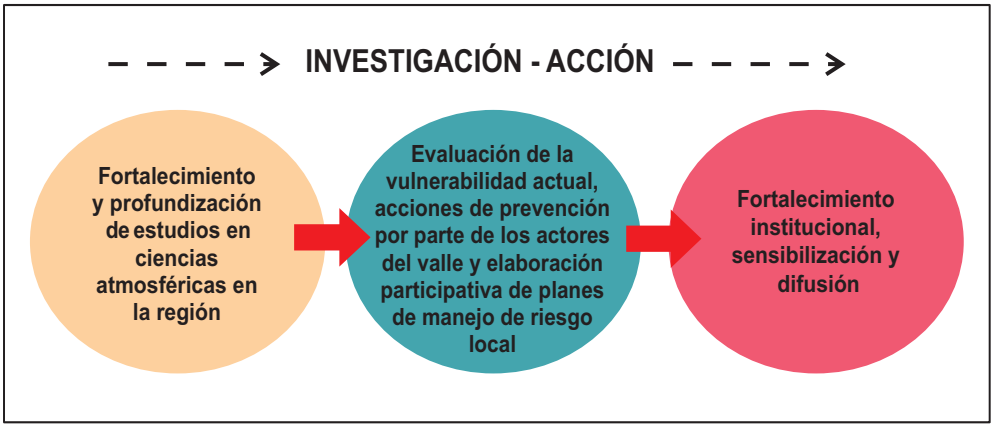


Figura 2. Componentes del proyecto en un marco de investigación-acción

El segundo componente comprende acciones tanto de investigación: evaluación de la vulnerabilidad actual, evaluación de las respuestas ante la ocurrencia de eventos meteorológicos extremos, etc.; como de acción: elaboración participativa de planes de manejo de riesgo, por lo que este componente es claramente mixto. Finalmente el tercer componente trabaja directamente en las actividades de acción: fortalecimiento institucional, sensibilización y difusión, a nivel de los gobiernos, nivel institucional y población.

La información básica necesaria para el desarrollo de los componentes, responde a las interrogantes que surgen con la ocurrencia de cada uno de los eventos meteorológicos priorizados: ¿Cuáles son sus características físicas?, ¿cuáles sus impactos en la población, tanto urbana cómo rural?, ¿cuáles son las respuestas de la población y las autoridades?, y finalmente, ¿cuáles son las estrategias de adaptación óptimas a ser implementadas?. En la Figura 3 se esquematiza la organización de la información que se viene generando en el marco del proyecto.

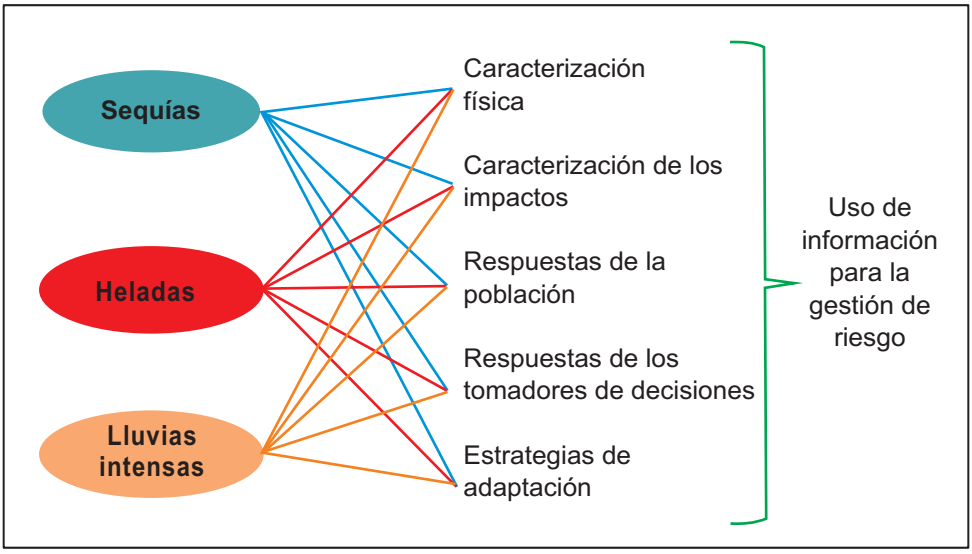


Figura 3. Diagrama con la organización de la información por tipo de eventos meteorológicos extremos en el valle del Mantaro

Los temas puntuales de investigación del proyecto se realizan a través del desarrollo de tesis en las especialidades de Física, Mecánica de Fluidos, Geografía, etc.; y a través de actividades generales de acopio y generación de información. Entre estos últimos se cuenta con: la recolección y análisis histórico de eventos meteorológicos y sus impactos en el valle del Mantaro, a través de la recolección de noticias de periódicos locales; control de calidad y análisis de los datos de la estación del Observatorio de Huancayo (1921-actualidad); instrumentación del Observatorio de Huancayo, incluyendo la instalación de un radar Boundary Layer Tropospheric (BLT); la realización de una evaluación de pastos naturales; así como la implementación de una mini-red meteorológica de bajo costo en la zona de estudio, con el fin de obtener información meteorológica y al mismo tiempo sensibilizar a la población beneficiaria.

