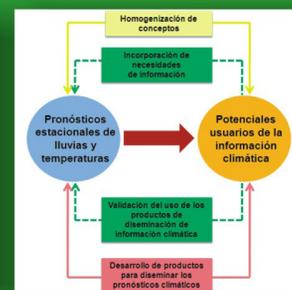


Memoria del Subproyecto

"Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura" 2007-2010



Memoria del Subproyecto
“Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas
en la cuenca del río Mantaro para
su aplicación en la agricultura”
2007-2010

Instituto Geofísico del Perú

Lima, Perú
2010

Título: Memoria del Subproyecto “Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura”

Primera edición: Julio 2010

Autor: Instituto Geofísico del Perú

Editora: Yamina Silva Vidal

ISBN: 978-612-45795-3-0

Hecho el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2010-08456

Copyright © 2010 Instituto Geofísico del Perú

Correo electrónico: web@igp.gob.pe

<http://www.igp.gob.pe>

Calle Badajoz N.o 169-171

Urbanización Mayorazgo, IV Etapa

Lima 3, Perú

Teléfono: (01) 317-2300

Tiraje: 500 ejemplares

Fecha de impresión: julio 2010

Impreso en el Perú

Diseño gráfico y diagramación: Jeanette López

Corrector de estilo: Juan Enrique Quiroz Vela

Impreso en:

Tetis Graf EIRLtda.

Telf: (01) 431-9855

E-mail: tetisg@yahoo.com

El presente libro, forma parte de las publicaciones editadas por el Instituto Geofísico del Perú (IGP), en el marco del Subproyecto “Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura” (2007-2010), ejecutado por el IGP con la participación del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). El Subproyecto fue financiado por el Fondo para el Desarrollo de Servicios Estratégicos (FDASE) del programa de Innovación y Competitividad para el Agro peruano (INCAGRO), Contrato N° 2006-0013-AG-INCAGRO-FDSE.

La información estadística, los mapas y figuras empleados en esta publicación son referenciales, no tienen valor oficial y son de completa responsabilidad de los autores.

El contenido del documento puede ser reproducido total o parcialmente mencionando la fuente del Instituto Geofísico del Perú.

MINISTERIO DEL AMBIENTE

Dr. Antonio Brack Egg

Ministro

Instituto Geofísico del Perú

Dr. Ronald Woodman Pollitt

Presidente Ejecutivo

Dr. Hernando Tavera Huarache

Director Técnico

Dr. Ken Takahashi Guevara

Director de Investigación sobre Prevención de Desastres Naturales

Dra. Yamina Silva Vidal

Coordinadora General del Subproyecto IGP-INCAGRO

Investigadores:

Dra. Yamina Silva Vidal

Mag. Grace Trasmonte Soto

Mag. Alejandra Martínez Grimaldo

Mag. Kobi Mosquera Vásquez

Ing. Karen Latínez Sotomayor

Ing. Ricardo Zubieta Barragán

Lic. Berlín Segura Curi

Personal de apoyo técnico

Tec. Susana Huacacchi Paullo

Ing. María Rosa Luna Guzmán

Ing. Huber Gilt López

Instituto Nacional de Innovación Agraria

Ing. César Alberto Paredes Piana

Jefe

Ing. Raúl Demetrio Almeida Páucar

Director de la Estación experimental agraria Santa Ana, Huancayo

Investigadores:

M. Sc. Óscar Garay Canales

Ing. Carolina Girón Aguilar

Universidad Nacional del Centro del Perú

Dr. Carlos Antonio Adatao Justo

Rector

Dr. Freddy Rivas Yupanqui

Decano de la Facultad de Agronomía

Docentes asesores de tesis:

Ing. Zenón Mata Adatao

Ing. Gustavo Osorio Pagan

M. Sc. Efraín Lindo Gutarra

M. Sc. Vidal Aquino Zacarías

Innovación y competitividad del agro-peruano

Dr. Javier Ramírez-Gastón Roe

Director Ejecutivo

M. Sc. Ricardo Wíssar Guerrero

Jefe de la Unidad Técnica

Ing. Pía María del Rosario Arauco Padilla

Jefe de la Unidad Descentralizada V, Huancayo

Ing. Coralí Lara Egas

Asistente técnico UD V, Huancayo

Bach. Filomena Jiménez Díaz

Asistente administrativo y de adquisiciones UD V, Huancayo.

AGRADECIMIENTOS

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) expresa su agradecimiento al programa de Innovación y Competitividad para el Agro Peruano (INCAGRO), que a través del Fondo de Desarrollo de Servicios Estratégicos (FDSE) financió el presente Subproyecto.

Asimismo, el IGP agradece a las instituciones de la Alianza Estratégica: el Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP), instituciones con las que se lograron las metas, gracias a la activa participación de los profesionales de la Estación Experimental Agropecuaria Santa Ana del INIA en Huancayo y a los catedráticos de la Facultad de Agronomía de la UNCP.

El IGP no puede dejar de agradecer a aquellas instituciones que hicieron valiosos aportes en los diferentes talleres programados en el periodo que duró el Subproyecto. Así mismo, al Gobierno Regional de Junín y a la Municipalidad Provincial de Huancayo por su auspicio en los eventos organizados como parte del Subproyecto, y al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) por su apoyo para el dictado de cursos de capacitación sobre Agrometeorología.

La Coordinación del Subproyecto agradece al personal técnico y administrativo de la Unidad Descentralizada V de INCAGRO, así como a todo el personal administrativo del IGP, por su constante apoyo durante la ejecución de las actividades relacionadas al Subproyecto.

Un agradecimiento especial tanto para la Dra. Elsa Nickl de la Universidad de Delaware (EEUU), quien brindó apoyo en la revisión de los resúmenes en inglés, como para el Ing. Jacinto Arroyo, del Observatorio de Huancayo del IGP, quien colaboró en la logística para el desarrollo de talleres y reuniones de trabajo.

Prólogo.....	7
Presentación.....	9

Capítulo 1. Zona de estudio y datos

Area of study and data

1.1 Procesamiento digital de imágenes de satélite y elaboración del mapa de uso de la tierra del valle del Mantaro	
1.1 Digital image processing and land use mapping of the Mantaro valley	
Ricardo Zubieta.....	11
1.2 Interpolación de datos de precipitación en la cuenca del río Mantaro	
1.2 Interpolation of land-surface precipitation in the Mantaro river basin	
Elsa Nickl.....	17

Capítulo 2. El clima y su variabilidad

The climate and its variability

2.1 Vientos superficiales en el valle del Mantaro	
2.1 Surface wind over the Mantaro valley	
Dalma Mamani y Yamina Silva.....	23
2.2 Circulación atmosférica asociada a veranillos en el valle del Mantaro	
2.2 Atmospheric circulation during the dry spell events in the Mantaro valley	
Juan Sulca, Yamina Silva, Ken Takahashi y Kobi Mosquera	30
2.3 Variabilidad de las temperaturas máximas y mínimas en el valle del Mantaro	
2.3 Maximum and minimum temperatures variability in the Mantaro valley	
Grace Trasmonte, Yamina Silva, Berlin Segura, Karen Latínez.....	37
2.4 Variabilidad de las lluvias en el valle del Mantaro	
2.4 Precipitation variability in the Mantaro valley	
Yamina Silva, Grace Trasmonte y Lucy Giráldez.....	52
2.5 Variabilidad climática en el valle del Mantaro simulado con el modelo RegCM3	
2.5 Climate variability in the Mantaro valley simulated by the RegCM3	
Odón Sánchez-Ccoyllo, Yamina Silva, Rosmeri Porfirio da Rocha y Berlín Segura.....	57

Capítulo 3. Pronóstico del clima y su aplicación

Climate forecast and its application

3.1 Pronóstico estacional a tres meses de lluvias y temperaturas en el valle del río Mantaro utilizando la técnica no paramétrica: regresión multivariada adaptativa splines (MARS)	
3.1 Seasonal forecast three-month lag of rain and temperatures at the Mantaro river valley using the non parametric method: multivariate adaptive regression splines (MARS)	
Karen Latínez.....	66

3.2 Retos del uso de pronósticos estacionales de lluvias y temperaturas aplicado a la agricultura en el valle del Mantaro

3.2 Challenges in the use of rainfall and temperature seasonal forecasts applied to agriculture in the Mantaro valley

Alejandra Martínez y Karen Latínez 75

Capítulo 4. Clima y agricultura

Agriculture and climate

4.1 Influencia de la temperatura, precipitación y fotoperíodo en el cultivo de papa (*solanum tuberosum*) var. Canchán y Yungay en los distritos de El Tambo y El Mantaro

4.1 Influence of temperature, precipitation and photoperiod on potato (*solanum tuberosum*) Canchan and Yungay varieties in El Tambo and El Mantaro districts

Lucy Giráldez 80

4.2 Influencia de la temperatura y precipitación en el cultivo Maíz Amiláceo (*Zea Maya L.*) en las variedades San Gerónimo y Blanco Urubamba en el valle del Mantaro

4.2 Influence of temperature and precipitation on soft corn (*Zea mays L.*) San Gerónimo and Blanco Urubamba varieties in the Mantaro valley

Alex Ochoa 87

4.3 Influencia de la precipitación y la temperatura en el cultivo de quinua (*Chenopodium Quinoa Wild.*) cultivar Hualhuas y Blanca de Junín en el valle del Mantaro

4.3 Influence of precipitation and temperature in the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa Wild.*) Cultivar Blanca de Junin Hualhuas in the Mantaro valley

Grober Galindo Chacón 93

4.4 Fluctuación poblacional de los cogolleros del maíz (*Zea mays L.*) bajo condiciones de temperatura precipitación, humedad y radiación solar en el valle del Mantaro

4.4 Population fluctuation of armyworm (*Spodoptera frugiperda*) in corn (*Zea Mays I.*) under conditions of precipitation, temperature, humidity and solar radiation in the Mantaro valley

Efraín Lindo Mancilla 98

La historia del Instituto Geofísico del Perú (IGP) se remonta aproximadamente al año 1920; luego de tres etapas, fue en enero del año 1962 que surge con este nombre, y se traslada la Sede Ejecutiva de Huayao (Huancayo) a Lima. Sin embargo, el Observatorio de Huayao continúa siendo el encargado de recopilar la información del clima en el valle del río Mantaro.

En el año 2006, el IGP se presentó al Concurso del Fondo de Desarrollo de Servicios Estratégicos (FDSE) del Proyecto de Investigación y Extensión Agrícola INCAGRO del Ministerio de Agricultura, y logró un lugar en el Orden de Mérito Técnico, por lo que a partir de marzo del 2007 ejecutó el Subproyecto "Pronóstico estacional de temperaturas y precipitación en la cuenca del Río Mantaro para su aplicación en la agricultura".

El objetivo principal de este Subproyecto fue "generar y usar pronósticos climáticos para la agricultura en la cuenca del río Mantaro". Fue ejecutado por el equipo de investigadores del IGP, en alianza con investigadores del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), así como docentes y alumnos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP).

El IGP ha logrado desarrollar diversos temas de investigación en el marco del Subproyecto que relacionan al clima con la agricultura, algunos de esos resultados son presentados en este libro. Por otra parte, el IGP, en colaboración con el INIA, ha publicado dos manuales: uno sobre uso consuntivo del agua para cultivos de los Andes centrales peruanos; y otro sobre una primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del Mantaro.

El Perú es un país muy vulnerable a los cambios climáticos (sequías, inundaciones, reducción de glaciares, entre otros), los cuales hacen que su mayor desafío sea generar capacidades para la adaptación a la creciente variabilidad del clima. Nuevas estructuras institucionales, nuevas tecnologías y prácticas mejoradas son necesarias para hacer frente al cambio climático. En el desarrollo del Subproyecto, el IGP involucró activamente a sus investigadores en actividades académicas de la UNCP, mediante los cursos de capacitación y talleres llevados a cabo en la ciudad de Huancayo; asimismo, facilitó el desarrollo de ocho tesis de grado como parte del Subproyecto, seis de ellos con egresados de la UNCP. Esto muestra el compromiso del IGP con la generación de capacidades locales y nacionales.

La ejecución del Subproyecto tuvo la virtud de delimitar el área de influencia, procesar información histórica del clima y su variabilidad, sobre la cual se generaron modelos de pronóstico de lluvias y temperaturas, y su aplicación, que debe permitir minimizar los efectos de la variabilidad del clima y —porque no— del cambio climático. El Proyecto INCAGRO, sobre la base de los resultados del Subproyecto y otros de similar naturaleza, planteó la necesidad de contar para su III Fase con un componente que promueva las innovaciones tecnológicas que permitan apoyar la gestión de los efectos del cambio climático.

Finalmente, es digno de reconocimiento el profesionalismo con que esta Alianza Estratégica ha ejecutado este Subproyecto, inicialmente liderado por la Eco. Alejandra Martínez, y posteriormente, por la Dra. Yamina Silva.

Ricardo Wíssar Guerrero
Jefe de la Unidad Técnica
Proyecto INCAGRO

Acerca del Subproyecto

El Subproyecto **"Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en el cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura"** (2007-2010), fue ejecutado por el IGP con la participación del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) y la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP).

Objetivo principal:

Generar y usar pronósticos climáticos para la agricultura en la cuenca del río Mantaro.

Objetivos específicos:

1. Mejorar el conocimiento de los mecanismos que controlan los procesos físicos de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro, así como las causas de la variabilidad espacial y temporal de estos parámetros.
2. Dar a conocer la importancia y el valor de la información climática sobre lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para el uso por los potenciales usuarios.
3. Desarrollar la capacidad de generar pronósticos climáticos en la cuenca del río Mantaro.

El Subproyecto fue financiado por el Fondo para el Desarrollo de Servicios Estratégicos (FDASE) del programa de Innovación y Competitividad para el Agro peruano (INCAGRO), Contrato N° 2006-0013-AG-INCAGRO-FDSE.

En el marco del Subproyecto, el IGP editó los siguientes libros:

2009: *"Manual de uso consuntivo del agua para los principales cultivos de los Andes Centrales Peruanos"* a cargo del Ing. Óscar Garay Canales, del INIA

En el Manual se determinan los coeficientes de uso consuntivo del agua para los cultivos de papa, maíz, trigo, arveja, habas y hortalizas, en condiciones del valle del río Mantaro. Esta información es valiosa para planificar las actividades de riego tanto a nivel de fundos o parcelas.

2010: *Primera aproximación para la identificación de los diferentes tipos de suelo agrícola en el valle del Mantaro* a cargo del Ing. Óscar Garay Canales, del INIA y el Ing. Álex Ochoa Acevedo, ex tesista del Subproyecto.

En este documento se se determinan los tipos de suelos en el valle del río Mantaro, en base a información sobre materia orgánica, textura y acidez del suelo. La información proviene del Laboratorio de Suelos de la Estación Experimental Agropecuaria del INIA.

Presentación

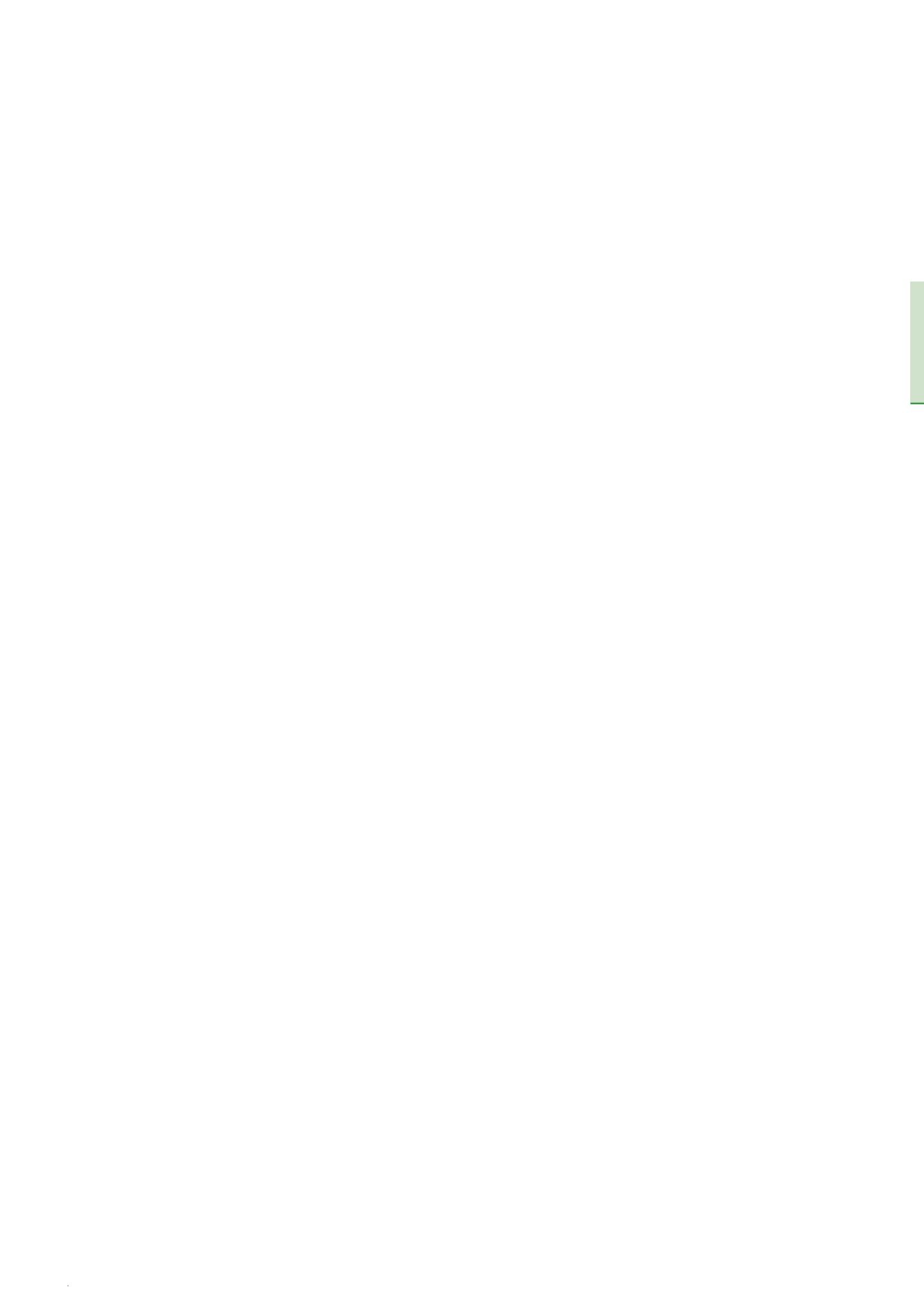
El presente libro, Memoria del Subproyecto “Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en el cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura”, recopila los resultados de los trabajos de investigación realizados por personal del Instituto Geofísico del Perú y ex alumnos de la Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP).

El libro consta de cuatro capítulos: el primero incluye dos artículos relacionados a la definición de la zona de estudio, el valle del río Mantaro, y al procesamiento de datos a escala de la cuenca; el segundo capítulo recopila cinco trabajos de investigación sobre el clima del valle y su variabilidad a escala estacional, intraestacional, interanual e interdecadal. Se incluye, además, el análisis de las tendencias climáticas en temperaturas extremas del aire y precipitación, observadas en los últimos 88 años, así como un artículo sobre el análisis de los vientos en el valle del río Mantaro que si bien no fue parte de las actividades realizadas en el marco del Subproyecto, es importante su inclusión en este libro. El tercer capítulo incluye dos artículos: el primero sobre el modelo para el pronóstico del clima y el segundo sobre la utilización de esta información (pronóstico) por los potenciales usuarios del valle. Finalmente, el cuarto capítulo está dedicado al clima y su impacto en la agricultura, en él se presentan los resultados de cuatro de las seis tesis desarrolladas por egresados de la UNCP, las cuales ya han sido sustentadas.

Los cuatro capítulos de este libro resumen las principales actividades de investigación realizadas por el IGP y las instituciones socias. Es importante señalar que, gracias a las reuniones de trabajo realizadas con personal de instituciones locales de Huancayo, se logró plantear nuevos temas de investigación. Estos actualmente se vienen desarrollando en el IGP y serán publicados próximamente. Asimismo, las discusiones y los valiosos aportes de las instituciones locales nutrieron a los investigadores del IGP sobre la problemática local relacionada al clima, su variabilidad y el cambio climático, que fueron motivo para la formulación de nuevos proyectos de investigación que actualmente ejecuta el IGP.

Con la publicación del presente libro, el IGP espera llegar a las instituciones públicas y privadas relacionadas al tema del clima y agricultura, así como a las instituciones académicas y, por qué no, a las autoridades locales y regionales. Esto con el fin de fortalecer el conocimiento sobre el clima en el valle del río Mantaro y su influencia en las actividades humanas, en este caso a la agricultura. Asimismo, se busca que los trabajos presentados sean una motivación para los jóvenes estudiantes de las universidades, para que dirijan sus trabajos de investigación (por ejemplo, tesis de grado) a temas de importancia para la economía y bienestar del país.

Yamina Silva Vidal
Investigadora Científica del IGP
Coordinadora General del Subproyecto



Procesamiento digital de imágenes de satélite y elaboración del mapa de uso de la tierra del valle del Mantaro

Digital image processing and land use mapping of the Mantaro valley

Ricardo Zubieta¹

Instituto Geofísico del Perú

RESUMEN

El presente trabajo tiene el objetivo de presentar un panorama espacial del valle del Mantaro, basado en la información sobre el uso de la tierra. Con este panorama se podría mejorar la percepción de los potenciales usuarios de este valle. Las tres estaciones meteorológicas utilizadas para generar el pronóstico del clima presentan características climáticas puntuales, aunque no necesariamente del valle, por ello, los pronósticos climáticos tienen limitaciones espaciales. El valle tiene alrededor de 650 km², con zonas de agricultura bajo riego y en seco.

Palabras clave: Landsat, teledetección, uso de tierra, Mantaro.

ABSTRACT

The objective of this work is to present a spatial approach of the land use in the Mantaro valley, in order to improve the perception of the potential users. Three meteorological stations are used for producing climate forecasts. Since these stations represent the climatic patterns of local areas (and not necessarily the whole valley patterns), the produced forecasts would have a spatial limitation. The valley area is approximately 650 km², with agriculture zones under irrigation and other areas with no irrigation

Key words: Landsat, remote sensing, land use, Mantaro.

1. Introducción

En el centro del Perú, entre las cordilleras Oriental y Occidental de los Andes, se ubica el valle del Mantaro, el cual se comporta como un excelente laboratorio para estudios ambientales, motivo por el cual se planteó la elaboración de un mapa del uso de la tierra de este valle empleando teledetección, a través de la interpretación visual y el procesamiento de imágenes del satélite Landsat. De esta manera, se cartografiaron e identificaron las diversas zonas y los respectivos usos a escala de 1:75.000. Es importante señalar que los resultados obtenidos son de carácter indicativo y —por supuesto— no reemplazan a mapas detallados a micro

escala que cada gobierno local, gobierno regional o la autoridad local del Agua de Junín desarrollen.

Por otro lado, la investigación incluye la descripción de las unidades de uso para el mapa generado. Se indica toda la información empleada, entre ellas, las imágenes de la zona, la cartografía digital que se requirió para el procesamiento digital e interpretación, y la metodología utilizada.

2. Descripción de la zona de estudio

El valle del río Mantaro se encuentra en el departamento de

¹ Email: ricardo.zubieta@igp.gob.pe

Junín (figura 1). Ocupa hasta 60 capitales de distritos como parte de las provincias de Chupaca, Concepción, Huancayo y Jauja. El sector económico más importante es sin duda la agricultura. La sierra de Junín es uno de los más importantes productores de papa, también cultiva una proporción importante de maíz amiláceo, quinua, cebada, trigo, habas, entre otros. Tiene como grandes núcleos a las confluencias de los ríos Cunas, Achamayo, Shullcas y Chanchas, todos los cuales desembocan en el río Mantaro. El valle es una de las principales fuentes para la seguridad alimentaria, no solo para la región, sino también para la ciudad de Lima.

En los últimos 20 años, la ciudad de Huancayo ha experimentado un crecimiento en sus alrededores, con lo cual se ha producido la urbanización de muchas zonas anteriormente dedicadas a la agricultura.

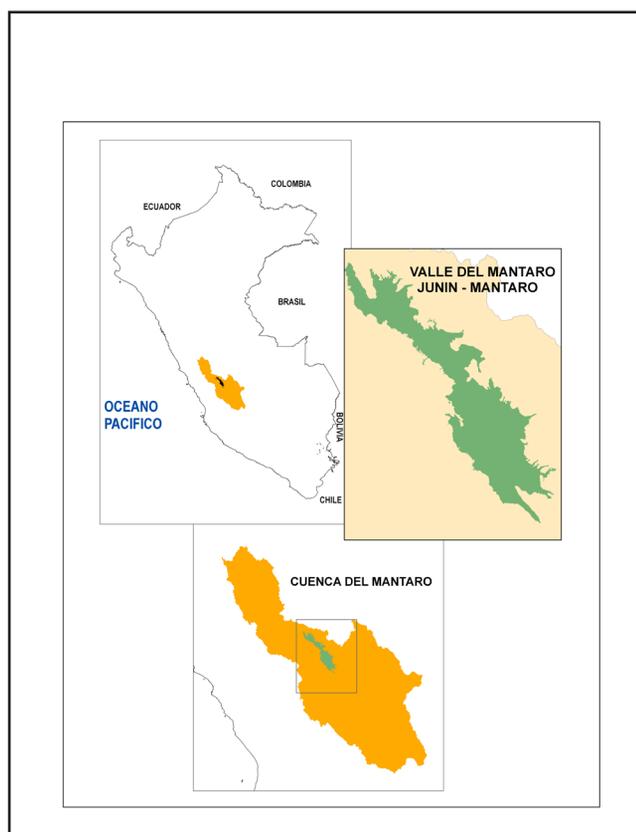


Figura 1. Ubicación del valle del Mantaro.

3. Tecnologías e información utilizada

3.1 Teledetección y Sistemas Multiespectrales

La teledetección permite obtener información a distancia de objetos. Como técnica, está en la capacidad de obtener información sin que exista un contacto material. En el caso del valle, se trata de objetos situados sobre la superficie terrestre. Para que esta observación y muchas otras sean posibles es necesario que, aunque no se esté en contacto material, exista interacción entre los objetos y el sensor, en este caso el Thematic Mapper del Landsat. Para el caso del valle del Mantaro, fue fundamental registrar una escena con imágenes multiespectrales y multitemporales, es decir, múltiples imágenes obtenidas en diferentes bandas espectrales en diferentes años.

El rango espectral de los sistemas de cámara satelital está restringido a la región del espectro visible y a una parte de la región del infrarrojo (IR) cercano (Ormeño, 2004), cuyo rango

empleado para el mapeo de las zonas de uso de la tierra se obtiene, en un inicio, mediante índices de vegetación.

Landsat Thematic Mapper, uno de los sensores más utilizados, es un escáner multiespectral de tipo transversal que registra 8 bandas de datos (tres en el visible, tres en el IR reflejado, una en el IR térmico y uno en el pancromático). Un escáner multiespectral de tipo longitudinal utiliza múltiples filas de detectores, cada una de ellas registra una banda espectral.

La selección de las imágenes y la fecha de las mismas rigen en función de la disponibilidad de escenas; meses donde las cubiertas de nubes sean mínimas, épocas donde las cubiertas vegetales presenten la mayor diferenciación, como en épocas de avenidas y estiaje, que favorezcan a la interpretación. En la tabla 1 se muestran las imágenes seleccionadas para el presente estudio.

Para el manejo de la información raster, así como para el procesamiento de la información satelital, el programa empleado fue *Arcgis* más las extensiones *spatial analyst* y *3D analyst*.

TABLA 1. Imágenes de satélite seleccionadas

Año	Fuente de Adquisición	Fecha
1976	U.S. Geological Survey (USGS)	03/06/1976
2001	Instituto Geofísico del Perú	03/08/2001
2002	U.S. Geological Survey (USGS)	19/06/2002
2008	U.S. Geological Survey (USGS)	19/06/2008

3.2 Sistemas de Información Geográfica (SIG)

Los sistemas de información geográfica (SIG) y la teledetección son dos tecnologías independientes, pero complementarias. Para el desarrollo del mapa, se utilizó el SIG para el almacenamiento de datos y sectorización de unidades de uso de suelo, así como para cálculos y estadísticas en la observación, por ejemplo, del comportamiento espacial de zonas bajo riego y por seco establecido en distintos años durante las últimas dos décadas.

Entre la cartografía utilizada se encuentra:

- Instituto Geográfico Nacional (IGN). Cartografía base digital (hidrografía, centros poblados) a una escala de 1:100 000.
- Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI). Cartografía digital (hidrografía, hipsografía, centros poblados) a una escala de 1:25 000.

El programa empleado en el manejo de la información vectorial, la generación de mapas, así como el procesamiento de información satelital, fue *Arcgis*.

4. Ajuste del límite del valle del Mantaro

El valle del Mantaro posee una forma irregular y una altitud media de 3300 msnm, por lo que se propuso identificar el límite del valle y los criterios de sectorización. Inicialmente, se tomó como línea referencial de límite del valle al polígono zonal que proveía el mapa de cobertura forestal, publicado por el Instituto Nacional de Recursos Naturales (INRENA) en 1996, en el cual se le atribuye como zona agropecuaria.

Se generó una cobertura que comprendió a la actividad agrícola como uno de las más importantes en la economía de los pobladores del valle, que recorre continua y discontinuamente algunos sectores, de manera que cubre todas las superficies cultivadas a través del índice de vegetación.

Además, para el ajuste se llevó a cabo un análisis tridimensional, por lo que se generó un modelo de elevación digital (*DEM*, sigla en inglés) que clasificó a la superficie del valle entre 3100 y

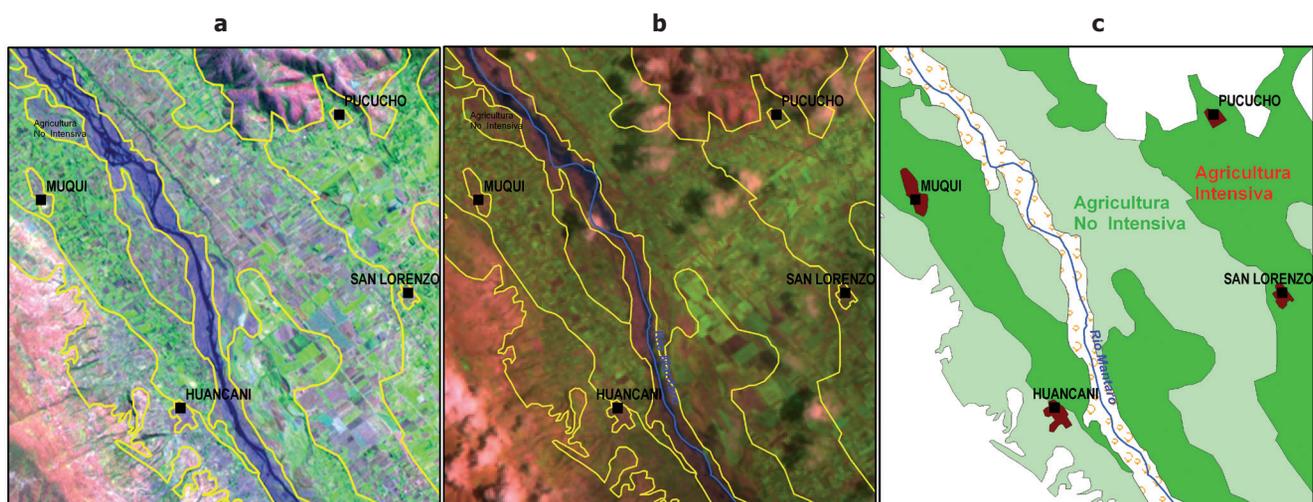


Figura 2. Imágenes combinación 543 Landsat ETM+ para Junio del 2000 (a), Landsat ETM para febrero del 2006 (b) e interpretación y clasificación (c). Sector Muqui, Huancani, San Lorenzo.

3400 msnm. Luego, se superpuso la capa de índice de vegetación para generar una nueva cobertura de acuerdo a la amplitud y alcance de superficies cultivadas o presencias de pequeños bosques alrededor del rango de altitud. En algunos casos, las zonas alcanzaron los 3470 msnm.

5. Metodología aplicada

5.1 Procesamiento digital de imágenes de satélite

Producto de la recopilación y selección de información se obtuvieron imágenes en formato *HDF* y *GeoTiff*, que fueron convertidas al formato *IMG*, para luego generar subescenas que correspondan al área de investigación y algunas reproyecciones de la zona geográfica en estudio.

El procesamiento de las imágenes de satélite incluyó la ortorectificación al relacionar geoméricamente los píxeles de las imágenes del satélite con el punto de superficie terrestre al que corresponden —claro está— tomando como referencia la cartografía del IGN. La ortorectificación, habitualmente llamada corrección geométrica, consistió en la creación de nuevas imágenes que conservaran los valores radiométricos de la imagen original, luego de haberle aplicado una “deformación” para adaptarla a una referencia geométrica.

Una vez corregidas geoméricamente las subescenas, se procedió a hacer una calibración radiométrica utilizando el realce de desviación estándar localizado, que consiste en seleccionar una ventana de la subescena que contenga la mayor variabilidad de valores de reflectancia, para luego aplicar este realce a toda la subescena. Se estimó la radiancia y se realizó el cálculo de la reflectancia al corregir problemas mecánicos en el sensor que hayan generado valores erróneos en píxeles. El método adoptado fue el de Chander et al. (2009) el cual reduce la variabilidad de escena a escena.

En cuanto al mejoramiento espacial, se empleó la imagen del año 2008 en la banda pancromática para el mejoramiento a 15 metros de resolución. El realce produce una nueva imagen que es visualizada para su interpretación. Esta imagen realizada es, generalmente, más fácil de interpretar que la original por diferentes motivos. Por ejemplo, puede hacerse un uso más eficiente de la información original (mejora del contraste) o bien, pueden utilizarse nuevas posibilidades de visualización para destacar cierta información (visualización en color). No es necesario que la imagen realizada tenga el aspecto de una imagen convencional, sino que los cambios producidos por el realce permitan una correcta interpretación visual (Ormeño, 2004).

Se calculó el *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI) para establecer los principales núcleos y caracterizar espacialmente las distintas imágenes satelitales mediante la cantidad, calidad y desarrollo de la vegetación.

Se realizó trabajo de campo con el objetivo de corroborar las unidades de uso catalogados en gabinete, con ello se identificaron algunas variaciones zonales que fueron corregidas mediante un levantamiento GPS, sobre todo para las zonas de pastoreo.

5.2 Interpretación de imágenes de satélite

Se empleó inicialmente la clasificación de imágenes mediante el índice de vegetación y firmas espectrales para la sectorización de los principales núcleos de uso en el valle. Se optó por convertir la información raster a vector, para luego realizar una interpretación visual que brinde un mejor mapeo de las unidades, disminuyendo el error que pudiera haberse generado por una deficiente resolución espacial, pero gestionando la información de los núcleos de uso generado inicialmente. De esta manera, se manejan los factores de forma, tamaño y topología. Se compararon imágenes de los años seleccionados mediante las bandas 345-432, delimitando la imagen del año 2008 por ser la más reciente.

La reflectancia del suelo se observa mejor en las bandas del espectro visible y en los de infrarrojo cercano y medio (bandas 345). El suelo influye en la reflectancia de cubiertas vegetales en mayor o menor medida, dependiendo de la densidad de la cubierta y del estado vegetativo de esta. La aplicación más familiar de este concepto es la observación del color del suelo para describir y ayudar a clasificarlo (Peces, 2006).

La reflectancia de cubiertas vegetales es una combinación de las propias plantas y de la del suelo subyacente. Conforme se desarrolla una cubierta vegetal la contribución del suelo disminuye progresivamente. Por ello, durante el crecimiento de las plantas, la reflectancia del espectro visible y del IR medio disminuye mientras que aumenta la del IR cercano. Durante el envejecimiento de las plantas se aprecia el efecto inverso (Peces, 2006).

Es evidente que la mayor parte de los suelos aparecen más oscuros cuando están húmedos que cuando están secos. Esto es una consecuencia de la disminución de la reflectancia en la región visible del espectro. Esta particularidad se puede apreciar con claridad en la figura 2, en las imágenes de junio de 2002 (a), febrero de 2006 (b) y la clasificación e interpretación (c). Las dos primeras imágenes (a y b) responden a las condiciones estacionales de precipitación.

Valores pronosticados y observados en la estación Huayao de los últimos 12 meses

Valores mensuales de Precipitación (mm)

	Ago 09	Set 09	Oct 09	Nov 09	Dic 09	Ene 10	Feb 10	Mar 10	Abr 10	May 10	Jun 10	Jul 10
Climatología	19.3	45.2	68.5	68.2	93.1	120.3	138.5	110.8	61.1	16.9	9.1	5.8
Observado	32.0	25.3	34.4	97.1	115.6	165.6	83.0	87.9	24.5	NA	NA	NA
Pronóstico	20.8	32.7	78.7	74.3	82.8	145.5	134.6	110.8	54.6	17.2	7.2	2.4
Porcentaje*										-11.1%	-25.8%	-68.0%

Valores mensuales de Temperatura Mínima del aire (°C)

	Ago 09	Set 09	Oct 09	Nov 09	Dic 09	Ene 10	Feb 10	Mar 10	Abr 10	May 10	Jun 10	Jul 10
Climatología	2.0	4.2	5.3	5.5	5.9	6.7	6.7	6.4	4.8	2.0	0.8	0.2
Observado	3.7	5.8	6.4	8.1	7.2	7.5	7.8	7.9	6.4	NA	NA	NA
Pronóstico	2.2	4.1	6.3	6.4	5.9	6.9	7.3	6.9	7.8	2.5	1.5	0.7
Porcentaje*										-7.4%	155.5%	-58.4%

Valores mensuales de Temperatura Máxima del aire (°C)

	Ago 09	Set 09	Oct 09	Nov 09	Dic 09	Ene 10	Feb 10	Mar 10	Abr 10	May 10	Jun 10	Jul 10
Climatología	20.0	20.3	20.5	20.8	19.9	18.8	18.5	18.4	19.2	19.8	19.4	19.3
Observado	20.4	21.1	21.8	20.3	19.9	19.5	20.0	20.0	20.7	NA	NA	NA
Pronóstico	20.2	19.5	20.3	21.0	19.9	19.1	20.9	19.3	19.1	19.4	19.9	18.8
Porcentaje*										-4.0%	-2.7%	-5.3%

Nota: Climatología calculada en el período 1970 - 2000

(*) Porcentaje respecto al año anterior. El signo negativo significa que el valor disminuye en X% y el signo positivo, aumenta en X%

Figura 3. Imagen combinación 432 Landsat ETM+ Junio 2006, sector Acolla, Jaula.

A su vez, las condiciones del uso de suelo se encuentran regidas por las precipitaciones estacionales. Esta condición se ve reflejada en la imagen de febrero (figura 2b) con una mayor tonalidad verdosa que la imagen de junio (figura 2a). Lo que permite identificar zonas dedicadas a agricultura intensiva y aquellas zonas agrícolas a secano (figura 2c).

La composición espectral de la radiación reflejada por el suelo, la vegetación y los cuerpos de agua del valle es muy diferente entre sí, pero fácilmente identificable, muchas veces, gracias a la morfología y a su distribución geométrica.

En la figura 3, se muestran las zonas agrícolas (en tonos de rojo), cuanto mayor es el riego que se practica más rojo se presenta. Esto se debe a la combinación de bandas comúnmente aplicadas, en este caso de Landsat las bandas 453, infrarrojo cercano, medio y rojo, lo que da un claro ejemplo de otra condicional como es la densidad. En la misma figura, en tono de verdes se puede apreciar zonas de cultivos en descanso. Por otro lado, también se

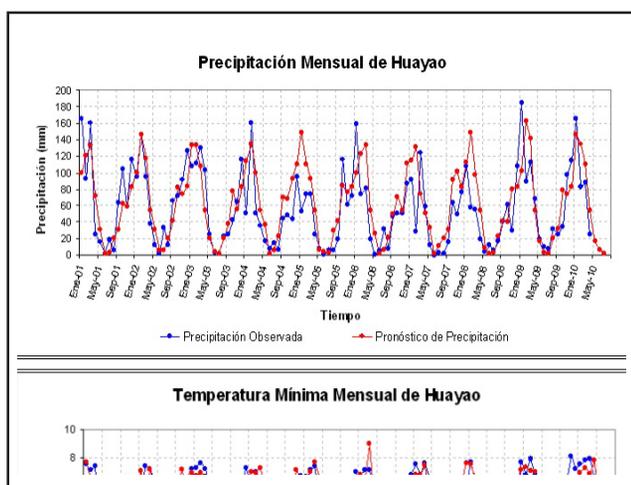


Figura 4. Representación gráfica y cuantitativa de superficies por zonas de uso.

identifican con claridad los cuerpos de agua, los cuales pueden confundirse con zonas de bofedales si se emplean solo bandas del espectro visible, sin embargo, se identifican fácilmente cuando se emplea la banda 4 del IR, ya que mientras más oscura sea la tonalidad, las aguas son más profundas. Asimismo, la ciudad de Jauja se aprecia en un tono plomizo.

6. Mapa de uso de la tierra del valle del Mantaro

Con las imágenes analizadas, se han identificado 9 unidades de uso de tierra, cuya representación gráfica y cuantitativa de superficie ocupada por cada tipo de uso se presenta en la figura 4.

La distribución espacial de estos 9 tipos de uso de tierra se presenta en el mapa de la figura 5. Una breve descripción de cada tipo de uso se presenta a continuación.

- **Agricultura intensiva:** agricultura permanente o con rotación, predominante durante la mayor parte de año, se presenta de forma continua en época de lluvias.
- **Agricultura no intensiva:** sistema agrícola en que se cultiva la tierra por un período

TABLA 2. Cuadro cuantitativo de superficies según uso de la tierra en el Valle del Mantaro.

Uso	Área(Ha)	%
Actividad agrícola intensiva	29796.0	45.54
Actividad agrícola No intensiva	21141.3	32.31
Bofedales	287.9	0.44
Bosques	1199.8	1.83
Centros poblados urbanos	4121.5	6.30
Cuerpos de agua	330.3	0.50
Expansión urbana	1725.2	2.64
Lecho de río Mantaro	2172.2	3.32
Pastoreo	4656.5	7.12

do, generalmente durante campañas, luego del cual es abandonada por otra área de terreno contiguo. En época de estiaje presenta en su mayoría suelo descubierto, así también puede presentar barbecho o vegetación de abandono transitorio.

- **Centros urbanos:** centros urbanos representados en su mayoría por capitales de distritos ubicados dentro del valle.
- **Cuerpos de agua:** lagunas, ríos.
- **Bofedales:** humedales en su mayoría inundados por agua en época de lluvias y regularmente saturados durante el resto del año.
- **Expansión urbana:** presenta zona urbana de crecimiento moderado y suelo descubierto durante mayor parte del año, su actividad agrícola es de amplitud menor y de forma discontinua.
- **Depósito fluvio-aluvial:** lecho del río Mantaro conformado por materiales detríticos.
- **Pastizales:** vegetación herbácea natural o seminatural predominante que se desarrollan bajo la interferencia mínima de pobladores del valle, ubicados en sus zonas elevadas como colinas o cerros cuyo uso se orienta a la actividad pecuaria.

- **Bosques:** se presenta en partes más altas y alejadas del valle de amplitud baja a muy baja.

Por otra parte, la cuantificación de superficies en el mapa de uso de la tierra indica que el mayor uso que se le da a la tierra es para la actividad agrícola, tanto intensiva como no intensiva, tal como se detalla en la tabla 2.

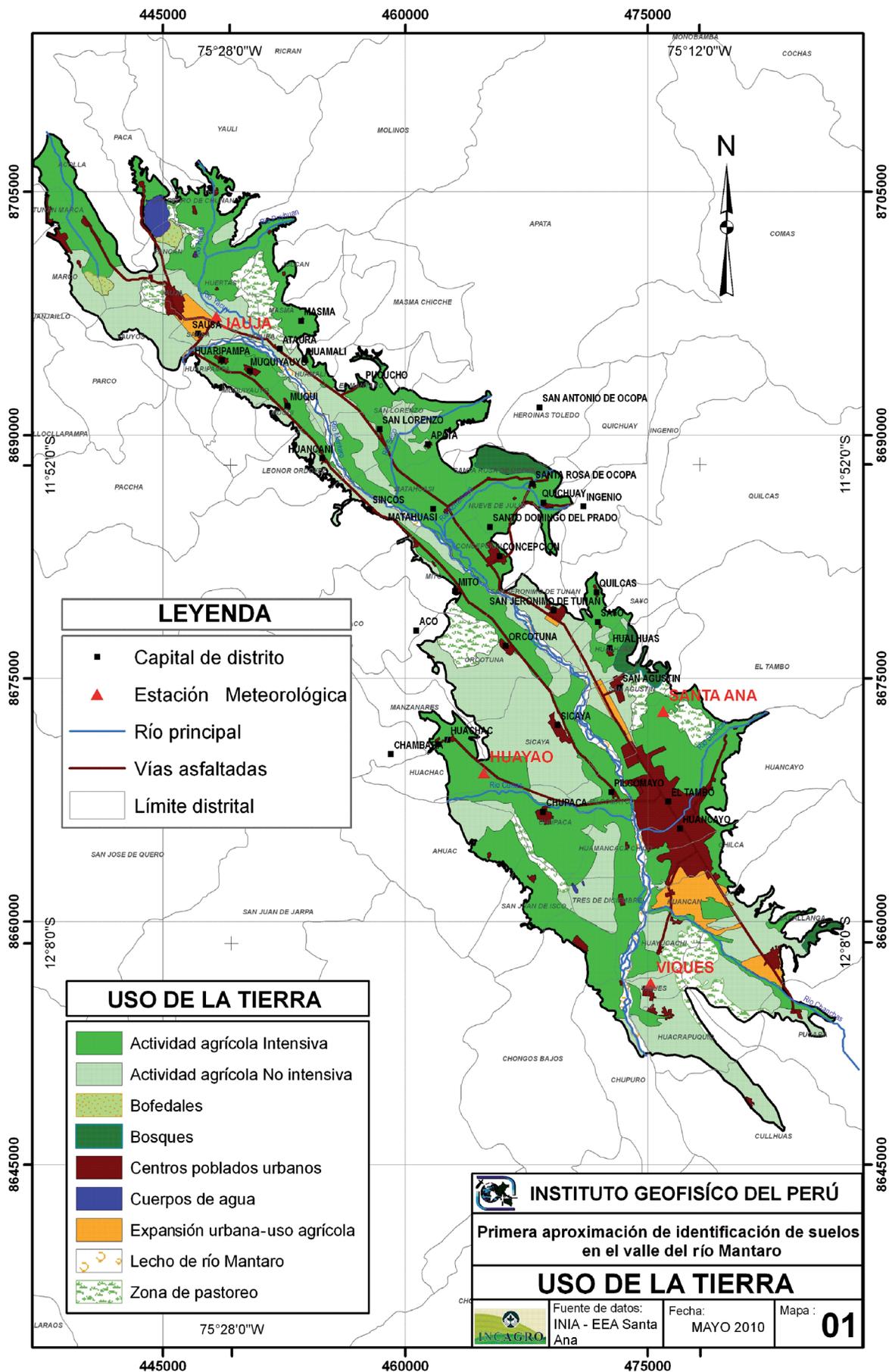
7. Conclusiones

El mapa de uso de Tierra presentado en este trabajo, es una primera aproximación, se espera que este sea usado como referencia para mejorar la representación del valle.

La distribución de las zonas dedicadas a agricultura intensiva y por secano, en los últimos 20 años se ha visto disminuido por el crecimiento de ciudades como Huancayo. Las zonas de expansión urbana en el mapa, ha mostrado un crecimiento lento, de acuerdo a las imágenes analizadas, pero aun se dedican a la agricultura (margen derecha del río Chanchas).

8. Referencias

- **Chander, Y.; Gyanesh, C.; Brian, M. y Dennis, L. (2009).** *Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors-Remote Sensing of Environment.*
- **INRENA, (1996).** Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995. Lima - Peru
- **Instituto Geográfico Nacional, (1971).** Cartografía Digital 24I, 24m, 25m. Escala 1:100.000
- **Ormeño, S., (2004).** Teledetección Fundamental, Madrid. España
- **Organismo de Formalización de la Propiedad Informal, (2002).** Cartografía Digital Escala 1:25.000 24M-III-NE, 24M-III-NO, 24M-III-SE, 24M-III-SO, 24M-II-SO, 25M-I-NO, 25M-I-SO, 25M-IV-NE, 25M-IV-SE.
- **Peces, J.J., (2006).** Fotointerpretación Asistida por ordenador –Dirección General del Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Fomento– IGN, España.



LEYENDA

- Capital de distrito
- ▲ Estación Meteorológica
- Río principal
- Vías asfaltadas
- Límite distrital

USO DE LA TIERRA

- Actividad agrícola Intensiva
- Actividad agrícola No intensiva
- Bofedales
- Bosques
- Centros poblados urbanos
- Cuerpos de agua
- Expansión urbana-uso agrícola
- Lecho de río Mantaro
- Zona de pastoreo

INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Primera aproximación de identificación de suelos en el valle del río Mantaro

USO DE LA TIERRA

Fuente de datos: INIA - EEA Santa Ana	Fecha: MAYO 2010	Mapa: 01
--	---------------------	--------------------

Mapa de uso de la tierra.