MANEJO DE RIESGO DE DESASTRES ANTE EVENTOS METEOROLÓGICOS EXTREMOS

Parte importante del proyecto está referido al fortalecimiento institucional a través de la elaboración de un plan integrado de manejo de riesgos y estrategias de adaptación frente a los eventos meteorológicos extremos. Para ello, el proyecto tiene planificado trabajar a nivel de los comités regionales, provinciales y distritales de la zona de estudio, reforzando el Sistema Regional de Defensa Civil que se muestra en la Figura 4.



Figura 4. Estructura básica del Sistema Nacional de Defensa Civil. Fuente: Instituto Nacional de Defensa Civil, 2009.

En el marco de la gestión del riesgo de desastres, en el país contamos con cuatro grandes esferas de trabajo (*INDECI, 2009*): a) Estimación del riesgo, que incluye la identificación del peligro, el análisis de vulnerabilidades y el cálculo del riesgo; b) Reducción del riesgo, con la prevención específica y la preparación y educación; c) Respuesta, que incluye la evaluación de daños, la asistencia y rehabilitación, y d) Reconstrucción. El proyecto trabajará en las dos primeras esferas: estimación del riesgo y reducción del riesgo, en las que se da énfasis a la preparación y prevención de la población.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

De la Cadena, M. 1988. *Comuneros en Huancayo: Migración campesina a ciudades serranas*. Documento de trabajo Nro. 25. Instituto de Estudios Peruanos.

Instituto Geofísico del Perú. 2005a. *Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro*. Tomo I Evaluación local integrada en la cuenca del Mantaro. Fondo Editorial del CONAM.

Instituto Geofísico del Perú. 2005b. *Diagnóstico de la cuenca del Mantaro bajo la visión de cambio climático*. Tomo II Evaluación local integrada en la cuenca del Mantaro. Fondo Editorial del CONAM.

Instituto Geofísico del Perú. 2005c. *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro*. Tomo III Evaluación local integrada en la cuenca del Mantaro. Fondo Editorial del CONAM.

Instituto Nacional de Defensa Civil. 2009. Sistema Nacional de Defensa Civil, Lima, Perú.

Martínez, A. G., 2007. *Análisis de la vulnerabilidad ante los efectos del cambio climático y propuestas de adaptación en la ciudad de Huancayo, Junín: Recurso agua y género*. En *Género y Medio Ambiente*, pp 87-124. Fondo Editorial del Seminario Permanente de Investigación Agraria, SEPIA, Lima, Perú.

Martínez, A. G., Takahashi, K., Núñez, E., Silva, Y., Trasmonte, G., Mosquera, K., and Lagos, P. 2007. *A multi-institutional and interdisciplinary approach to the assessment of vulnerability and adaptation to climate change in the Peruvian Central Andes: Problems and prospects*. *Advances in Geosciences*, 14, 257-260 pp.

Takahashi, K. 2004. *Informe de Consultoría: Downscalling Estadístico en la Cuenca del Río Mantaro*. IGP/SENAMHI/PROCLIM.

Torres, J. 2008. *Adaptación al cambio climático: de los fríos y los calores en los Andes*. Vol. 1 (Colección Cambio climático y pobreza). Soluciones Prácticas-ITDG, 155 pp.

Tendencias de desarrollo local en localidades de los Andes peruanos que confrontan desafíos en el contexto del cambio climático
El caso de las microcuencas: Huacrahuacho(Cusco) y Mollebamba(Apurímac)[1]

Lenkiza Angulo
Programa de Adaptación al Cambio Climático-PACC
Iniciativa de Cooperación Bilateral del Ministerio del Ambiente y COSUDE
langulo@intercooperation.org.pe

Maruja Gallardo
Programa de Adaptación al Cambio Climático-PACC
Iniciativa de Cooperación Bilateral del Ministerio del Ambiente y COSUDE
mgallardo@intercooperation.org.pe

INTRODUCCIÓN

Mollebamba, en Apurímac y Huacrahuacho, en Cusco, constituyen dos microcuencas altoandinas en las cuales trabaja el Programa de Adaptación al Cambio Climático (PACC), iniciativa de cooperación bilateral entre el Ministerio del Ambiente de Perú (MINAM) y la Agencia Suiza para el Desarrollo y la Cooperación (CODSUDE), que se ejecuta desde el 2009 con el liderazgo de los gobiernos regionales de Apurímac y Cusco así como de los gobiernos locales comprendidos en dichas microcuencas.