Interpolación de la precipitación en la cuenca del río Mantaro

Interpolation of land-surface precipitation in the Mantaro river basin

Elsa Nickl¹

Universidad de Delaware

RESUMEN

El presente trabajo describe el análisis de la relación entre los patrones espaciales de la topografía (elevación, pendiente, orientación de la pendiente) y las lluvias en la cuenca del río Mantaro, con el fin de evaluar el área como posible zona de prueba de un nuevo método de interpolación.

Este nuevo método de interpolación intenta desarrollar un proceso que considere, por un lado, la influencia de las estaciones cercanas y, por otro lado, la influencia de la topografía en la precipitación mensual. Los resultados de ambos subprocesos serían recombinados para estimar la precipitación mensual para cada centro de grilla (Nickl y Willmott, 2008).

Utilizando datos climatológicos de 87 estaciones en la cuenca del río Mantaro y datos de elevación con una resolución espacial de 30 arcosegundos (~1km), se realizaron scatterplots "especiales" y otros gráficos que muestran la relación entre la intensidad de lluvias y los patrones de topografía (elevación, pendiente, componentes latitudinal y longitudinal de la orientación) a diversos niveles de resolución espacial (0,5, 1,5 y 2,5 minutos).

Los diversos gráficos muestran una relación entre los valores altos de precipitación y una orientación noreste de la pendiente, especialmente para la resolución de 2,5 minutos. Además, se observa una fuerte relación entre las lluvias, la elevación y las pendientes fuertes. Las estaciones con precipitaciones más intensas están localizadas en pendientes más fuertes y en mayores elevaciones.

Las relaciones identificadas entre las lluvias y los patrones de la topografía hacen de la cuenca del río Mantaro un área potencial de estudio en la aplicación del nuevo método de interpolación. Las series de tiempo de lluvias estimadas con este nuevo enfoque permitirán un mejor análisis del cambio de precipitación en los Andes.

Palabras clave: Interpolación de lluvias, topografía, resolución espacial, scatterplots espaciales.

ABSTRACT

This work describes the analysis of relationships between spatial patterns of topography (elevation, slope, slope orientation) and land-surface precipitation in the Mantaro river Basin, with the purpose of evaluating this area as a potential region to test a new interpolation method.

The new interpolation procedure intends to take into account separately the influences from nearby raingage-station observations and additional topographic influences on interpolated monthly precipitation. Estimated from these two parts then will be recombined into a single estimate of monthly precipitation for each grid node (Nickl and Willmott, 2008).

Using land-surface precipitation climatologies for 87 raingage stations and 30 arc-sec (~1km) elevation information, "special" scatterplots and other graphics were performed to analyze the relationships between precipitation and topographic patterns (elevation, slope, latitudinal and longitudinal components of slope orientation) at different spatial resolutions (0,5, 1,5 and 2,5 minutes).

"Special" scatterplots and other graphics show a relationship between large precipitation values and a northeast slope orientation, especially for 2,5 minute resolution. Additionally, there is a strong relationship between precipitation, elevation and steep slopes; raingage-stations with higher values of precipitation are located on steeper slopes and higher elevations.

The relationships found between land-surface precipitation and topographic patterns in the Mantaro river basin, convert this region in a potential area to test the new interpolation procedure. Monthly fields of land-surface precipitation estimated using the new interpolation method, would enhance research in precipitation change in the Central Peruvian Andes.

Key words: Rainfall interpolation, topography, space resolution, space scatterplots.

¹ E-mail: enickl@UDel.Edu

1. Introducción

Uno de los objetivos de la consultoría realizada en agosto de 2008 fue el de orientar al grupo en las metodologías existentes de interpolación de la precipitación, y evaluar la posibilidad de aplicar un nuevo método de interpolación de lluvias en la cuenca del río Mantaro que tome en cuenta los patrones de topografía. Este nuevo método de interpolación es una propuesta para la disertación de doctorado en el Departamento de Geografía de la Universidad de Delaware (Nickl y Willmott, 2008), y toma en cuenta la relación entre los patrones espaciales de las lluvias y la topografía (elevación, pendiente, orientación de la pendiente).

La idea de proponer un nuevo enfoque de interpolación surgió al analizar los cambios de lluvias en los últimos 100+ años utilizando tres bases de datos de lluvias grilladas existentes con mayor escala temporal y espacial (lluvias mensuales para el periodo 1901-2008 cada 0,5° a escala global): las bases de datos del Climate Research Unit (CRU), del Global Precipitation Climate Center (GPCC) y de la Universidad de Delaware (UDeI). Al realizar este análisis se encontraron ciertas diferencias en la distribución espacial y temporal de las tendencias de lluvias entre las tres bases de datos, además de algunos patrones discutibles en zonas de montaña, lo cual genera incertidumbre en el análisis de las tendencias de las lluvias (Nickl et al., 2010). Uno de los motivos de estos problemas es que los métodos de interpolación utilizados para la estimación de estas bases de datos son tradicionales, es decir, solo toman en cuenta los valores de precipitación de estaciones cercanas que podrían tener influencia en la estimación de cada grilla, con lo cual si se tiene una baja densidad de estaciones (especialmente en áreas de topografía compleja), podrían generar error en las estimaciones.

Si se logran mejorar las estimaciones de precipitación a través de un nuevo método de interpolación que tome en cuenta la topografía, se podría contar con una nueva serie de tiempo que permita realizar un mejor análisis de los cambios de lluvias en los últimos 100+ años. Para poder construir y evaluar este nuevo enfoque, se tomó en cuenta la región occidental de Estados Unidos (que abarca las Rocky Mountains), como área de prueba para el nuevo interpolador. Al tener la oportunidad de realizar la consultoría, se pensó también en la posibilidad de considerar a la cuenca del río Mantaro como área de prueba, y de este modo tener una zona representativa de las montañas en latitudes medias (Rockies) y otra de los trópicos (Andes).

Este informe describe el análisis de la relación entre los patrones espaciales de la topografía y las lluvias en la cuenca del río Mantaro, con el fin de evaluar la incorporación del área como zona de prueba del nuevo método de interpolación.

2. Métodos de interpolación de lluvias

Los métodos de interpolación de lluvias se clasifican en dos categorías: los métodos tradicionales y los métodos que toman en cuenta la topografía.

2.1. Métodos tradicionales

Los métodos tradicionales estiman la precipitación (P) tomando solamente en cuenta la latitud, la longitud y los valores de precipitación de las estaciones vecinas que podrían tener influencia en la estimación. La siguiente ecuación resume a los métodos tradicionales (Willmott y Matsuura, 1995):

$$P_k = I[P_{n(k)}, \lambda, \phi] \dots\dots\dots(1)$$

Donde P_k es la precipitación que se quiere estimar para cada grilla " k ", $P_{n(k)}$ es un vector que contiene datos de precipitación de " n " estaciones vecinas que pueden influenciar la estimación de P_k , λ , ϕ son la longitud y latitud correspondientes de cada estación. Finalmente I es la función de interpolación tradicional (que pueden ser inverse-distance weighting, thin-plate splines, kriging, entre otros).

Uno de los métodos tradicionales más conocidos es el de inverse-distance weighting (IDW), que toma en cuenta las distancias a las estaciones vecinas de la grilla en la cual se quiere estimar la precipitación: las estaciones más cercanas tienen mayor peso. Esta función de interpolación tiene diversas variaciones (uno de ellos es el método Shepard, por ejemplo). Las tres bases de datos de precipitación mencionados anteriormente (CRU, GPCC y UDeI) utilizan el IDW para la estimación de la precipitación a una resolución de 0,5°.

La base de datos de la UDeI utiliza, además del IDW, el método Climatologically Aided Interpolation (CAI), el cual emplea una climatología de alta resolución (mayor densidad de estaciones) para estimar las anomalías de las precipitaciones mensuales en cada estación; estas diferencias son interpoladas utilizando el método Shepard modificado (toma en cuenta distancias esféricas en vez de lineales) para obtener un campo de anomalías. Finalmente, cada "campo" de anomalías mensuales es agregado de vuelta al "campo" de climatologías, obteniéndose la precipitación mensual grillada (Willmott et al., 1985; Willmott et al., 1996; Matsuura y Willmott, 2007).

La base de datos del CRU utiliza el método Angular Distance Weighting (ADW, que es una versión del método Shepard). Este método considera el peso de las 8 estaciones más cercanas al centro de grilla en la que se quiere estimar la precipitación, usando un Correlation Decay Distance (CDD). Sin embargo, cuando no se encuentran estaciones dentro de este CDD, las anomalías de las lluvias interpoladas son forzadas al valor cero. (New et al., 2000; Mitchell y Jones, 2005). Esto puede generar datos invariantes durante muchos años para las regiones con menor densidad de estaciones, sobre todo en las primeras décadas del siglo XX. La figura 1 muestra el mapa de valores anuales invariantes desde 1901, donde se observa un área donde hay datos repetitivos por más de 30 años en el noreste de Canadá y norte de Groenlandia. Estas repeticiones pueden ocasionar errores en el análisis de cambios en las lluvias (Nickl et al., 2010).

La base de datos del GPCC utiliza el software SPHEREMAP, desarrollado por el Dr. Cort Willmott (Departamento de Geografía de la Universidad de Delaware) y sus estudiantes. Este software utiliza una adaptación del método Shepard, que toma en cuenta las distancias esféricas (Willmott et al., 1985; Rudolf y Schneider, 2005).

El método kriging es un enfoque geoestadístico del método tradicional de interpolación utilizando en variables climáticas. Consiste en desarrollar un modelo de semivariograma (relación distancia-precipitación) que se ajuste a los datos, con el fin de obtener los pesos óptimos de las estaciones. Este método ha sido aplicado en diversas regiones, obteniendo en diversas ocasiones menor error que otros métodos tradicionales. Una de las limitaciones que tiene es que depende de los datos para representar la variabilidad espacial del campo real de lluvias. Si los datos no son representativos (terreno complejo), la precisión de los datos interpolados podría estar en duda. Además, se necesitaría un variograma distinto para cada mes, debido a la variabilidad temporal de los patrones de precipitación. (Daly et al., 1994)

2.2 Métodos que toman en cuenta la topografía (modelo PRISM)

Una forma de reforzar los métodos de interpolación tradicional es tomar en cuenta la relación entre las variables climá-

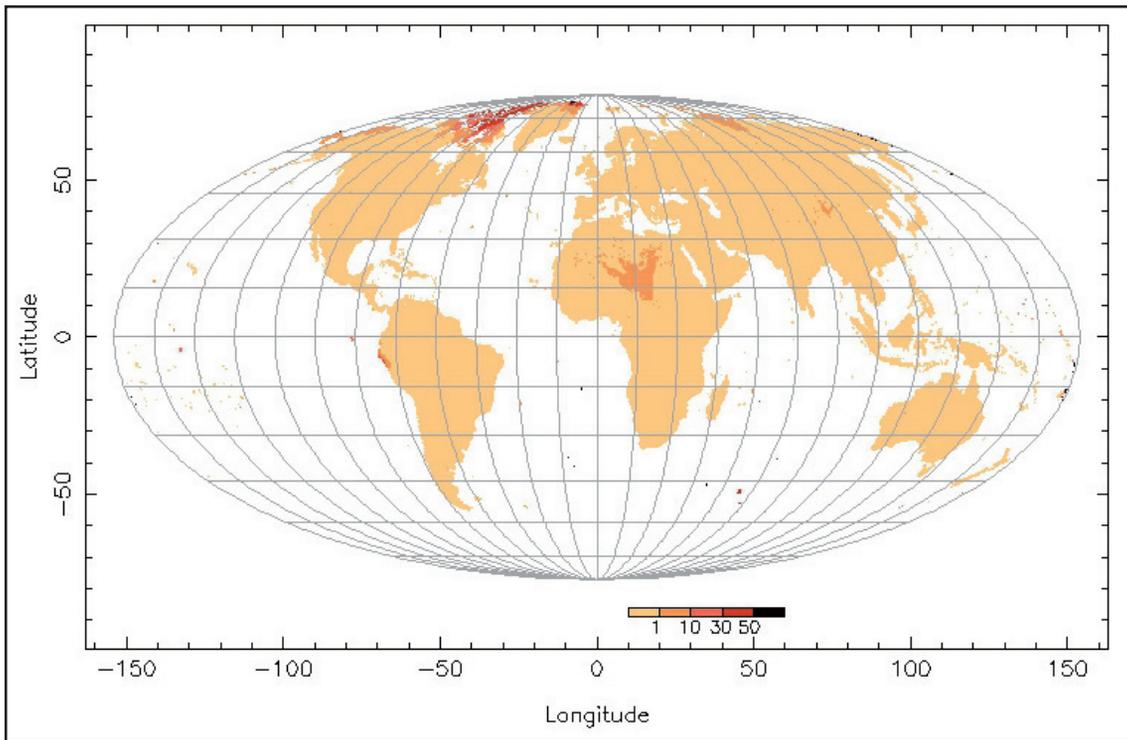


Figura 1. Número de años desde 1901 con información repetitiva en la base de datos del CRU.

ticas y la topografía (por ejemplo, precipitación y elevación).

Los métodos basados en el kriging que toman en cuenta la influencia de la elevación, como el detrended kriging y cokriging con elevación —lo cual puede mejorar los resultados que el kriging ordinario— funcionan solamente en las áreas con una fuerte relación precipitación-elevación, y no siempre se tiene este caso (Daly et al., 1994).

Sin embargo, hay un modelo que representa una contribución muy importante en estos métodos que toman en cuenta la topografía: el modelo PRISM (Modelo de Regresión de los Parámetros de Elevación en Regiones de Pendientes). Este modelo utiliza información de estaciones, un modelo digital de terreno (DEM) y un marco conceptual que toma en cuenta la escala “espacial” y los patrones de la precipitación orográfica. El modelo PRISM ha sido desarrollado para Estados Unidos y se han hecho algunas aplicaciones en otras regiones del mundo (como los Alpes de Suiza, por ejemplo). PRISM toma en cuenta una relación lineal entre la precipitación y la elevación, la elevación orográfica (en vez de la elevación real de las estaciones), y la clasificación de las áreas montañosas en “facetas” (áreas contiguas de valores de pendiente y orientación homogéneos). En su primera versión se asume que las lluvias tienen sus máximos valores en los topes de las montañas, y en la última versión se toma en cuenta la existencia de dos capas que permitan la simulación de inversiones de temperatura (capa baja límite y capa alta de atmósfera libre) y otros factores como la proximidad a la costa, distancia a los cuerpos de agua, índice de humedad, etc. (Daly et al., 1994; Daly et al., 1998; Schwarb, 2000).

3. Propuesta de nuevo método de interpolación

a. Conceptos básicos:

Antes de describir la propuesta de este nuevo enfoque, se describen algunos conceptos utilizados:

Orientación de la pendiente

La orientación de la pendiente o aspecto es la dirección a la cual está orientada o expuesta la pendiente de una montaña (por ejemplo, nor-este). Esta variable topográfica es muy importante, pues dependiendo de la orientación, en determinadas partes del año y del día, se recibe mayor o menor radiación solar en la superficie, lo cual podría generar mayor convección. También, dependiendo de la orientación, algunas pendientes están más expuestas a la dirección de los vientos que transportan humedad (Barry, 1992). Para estimar la orientación total, se calcula la componente longitudinal (dz/dx) y la componente latitudinal (dz/dy) de la orientación; para ello se estima la diferencia de elevación entre la grilla central (en la cual se quiere estimar la orientación) y las grillas vecinas este-oeste (para la componente longitudinal dz/dx) y norte-sur (para la componente latitudinal dz/dy). Por ejemplo, para calcular dz/dx de la grilla (i, j) de la figura 2 sería $elevación(i+1, j) - elevación(i-1, j)$.

$(i-1, j+1)$	$(i, j+1)$	$(i+1, j+1)$
$(i-1, j)$	(i, j)	$(i+1, j)$
$(i-1, j-1)$	$(i, j-1)$	$(i+1, j-1)$

Figura 2. Grillas que se toman en cuenta para el cálculo de las componentes de la orientación en la grilla (i, j).

Una vez que se estiman las componentes dz/dx y dz/dy se puede estimar la orientación total (de 0 a 360 grados), realizando una operación vectorial. Si se grafican ambas componentes en el eje x e y , también se puede visualizar la orientación total en los "scatterplots especiales".

Escala orográfica

Es la resolución espacial en la cual se maximiza la influencia de la topografía en las lluvias. Para lograr identificar esta escala se agregan los valores de las características topográficas de las grillas desde una mayor resolución espacial a resoluciones más gruesas, hasta encontrar la resolución a la cual se maximizan las relaciones entre las lluvias y la topografía.

Scatterplots "especiales"

Son scatterplots que tienen como objetivo visualizar la relación de la intensidad de las lluvias con diversas características de la topografía al mismo tiempo (elevación, pendiente, y orientación de la pendiente). El eje X representa la componente longitudinal de la orientación (dz/dx) y el eje Y representa la componente latitudinal de la orientación (dz/dy). Cada uno de los círculos representa una estación meteorológica, el tamaño de estos círculos está asociado con la intensidad de las lluvias y el color con la elevación (en metros). La figura 4 muestra estos scatterplots; la combinación de dz/dx y dz/dy permite visualizar la orientación total, además de la pendiente de la estación. Para poder asignar los valores dz/dx , dz/dy y elevación a cada estación, se asocia cada una de estas al centro de la grilla más cercana.

Exposición potencial a la orografía

Es el conjunto de relaciones entre la topografía y las lluvias que no están completamente explicados al tomar en cuenta la elevación, la pendiente y la orientación de la pendiente. Por ejemplo, la posibilidad de que una estación meteorológica tenga una orientación hacia los vientos que transportan humedad, pero a la vez existe una montaña de mayor elevación (obstáculo) que impide que los vientos lleguen a la zona donde se localiza la estación; en este caso, no sería suficiente considerar solamente la orientación de la pendiente.

3.2 Método de interpolación

Al analizar las características del modelo PRISM, Nickl y Willmott (2008) comenzaron a pensar en la posibilidad de desarrollar un enfoque alternativo que pueda ser aplicado en una forma más extensa a las diversas zonas de montaña. Para esto, se seleccionó como área de prueba la región occidental de Estados Unidos, y se empezó a explorar con mayor detalle las relaciones entre las lluvias mensuales y los patrones de topografía, utilizando los "scatterplots especiales" con diversas resoluciones espaciales, con el fin de identificar la escala orográfica.

Este nuevo enfoque intenta desarrollar un proceso de interpolación espacial que estime, por un lado, la influencia de las estaciones cercanas y, por otro lado, la influencia de la topografía en la precipitación mensual. Los resultados de ambos subprocesos serían recombinados para estimar una sola precipitación mensual para cada centro de grilla.

El componente basado en la distancia/dirección de las estaciones cercanas se basaría en la versión modificada de Shepard, que considera las distancias esféricas (Willmott et al., 1985). De este modo, en este subproceso se estimaría la precipitación P_j en base a las estaciones cercanas P_i ("i" representa a cada estación).

Por otro lado, la subcomponente que toma en cuenta la influencia de la topografía analizaría para cada localidad de interés (estación "i") las influencias de la elevación (z), penden-

te, orientación de la pendiente (componentes dz/dx y dz/dy) y el grado de exposición a la orografía (E). Es muy importante estimar la escala orográfica, lo cual se haría a través del uso de una elipse ajustable a diversas escalas (en vez de un solo radio de búsqueda), con la cual se podría tomar en cuenta (en relación a su orientación y diversos tamaños de ambos ejes) la dirección del viento, obteniendo una relación más fuerte entre lluvias y topografía.

Para cada estación "i" se estimaría tomando en cuenta la región orográfica, el promedio de la elevación (\bar{z}_i), de la componente longitudinal de la orientación ($\overline{dz/dx}$), de la componente latitudinal de la orientación ($\overline{dz/dy}$) y de la exposición potencial de la estación "i" a la orografía (E_i^p).

(E_i^p) podría ser estimado como la desviación de la tendencia de superficie lineal que se ajusta a los nodos de las grillas que caen dentro de la región orográfica. A partir de características topográficas (z , dz/dx , dz/dy y E) se podría estimar el error de la interpolación tradicional P_i , en cada una de las estaciones en las que las influencias topográficas no están explícitamente tomadas en cuenta. Este "error" puede expresarse con la siguiente fórmula:

$$\Delta P_i = P_i - P_i = f[\bar{z}_i, \overline{dz/dx}, \overline{dz/dy}, E_i^p] \dots\dots\dots(2)$$

Donde P_i es la precipitación mensual observada en la estación "i", P_i es la precipitación estimada usando interpolación tradicional (sobre la base de los valores de precipitación de a las estaciones cercanas excepto P_i), en otras palabras, P_i sería la cross-validación de P_i .

La ecuación 2 sería evaluada para la región que se expande a las regiones orográficas asociadas a las estaciones cercanas y entonces ΔP_j podría ser estimado utilizando una versión específica de la ecuación 2, puesto que se tiene información de topografía para cada grilla "j".

Finalmente, la combinación de la interpolación tradicional P_j , tomando en cuenta distancias horizontales/dirección, y la influencia de la topografía sería:

$$P'_j = P_j + \Delta P_j \dots\dots\dots(3)$$

3.3 Análisis de la relación entre la precipitación y la topografía en la cuenca del río Mantaro

Se utilizaron datos climatológicos de 87 estaciones en la cuenca del Mantaro (figura 3). Estos datos fueron obtenidos de la Empresa Eléctrica del Perú (Electroperú) y el Instituto Geofísico del Perú (IGP). Los datos de elevación fueron obtenidos del proyecto GTOPO30 (USGS), con una resolución espacial de 30 arcosegundos (~1km) (USGS, 2006).

La relación espacial entre la elevación y la localización de las estaciones en la cuenca del Río Mantaro es típica, con una mayor densidad en bajas elevaciones y menor pendiente.

Se realizaron scatterplots especiales en base a la información del DEM para 0,5 (resolución original), 1,5 y 2,5 minutos (figura 4). Primero, para la resolución original, se estimó el dz/dx , dz/dy y z para cada grilla. Luego, para obtener la resolución 1,5 y 2,5 minutos, se realizó una búsqueda con radio ("search radius") y, basado en el número de grillas para cada región, se calculó el promedio móvil de dz/dx , dz/dy y z .

En la figura 4 se observa una relación entre los valores altos de precipitación y una orientación NE de la pendiente, especialmente para la resolución de 2,5 minutos. Este patrón puede ser explicado, en parte, por los vientos alisios del nor-este que traen humedad del Atlántico y del Amazonas durante el verano austral. La localización de la Zona de Convergencia Intertropical cerca al Tropic de Capricorino (~22,5°S) en esta época del año es otro factor (Nickl y Willmott, 2008; Nickl, 2007).

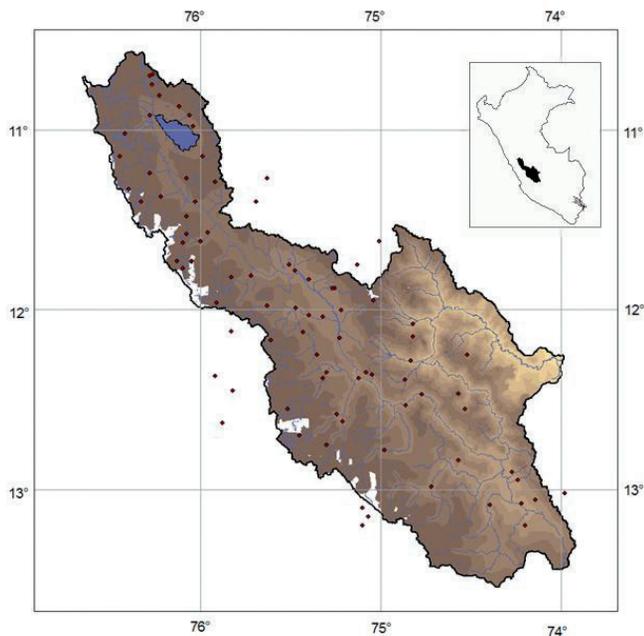


Figura 3. Distribución espacial de las estaciones meteorológicas en la cuenca del río Mantaro.

La figura 5 muestra la relación entre las lluvias y la elevación para pendientes bajas y fuertes (valores de las componentes de la orientación de la pendiente menores y mayores a 50 m, respectivamente). Se puede observar que las estaciones con precipitaciones más intensas están localizadas en pendientes más fuertes (figura 5b), y también una fuerte relación entre las lluvias y la elevación.

4. Conclusiones

Se han identificado relaciones entre las lluvias y los patrones de la topografía (elevación, pendiente, orientación de la pendiente) en la cuenca del río Mantaro, lo cual hace que la zona sea un fuerte potencial para ser utilizada como área de estudio en la aplicación del nuevo método de interpolación. Las series de tiempo de lluvias estimadas con este nuevo enfoque de interpolación, permitirán un mejor análisis del cambio de precipitación en los Andes.

5. Referencias bibliográficas

- **Barry, R. (1992).** Mountain Weather and Climate. London: Routledge.
- **Daly, C.; Nelson, R. P. y Phillips, D. L. (1994).** "A statistical-topographic model for mapping climatological precipitation over mountain terrain". Journal of Applied Meteorology, 33, pp. 140-158.
- **Daly, C.; Halbleib, M.; Smith, J. I.; Gibson, W. P.; Doggett, M.; Taylor, G.; Curtis, J. y Pasteris, P. (2008).** Physiographically sensitive mapping of climatological temperature and precipitation across the conterminous United States. International Journal of Climatology, 28, pp. 2031-2064.

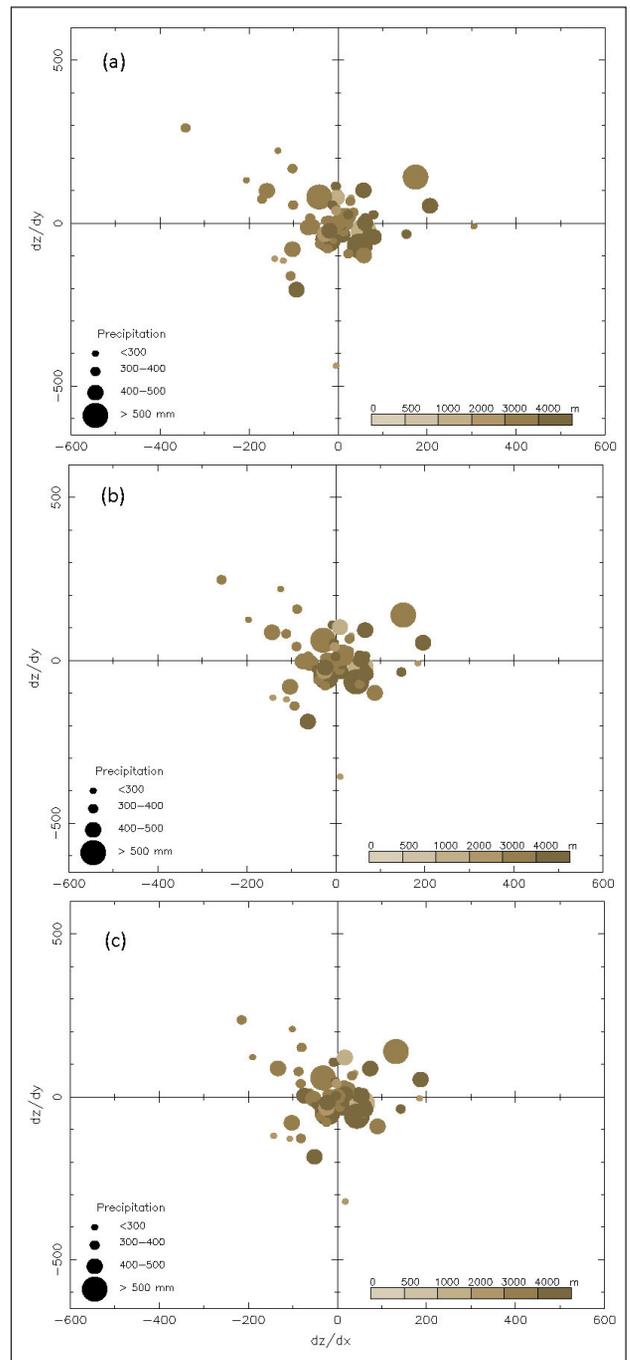


Figura 4. Elevación, pendiente, orientación de la pendiente, y precipitación durante el verano austral (DEF) en la Cuenca del río Mantaro para (a) resolución 0.5 minutos, (b) resolución 1.5 minutos, (c) resolución 2.5 minutos.

- **National Climatic Data Center [NCDC] (2007).** Global Historical Climatology Network (GHCN) Monthly Version 2. (<http://www.ncdc.noaa.gov/oa/climate/ghcn-monthly/index.php>).
- **United States Geological Survey (USGS) (2006).** Global 30 Arc Second Elevation Data (GTOPO 30) (<http://edc.usgs.gov/products/elevation/gtopo30/gtopo30.html>).
- **IPCC (2007): 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.; Qin, D. y Manning, M. (eds.).

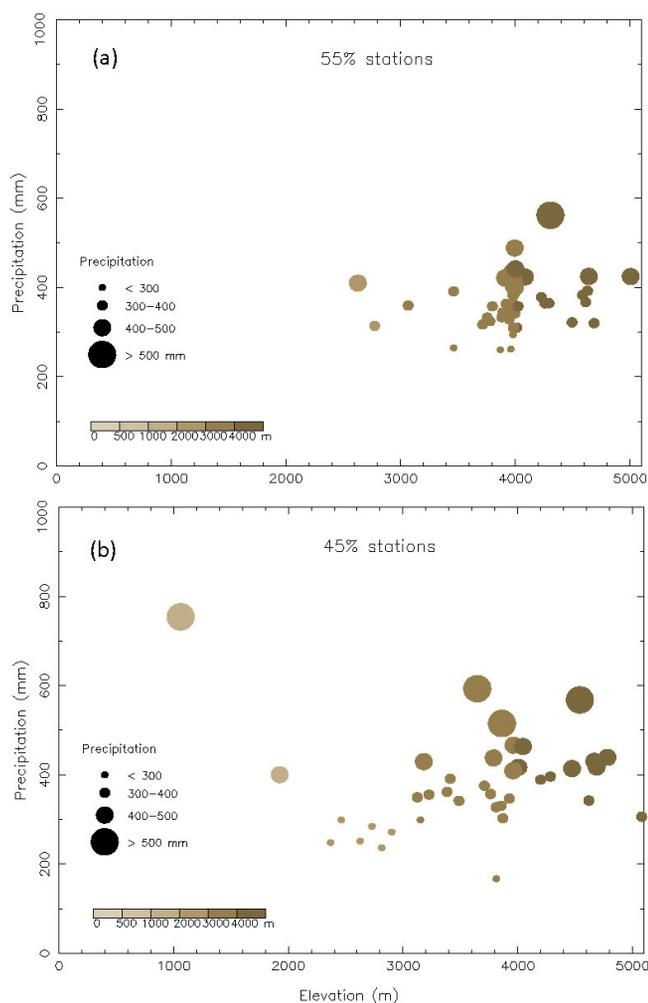


Figura 5. Precipitación y elevación durante el verano austral (DEF) en la cuenca del río Mantaro, resolución 2.5 minutos, para (a) pendientes leves, (b) pendientes fuertes.

- **Matsuura, K. y Willmott, C. J. (2007).** Terrestrial Precipitation: 1900-2006 Gridded Monthly Time Series (Version 1.01), Center for Climatic Research, Department of Geography, University of Delaware.
- **Mitchell, T.D. y Jones, P. D. (2005).** An improved method of constructing a database of monthly climate observations and associated high-resolutions grids. *International Journal of Climate*, 25, pp. 693-712.
- **Nickl, E.; Willmott, C. J.; Matsuura, K. y Robeson, S. M. (2010).** Changes in annual land-surface precipitation over the 20th and early 21st century. *Annals of the Association of American Geographers (AAG)*, (accepted in January 2010, forthcoming)
- **Nickl, E. y Willmott, J. C. (abril, 2008).** A new approach to the estimation of precipitation fields in mountainous environments. Paper presented at the annual meeting of the Association of American Geographers, Boston.
- **New, M.; Hulme, M. y Jones, P. (2000).** Representing Twentieth-Century space-time climate variability. Part II: Development of 1901-96 monthly grids of terrestrial surface climate. *Journal of Climate*, 13, pp. 2217-2238.

- **Rudolf, B., y Schneider, U. (2005).** Calculation of gridded precipitation data for the global land-surface using in-situ gauge observations. *Proceedings of the 2nd Workshop of the International Precipitation Working Group IPWG, Monterey, October 2004*, pp. 231-247.
- **Schwarb, M. (2000).** The Alpine precipitation climate, evaluation of a high-resolution analysis scheme using comprehensive rain-gauge data. Dissertation submitted to the Swiss federal Institute of Technology Zurich for the degree of Doctor of Natural Sciences.
- **Schneider, U.; Fuchs, T.; Meyer-Christopher, A. y Rudolf, B. (2008).** Global precipitation analysis products of the GPCP. Global Precipitation Climatology Center (GPCC), Germany.
- **Shepard, D. (1968).** A two-dimensional interpolation function for irregularly-spaced data. *Proceedings, 1968 ACM National Conference*, pp. 517-523.
- **Willmott, C. J. y Robeson, S. M. (1995).** Climatologically aided interpolation (CAI) of terrestrial air temperature. *International Journal of Climatology*, 15(2), pp. 221-229.
- **Willmott, C. J.; Rowe, C. M. y Philpot, W. D. (1985).** Small-scale climate maps: a sensitivity analysis of some common assumptions associated with grid-point interpolation and contouring. *The American Cartographer*, 12, pp. 5-16.
- **Willmott, C. J. y Matsuura, K. (1995).** Smart interpolation of annually averaged air temperature in the United States. *Journal of Applied Meteorology*, 34 (12), pp. 2577-2586.
- **Willmott, C.J. (1984).** On the evaluation of model performance in physical geography. In G. L. Gaile.

Vientos superficiales en el valle del Mantaro

Surface wind over the Mantaro valley

Dalma Mamani Gonzales¹
Yamina Silva Vidal²

¹Universidad Nacional Mayor de San Marcos

²Instituto Geofísico del Perú

RESUMEN

El estudio tiene por objetivo realizar la descripción del viento en el valle del Mantaro, sabiendo que el principal mecanismo que influye en el viento es el gradiente térmico generado por la radiación diurna. Para el análisis del ciclo diurno de los vientos en esta zona, se utilizaron datos dos estaciones meteorológicas por un periodo de siete años, con los que se generaron rosas de viento a nivel estacional. Los resultados obtenidos muestran las direcciones predominantes, la influencia estacional en el viento diurno y el análisis espacial del mismo, además se observa que al mediodía la dirección predominante en Huayao es del Sureste (SE) y que en Jauja es del Norte (N).

Palabras clave: ciclo diurno, vientos de valle-montaña, valle del Mantaro, topografía compleja.

ABSTRACT

The study aims to make the description of the wind in the Mantaro valley, knowing that the main mechanism that influences in the wind is the thermal gradient generated by the diurnal radiation. For the analysis of the diurnal cycle of winds in this area, data from two weather stations for a period of seven years were used for and seasonal windroses were generated. The results show, prevailing direction, the seasonal influence on the diurnal wind and spatial analysis of it, showing that at noon the predominant direction in Huayao is Southeast (SE) and in Jauja North (N).

Key words: diurnal cycle, valley–mountain winds, valley of Mantaro, complex terrain.

1. Introducción

En la capa más baja de la troposfera, en algunas regiones, suelen observarse vientos intensos, denominados corrientes en chorro en bajos niveles. Estas estructuras dinámicas tienen una serie de características que las distinguen (Stensrud, 1996), en especial por el papel que juegan como moduladores del tiempo meteorológico y del clima (Stensrud, 1996; Amador, 2008). Virji (1981), y Paegle y Zhang (1987) plantean que la corriente en chorro de capas bajas de

Sudamérica (CCSA) es un factor importante del clima en el continente, y que transporta grandes cantidades de humedad desde el Amazonas hacia la cuenca del Río de la Plata, al norte de Argentina (South America Low Level Jet, SALLJ, en inglés). La CCSA es responsable del transporte de calor y humedad hacia el sur, y alcanza un máximo de viento alrededor de los 850 hPa (Seluchi y Marengo, 2000; Edison et al., 2010).

En el IGP (2005), se presentó la climatología de la circulación atmosférica en Sudamérica a 850 hPa (periodo 1971-2000); en él se visualizó el sistema de vientos de la LLJ¹, el

¹ E-mail: dalma_mamani@yahoo.com

cual se intensifica durante el verano y permite un importante intercambio de energía y humedad desde la cuenca amazónica hasta el sur de Brasil y las planicies argentinas. En la región del Perú, la dirección de los vientos promedio es del Nor-este (figura 1); en invierno, la LLJ persiste aunque debilitada.

A nivel superficial, la topografía gana importancia generando forzamientos dinámicos que producen importantes modificaciones en la dirección e intensidad de los vientos generales debido a canalizaciones, ascensos forzados, efectos de barrera (Whiteman, 2000). Además, existen forzamientos térmicos asociados a calentamientos diferenciales de la superficie que generan circulaciones locales (Blumen, 1990). El forzamiento dinámico depende de los flujos sinópticos (CCSA), mientras que el forzamiento térmico depende de las diferencias de temperatura que se establecen a lo largo de los ejes de los valles o de los ejes de los sistemas plano-montaña (Whiteman, 2000; Jiménez et al., 2002)

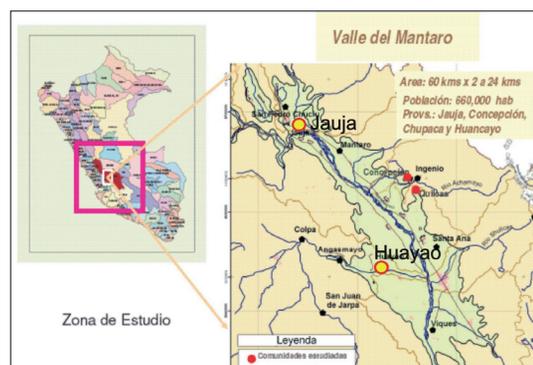


Figura 2. Ubicación espacial de las estaciones de Huayao y Jauja (círculos amarillos) en el valle del río Mantaro.

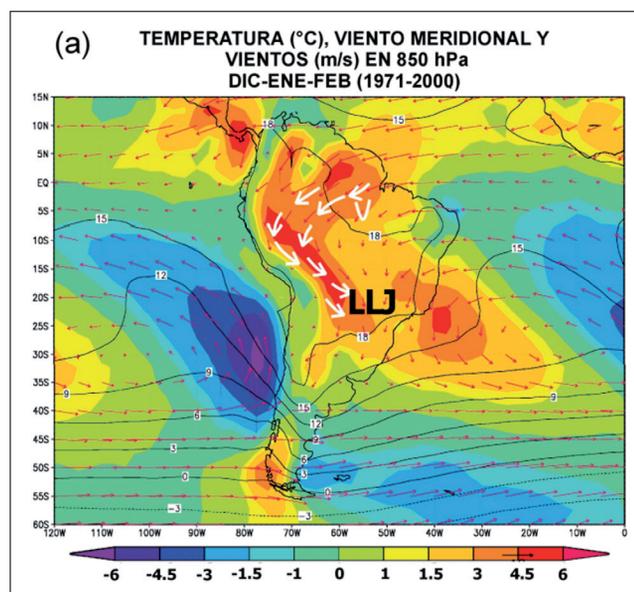


Figura 1. Climatología de la circulación atmosférica (período: 1971-2000) en Sudamérica a 850 hPa (aproximadamente a 1,5 km de altitud), según IGP (2005).

2. Datos y metodología

Para el análisis del viento en el valle del Mantaro se utilizaron datos de las estaciones meteorológicas de Huayao (estación automática) y Jauja (estación sinóptica), cuya ubicación espacial se presenta en la figura 2 y en la tabla 1. Los datos utilizados pertenecen al Instituto Geofísico del Perú (Huayao) y al Servicio Nacional de Meteorología e

Hidrología del Perú (Jauja).

Se realizó el control de calidad de los datos de manera visual, y se notó que la serie de datos no tenga valores extremos (outliers²), para evitar, de esta manera, posibles errores de digitación. Se encontraron algunos valores muy elevados y para corregirlos se observaron, de manera detallada, los datos cercanos al mismo y se hizo una aproximación. Con ello evitamos que el dato sea eliminado. Con los datos faltantes no se realizó ninguna estimación; estos no fueron considerados para el análisis. Por otro lado, para los vientos calma, cuya magnitud es cero, se consideró la dirección como indeterminada.

Se calculó el ciclo diurno estacional para el periodo de estudio, que agruparon los datos, primero a nivel estacional y luego en forma horaria o para las horas sinópticas. El análisis estacional se realizó considerando como verano los meses de diciembre a febrero; como otoño de marzo a mayo; como invierno de junio a agosto, y como primavera de setiembre a noviembre. Para el análisis del ciclo diurno, se agruparon los datos de la estación automática (Huayao) por horas, tal como se describe en la tabla 2, mientras que para la estación de Jauja se consideraron las horas sinópti-

Tabla 2. Agrupación horaria de los datos de la estación automática de Huayao.

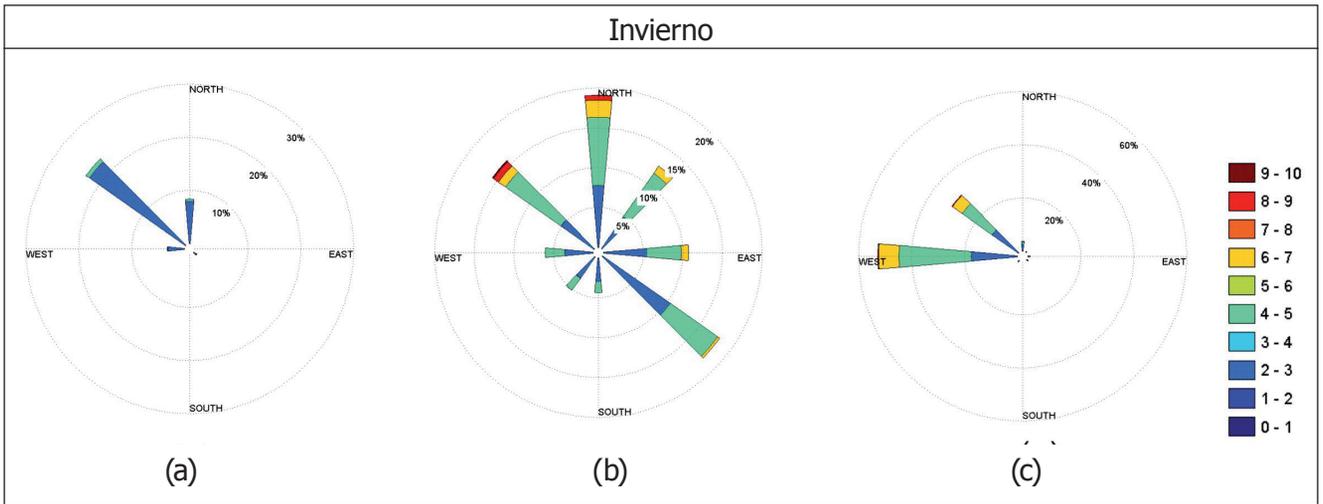
Clasificación	Horas
D1: madrugada	0 - 7
D2: mañana	8 - 12
D3: tarde	13 - 18
D4: noche	19 - 23

Tabla 1. Ubicación geográfica y periodo de registro analizados de las estaciones meteorológicas en el valle del Mantaro.

Estación	Departamento	Provincia	Distrito	Latitud (°S)	Longitud (°W)	Altitud (msnm)	Longitud de registro
Huayao	Junín	Huancayo	Chupaca	12°02'18"	75°19'22"	3350	22-01-2002 al 31-08-2008
Jauja	Junín	Jauja	Jauja	11°47'	75°28'	3322	01-01-2002 al 31-12-2008

¹ LLJ, Low Level Jet (corriente de chorro de bajo nivel) similar a CCSA (Chorro de Capas Bajas de Suramérica).

² Outliers es un valor numérico que se encuentra distante de los otros datos dentro de una misma muestra.



Fuente de datos: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

Figura 3. Ciclo diurno en Jauja: 7 (a), 13 (b) y 19 (c) horas para invierno.

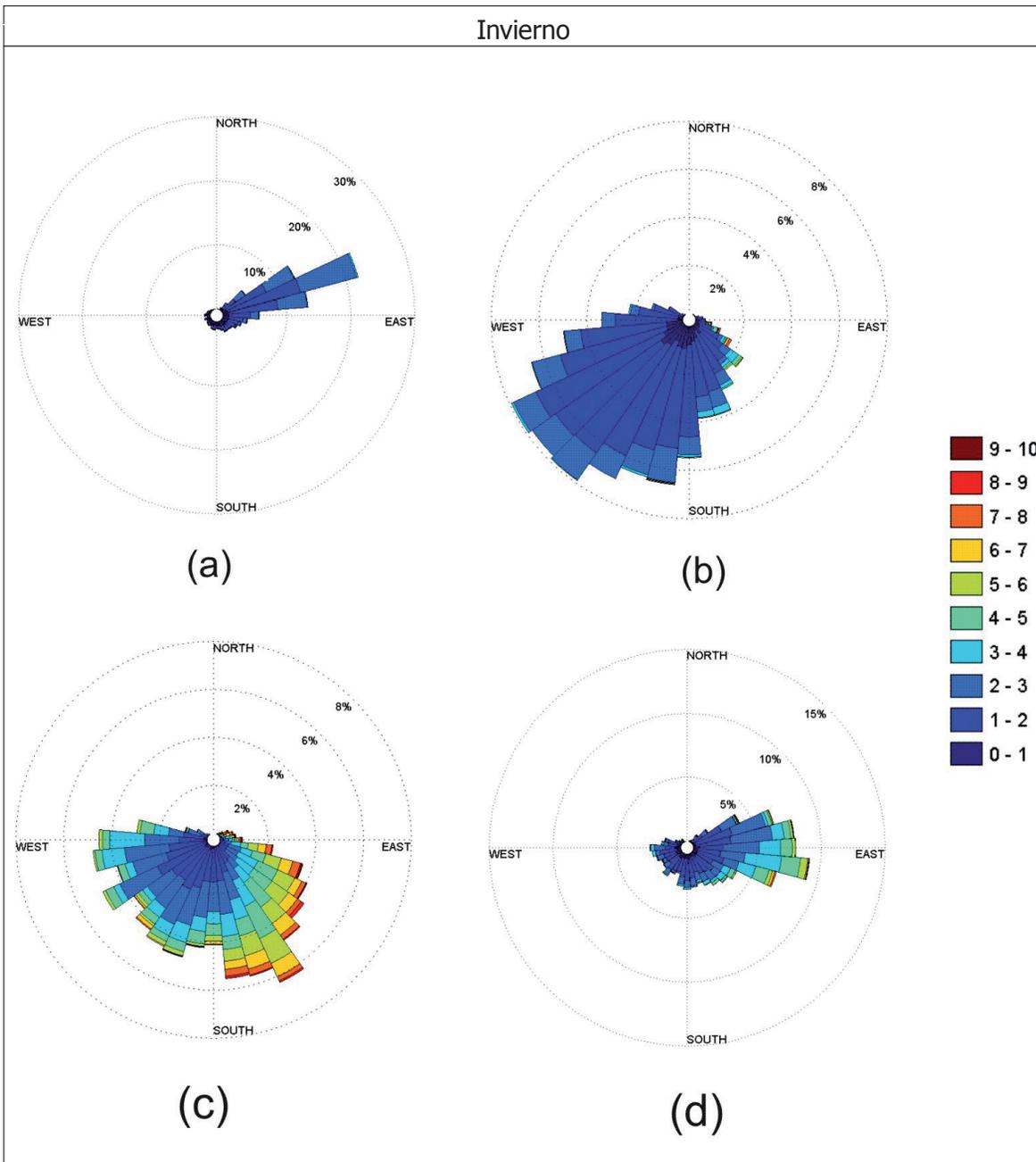
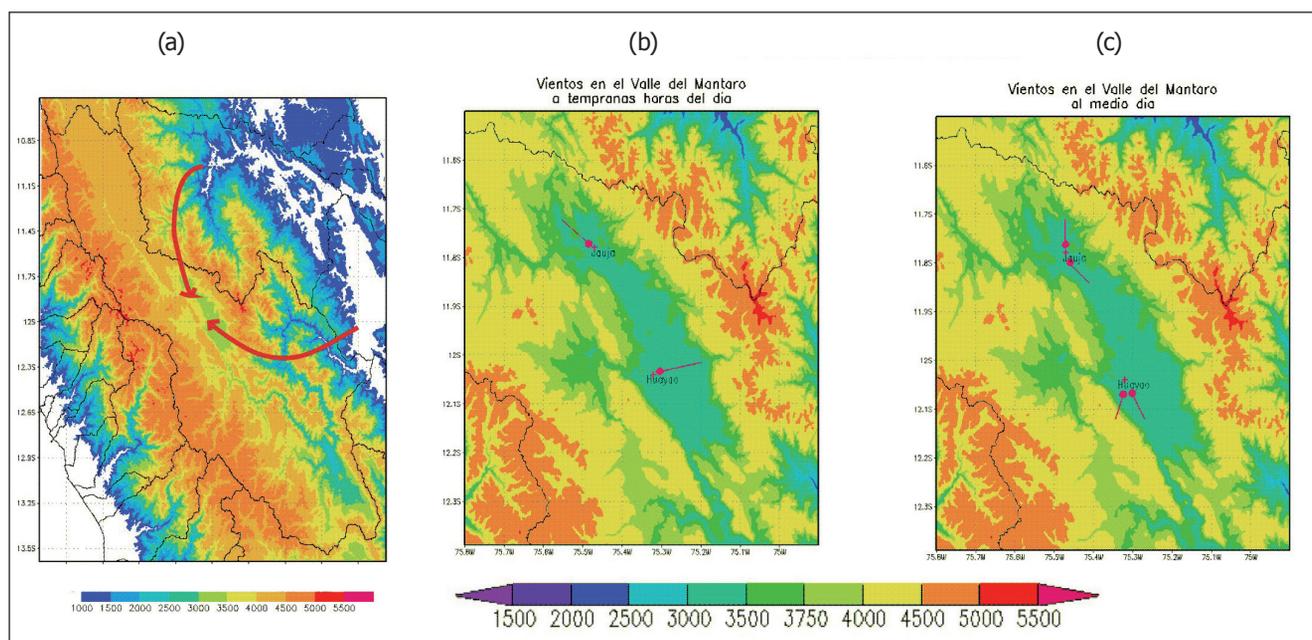


Figura 4. Ciclo diurno en Huayao, D1 (a), D2 (b), D3 (c) y D1 (d) para invierno (véase clasificación en la tabla 2).