El programa que cuenta con la facilitación técnica del Consorcio Intercooperation Libélula y PREDES, ha puesto énfasis en la generación de conocimiento como base para la concertación de estrategias y medidas de adaptación al cambio climático; procurando establecer puentes entre la *ciencia* y los *saberes tradicionales*, y la *ciencia* y los *gestores del desarrollo*. La investigación local concentrada en esas microcuencas altoandinas y que ha tenido participación activa de grupos de investigación (nacional y regionales) y de comunidades, está logrando identificar ciertas tendencias de cambio en algunos patrones climatológicos que incidirán en la disponibilidad de los recursos naturales y en consecuencia tendrán impacto en las actividades productivas dependientes de estos recursos; también detectar vulnerabilidades en los sistemas de gestión local de estos recursos; e identificar iniciativas y saberes ancestrales que pueden ser la base para fortalecer capacidades para hacer frente al impacto local que tiene el cambio climático.

[1] El presente artículo es un extenso de la Ficha PACC elaborada para la Segunda Comunicación Nacional de Cambio Climático y corresponde a los primeros resultados del Diagnóstico Local Integrado de Vulnerabilidad a la Variabilidad Climática y al Cambio Climático, Estudio Integral realizado por diversas Instituciones en las regiones de Apurímac y Cusco en al marco del PACC.

MÉTODOS

Área de Estudio

Los estudios locales realizados en el marco del PACC se desarrollaron en las microcuencas Mollebamba y Huacrahuacho, ambas ubicadas en la región sur andina de los Andes de Perú. Mollebamba se ubica en el distrito Juan Espinoza Medrano, provincia de Antabamba, con 14° 33' 00 – 14° 76' 00 Latitud Sur y 72° 78' 00 – 73° 05' 00 de longitud Oeste, con altitudes entre los 2 950 a 5 200 msnm. Tiene un área 698,18 km^2, con 5 comunidades y una población estimada de 1 975 habitantes, con un IDH de 0,4814 %; presenta una precipitación media de 850,0 mm al año y una temperatura media anual de 6,9 °C. Entre las principales actividades se encuentran: a) Agrícola, con maíz bajo riego y cultivo de papas nativas asociadas a mashua, oca y olluco bajo secano; b) Pecuaria, con la crianza de vacunos criollos (cerreros) para la producción de carne y leche, ovinos criollos para la producción de carne y lana, alpacas para la producción de fibra y carne, y finalmente llamas de carga y carne. El destino de la producción agrícola es de autoconsumo y trueque, y el de la pecuaria, para venta a compradores foráneos y trueque.

La microcuenca Huacrahuacho se ubica en los distritos de Kunturkanki y Checca, provincia de Canas, a 14° 45'00" – 14°63'00" Latitud Sur y 71° 17.00' - 71°46.00 Longitud Oeste, con altitudes entre 3 750 a 4 700 msnm y un área de 258,97 km^2, con 16 comunidades y una población estimada de 6 098 habitantes, con IDH entre 0,4803 a 0,5065 % (Checca – Kunturkanki); presenta 832,0 mm al año de precipitación media y una temperatura media anual de 9,1 °C. Entre las principales actividades destacan: a) Agrícola: en pequeña escala y en áreas de secano, cuyo cultivo principal es la papa amarga empleada para la elaboración de moraya, chuño y qañihua. En mayor escala y en áreas bajo riego, se cultiva avena en asociación con pastos para la alimentación de vacunos; b) Pecuaria: las crianzas principales son el vacuno criollo y mejorado para la producción de leche (queso) y carne; el ovino criollo y mejorado para la producción de carne y lana; y la crianza de camélidos sudamericanos en número pequeño para la producción de fibra y carne. La producción agrícola es fundamentalmente de autoconsumo y en pequeño porcentaje para la venta, mientras que la producción pecuaria se destina a la venta en ferias distritales.

DIAGNÓSTICO LOCAL DE VULNERABILIDAD ACTUAL A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y AL CAMBIO CLIMÁTICO

Los Estudios Temáticos

En el contexto de las microcuencas señaladas, se desarrolló la fase de investigación local sobre impactos del cambio climático y vulnerabilidades, realizada por el PACC, que se enfocó en analizar la vulnerabilidad actual a la variabilidad y cambio climático, en base a 5 Estudios temáticos desarrollados entre agosto y diciembre del 2009, con la participación activa de grupos de investigación, instituciones locales y comunidades; que abordaron los siguientes temas:

- ***Caracterización de la Oferta Hídrica Superficial Actual y Futura****, realizada por la Dirección de Hidrología de SENAMHI, que involucró* una caracterización hidroclimática y de los recursos hídricos superficiales a nivel de las microcuencas, estableciendo sus tendencias.