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



Fuente de datos: IGP y SENAMHI.

Figura 5. a) Esquema de los flujos que ingresan a la cuenca del Mantaro sujetos a la CCSA, b) esquema espacial de los vientos superficiales en Jauja a las 7 horas, y Huayao entre las 0 y 7 horas, y c) al mediodía (Jauja 13 horas, y Huayao entre las 13 y 18 horas).

cas: 07, 13 y 19 h. Con estos datos se procedió a generar las rosas de vientos horarias estacionales.

Para el análisis espacial del viento, se generó el esquema del valle del Mantaro obtenido de las cartas nacionales del IGN³; en este se superpuso las direcciones predominantes del viento diurno que se obtuvieron del análisis anterior.

3. Resultados

3.1 Ciclo diurno a nivel estacional

En Jauja, se encontró que el ciclo diurno del viento no varía significativamente a nivel estacional (ver anexo 1); por ejemplo, en invierno, durante las primeras horas de la mañana (figura 3a), la dirección predominante es la del Noroeste (NW), y la mayor parte del tiempo los vientos son muy ligeros y calmados. Al mediodía (figura 3b), la dirección es variable con una ligera predominancia de vientos del Norte (N) y del Sureste (SE); ese comportamiento se mantiene durante todos los meses del año con algunas diferencias en su magnitud, que varían en mayor porcentaje entre 4-5 m/s; en la primavera, los vientos son de mayor magnitud. Por la noche, a las 7 pm (figura 3c), la dirección varía entre Oeste (W) y Noroeste (NW); solo en verano, además de estos vientos, se identifica una ligera predominancia de dirección Sureste (SE), y la magnitud más frecuente es entre 1-2 m/s (verano y otoño) y entre 3-4 m/s (invierno y primavera).

En Huayao, al igual que en Jauja, no se aprecia la variación en el ciclo diurno a nivel estacional (véase anexo 2); la figura 4 es un ejemplo de la estación de invierno. En ella se muestra que entre las 0 y 7 horas (figura 4a) los vientos son de dirección Noreste (NE) con magnitudes débiles, muy característico entre esas horas. Con el aumento de la temperatura que se genera entre las 8 y 12 horas (figura 4b), los vientos cambian de dirección predominante del Suroeste (SW), con magnitud que varían principalmente entre 1 y 2

m/s, mientras que entre las 13-18 horas (figura 4c), periodo en que la temperatura alcanza su máximo valor, los vientos más fuertes son de dirección Sureste (SE) con magnitudes entre 3-7 m/s. En la figura también se observa vientos ligeramente débiles (1-2 m/s) de dirección Suroeste (SW). Al anochecer entre las 19 y 23 (figura 4d), con el descenso de la temperatura y horas, los vientos son predominantemente del Este (E).

3.2 Análisis espacial de los vientos en el valle del río Mantaro

Los vientos en el valle presentan una particularidad: dentro del mismo poseen direcciones totalmente opuestas. Esto obedece principalmente a las forzantes dinámicas como la CCSA, la cual llega a los andes con dirección Norte (N) y esta, a su vez, ingresa a la cuenca por el Nor-orienté entre las subcuencas de Quisualcancha y Yacuy con dirección Norte (N), y por el sur-orienté entre las subcuencas de ceja de selva con dirección Sur (S) y Sureste (SE) (véase figura 5a).

Centrándonos en el valle, notamos que estas direcciones, además de estar sujetas a la forzante dinámica, tienen ligeras variaciones, debido a las de temperatura que generan los vientos de valle montaña. Como se aprecia en la figura 5b, por la mañana, en Jauja, el viento es del Noroeste (NW) y se relaciona a la componente oeste con los vientos de ladera descendente; en Huayao no podemos decir lo mismo, solo que la dirección se podría deber a que los vientos ingresan canalizados entre las quebradas de la subcuenca del Pariahuanca con dirección Este (E).

Por otro lado, en Jauja, los vientos al mediodía (figura 5c) son tanto del Sureste (SE) así como del Norte (N); suponemos que se debe a la ubicación de Jauja, ya que se encuentra en el límite de la influencia de los dos flujos que ingresan a la cuenca. En cambio, en Huayao, los vientos son predominantemente del Sur (S) con ligeras variaciones; son del Suroeste (SW) cuando estos aún tienen influencias del

³ IGN - Instituto Geográfico Nacional.

sistema de vientos de ladera descendentes, y del Sureste (SE) cuando están sujetos a los vientos de ladera ascendentes.

4. Conclusiones

En el valle del Mantaro, los vientos están esencialmente condicionados a las forzantes dinámicas como la corriente de chorro de Sudamérica (CCSA).

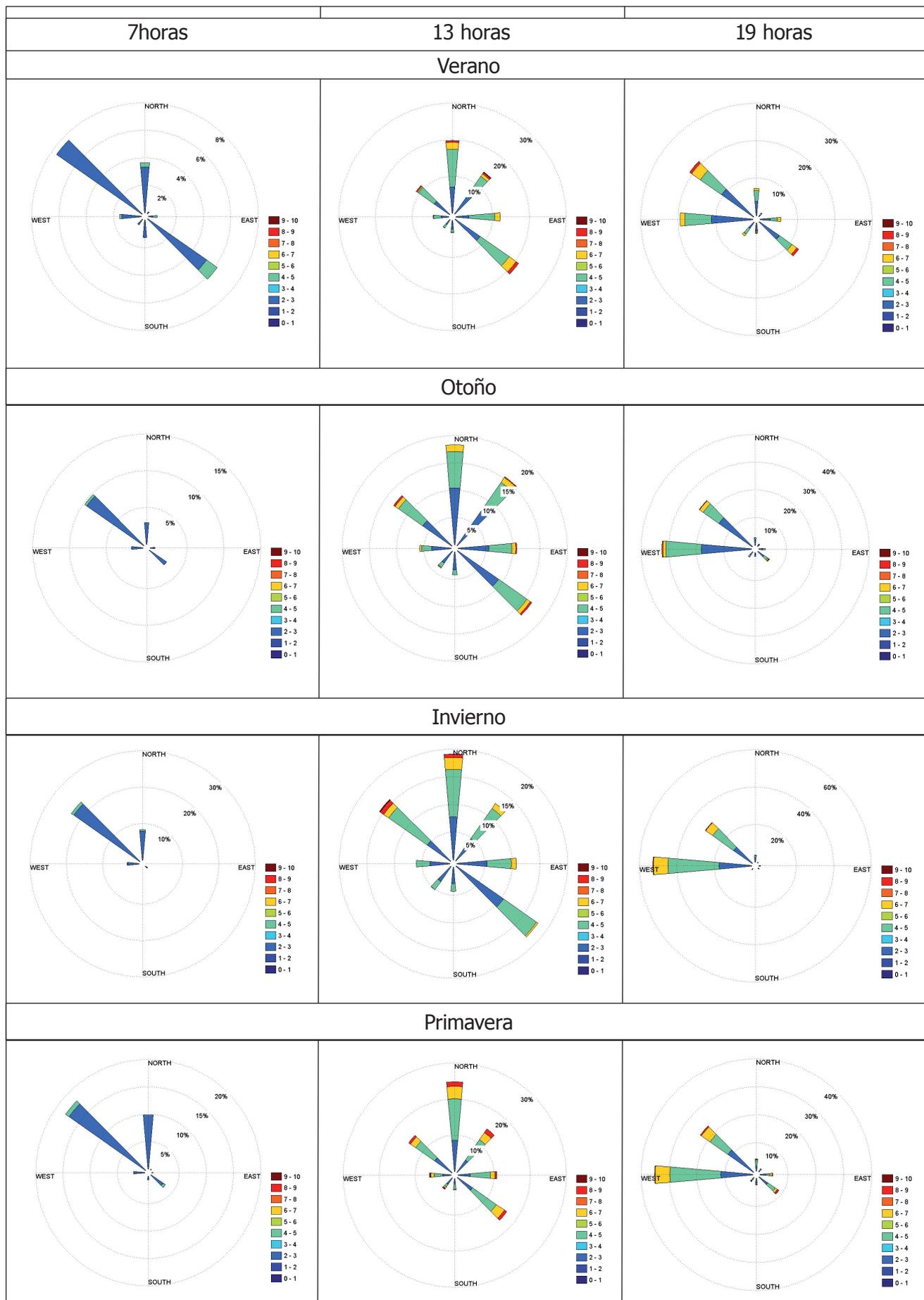
La estación meteorológica de Jauja, debido a su ubicación espacial en el valle, muestra que los vientos (sujetos a CCSA) confluyen en esta región, lo cual genera, al medio día, vientos con direcciones muy variables, principalmente de componente Norte (Noreste-Noroeste) y en algunos casos del Sureste. A nivel estacional, mantienen el mismo patrón con excepción de verano, que muestra un ligero incremento de dirección Sureste a las 7 y 19 horas.

En Huayao, la dirección del viento no se modifica de manera drástica a nivel estacional a diferentes horas del día; los vientos más fuertes (entre 13-18 horas) son predominantemente del Sureste y del Suroeste, debido a los vientos que ingresan de la zona suroriental de la cuenca (ceja de selva).

5. Referencias bibliográficas

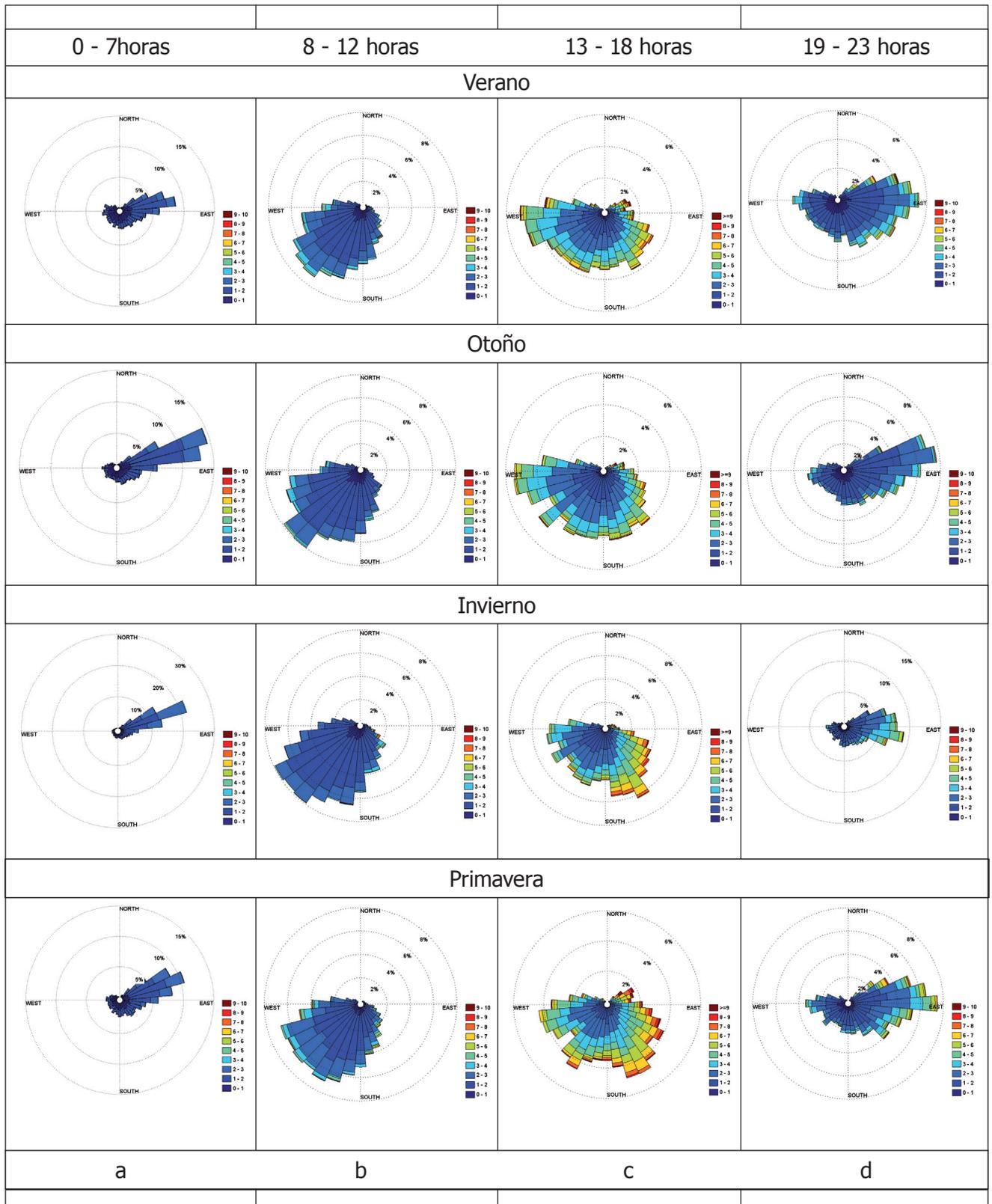
- **Amador, J. (2008).** The Intra Americas Seas Low-Level Jet (IALLJ): Overview and Future Research. In Gimeno L.; García R. and Trigo R. (eds.) Trends and directions of climate research, Annals of the New York Academy of Sciences, October.
- **Instituto Geofísico Del Perú (2005).** Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro. Volumen I. Fondo Editorial del CONAM.
- **Jiménez, P.; González-Rouco, F.; Montávez, J.; Navarro, J. y Valero, F. (2002).** Regionalización del campo de viento en superficie en terreno complejo.
- **Paegle, J. y Zhang, C. (1987).** Atmospheric response to tropical thermal forcing in real data integrations. Mon. Wea. Rev.
- **Seluchi, M. y Marengo, J. (2000).** Tropical-mid latitude exchange of air masses during summer and winter in South America: Climatic aspects and extreme events. International journal of climatology, vol. 20, pp. 1167-1190.
- **Stensrud, D. (1996).** Importance of Low-Level Jets to Climate. J. Climate, vol. 9, pp. 1698-1711.
- **Torrealba, E. y Amador J. (2010).** La corriente en chorro de bajo nivel sobre los Llanos venezolanos de Sur América.
- **Virji, H. (1981).** A preliminary study of summertime tropospheric circulation patterns over South America estimated from clouds winds. Mon. Wea. Rev., vol. 109, pp. 599-610.
- **Whiteman, C. D. (2000).** Mountain Meteorology: Fundamentals and Applications, Oxford University Press, Blumen, W. (ed.). Atmospheric Processes Over Complex Terrain, Meteor. Monogr., vol. 45.

Anexo 1. Rosas de viento estacional para las horas sinópticas en Jauja.



Fuente: Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) Huancayo, 7 (a), 13 (b) y 19 (c).

Anexo 2. Rosas de viento estacional para las diferentes horas del día en Huayao.



Fuente: Instituto Geofísico del Perú (IGP).

Circulación atmosférica asociada a veranillos en el valle del Mantaro

Atmospheric circulation during the dry spell events in the Mantaro valley

Juan Carlos Sulca Jota¹, Yamina Silva Vidal²
Ken Takahashi Guevara², Kobi Mosquera Vásquez²

¹ Universidad Nacional Mayor de San Marcos

² Instituto Geofísico del Perú

RESUMEN

En esta investigación nuestro interés está centrado en la identificación de los eventos de veranillos en el valle del Mantaro y la circulación atmosférica regional asociada a ellos. Para la identificación de los veranillos se usan dos métodos: el índice de anomalías estandarizadas (IAE) y el método del decil. Para la identificación de los patrones de circulación atmosférica, se usan los compuestos secos menos normales (CSN) y el compuesto de anomalías diarias (CAD). Estos dos últimos permitirán diferenciar la circulación durante un veranillo y un día normal, así como si fuesen afectados por la variabilidad intraestacional del verano austral (enero, febrero y marzo). Durante el periodo 1992 al 2009, se identificaron 14 veranillos en el valle del Mantaro con una duración promedio de 9,2 días. La circulación atmosférica predominante durante estos eventos ha sido las anomalías de vientos del oeste en la parte central de América del Sur en todos los niveles de la atmósfera.

Palabras clave: veranillos, compuestos secos, circulación atmosférica en América del sur, valle del río Mantaro.

ABSTRACT

In this paper our interest is focused primarily on identifying dry spell events in the Mantaro valley and regional atmospheric circulation associated with them. For the identification of dry spell two methods were used: the standardized anomalies index (IAE) and the method of the decile. For the identification of atmospheric circulation patterns, the dry minus normal composite (CSN) and the daily anomalies composite (CAD) were used, this two composites will permit to difference the circulation between the normal days and days with dry spell events, and also how the dry spells is affected by the intraseasonal variability of the austral summer (January, February and March). During the period 1992 to 2009, 14 days spell events were identified in the Mantaro valley with an average duration of 9,2 days. The predominant atmospheric circulation during these events is the westerly anomalies in the central part of South America at all levels of the atmosphere.

Keywords: Dry Spell, Dry Composite, Atmospheric Circulation over South America, Mantaro valley.

1. Introducción

La cordillera de los Andes es una de las características topográficas más importantes de Sudamérica y se encuentra ubicada en la parte occidental de dicho territorio y abarca desde la parte norte del Ecuador hasta la parte

sur de Chile y Argentina. En los Andes sudamericanos existen dos zona particularmente interesantes para estudiar las variaciones climáticas en diversas escalas de tiempo: la zona del Altiplano y la cuenca del Mantaro, sin embargo, la zona con mayor registro de estudios sobre la variabilidad intraestacional de lluvias es El Altiplano, que se ubica

¹ Email: sulcaf5@gmail.com

TABLA 1. 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
VÍQUES	75,23	12,16	3 186	1971-2009
SANTA ANA	75,22	12,00	3 295	1992-2009

entre los (15° S-22° S) a una elevación promedio de 3800 m (aproximadamente 620 hPa) con un ancho de 250km (Garreaud, 1999 y Vuille, 1999).

En los estudios realizados por Garreaud et al. (2003) se indica que el mecanismo de las lluvias en el Altiplano se debe fundamentalmente al transporte de la humedad de la cuenca amazónica. Asimismo, Takahashi (2004) muestra una buena correlación entre la intensificación de los vientos del Este y el aumento de las lluvias en el valle del río Mantaro durante la estación lluviosa, lo que se podría entender, siguiendo su teoría, como que la intensificación de las lluvias se debe a un mayor flujo de aire cálido y húmedo desde la Amazonía hacia el valle. Por otro lado, Takahashi (2004) muestra que la precipitación y la humedad específica tienen una correlación insignificante, lo que indicaría que el mecanismo de lluvias, por mayor ingreso de humedad desde la Amazonía al valle de Mantaro, no es tan importante como lo es para el Altiplano. Según Trasmonte (comunicación personal), las observaciones a escala de tiempo sinóptico indican que la incursión de aire desde el Este tiene mayor importancia en las lluvias en la sierra central. Esto sugiere que el mecanismo de lluvias, en esta región, debe ser estudiado con mayor detalle y utilizando datos de otras estaciones ubicadas, no solo en el valle, como el caso de Huayao, sino a mayores altitudes.

En este trabajo, se pretende estudiar uno de los fenómenos de escala intraestacional que ocurre con bastante frecuencia en el valle del río Mantaro durante la estación lluviosa (enero, febrero y marzo). La zona de estudio se ubica en el valle del río Mantaro, entre las latitudes 11,5° S y 12,5° S y longitudes 75,5° W y 75° W a una altura promedio de 3330 msnm (aproximadamente 688 hPa). La longitud aproximada del valle es de 53 km.

2. Datos

Para el estudio de la circulación atmosférica a gran escala usaremos los datos de vientos (viento zonal y viento meridional) del Reanálisis I pertenecientes al NCEP -NCAR, descritos en Kalnay et al. (1996). Los datos originales son dados cada 6 horas (00UTC, 06UTC, 12UTC y 18UTC) con una resolución de 2,5° x 2,5° longitud-latitud para diferentes niveles de presión, que van desde 1000 a 100 hPa. Aquí se usan los datos correspondientes a las 00UTC (7 pm. hora local), representativo de las horas de la tarde-noche, pues es cuando ocurre la mayor cantidad de lluvias en el valle del río Mantaro.

Se usaron datos de lluvias acumuladas diarias de cinco estaciones meteorológicas que se describen en la tabla 1

(Sulca, 2010). La mayoría de estaciones pertenece a la red del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI) y Huayao al IGP.

3. Metodología

3.1. Identificación de fechas de ocurrencia de veranillos en el valle del río Mantaro

Para la identificación de las fechas de ocurrencias de veranillos, se usan dos métodos: el índice de anomalías estandarizadas (IAE) y el método de los deciles descritos en detalle en Sulca (2010). En este artículo se ha realizado un control de calidad más exhaustivo de los datos utilizados de lluvias (tabla 1) por lo que se definirá un veranillo cuando el 60% de las estaciones meteorológicas en el valle registren lluvias menores a 0,3 mm.

3.2. Definición de los compuestos

Un compuesto es definido como el promedio de todos los eventos de un fenómeno a tratar, ya que representa las características promedio de un fenómeno (Satyamurty et al., 2007). Al compuesto seco lo definen como un equivalente al de veranillos, y al compuesto normal lo definen como el promedio de los días (más de cinco) en los cuales no se registra un evento de veranillo o de lluvia intensa.

3.2.1. Compuestos de secos menos normales (CSN)

Este compuesto es definido como la diferencia del compuesto seco (compuesto de veranillos) menos el compuesto normal. Este método nos permitirá distinguir la diferencia existente entre un evento de veranillo y periodo de días normales.

3.2.2. Compuestos de anomalías diarias (CAD)

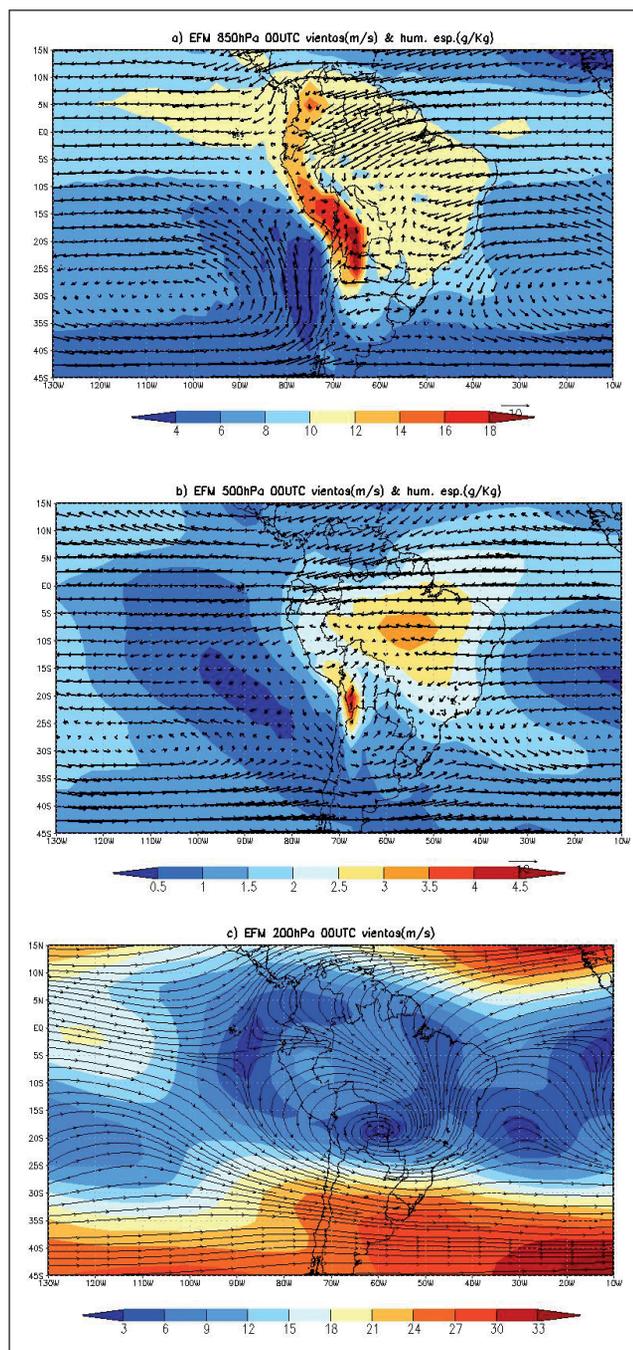
Se calcula como cualquier compuesto (seco o normal), pero la diferencia radica en que se toma como elementos las anomalías diarias de las fechas en las que ocurren los veranillos. En este caso se usarán las anomalías de los vientos zonal y meridional. Para el cálculo de la climatología diaria, primero se calcula la climatología mensual (el promedio de las medias mensuales durante el periodo 1971-2000; al mes de febrero se le considera solo con 28 días; no se consideran los años bisiestos). En segundo lugar se aplica el método de interpolación llamado spline cubic a la climatología mensual antes calculada. La climatología del día 29 de febrero (año bisiesto) se considera igual al del día 28.

3.3. Identificación de la circulación atmosférica de América de sur durante los veranillos

Para la identificación de los patrones de circulación atmosférica se aplica el método de los compuestos de los vientos (componentes zonal y meridional): CSN y CAD a diferentes niveles de presión (850 hPa, 700 hPa, 500 hPa, 200 hPa). Después de la obtención de los distintos compuestos, se aplica una prueba de significancia estadística de dos colas a un 95% de confiabilidad. Esto se hace para identificar los vientos anómalos más representativos. La prueba de significancia estadística se aplica a cada uno de las componentes de los vientos y se toma como viento significativo si uno de ellos pasa la prueba de significancia (Ken Takahashi, comunicación personal).

¹ National Center for Environmental Prediction.

² National Center for Atmospheric Research.



Fuente de datos: Reanalysis NCEP-NCAR.

Figura 1. Climatología de los vientos (m/s) en el verano austral (EFM) y humedad específica (g/kg) en: a) 850 hPa, b) 500 hPa y c) 200 hPa.

4. Resultados

4.1. Climatología de la circulación atmosférica en América del sur durante el verano

a. Nivel de 850 hPa

En la figura 1a, se observa que los vientos ingresan por el norte de Sudamérica provenientes del Atlántico norte, y fluyen hacia el Oeste, sobre el continente donde se encuentran con los Andes, entre Colombia y Perú, lo cual bloquea su avance. A partir de allí, se torna en un flujo del norte y noreste con dirección a Bolivia, Paraguay y el norte de Argentina. En esta última región es frecuente la presencia de

un sistema de vientos muy intensos conocido como Corriente de Chorro a Bajo Nivel (LLJ), el cual se intensifica durante el verano y permite un importante intercambio de energía y humedad (colores rojizos) desde la cuenca amazónica hasta el sur de Brasil y las planicies argentinas (IGP, 2005).

b. Nivel de 500 hPa

A este nivel (figura 1b), se observa la presencia de dos circulaciones anticiclónicas, ubicados uno sobre el océano Pacífico, y el otro sobre el océano Atlántico, centralizados aproximadamente en las coordenadas 16° S, 80° W y 23° S, 22° W respectivamente, que generan un área bastante extensa de divergencia sobre Bolivia, asociada con la formación de la Alta de Bolivia en niveles más elevados, lo cual favorece el desarrollo generalizado de lluvias en gran parte del centro del continente sudamericano (IGP 2005). La zona de mayor convección y, por consiguiente, de más lluvias se observan sobre Brasil (color crema), sobre la amazonía peruana y boliviana, y en el sur de Colombia. En el Perú, el incremento y concentración de humedad se verifica en gran parte del territorio y en la sierra central.

c. Nivel de 200 hPa

En los niveles altos de la troposfera (ver figura 1d), sobre Sudamérica, predomina una circulación anticiclónica, conocida como la Alta de Bolivia (AB), cuyo centro se ubica en promedio en las coordenadas (18° S, 58° W). Se atribuye a este sistema la función de hacer converger, sobre el Perú y otros países de Sudamérica, la inestabilidad y la humedad necesarias para la generación de lluvias, en particular sobre las zonas andinas. En este nivel también se puede mencionar a la corriente de chorro subtropical, que define la transición de la zona tropical y subtropical ubicada en el Atlántico. En el sector central del Perú, los vientos predominan en la dirección Este/Oeste, es decir, son flujos de aire húmedos y cálidos (celestes claros) provenientes de la Amazonía (IGP 2005).

4.2. Identificación de eventos de veranillos

4.2.1. Veranillos identificados según el IAE

En la figura 2, se muestran veintinueve eventos de veranillos identificados en el periodo 1992-2009 (dos ó más pentadas, píxeles azules). De todos ellos, se descartarán seis que corresponden a los años 2003 y 2004, debido a que en esos años solo se cuentan con los datos descritos de lluvias acumuladas en las estaciones del Huayao y Santa Ana.

Figura 2. Valores del IAE de lluvias en el valle del río Mantaro para los meses de verano en el periodo 1992-2009 (color azul indica valores de IAE menores a -1).

En la tabla 2, se muestra que la frecuencia promedio de ocurrencia de veranillos en el valle es de 0,83 casos por año (quinientos eventos en dieciocho años). La duración promedio de un veranillo es de 10,6 días. Se observa que el 60% de los veranillos identificados se caracteriza por pertenecer al grupo de dos por año (1993, 2002, 2005, 2007 y 2008), y el 40% restante, al grupo de un evento por año. Finalmente, se observa que este método registra el veranillo más intenso con tres pentadas consecutivas en los años 1993 y 2002.

4.2.2. Veranillos identificados mediante el método de los deciles

Con este método, se han identificado catorce veranillos (tabla 3). Se observa que la frecuencia promedio de ocurrencia es de 0,77 casos por año (trece eventos en dieciocho años). La duración promedio de un veranillo es de 9,2 días.

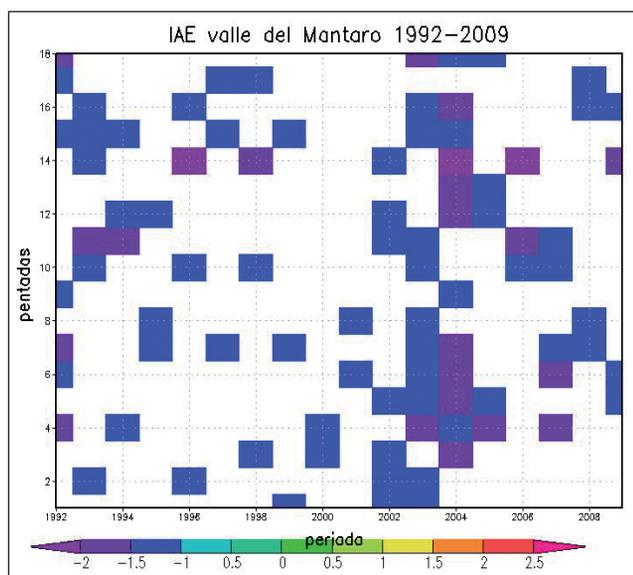


Figura 2. Valores del IAE de lluvias en el valle del Mantaro para los meses de verano en el periodo 1992-2009 (color azul indica valores de IAE menores a -1).

TABLA 2. Veranillos identificados en el valle mediante el método del IAE.

EVENTO	FECHA DE INICIO DEL EVENTO	Nº DE PENTADAS	DURACIÓN (DÍAS)
1	26-01-1992	6-7	10
2	22-03-1992	17-18	10
3	15-02-1993	10-11	10
4	07-03-1993	14-15-16	15
5	11-01-2000	3-4	10
6	01-01-2002	1-2-3	15
7	20-02-2002	11-12	10
8	16-01-2005	4-5	10
9	25-02-2005	12-13	10
10	15-02-2006	10-11	10
11	26-01-2007	6-7	10
12	15-02-2007	10-11	10
13	31-01-2008	7-8	10
14	17-03-2008	16-17	10
15	21-01-2009	5-6	10

Asimismo, con este método se distingue un porcentaje casi semejante en la cantidad de veranillos moderados e intensos. Además, el 29% que fue identificado, se caracteriza por pertenecer al grupo de dos por año (1992, 1993, 1998, 2002, 2007), y el 71% restante al grupo de un veranillo por año. Finalmente, observamos que el evento más intenso fue de 15 días consecutivos en el año 2008.

4.3. Circulación atmosférica de América de Sur durante los veranillos

4.3.1. Circulación atmosférica según compuestos secos menos normales (CSN)

A 850 hPa (figura 3a), sobre la parte central de Sudamérica (5° N-10° S, 85° W-10° W) se observan vientos anómalos del Noroeste, lo cual evidencia la disminución

TABLA 3. Veranillos identificados en el valle mediante el método de los deciles.

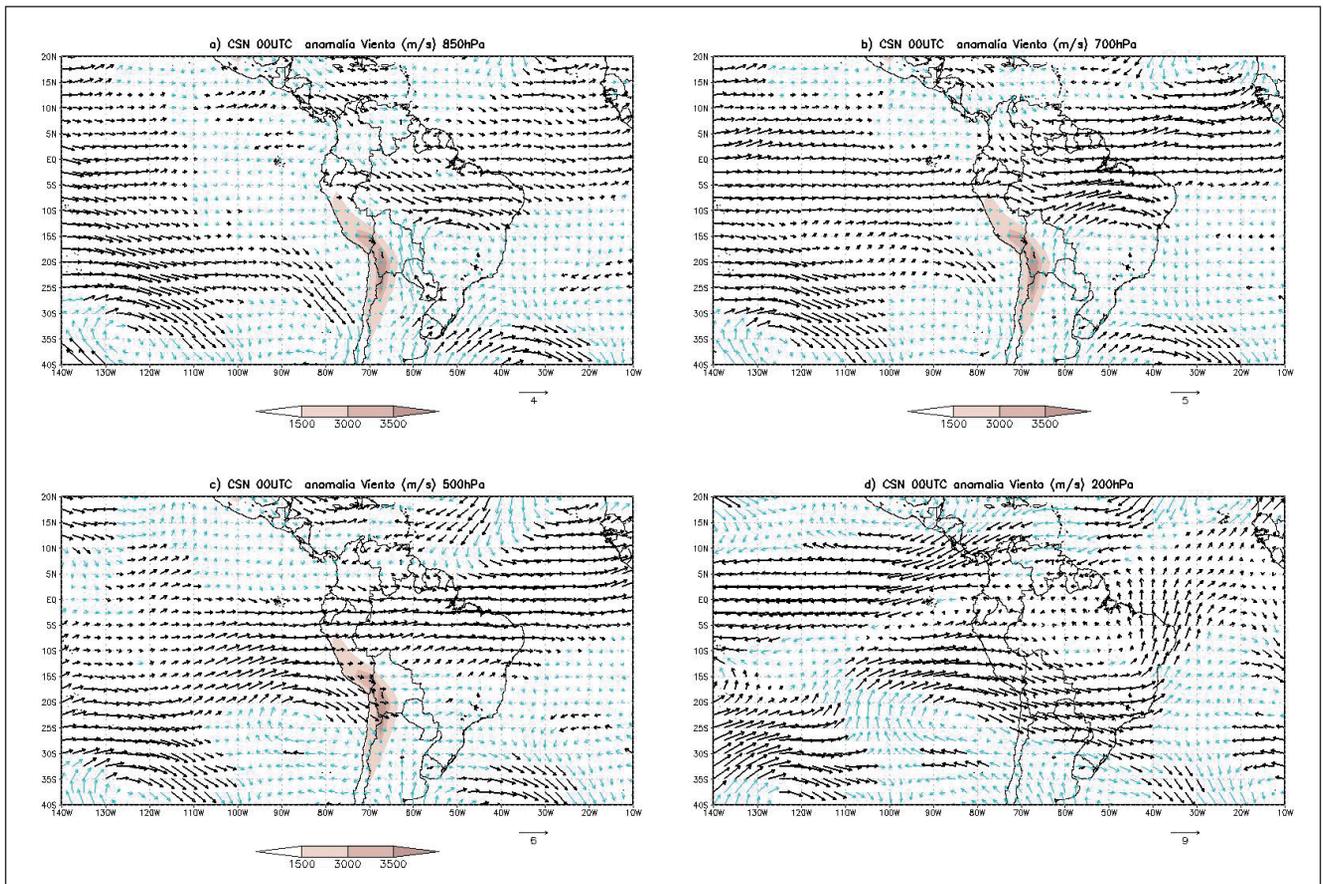
EVENTO	FECHA DE INICIO DEL EVENTO	DURACIÓN (DÍAS)	CLASIFICACIÓN
1	15-01-1992	7	Moderado
2	21-03-1992	11	Intenso
3	03-01-1993	10	Intenso
4	13-02-1993	11	Intenso
5	22-03-1997	7	Moderado
6	12-02-1998	9	Moderado
7	22-03-1998	7	Moderado
8	01-01-2002	10	Intenso
9	21-03-2002	9	Moderado
10	16-01-2005	10	Intenso
11	16-02-2006	8	Moderado
12	29-01-2007	7	Moderado
13	16-02-2007	9	Moderado
14	16-03-2008	15	Intenso

de la intensidad de los vientos del Este. Esto generaría un menor ingreso de aire cálido y húmedo de la cuenca del Amazonas y afectaría las lluvias en la parte central y sur de los Andes peruanos (Garreaud, 1999; Vuille, 1999). También se identifica una anomalía ciclónica al sur de Brasil centrada en el punto 16° S; 52° W, que pudiera estar asociado a una disminución de los vientos del Este y una disminución de la intensidad de la Corriente de Chorro de Bajo Nivel.

Las anomalías de vientos a 700 hPa (ver figura 3b) nos da más confianza en lo identificado a 850 hPa, debido a que hay mayor predominio de anomalías del Oeste en una región más extensa (7,5° N-12° S; 140° W-10° W), lo que reafirma la disminución de los vientos del Este, así la anomalía ciclónica sobre el sur de Brasil se desplaza más al Sur en el punto 20° S; 50° W, y estarían favoreciendo las condiciones secas en el valle del río Mantaro.

A 500 hPa (ver figura 3c), el patrón de vientos anómalos es análogo a los dos niveles anteriores, pero la diferencia radica en que, en este nivel, no se identifica la anomalía ciclónica sobre el sur de Brasil, pero sí la del océano Pacífico al norte de Chile, centrada aproximadamente en el punto 26° S; 86° W, que evidencia el ingreso de aire seco desde el océano Pacífico y que cruza los Andes (sur de Perú, Bolivia y norte de Chile) hasta llegar a Paraguay. Este nivel está por encima de la altura promedio del valle, por lo que estos vientos anómalos estarían corroborando el mecanismo propuesto por Garreaud et al. (2003).

A 200 hPa se ve que la anomalía ciclónica observada en los niveles más bajos en el océano Pacífico al norte de Chile (24° S, 82° W) se mantiene. Durante los eventos secos en el Altiplano, se observa una anomalía similar, pero más al Este (25° S; 60° W), según Garreaud (1999). En el Altiplano, esta anomalía ciclónica está relacionada con una disminución de intensidad de la Alta de Bolivia, lo que le generaría una disminución de aire húmedo y una convergencia de mayor estabilidad. Esto afecta la ocurrencia de lluvias en dicha región; para el valle del río Mantaro, esta anomalía ciclónica genera ingreso de aire seco sobre la parte central y sur del Perú, norte de Chile, Paraguay, norte de Argentina y la parte sur de Brasil. Ello generaría las condiciones secas sobre el valle del río Mantaro y zonas cercanas a él.



Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR.

Figura 3. Anomalías de vientos (m/s), calculado por el método CSN durante un veranillo en el valle del río Mantaro a diferentes niveles de presión 850 hPa (a), 700 hPa (b), 500 hPa (c) y 200 hPa (d). Las anomalías que pasan la prueba de significancia estadística de dos colas al 95% son remarcadas. Los Andes a diferentes alturas (sombas grises que van desde 1500 a más de 3500 m).

4.3.2. Circulación atmosférica según compuestos de anomalías diarias (CAD)

Los niveles de 850 hPa y 700 hPa (figura 4a y figura 4b, respectivamente) se caracterizan, en gran parte del continente, por una predominante disminución de los vientos del Este y también se identifica una anomalía ciclónica de vientos sobre la parte sur de Brasil, centrada aproximadamente en el punto 18° S; 54° W); así como vientos anómalos del Oeste que recorren lo largo de la línea ecuatorial y que cruzan por la parte norte del Perú y Brasil. Finalmente observamos vientos anómalos significativos que ingresan por la zona sur del Perú, considerados dado que los Andes, en esta parte, tienen una altitud superior a 2000 m (mucho mayor que la altura de los 850hPa).

En 500hPa (ver figura 4c) se observan vientos anómalos de dirección Oeste que recorren longitudinalmente la parte central y norte del Perú y la parte centro-norte de Brasil. En la parte sur de las costas del Perú solo se observan vientos anómalos significativos del Noroeste debido a una anomalía ciclónica centrada en 22° S, 83° W), lo que implica el ingreso de aire seco del océano Pacífico que cruza los Andes.

Finalmente, a 200 hPa (ver figura 4d) se observa una anomalía ciclónica centrada en el punto 20° S, 90° W, la cual es más significativa sobre las costas centro y sur del Perú. Esto generaría, en este nivel, un ingreso de aire seco del océano Pacífico en dirección oeste hacia la parte central y sur del Perú, lo que produciría una disminución de aire húmedo y una convergencia de mayor estabilidad. Esto implicaría, pues, menos lluvias en dicha región.

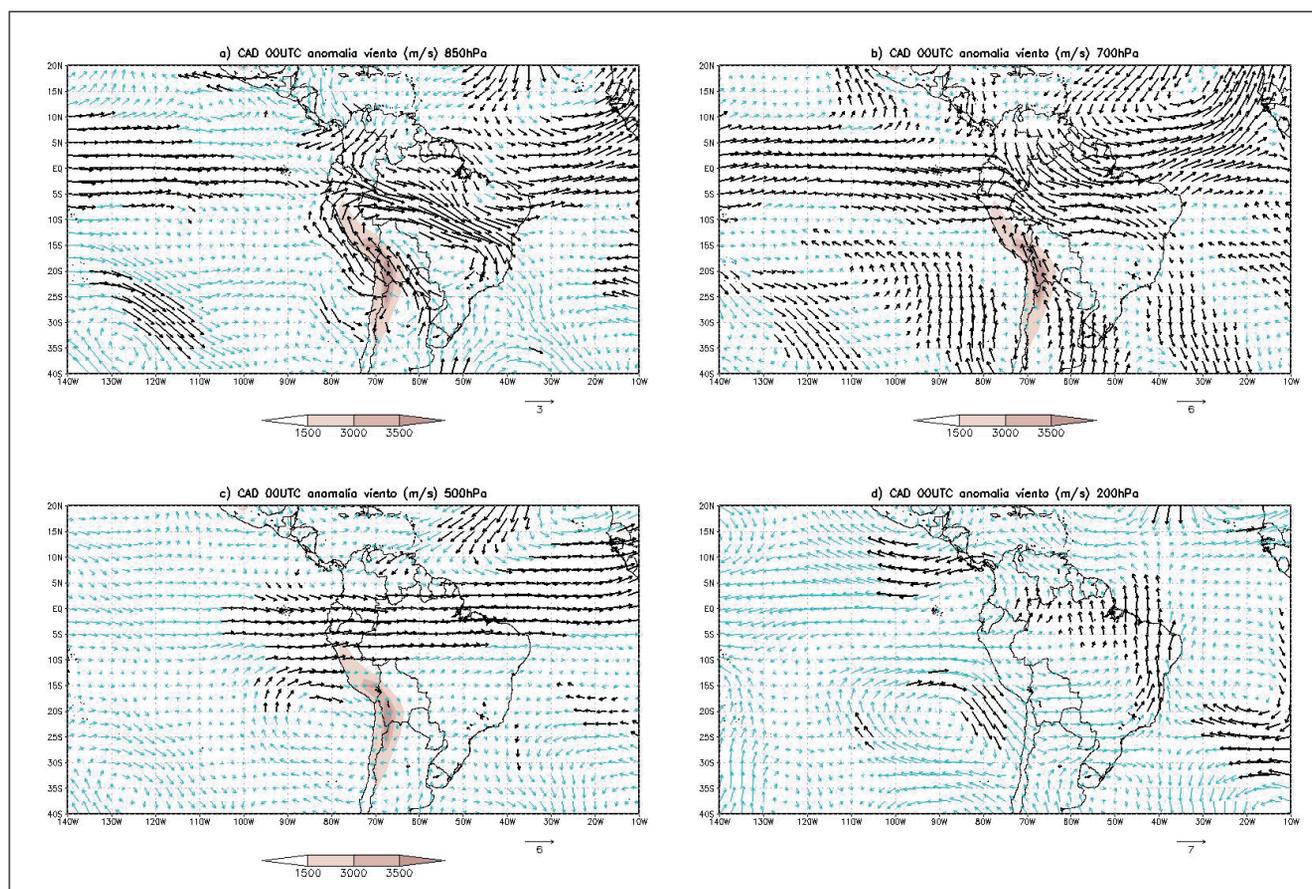
5. Discusión

a. En la identificación de eventos de veranillos

Tanto los aportes de ambos métodos en la identificación de veranillos, así como sus diferencias más resaltantes son descritas en Sulca (2010), donde se muestra que el método de IAE es una buena primera aproximación en la identificación de veranillos. Ello es debido a que la variabilidad de una pentada puede ser enmascarada por la existencia de uno o más días de lluvias intensas, por lo que no registra bien su variabilidad, pues pueden generar valores que tiendan a o sean mayores a cero, por tanto, no son registrados como posibles fechas de veranillos. El método de deciles lo tomamos como una segunda aproximación en la identificación de veranillos, debido a que verificamos si las pentadas cumplen con la definición de veranillo (Sulca 2010). Con todo lo anterior se realizó una tabla de los catorce veranillos identificados en la estación lluviosa del valle (enero, febrero y marzo) para el periodo 1992-2009.

b. En la identificación de la circulación atmosférica de América del Sur durante un veranillo

En ambos métodos (CSN y CAD) se observa un patrón de circulación casi análogo, como la ubicación de los centros de anomalías ciclónicas sobre el sur de Brasil (850 hPa y 700 hPa). En gran parte de dicho país se observan vientos anómalos en dirección Oeste, lo que evidencia una disminución de los vientos del Este e implica menos capacidad de ingreso de aire cálido y húmedo de la Amazonía hacia las regiones andinas. A 500 hPa (sobre el valle del río Mantaro) se observan vientos



Fuente: Reanalysis del NCEP/NCAR

Figura 4. Anomalías de vientos (m/s), calculado por el método CAD durante un verano seco en el valle del río Mantaro a diferentes niveles de presión 850 hPa (a), 700 hPa (b), 500 hPa (c) y 200 hPa (d). Los vientos anómalos que pasan la prueba de significancia estadística de dos colas al 95% son remarcados. Los Andes a diferentes alturas (sombas grises que van desde 1500 a más de 3500 m).

anómalos en dirección Oeste, y también son reforzados con la presencia de una anomalía ciclónica sobre la costa norte de Chile que hace ingresar aire seco. Al otro lado de los Andes (Brasil) se observan anomalías del Oeste, lo que reafirma la disminución de los vientos del Este. Finalmente, a 200hPa, se identificará una anomalía ciclónica centrada aproximadamente en el punto 20° S; 90° W que transporta vientos secos que están sobre el océano Pacífico y ello produciría una disminución de lluvias en las zonas centro y sur de los Andes.

6. Conclusiones

Para la identificación de los veranillos se usa en primera aproximación el método de anomalías estandarizadas y el método de deciles. En el valle del río Mantaro se registran trece veranillos en los meses de enero, febrero y marzo para el periodo 1992-2009; además se muestra que los veranillos son independientes de la variabilidad intraestacional, pues se registran casi la misma cantidad de veranillos en los meses de enero, febrero y marzo.

El método de compuesto seco menos normales (CSN) nos evidencia grandes zonas de vientos anómalos significativos. Esto se debe al realizar la distinción de dos clases de compuestos (secos y normales). La principal causa de ello sería la superposición de diferentes fenómenos meteorológicos en dichas fechas de ocurrencia de veranillos y periodos secos. Principalmente, este método nos permitió una distinción de un veranillo de un periodo de días normales.

El método de compuesto de anomalías diarias (CAD) nos

muestra menor cantidad de vientos anómalos significativos con respecto al método de CSN, debido principalmente a que los compuestos secos se le retiro su variabilidad intraestacional (climatología). Este método nos permite verificar que un veranillo es un evento anómalo de la variabilidad intraestacional, de la circulación atmosférica de escala regional.