- ***Estudio de la Demanda Hídrica Actual y Futura,*** *realizado por el Instituto de Manejo del Agua y Medio Ambiente-IMA de Cusco, que hizo una estimación de* la demanda actual, enfocándose en la utilización del recurso hídrico, en la eficiencia en su uso, identificando los sectores que generan las mayores demandas, y las afectaciones que el cambio climático está generando en el uso del agua, el comportamiento de las instituciones en relación al manejo o uso del agua, así como en los aspectos legales o consuetudinarios relevantes para el uso del agua.

- ***Estudio sobre los Conflictos Actuales y Potenciales por el Agua,*** *realizado por el Centro de Estudios Bartolomé de las Casas-CBC, que* efectuó un diagnóstico de la situación de la gestión de los recursos hídricos y de los conflictos actuales, históricos y potenciales que tienen relación con el agua, analizando su vinculación con factores relacionados con la variabilidad y cambio climático, estableciendo su estado y evolución. El estudio formuló propuestas para el desarrollo de capacidades de gestión de los conflictos relacionados con los recursos hídricos.

- ***Estudio de Impactos de la Variabilidad y Cambio Climático en los Sistemas Productivos Rurales y en las Condiciones de Vida y Desarrollo Campesinos- Una Visión desde la Población Rural,*** *realizado por el Centro de Estudios y Prevención de Desastres-PREDES y el Centro de Estudios Bartolomé de las Casas-CBC, que* efectuó una recuperación de los saberes y percepciones campesinas sobre las manifestaciones locales de la variabilidad y cambio climático, así como los impactos que producen en sus medios y condiciones de vida, identificando las estrategias y prácticas de adaptación puestas en marcha, interpretándolas en el contexto de los sistemas productivos rurales y los sistemas culturales propios de estas poblaciones.

- ***Caracterización y Evaluación de Riesgos de Desastres Ocasionados por Peligros Climáticos y de Remoción en Masa,*** *realizada por el Centro de Estudios y Prevención de Desastres-PREDES, que* efectuó una identificación y mapeo de los peligros de origen climático y de los peligros geodinámicos que son desencadenados por los primeros, así como también una identificación de los factores antrópicos que los están intensificando. El análisis involucró además una evaluación de la vulnerabilidad de los elementos expuestos a estos peligros, entre los que están, centros poblados e infraestructura prioritaria. El estudio llega a proponer medidas específicas para reducir los riesgos.

La articulación metodológica e integración interdisciplinaria en los estudios locales

La realización de los estudios locales demandó un trabajo disciplinario en cada uno de ellos, y actividades interdisciplinarias comunes de intercambio entre los distintos equipos de investigación procurando una retroalimentación entre ellos, para asegurar coherencia y una mirada integradora, que sea la base del Diagnóstico Integrado de la Vulnerabilidad Actual y

Futura a la Variabilidad Climática y al Cambio Climático[2]. La articulación metodológica y la integración de los estudios locales siguieron 6 etapas que se presentan en la Figura 1.

El PACC priorizó como criterios a seguir y temas clave para la integración de los resultados los siguientes:

- Entender las dos microcuencas como *Ecosistemas De Alta Montaña*, y en este marco interpretar de manera diferenciada, los impactos del cambio climático que se expresan en una agudización de la variabilidad climática, y donde poblaciones y medios de vida tienen características de vulnerabilidad diferentes según su emplazamiento en el territorio, sus condiciones de existencia, y la peculiaridad de los sistemas productivos que desarrollan, lo que requiere de medidas de adaptación también diferenciadas.
- *El agua*, por su peso específico en relación al cambio climático y los medios de vida de las poblaciones de las microcuencas alto andinas (*Torres et al., 1998*).
- *La seguridad alimentaria*, tema en el cual convergen y aportaron en su comprensión, los estudios del agua, de sistemas productivos y de percepciones campesinas.
- *La cultura*, tema presente en las percepciones de los campesinos sobre las modificaciones climáticas, y en la manera en que gestionan el agua y los sistemas productivos.
- Finalmente, entender los *riesgos* como un componente transversal en cada uno de los temas unificadores.



Figura 1. Etapas de la Articulación Metodológica e Integración de los Estudios Locales, en el marco del PACC.

[2] El Diagnóstico integrado de la vulnerabilidad actual y futura a la variabilidad climática y al cambio climático, tiene dos fases de investigación: la primera fase local (dentro de las microcuencas seleccionadas) y la segunda fase regional (regiones de Apurímac y Cusco), el análisis prospectivo de los resultados locales se realizará paralelo al desarrollo de los Estudios Regionales.

Diagnóstico de vulnerabilidad futura a la variabilidad climática y al cambio climático

La segunda fase de investigación local se desarrollará entre agosto y septiembre de 2010. Los resultados del Estudio de Escenarios de Cambio Climático para las regiones de Apurímac y Cusco, que SENAMHI viene realizando en el marco del PACC, servirán para realizar un análisis prospectivo de los estudios locales ya realizados en la primera fase de investigación.

IDENTIFICACIÓN DE TENDENCIAS DE CAMBIO EN LA DISPONIBILIDAD DE LOS RECURSOS NATURALES, QUE CONCUERDAN CON PERCEPCIONES CAMPESINAS.

Hallazgos científicos:

Las investigaciones locales han logrado producir hallazgos significativos en relación a los principales problemas que el cambio climático está ocasionando en las microcuencas piloto, identificando tendencias de cambio en la disponibilidad de los recursos naturales que tendrán impacto en los medios de vida campesinos que dependen de dichos recursos. Estas tendencias de cambio son las siguientes:

- ***Cambios decadales en los patrones de precipitación*** expresados a través del coeficiente de variación por década=Cv. En Mollebamba, el incremento del Cv (1990-1997 = 0,15, y 2000-2008 = 0,20), está generando una mayor variabilidad en el régimen de lluvias. En Huacrahuacho, se ha identificado desde 1994, una tendencia decreciente en las precipitaciones a razón de -12 mm/año, y a partir de 2009, una fuerte caída del caudal base.

- ***Incremento en la agresividad pluviométrica, que ocasiona una mayor erosión de los suelos***, medido a través del Índice Modificado de Fournier (IFM), indicador de agresividad pluviométrica. *En Mollebamba*, el IMF se ha venido incrementando desde el año 2000 (1990-1997=146, y 2000-2007=156), acrecentando el potencial erosivo de los suelos.

- **Temperaturas máximas y mínimas,** En Apurímac hay una tendencia de cambio en las temperaturas extremas; las máximas se incrementan y las mínimas decrecen (Figuras 2 y 3).

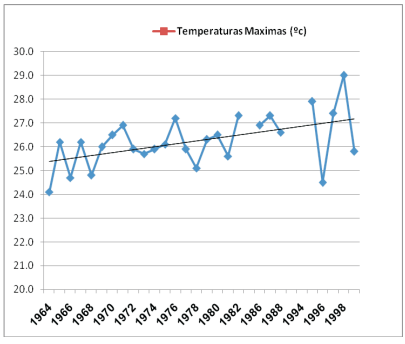


Figura 2. Tendencia de incremento en las temperaturas máximas en la región Apurímac. Fuente: SENAMHI, 2009

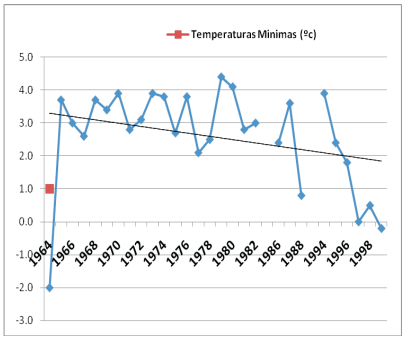


Figura 3. Tendencia decreciente en las temperaturas mínimas en la región Apurímac. Fuente: SENAMHI, 2009

Evidencias cualitativas desde las percepciones campesinas:

Los hallazgos científicos concuerdan con las percepciones campesinas en ambas microcuencas, que señalan la ocurrencia de cambios significativos en las condiciones climáticas en las últimas décadas, varias de las cuales tienen fuerte relación con los recursos hídricos; como son:

- La modificación en el régimen de precipitaciones, en su distribución temporal e intensidad. El inicio de las lluvias se ha desplazado del mes de septiembre a los meses de noviembre o diciembre y en la actualidad ocurren con mayor frecuencia lluvias intensas, torrenciales, en periodos cortos.
- La ampliación del rango térmico diario, la temperatura máxima diaria es mayor y la temperatura mínima diaria es menor. Asimismo, se percibe que el período de heladas se ha extendido y que son más intensas e impredecibles.
- La alteración del patrón de los vientos, donde se evidencia una mayor ocurrencia de vientos con mayor intensidad, especialmente en los meses de agosto y septiembre.
- El incremento de la radiación solar y la evapotranspiración, que aumenta la marchitez de la pastura y cobertura vegetal natural en la época de estiaje y genera una mayor tasa de evaporación del agua en la superficie de los cuerpos de agua.

Esta dinámica de encuentro entre los hallazgos que se vienen obteniendo a través de investigaciones con base científica y las evidencias desde las percepciones de la población alto andina de estas microcuencas, está dando mayor solidez a los resultados obtenidos.