A 500 hPa, ambos métodos (CSN y CAD) muestran vientos anómalos en dirección Oeste. Están asociados a una anomalía ciclónica que hace ingresar aire seco hacia la zona del valle del río Mantaro, y por otro lado a la disminución de los vientos del Este (menos flujo de vientos húmedos y cálidos). Todo ello estaría en concordancia con el mecanismo propuesto por Garreaud. Finalmente a 200 hPa se observa una anomalía ciclónica ubicada en (20° S; 90° W) que también estaría contribuyendo con más ingreso de aire seco sobre la zona de estudio, y con ello aumentaría la ocurrencia de los veranillos.

7. Trabajos futuros

En trabajos a futuro se seguirá estudiando los posibles mecanismos para la ocurrencia de veranillos y la realización de simulaciones de estos eventos con el modelo climático regional RegCM3.

8. Referencias bibliográficas

- **Garreaud, R., (1999).** Multiscale Analysis of the Summertime Precipitation over the Central Andes. Mon. Wea. Rev., 127, 901-921.

- **Garreaud, R., Vuille, M., Clement, A. (2003).** The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194, 5-22.
- **Instituto Geofísico del Perú (2005).** Atlas climático de precipitaciones y temperatura en la cuenca del río Mantaro. Lima: Fondo Editorial del CONAM.
- **Kalnay et al. (1996).** The NCEP/NCAR 40-Years Reanalysis Projects. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 77, 437-472.
- **Satyamurty, P. et al. (2007).** Warm and Dry spell (WDS) in Austral Winter over Central South America. *Ann. Geophys.*, 25, 1049-1069
- **Sulca, J. C. (2010).** Identificación de veranillos en el valle del río Mantaro. Compendio de trabajos de investigación realizado por estudiantes durante el año 2009. Instituto Geofísico del Perú.
- **Takahashi, K. (2004).** Statistical downscaling of rainfall in the Mantaro basin. Scientific report to PROCLIM.
- **Vuille, M. (1999).** Atmospheric circulation over the bolivian Altiplano an during dry and wet periods and extreme phases of the southern oscillation. *Int. J. Climatol.*, 19, 1579-1600.

Variabilidad de las temperaturas máximas y mínimas en el valle del río Mantaro

Maximum and minimum air temperature variability in the Mantaro valley

Grace Trasmonte, Yamina Silva, Berlín Segura
Karen Latínez

Instituto Geofísico del Perú

RESUMEN

Como parte del estudio base sobre las características y variabilidad climática del valle del río Mantaro, se analizó información de temperaturas mínimas y máximas promedio mensual, estacional, anual y multianual, correspondiente a las localidades de Jauja, Santa Ana, Huayao y Viques, ubicadas de norte a sur en el valle, con altitudes que varían entre 3322 y 3186 msnm. Entre las estaciones analizadas se encuentra Huayao, que cuenta con una de las series meteorológicas más largas (1921 al 2009) de las zonas andinas y rurales del Perú.

Se encontró que en el valle del río Mantaro existe una variabilidad climática mensual bastante uniforme en las temperaturas, con máximos valores dados al sur del valle (Viques) y mínimos en Santa Ana y Jauja; asimismo, en los registros más antiguos, se evidencia el cambio del clima acontecido en esta zona, claramente observable desde inicios de los años treinta (en las temperaturas máximas) hasta nuestros días, con un marcado mayor incremento de las temperaturas, también en la temperatura mínima a partir de mediados de los setentas; todo ello asociado al llamado calentamiento global. Las temperaturas máximas en el valle, están altamente correlacionadas con procesos océano-atmosféricos en el océano Pacífico, especialmente con los eventos El Niño y La Niña y la oscilación decadal del Pacífico (PDO). Las tendencias de calentamiento calculadas desde 1921 indican que las temperaturas máximas han subido a nivel anual y estacional entre 0,50°C y 1,27°C, y en las mínimas dicho incremento se observa solo a partir de 1976, especialmente en otoño e invierno, con valores entre 0,43°C y 1,00°C, calculados hasta junio de 2010.

Palabras clave: Mantaro, temperaturas del aire, variabilidad climática, variables climáticas globales.

ABSTRACT

As part of the study framework based on the characteristics and climate variability in the Mantaro River valley, we analyzed the variability of minimum and maximum air temperature at monthly, seasonal, annual and multiannual scale corresponding to Jauja, Santa Ana, Viques and Huayao stations (located from north to south in the valley, with elevations ranging between 3322 and 3186 masl). Huayao station, with one of the longest meteorological series (1921 to 2009) is among the stations considered for the analysis; this station is located in the rural areas of the Peruvian Andes.

Results from the analysis indicate a uniform variability of air temperature in the Mantaro River valley, with maximum values in the southern valley (Viques) and minimum values in Santa Ana and Jauja. Earliest records show an evident climate change occurred in this area, from the early thirties (in the maximum temperatures) to the present day, with a marked increase. Minimum temperatures show also an increase since the mid-seventies, possibly associated to global warming. The maximum air temperature in the valley is highly correlated with ocean-atmospheric processes in the Pacific Ocean, especially with El Niño and La Niña events and the Pacific Decadal Oscillation (PDO). Estimated trends since 1921 indicate that seasonal and annual air temperature has risen between 0.50°C and 1.27°C. The increase of minimum air temperature is observed only after 1976, especially in autumn and winter, with values between 0.43°C and 1.00°C, calculated until June 2010.

Key words: Mantaro, air temperature, climate variability, global climate variabilities.

1. Introducción

En el proceso de desarrollo de la investigación sobre "Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura", se tuvo que partir haciendo un análisis de las condiciones climáticas en el valle, en lo que concierne a lluvias y temperaturas.

Ello implicó un análisis de las condiciones a escala mensual, estacional, anual, multianual, y su variabilidad en el tiempo, así como ir analizando si se está dando (o ya se ha dado) un comportamiento de cambio climático, tal como lo percibe la población del lugar (IGP, 2005b).

Se han evaluado las temperaturas máximas y mínimas, que son las que tienen un mayor impacto en la actividad agrícola. Escasamente se contó con información de cuatro estaciones con datos meteorológicos, distribuidas en el norte (Jauja), centro (Santa Ana y Huayao) y sur (Viques) del valle, lo que no permitió realizar un análisis espacial más detallado, limitado también por las condiciones orográficas que se dan en la zona.

Con el fin de identificar las posibles variables predictoras de las condiciones térmicas en el valle, se evaluó la relación con las condiciones océano-atmosféricas en el océano Pacífico y Atlántico, en otras zonas del globo, y otras condiciones complementarias que pudiesen estar interviniendo como, por ejemplo la actividad solar. Un particular énfasis se dio al posible impacto de los eventos El Niño y La Niña, que cada cierto tiempo se desarrollan en el océano Pacífico ecuatorial, como también en el Pacífico norte, representado por la llamada oscilación decadal del Pacífico (PDO), que se caracteriza por fluctuaciones de mayor tiempo o duración, es decir, decenas de años.

El contar con una de las series históricas más antiguas de la región andina del Perú y representativa de la zona, que pese a los años, aún se mantiene en un entorno rural, Huayao (12,04°S, 75,32°W, 3313 msnm) facilitó los análisis asociados a El Niño/La Niña, PDO y otros, además permitió realizar un análisis de tendencias que con el tiempo abarcaron hasta 89 años.

2. Área de estudio

El valle del Mantaro, formado por el río del mismo nombre, se encuentra entre los paralelos 11°40' y 12°10' sur y los meridianos 75°10' y 75° 15' oeste en la sierra central del Perú. 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, presenta altitudes entre 3100 y 3400 msnm, aproximadamente, y tiene una superficie total aproximada de 70 000 ha (Vega, 2005).

3. Datos y metodología

La información básica que se utilizó fue promedios mensuales de temperaturas máximas (tmax) y mínimas (tmin), de cuatro estaciones meteorológicas ubicadas en el valle: Huayao, Jauja, Santa Ana y Viques, que se detallan en la tabla 1.

Se utilizó información complementaria de otras variables e indicadores climáticos, algunos globales, regionales o nacionales, descritos en los anexos 1.A y 1.B.

Las series de datos fueron procesadas en el programa estadístico SPSS 13.0, además se utilizó la hoja de cálculo Excel 2003.

Se realizó un detallado control de calidad de la información utilizando técnicas estadísticas e incluyendo la información más antigua de Huayao desde 1921.

Se generaron series de tiempo anuales, estandarizadas y, en algunos casos, suavizadas mediante un promedio corrido de cinco años, esto último para eliminar las fluctuaciones de corto periodo. La serie anual se consideró como promedio de enero a diciembre, la serie de verano al promedio de enero a marzo, otoño al promedio abril a junio, invierno al promedio de julio a setiembre y primavera al promedio de octubre a diciembre. Se lograron identificar, en los datos, oscilaciones utilizando técnicas de análisis espectral y series de tiempo. Se establecieron correlaciones entre las variables locales y los indicadores climáticos, a través del coeficiente de correlación de Pearson y el coeficiente de determinación para ver el porcentaje de la variabilidad explicada por dicha correlación, con sus respectivas evaluaciones de significación estadística. Finalmente, se realizó un análisis de tendencias lineales con la serie más larga (Huayao), de un total de 89 años de información (1921 a 2009), calculando también su significación estadística.

3.1. Variabilidad temporal

a) Mensual

Temperatura máxima

En promedio, para el valle (figura 1), las temperaturas máximas presentan el valor más bajo durante marzo (18,4°C) y el más alto en noviembre (20,8°C), con otro pico secundario de valores altos en mayo (20,3°C). Climatológicamente, es en verano cuando ingresa la mayor radiación solar y las temperaturas máximas deben alcanzar sus valores más altos, pero en el caso de las zonas andinas como la cuenca del río Mantaro, los meses de enero a marzo están asociados al periodo de máxima nubosidad y precipitación (IGP, 2005a), las cuales forman una fuerte barrera para la penetración de la energía solar hacia la superficie, por lo que la temperatura durante el día no es muy alta, pero esta misma nubosidad durante la noche absorbe la energía emitida por la Tierra, haciendo que las noches sean menos frías. De esta manera, se logra que

TABLA 1. Estaciones meteorológicas en el valle del Mantaro utilizadas.

Tipo	Altitud	Longitud (O)	Latitud (S)	Estación	Institución	Variables	Periodo
CO	3322	75,474	11,783611	Jauja	Senamhi	tmin, tmax	Ene. 1975-dic. 2009
CP	3313	75,320	12,040000	Huayao	IGP/ Senamhi	tmin, tmax	Mar. 1921-dic. 2009
MAP	3295	75,220	12,004167	Santa Ana	Senamhi	tmin, tmax	Ene. 1992-dic. 2009
CO	3186	75,228	12,155833	Viques	Senamhi	tmin, tmax	Ene. 1998-dic. 2009

CO: Climatológica Ordinaria
CP: Climatológica Principal

MAP: Meteorológica Agrícola Principal

tmin: Promedio mensual de la temperatura mínima
tmax: Promedio mensual de la temperatura máxima

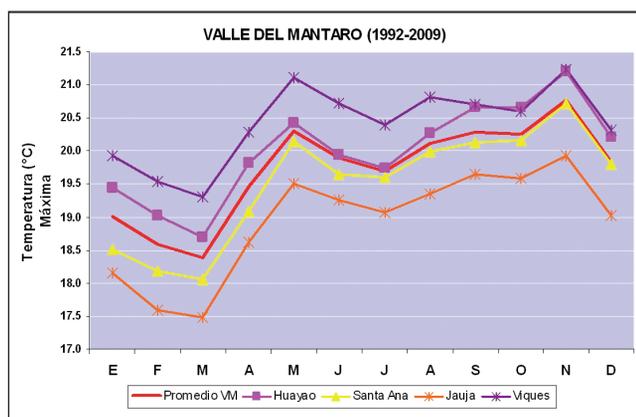


Figura 1. Variabilidad mensual de las temperaturas máximas en el valle del Mantaro. Periodo común: enero 1992 a diciembre 2009, excepto para Viques de enero 1998 a diciembre 2009.

las temperaturas máximas tengan su pico en noviembre y mayo, debido a que se suma la condición de menor cobertura nubosa, mayor ingreso radiación solar y mayor calentamiento atmosférico (Silva, 1991; Villegas, 1991).

La evolución mensual descrita anteriormente se presenta similarmente en todas las zonas del valle evaluadas, con algunas variaciones en las intensidades: más frías en Jauja y

TABLA 2. Coeficiente de correlación (*) entre las series de temperatura máxima en el valle del Mantaro.

	Huayao	Jauja	Santa Ana	Ingenio	Viques
Huayao	1	0.80	0.83	0.92	0.81
Jauja		1	0.74	0.93	0.77
Santa Ana			1	0.96	0.85
Ingenio				1	0.78
Viques					1

(*) Significancia al 99% de confianza

más cálidas en Viques. La mayor variación de las temperaturas máximas se da, por lo general, entre los meses de enero, febrero o entre octubre y diciembre, esto se puede observar en el diagrama de cajas (figura 2); por el contrario, la menor variabilidad se observa en pleno invierno, entre junio y julio, es decir, el comportamiento de las temperaturas máximas en invierno es más estable, mientras que durante el verano (período de lluvias) es más variable.

Para verificar la relación que existe entre las temperaturas máximas en diversas estaciones del valle, se calcularon los coeficientes de correlación, y se encontró buena correlación, principalmente entre las estaciones de Huayao, Santa Ana e Ingenio (tabla 2).

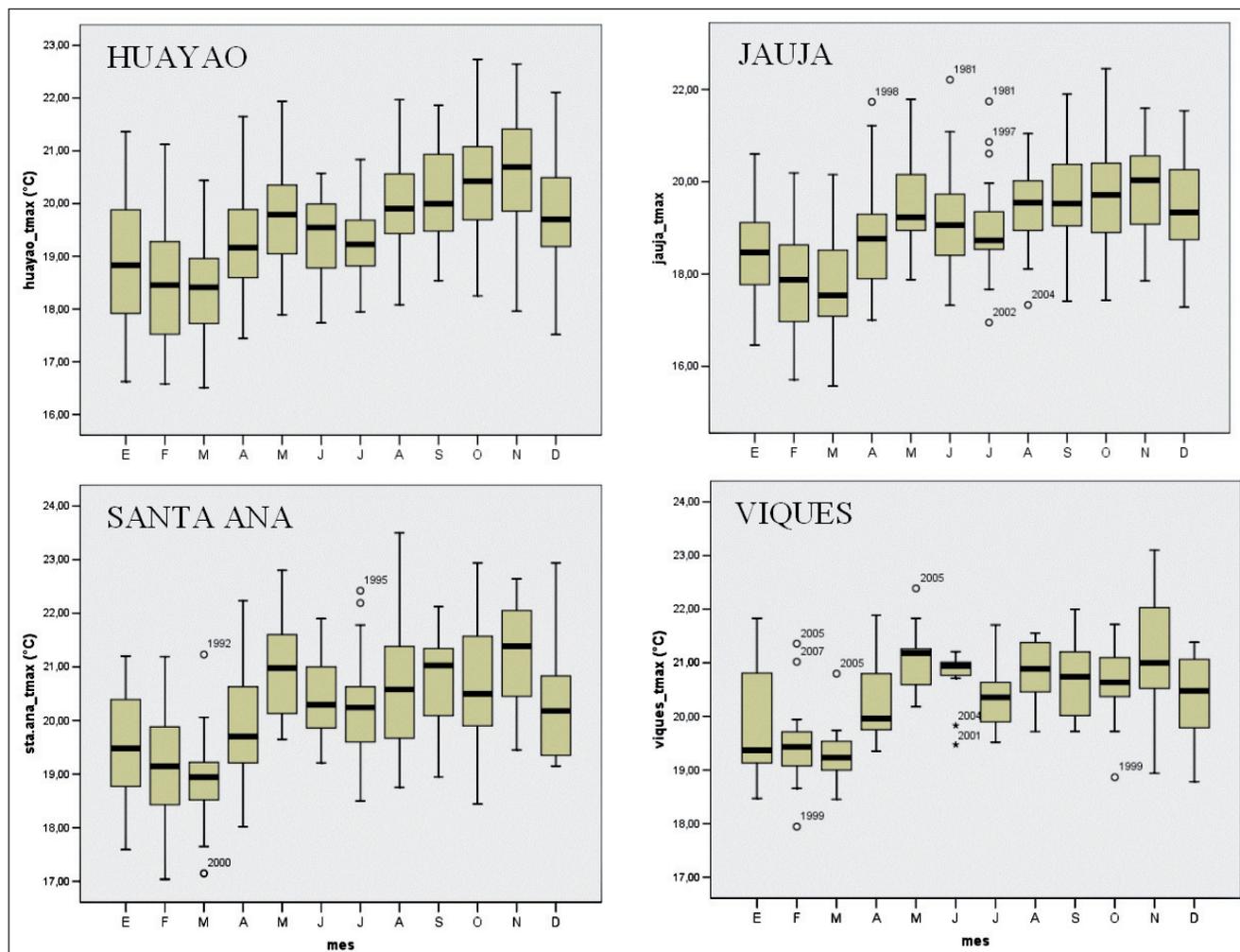


Figura 2. Variabilidad mensual de las temperaturas máximas en el valle del Mantaro. Periodo: enero 1958 a diciembre 2009 en el caso de Huayao, enero 1975 a diciembre 2009 para Jauja, enero 1992 a diciembre 2009 para Santa Ana y de enero 1998 a diciembre 2009 en el caso de Viques.

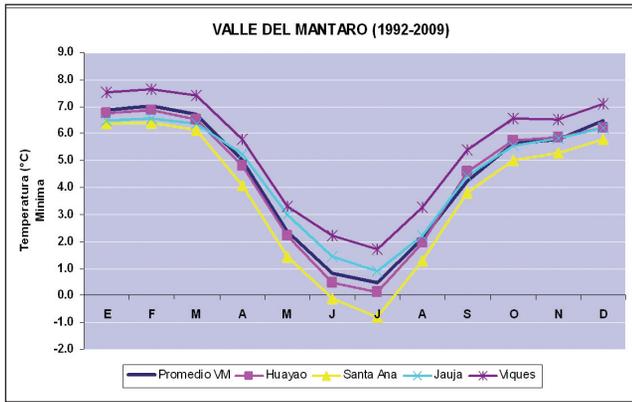


Figura 3. Variabilidad mensual de las temperaturas mínimas en el valle del Mantaro. Periodo común: enero 1992 a diciembre 2009, excepto para Viques de enero 1998 a diciembre 2009.

Temperatura mínima

La variación mensual de la temperatura mínima en el valle del Mantaro está fuertemente asociada a la estacionalidad (figura 3). Se observan dos periodos bien definidos durante el año: uno de mínimos valores, centrado en la estación de invierno (junio y julio), siendo el valor más bajo de 0,5°C en julio; y otro de valores máximos en verano (entre enero y marzo), con un valor promedio alrededor de 7,0°C.

TABLA 3. Coeficiente de correlación (*) entre las series de temperatura mínima en el valle del río Mantaro.

	Huayao	Jauja	Santa Ana	Ingenio	Viques
Huayao	1	0.94	0.98	0.97	0.96
Jauja		1	0.93	0.97	0.90
Santa Ana			1	0.97	0.95
Ingenio				1	0.93
Viques					1

(*) Significancia al 99% de confianza

Los valores más altos de la temperatura mínima se dan en Viques, siendo en julio cerca de 2°C y en febrero a 7,6°C. Por el contrario en Santa Ana se han dado en promedio las temperaturas más bajas de los últimos 17 años, con un valor para julio de -1°C (figura 4). La mayor variabilidad de las temperaturas mínimas se da en los meses de invierno (junio-agosto), época donde son más frecuentes las heladas en la región (IGP, 2005b), y la menor variabilidad se da durante el verano, de enero a marzo.

La correlación de las temperaturas mínimas entre las diversas estaciones del valle es muy buena para todas las estaciones, a diferencia de la temperatura máxima, donde la estación de Viques presentaba una correlación ligeramente inferior a

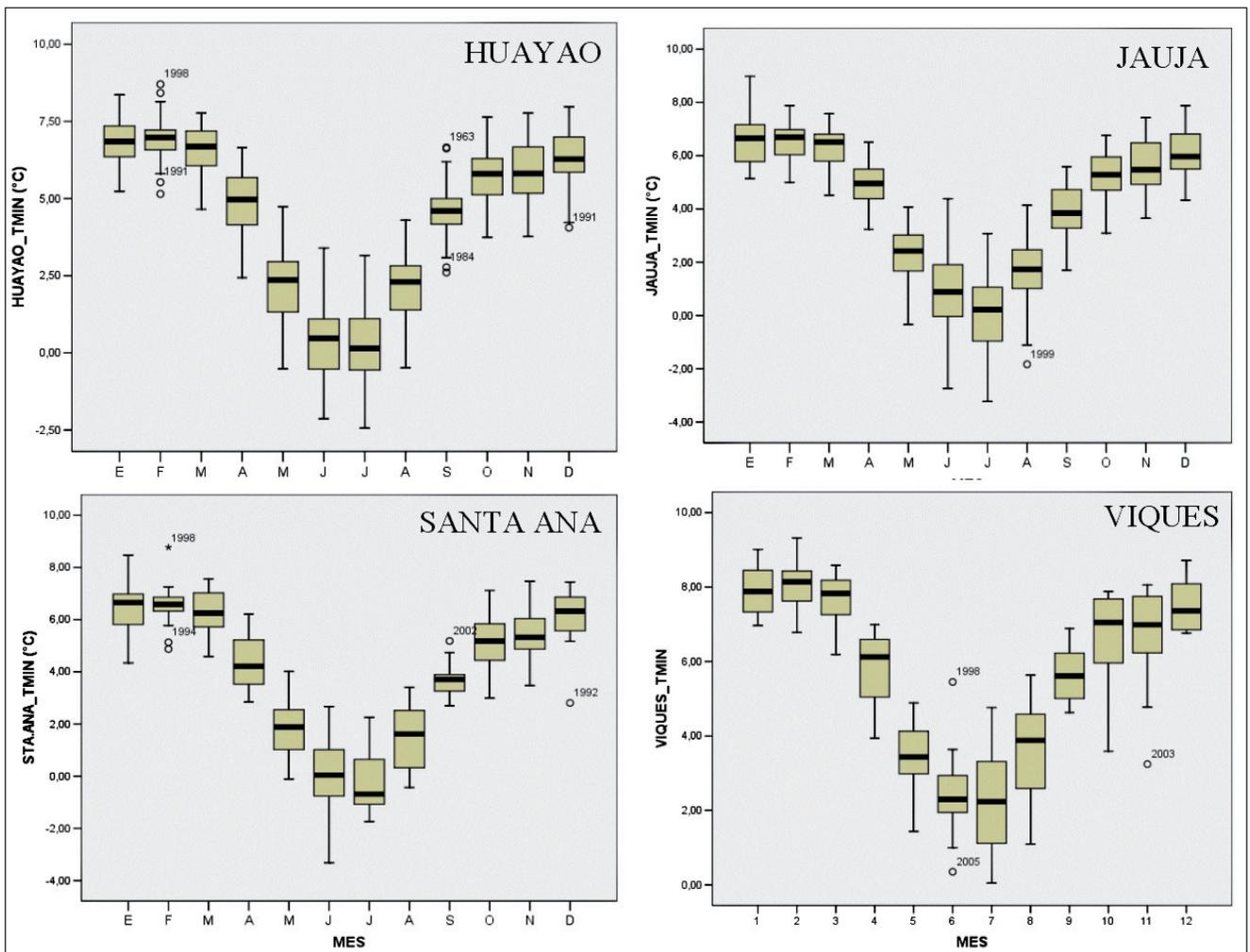


Figura 4. Variabilidad mensual de las temperaturas mínimas en el valle del Mantaro. Periodo: enero 1958 a diciembre 2009 en el caso de Huayao, enero 1975 a diciembre 2009 para Jauja, enero 1992 a diciembre 2009 para Santa Ana y de enero 1998 a diciembre 2009 en el caso de Viques.