FACTORES DE VULNERABILIDAD RESALTANTES EN LOS SISTEMAS PRODUCTIVOS RURALES DE LAS MICROCUENCAS ESTUDIADAS

En Huacrahuacho:

- Disminución creciente de las fuentes de agua, escaso manejo de bofedales, pérdida de cobertura vegetal y aumento en la erosión de los suelos, aumento de la presión del pastoreo en parcelas familiares por la subdivisión de las parcelas entre miembros de las familias, y menor capacidad ambiental de recarga hídrica.
- Especialización productiva con énfasis en la crianza de vacunos criollos y mejorados[3] para la producción de leche, con una fuerte promoción para la instalación de pastos cultivados, que incrementan la demanda de agua y disminuyen las parcelas de cultivos de pan llevar.
- Creciente introducción de papa mejorada que ocasiona se deje de sembrar papa nativa amarga, y disminuya la producción de estas semillas, lo que contribuye con la inseguridad alimentaria. Se suman a esto, las pocas prácticas de refrescamiento y selección de semilla sana, escasa fertilización del suelo, y poco esmero en la adecuación del medio.
- Producción de cultivos y pastos naturales en secano, altamente expuestos a la incidencia de sequias y a la presencia de heladas fuera de tiempo y acompañados de veranillos que coinciden con la fase de germinación o de plántulas de los cultivos y pastos, afectando la producción.

[3] Vacunos mejorados que se adaptan “deficientemente” a las condiciones de altura.

- Incremento de plagas y enfermedades debido al aumento de la temperatura máxima diaria y a los períodos inesperados de sequedad y humedad.
- Erosión acelerada de las especies de pastos naturales, retraso de su reproducción y crecimiento y pérdida de semillas, debido a la escasa disponibilidad del agua.
- Desaparición de terrenos comunales *"Laymes"* en la mayoría de comunidades, y parcelación de la propiedad que no permite el acceso a otros pisos ecológicos y
- disminución de la práctica del *Ayni* entre jóvenes y adultos.
- Erosión en los sistemas explicativos andinos y pérdida de conocimientos campesinos tradicionales sobre el manejo de pastos nativos y bofedales.
- Baja eficiencia en los sistemas de riego que tienen una pérdida del 37,3 % del agua en las líneas de conducción, debido a infiltraciones, fugas estructurales y por un mal manejo del agua en la red de distribución.
- Competencia y conflictos por el uso del agua e incremento de la inequidad en su acceso.
- Modificación de la estructura familiar y aumento de las brechas socio culturales e incremento de la migración.

En Mollebamba:

- Alta vulnerabilidad de la agricultura de secano que se desarrolla en *"Laymes"*, en la zona media de la microcuenca, ante escasez o irregularidad de las lluvias. En este sector y en la parte alta, se producen las heladas más intensas. Están expuestos a esta situación los cultivos de papa, olluco, oca, mashua y cebada.
- Escasas prácticas de manejo de semillas y de fertilización del suelo, que hace que las plantas crezcan débiles y tengan menos posibilidades de soportar eventos climáticos extremos.
- Monocultivo de maíz bajo riego, en la parte baja de la microcuenca, que empobrece los nutrientes del suelo. La mayor ocurrencia de veranillos ocasiona una mayor incidencia de plagas en estos cultivos.
- Crianza extensiva de vacunos criollos y de camélidos, que no permite un uso eficiente del agua, debido a que los animales necesitan recorrer mayores distancias hasta la fuente de agua, demandando por tanto, mayores cantidades para cubrir sus necesidades básicas.
- Mala alimentación de ganado vacuno y camélidos, así como degeneración de razas en estos últimos, que debilita el ganado y hace que difícilmente soporten condiciones climáticas adversas.
- Reducción y desaparición de bofedales en las estancias de crianza de alpacas, por falta de manejo de pastos nativos y ausencia de cercos de rotación y canchas de pastoreo para alpacas.
- Fraccionamiento y dispersión de parcelas en áreas bajo riego.
- Ineficiencia en la forma de riego (por inundación) que lava los nutrientes de la capa arable del suelo y desestabiliza los andenes destruyéndolos y perdiendo áreas agrícolas. Esta ineficiencia alcanza un nivel de pérdida de agua de un 69,4 % e involucra igualmente al uso poblacional.

- Debilitamiento de la práctica del *Ayni* (reciprocidad) entre jóvenes y adultos.
- Crianza de vacunos mejorados y cambio de siembra de maíz por alfalfa para la alimentación de los vacunos, impulsada por el área de desarrollo económico de la Municipalidad de Juan Espinoza Medrano, distrito en el que se encuentra la microcuenca, incrementa vulnerabilidad.
- Potencial minero de la zona[4], incrementará esta actividad en los próximos 20 años, pudiendo afectar el ecosistema y el recurso agua.

DESENCUENTROS ENTRE TENDENCIAS CLIMÁTICAS Y TENDENCIAS DE DESARROLLO LOCAL QUE DEBEN OBLIGAR A REDEFINIR ESTRATEGIAS DE DESARROLLO

En las últimas décadas, en Huacrahuacho, se produjeron cambios significativos en las actividades productivas rurales, antes fundamentalmente agrícolas y ahora prioritariamente pecuarias, proceso que se inició con la introducción de ganado vacuno criollo, y después, con ganado vacuno mejorado (*Brown swiss*), y la introducción de pastos cultivados, con la finalidad de elevar la producción láctea para la fabricación de quesos y mejorar los ingresos de las familias rurales. Sin embargo, actualmente todo apunta a establecer que esta actividad no será sostenible en un escenario de cambio climático, pues la crianza de vacunos y el cultivos de pastos son actividades altamente demandantes de agua[5], y la tendencia en la disponibilidad del recurso agua va en sentido contrario. Esta evidencia es importante pues lo encontrado en esta microcuenca puede ser una muestra de lo que puede estar sucediendo en todo un sector importante de la región de Cusco, las denominadas *provincias altas*.

La identificación de tendencias de desarrollo que entran en conflicto con tendencias en la disponibilidad de los recursos naturales, no sólo han sido halladas en Huacrahuacho, sino también en Mollebamba. En Apurímac, región donde se localiza esta microcuenca, el incremento de la actividad minera en el marco de una política del Estado que fomenta esta actividad, está haciendo que la competencia por el uso del recurso agua sea mayor, lo que por lo general va en detrimento de los usos poblacionales, agropecuarios y ambientales, lo que viene constituyéndose en foco de conflictos sociales actuales y potenciales. En la microcuenca Mollebamba, el incremento proyectado de la actividad minera, puede también afectar el ecosistema y en especial el recurso agua, aún cuando los estudios han logrado hallar que actualmente los niveles de presencia de plomo en las aguas, están por encima de los máximos niveles permisibles para consumo humano.

[4] Existen 22 sectores ya identificados y requeridos por empresas mineras, según datos oficiales hasta el año 2006.

[5] Ensminger, calcula que el consumo de agua promedio en litros/animal/día para vacunos es de 31,50, para ovinos es de 1,80, para llamas es de 6,00 y para alpacas es de 1,80, siendo estos estimados los más cercanos para la zona altoandina.

ALGUNAS MEDIDAS DE ADAPTACIÓN AL CAMBIO CLIMÁTICO QUE VIENEN SURGIENDO DEL PROCESO DE CONCERTACIÓN CON LOS ACTORES LOCALES

En Mollebamba hay evidencias de que algunas especies agrícolas, como la papa nativa, han desarrollado condiciones de adaptación y resilencia ante la escasez de lluvias, después de lograr cierto nivel de desarrollo fenológico. Igualmente el desarrollo de ciertas prácticas aplicadas cuando se produce retraso en las lluvias, como es la variación en el calendario de siembras, y el uso de semillas de variedades precoces de papa, o la siembra de cebada.

A partir de los resultados de las investigaciones se vienen produciendo procesos de concertación local en cada microcuenca, para la priorización de las medidas de adaptación. Los avances de este proceso se señalan a continuación.

En Huacrahuacho

La escasa disponibilidad y limitado acceso al agua para consumo humano y animal, está llevando a priorizar las acciones de siembra y cosecha de agua, que permitan el aprovechamiento de las lluvias estacionales en las épocas de mayor precipitación, a través de un manejo adecuado de suelos, la protección de la cobertura vegetal, que permitan disminuir el coeficiente de escorrentía, facilitar la infiltración y percolación del agua de lluvia y su almacenamiento en los acuíferos.

La tendencia al incremento de la población de vacunos mejorados, demandará la implementación de un programa planificado para el control del crecimiento poblacional del ganado, de tal manera que se pueda disminuir la tasa de crecimiento actual, para hacerla más sostenible, en función a la disponibilidad del alimento natural y enlazarlo con el desarrollo de un programa para el manejo adecuado y la recuperación de pasturas naturales, que son menos demandantes de agua.

En Mollebamba

El alto grado de pérdida y mal uso del agua para la producción y el consumo poblacional, demandará la implementación de acciones orientadas a fortalecer la organización en torno al uso del agua y mejorar la gestión, para evitar escasez en el futuro y cubrir demandas insatisfechas.

La crianza extensiva y libre de vacunos criollos y camélidos, deberá modificarse progresivamente hacia una crianza planificada y controlada, que optimice el uso del agua, y permita desarrollar infraestructura que facilite el consumo de agua para los animales, tales como bebederos en los corrales o en los campos de apacentamiento.

LECCIONES APRENDIDAS Y DIFICULTADES IDENTIFICADAS, PARA EL ESTUDIO DE LOS IMPACTOS Y EFECTOS DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La investigación local que acogió estudios desde las ciencias físicas, naturales y sociales, se propuso integrar interdisciplinariamente los resultados de los distintos grupos de

investigación, lo cual implicó dificultades para conciliar diversas metodologías y técnicas y generar un marco metodológico común. El proceso, sin embargo, viene produciendo muchas lecciones aprendidas que pueden servir de referencia para futuras investigaciones e intervenciones desde lo local.

Entre las *dificultades*, se destaca:

La carencia de datos hidrológicos y meteorológicos que den una perspectiva histórica y que permitan diferenciar los efectos e impactos del cambio climático y no solamente de la variabilidad climática, que es inherente a los ecosistemas de alta montaña y que es agudizada por el cambio climático; también la falta de datos en otras variables climáticas (además de la temperatura y precipitaciones), como los vientos, la humedad y radiación.

La poca tradición y experiencia de investigación interdisciplinaria, que demandó especial esfuerzo de coordinación a través de varios espacios (reuniones, talleres, plataformas virtuales) para construir conceptos unificadores, concertar criterios metodológicos comunes (protocolos para el trabajo de campo), socializar e intercambiar hallazgos e interpretarlos.

Entre las *lecciones aprendidas*, se destaca lo siguiente:

- ***No bastan los datos promedio en las investigaciones en ecosistemas de alta montaña*****,** se necesita información diferenciada según territorio (cuenca alta-media-baja), pues en estos ambientes cuenta mucho la verticalidad. El clima, el agua, la producción, las poblaciones, son diferentes, según la ubicación que tengan en dicho territorio; y es igualmente importante la estacionalidad de los datos. En consecuencia, es muy importante conocer las desviaciones.

- ***La importancia, validez y pertinencia que tienen los saberes de la población rural altoandina,*** cuyas "señas" y/o bioindicadores para interpretar y predecir fenómenos atmosféricos vinculados a la agricultura y a la vida diaria, deben complementar y fortalecer la mirada desde la ciencia, más aún en contextos de debilidad en los datos cuantitativos y de alta incertidumbre. En comunidades ancestrales, el estudio del cambio climático requiere fortalecerse desde un diálogo y conocimiento intercultural.

- ***La investigación local en cambio climático, requiere de una mirada integradora e interdisciplinaria,*** que permita entender el complejo concatenamiento de efectos e impactos que el proceso de cambio climático global desencadena en lo local, pero también entender la importancia que en la configuración de dichos efectos tienen las condiciones del medio local, pues el drenaje de bofedales, la deforestación, el sobrepastoreo, que se producen generan igualmente importantes cambios climáticos a nivel local.

- ***Tanto las investigaciones como las estrategias y medidas de adaptación*** que se deriven de ellas, tendrán mayores condiciones de receptividad y respuesta social, cuando sintonicen con la experiencia de la propia población local. Por ello, los escenarios de cambio climático a muy largo plazo no facilitan decisiones ni la instrumentación de acciones, el reto es producir escenarios locales con mayor resolución y para horizontes de tiempo más cercanos.

BIBLIOGRAFÍA

Centro Bartolomé de las Casas-CBC. 2010. *Estudio de la Gestión del Agua y los Conflictos por el Agua en la región Apurímac y Análisis de la Importancia de los Factores asociados al Cambio Climático en su desencadenamiento*. Caso de la microcuenca Mollebamba. Informe final. Cusco. Enero, 2010.

Centro Bartolomé de las Casas-CBC. 2010. *Estudio de la Gestión del Agua y los Conflictos por el Agua en la región Cusco y Análisis de la Importancia de los Factores asociados al Cambio Climático en su desencadenamiento*. Caso de la microcuenca Huacrahuacho. Informe final. Cusco. Enero, 2010.

Centro de Estudios y Prevención de Desastres-PREDES y Centro Bartolomé de las Casas-CBC. 2010. *Estudio de los Sistemas Productivos y Culturales e Impactos del Cambio Climático*. Caso de la microcuenca Mollebamba. Informe final. Cusco. Enero, 2010.

Centro de Estudios y Prevención de Desastres-PREDES y Centro Bartolomé de las Casas-CBC. 2010. *Estudio de los Sistemas Productivos y Culturales e Impactos del Cambio Climático*. Caso de la microcuenca Huacrahuacho. Informe final. Cusco. Enero, 2010.

Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente-IMA. 2009. *Estudio de Demanda Hídrica Actual y Futura en las regiones de Cusco y Apurímac en el marco del Programa de Adaptación al Cambio Climático-PACC Perú*. Fase I, Microcuenca Mollebamba. Cusco.

Instituto de Manejo de Agua y Medio Ambiente-IMA. 2009. *Estudio de Demanda Hídrica Actual y Futura en las regiones de Cusco y Apurímac en el marco del Programa de Adaptación al Cambio Climático-PACC Perú*. Fase I, Microcuenca Huacrahuacho. Cusco.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI. 2009. *Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Mollebamba*. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Lima.

Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología-SENAMHI. 2009. *Estudio Hidrológico de la Cuenca del río Huacrahuacho*. Dirección General de Hidrología y Recursos Hídricos. Lima.