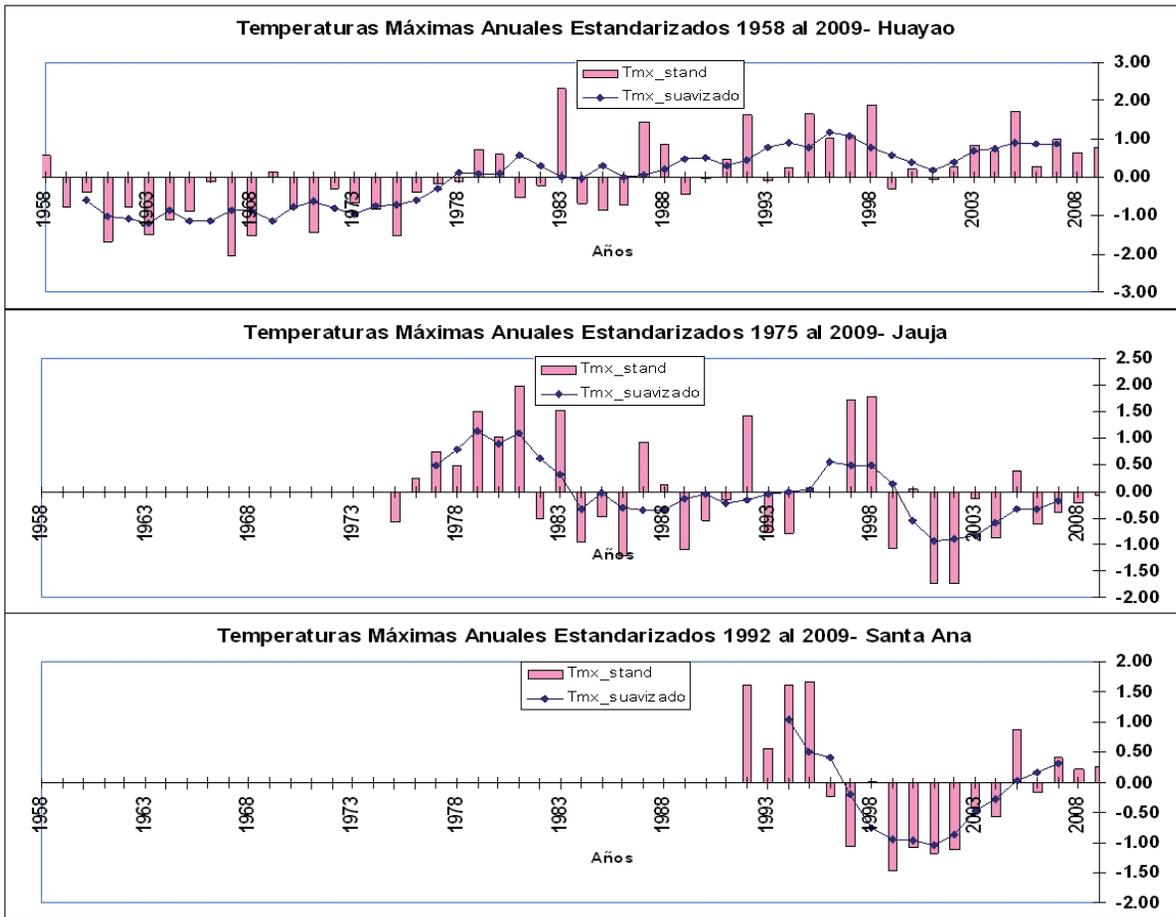


Figura 5. Temperatura máxima anual estandarizada. Estaciones: Huayao, Jauja y Santa Ana. Periodo: 1958-2009.

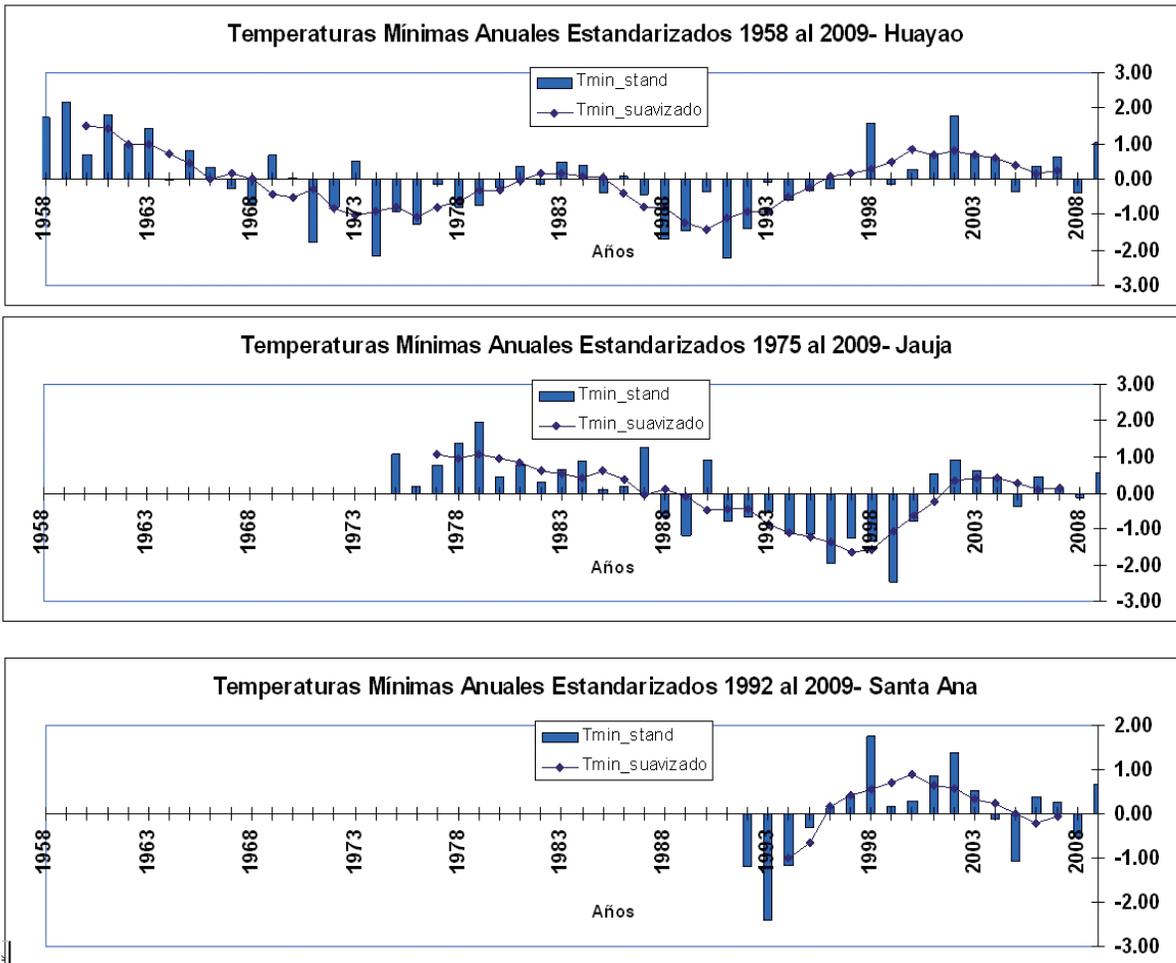


Figura 6. Temperatura mínima anual estandarizada. Estaciones: Huayao, Jauja y Santa Ana. Periodo: 1958-2009.

las otras estaciones. La mejor correlación, para la temperatura mínima, se da entre Huayao y Santa Ana (tabla 3).

b) Variabilidad anual

Temperatura máxima

En la figura 5, se tienen las variaciones anuales estandarizadas de las temperaturas máximas de Huayao, Jauja y Santa Ana, para sus respectivos periodos, a las cuales se les ha añadido la serie suavizada, con un promedio corrido de 5 años (Tmx suavizado). Lo más evidente es que en Huayao se aprecia un punto de quiebre después del año 1977, con valores predominantemente por debajo del promedio antes de 1976, y por encima del promedio después de ese año. En Jauja, por el contrario, se observa un periodo relativamente menos cálido desde 1984, con excepción de algunos años que en su mayoría coinciden con los años de El Niño. En Santa Ana, aunque el periodo de datos es corto, puede observarse que a fines de los años 90 hasta el 2004 ha habido anomalías negativas, lo cual se observa también en Jauja; y en Huayao, si bien no se dan las anomalías negativas, se observa que las anomalías positivas han disminuido en ese periodo. Para Viques no se muestra la figura, debido a que tiene menos información.

Temperatura mínima

En la figura 6, se observa en las series, sobre todo al suavizarlas, periodos de alternancia de varios años (alrededor de 10 a 11 años) con anomalías positivas y negativas, aunque no necesariamente coincidentes en el tiempo entre las diferentes zonas, lo que sugeriría alguna relación con la actividad solar.

Años extremos, los mas cálidos y fríos

Utilizando los valores anuales estandarizados, se determinó para cada serie, los años que fueron más extremos, relativo a su longitud de periodo, los cuales se resumen en la tabla 4.

De la tabla 4, se puede inferir que un buen número de años con temperaturas extremadamente cálidas (sea en

la máxima o la mínima) en el valle o algunas zonas de él, fueron años con ocurrencia de eventos con El Niño en el océano Pacífico ecuatorial (CPC/NOAA, 2009), de intensidad extraordinario (1982-83, 1997-98), o entre fuertes y moderados como fueron 1992, 2002, 1987 y 1958. Además, años extremadamente fríos se presentaron con La Niña, como en 1968, 1991, 1971, 1974, 1975, 1999, 2000, entre otros. Para una mejor comprensión de esta relación, se realizó un análisis complementario respecto a la relación entre las temperaturas en el valle con eventos El Niño y La Niña.

c) Multianual

Esta parte del estudio se va a centralizar en analizar las series de temperaturas más largas que existen en el valle, que corresponden a Huayao, para el periodo 1922¹-2009 (88 años), cuyos datos anuales estandarizados (relativos al nuevo periodo de información) se muestran en la figura 7.

Similarmente a lo que se obtuvo con la serie a partir de 1958, se aprecia el cambio en el régimen de la temperatura máxima, en el año 1976, con temperaturas más altas del promedio posterior a dicho año, y más bajas del promedio anteriormente hasta 1928, y destaca también un periodo de altas temperaturas máximas entre los años 1924 y 1926.

El cambio a partir de 1976, podría estar relacionado con el llamado cambio o "shift" climático que se ha registrado en diferentes partes del mundo y observado en diferentes variables océano-meteorológicas, alrededor de mediados de los 70 y que ha sido ampliamente documentado por diferentes investigadores (Wu, et. al., 2005; Tourre et. al. 1999; Miller et al., 1994; Ebbesmeyer et. al., 1991; Villarroel et. al., 2006). Si bien a la fecha no está muy clara la causa de dicho cambio, algunos lo asocian a modificaciones en el comportamiento térmico del océano Pacífico, más específicamente en el sector del hemisferio norte (al norte de los 20°N), representado por la llamada oscilación decadal del Pacífico (PDO, por su siglas en inglés), definida por Mantua et. al. (1997).

El periodo de temperaturas más cálidas de lo normal, alrededor de 1925-26, requiere también un mayor estudio, aunque a priori podría suponerse que podría estar relacionado a calentamientos térmicos marinos un poco más regionales como los registrados en el océano Pacífico ecuatorial central u oriental, tipo El Niño, al haberse registrado un evento de intensidad fuerte a muy fuerte en dicho año (Woodman, 1985).

Estas variaciones y sus posibles relaciones con otras registradas a nivel global, serán analizadas con mayor detalle en la sección 3.2.

Por otro lado, en las temperaturas mínimas se observan claramente las fluctuaciones (ascensos o descensos con relación al promedio histórico) de largo periodo, con duración por lo general entre 10 y 12 años, lo que podría sugerir más bien alguna influencia de tipo solar, que se analizará posteriormente.

3.2 Relación con variables climáticas globales y otras asociadas

a) Temperaturas máximas y mínimas de Huayao versus variables climáticas

Anual

Las series de Huayao fueron comparadas con diferentes variables climáticas globales, regionales y nacionales que

TABLA 4. Años más cálidos y más fríos en el valle del Mantaro (ordenados para cada zona según su intensidad, de mayor a menor).

	Temp. mínimas anuales		Temp. máximas anuales	
	+ Cálidos	+ Fríos	+ Cálidos	+ Fríos
Huayao 1958-09	1959	1991	1983	1968
	2002	1974	1998	1961
	1961	1971	2005	1975
Jauja 1975-09	1979	1999	1981	2001
	1978	1996	1998	2002
	1987	1998	1997	1986
Santa Ana 1992-09	1998	1993	1995	1999
	2002	1992	1992	2001
	2001	1991	1994	2002
Viques 1998-09	1998	2003	2005	2003
	2009	2000	2008	2001
	2004	1999	2004	1999

1 Existe información desde 1921, pero con datos faltantes (los meses de enero y febrero), por lo que se prefirió omitir dicho año.

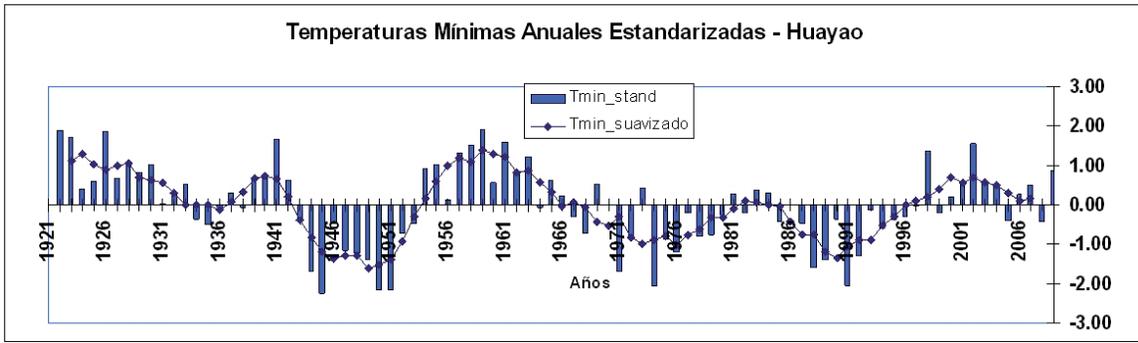


Figura 7. Temperatura máxima y mínima anual estandarizada. Estaciones: Huayao. Periodo: 1922-2009.

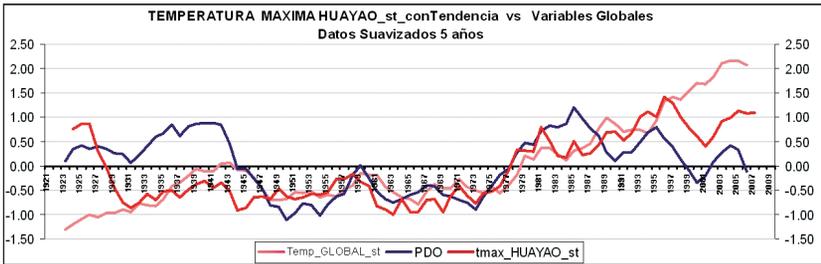
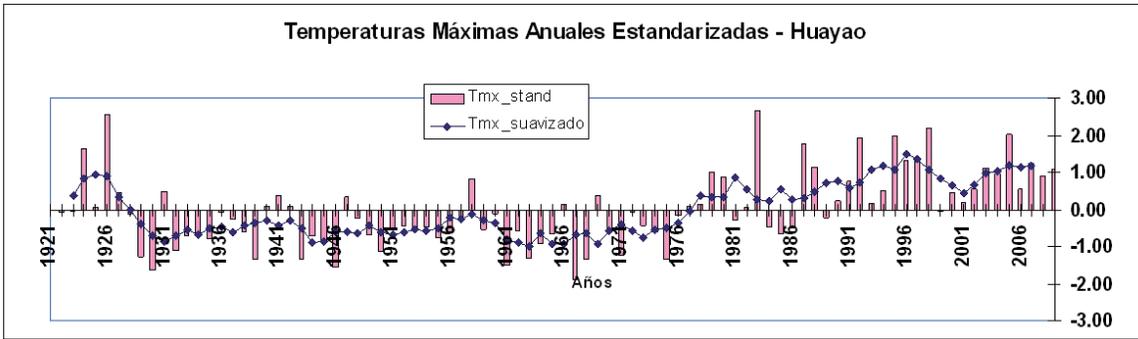


Figura 8. Temperatura máxima anual en Huayao con salto de 1976 versus el índice de oscilación decadal del Pacífico y temperatura promedio global. Periodo: 1922-2008.

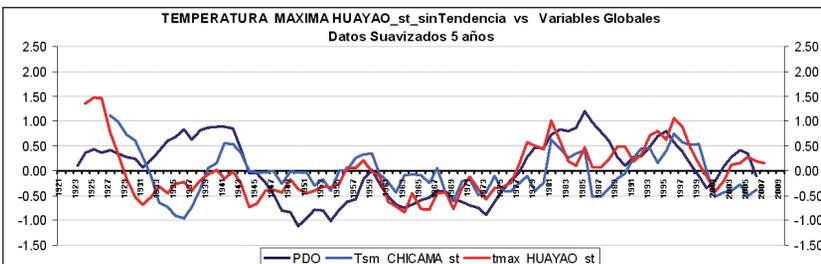


Figura 9. Temperatura máxima anual en Huayao sin salto de 1976 versus el índice de oscilación decadal del Pacífico y la temperatura superficial del mar en Puerto Chicama. Periodo: 1922-2008.

después del año 1976 en la Tmax de Huayao, estos son similares a los que se han registrado en la Temp_Global, relacionada al llamado calentamiento global (o cambio climático), excepto para los periodos 1925-1930, 1997-2008, aproximadamente; en el primer caso, la temperatura en Huayao experimentó un aumento importante, por encima del promedio histórico que no se observa en la Temp_Global; y en el segundo, hubo un fuerte descenso de las tmax alrededor del año 2001, que no se aprecia en la Temp_Global. Los coeficientes de correlación entre la temperatura máxima en Huayao y la temperatura global fueron del orden 0,73 para el periodo 1922-2009, y de 0,88 para el periodo 1931-2009.

Con el PDO, se ve también buena correlación, especialmente a partir de 1945, aproximadamente, que mejoró notablemente cuando se removió la tendencia cálida de Tmax_Huayao desde 1976 (figura 9). Entonces se encontró entre ambos un

coeficiente de correlación de 0,53 (periodo 1922-2008), que subió a 0,77 cuando se tomó solo el periodo 1945-2008. La disminución del PDO alrededor del año 2001 y su posterior recuperación a condiciones normales, es también similar a lo sucedido con el comportamiento de la tmax de Huayao en dichos años.

Adicionalmente, cuando se incorporó información de la temperatura superficial del mar en Puerto Chicama, Tsm_Chicama (figura 9), que representa las condiciones térmicas en la costa norte-centro peruana y el sector oriental del Pacífico ecuatorial (Trasmonte y Silva, 2008), se observó una regular a buena correlación con la tmax a lo largo de los años, y particularmente antes de 1930, que ni el PDO ni la Temp_Global explicaban. En este caso, las correlaciones que se obtuvieron fueron de 0,48 en el periodo común 1925-2008 (tmax_Huayao sin tendencia desde 1976), 0,51 en el periodo 1933-2008 y 0,57 en el periodo 1945-2008. Es importante señalar que ninguno de los otros indicadores

también tienen largo periodo de datos, cuya lista se presenta en el anexo 1.A, con el detalle del tiempo de su registro, característica y ubicación.

Se realizó un proceso de correlación y graficado para determinar cuál de las variables globales y las otras complementarias, presentaban mayor similitud con las series locales y que podrían estar aportando en las variaciones de periodo largo.

Se encontró que las temperaturas máximas presentan de regular a muy buena correlación con diferentes variables globales, siendo las más altas con el PDO, la Temp_Global y Tsm_Chicama, correlaciones que mejoraban un poco más cuando se filtraba las altas frecuencias (con suavizado de 5 años).

En la figura 8, se pueden apreciar los cambios antes y

climáticos del Pacífico ecuatorial evaluados en esta parte de la investigación, tales como el índice Niño 3.4, TNI (diferencia estandarizada del índice Niño 1+2 menos índice Niño 3.4) o la tsm_82W4S (temperatura superficial del mar en la zona del Pacífico ecuatorial oriental ubicada en 82°W y 4°S), presentaron un periodo cálido antes de 1930-1931, de varios años, tal como se observa en los datos de Chicama, sin embargo todos ellos señalan al año 1925 ó 1926, como año con temperaturas sobre su promedio histórico, asociado a la ocurrencia de El Niño.

Cuando se analizaron las temperaturas mínimas de Huayao, las correlaciones con los índices climáticos utilizados fueron mucho menores, y en la mayoría de casos sin significación estadística. En la tabla 5, se presentan algunos resultados obtenidos para la tmin y la tmax para el periodo 1922-2008.

Mensual

También se analizó información mensual para determinar en qué meses del año existe mejor correlación entre las tmin y la tmax del valle con variables globales de impacto a menor escala temporal (mensual y estacional). Este análisis se restringió a series de tiempo de menor longitud, de 1958 a 2009 en el caso de Huayao y los otros menores correspondientes a las demás zonas del valle. Además, se tomó un mayor número de indicadores del océano Pacífico tropical (Niño 1+2, Niño 34, Niño 4, Presión en Tahiti, Presión en Darwin, Índice de Oscilación Sur SOI), se incorporaron

TABLA 5. Correlación entre temperaturas mínimas y máximas de Huayao y variables climáticas globales y regionales

	PDO	Temp_Global	Tsm_Chicama
TMIN_HUAYAO			
Periodo	1922 al 2008	1922 al 2008	1925 al 2008
Coef. de Correlación	0,17	-0,037	0,24
Sig.	No sig.	No sig.	Sig. < 0,05
TMAX_HUAYAO Quitando tendencia 76-09			
Periodo	1922 al 2008	1922 al 2008	1922 al 2008
Coef. de Correlación	0,53	0,29	0,48
Sig.	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Manteniendo tendencia 76-09			
Periodo	1922 al 2008	1922 al 2008	1922 al 2008
Coef. de Correlación	0,51	0,73	0,3
Sig.	< 0,01	< 0,01	< 0,01

Sig. = Significancia estadística

NOTA: Series de promedios corridos de 5 años

indicadores del océano Atlántico (TSM Atlántico tropical norte, TSM Atlántico tropical sur, TSM Atlántico Caribe-CAR) y otros complementarios, todos los cuales se describen en el anexo 1.B.

Se encontraron moderados a altos coeficientes de correlación entre las series de estudio, encontrándose las correlaciones más significativas para los meses de enero a mayo, principalmente con las TSM del Pacífico ecuatorial central. En la figura 10 se presenta en forma gráfica los coeficientes de determinación (en %) obtenidos entre las temperaturas máximas y mínimas e índices globales oceanográficos, en los meses de enero a diciembre (de 1 a 12, respectivamente) para las diferentes zonas del valle. Además, en la figura 10 se presenta en forma gráfica los coeficientes de determinación (en %) obtenidos entre las temperaturas máximas y mínimas e índices globales oceanográficos, en los meses de enero a diciembre (de 1 a 12, respectivamente) para las diferentes zonas del valle.

De las tablas obtenidas se pudo observar que las temperaturas máximas están alta y generalizadamente correlacionadas, en forma directa con índices térmicos del océano Pacífico ecuatorial en los meses de verano y otoño (enero a mayo). Esto quiere decir, que cuando se incrementan las temperaturas superficiales marinas del océano Pacífico, también se incrementarían las temperaturas máximas del valle del Mantaro, y viceversa. Dicho de otra manera, en caso de que se produjera un evento El Niño (cuyo desarrollo suele darse en la cuenca del océano Pacífico, generalmente entre primavera y el verano del hemisferio austral), afectaría en forma directa al valle del Mantaro con mayores valores de temperaturas máximas.

Las máximas correlaciones obtenidas en todo el proceso fueron entre las tmax de los meses de febrero (Huayao, Jauja y Viques), marzo (Santa Ana) y abril (Huayao), especialmente con las temperaturas y anomalías en el Pacífico ecuatorial central (Niño 34). Dichos valores variaron entre 0,7 y 0,77, el valor mayor con Jauja.

La relación obtenida con el océano Atlántico, incluyendo en lo que concierne a tmax, no fue tan clara como con la relación con las temperaturas y anomalías en el Pacífico, sino más bien variable, con casi ninguna o poca correlación con los sectores TSA y TNA, sin embargo, se encontró que la zona del Caribe (sector: CAR) estaría correlacionado ligeramente a moderadamente (10% < r² % < 26%) con las tmax y tmin en Huayao durante varios meses del año (entre diciembre y setiembre para las tmax, y entre enero a abril en las tmin), relación que no se observa tan persistentemente, sino más esporádica con otras zonas del valle. En el caso de los sectores tropicales norte y sur del Atlántico, cuando se presentaron algunas pocas correlaciones estadísticamente significativas con las temperaturas del valle, estas fueron de tipo inverso con el sector sur del Atlántico (sector TSA) y la diferencia de anomalías de las TSM entre el sector sur y norte (TSA-TNA) y directo con el sector norte (TNA).

En comparación con las tmax, las tmin en el valle del Mantaro presentaron por lo general correlaciones bajas a moderadas 0,3 < r < 0,47, con los índices oceánicos del Pacífico y el Atlántico durante el verano (enero a marzo).

Similarmente a los índices oceanográficos, se encontró una moderada a alta correlación (0,5 < |r| < 0,71) entre los índices globales atmosféricos del océano Pacífico tropical y las tmax en el valle en los meses de enero a abril (excepto en Jauja para los meses de enero y febrero). Las relaciones obtenidas, como era de esperarse, fueron de tipo inverso (negativo) con el SOI y las presiones (y sus anomalías) de la

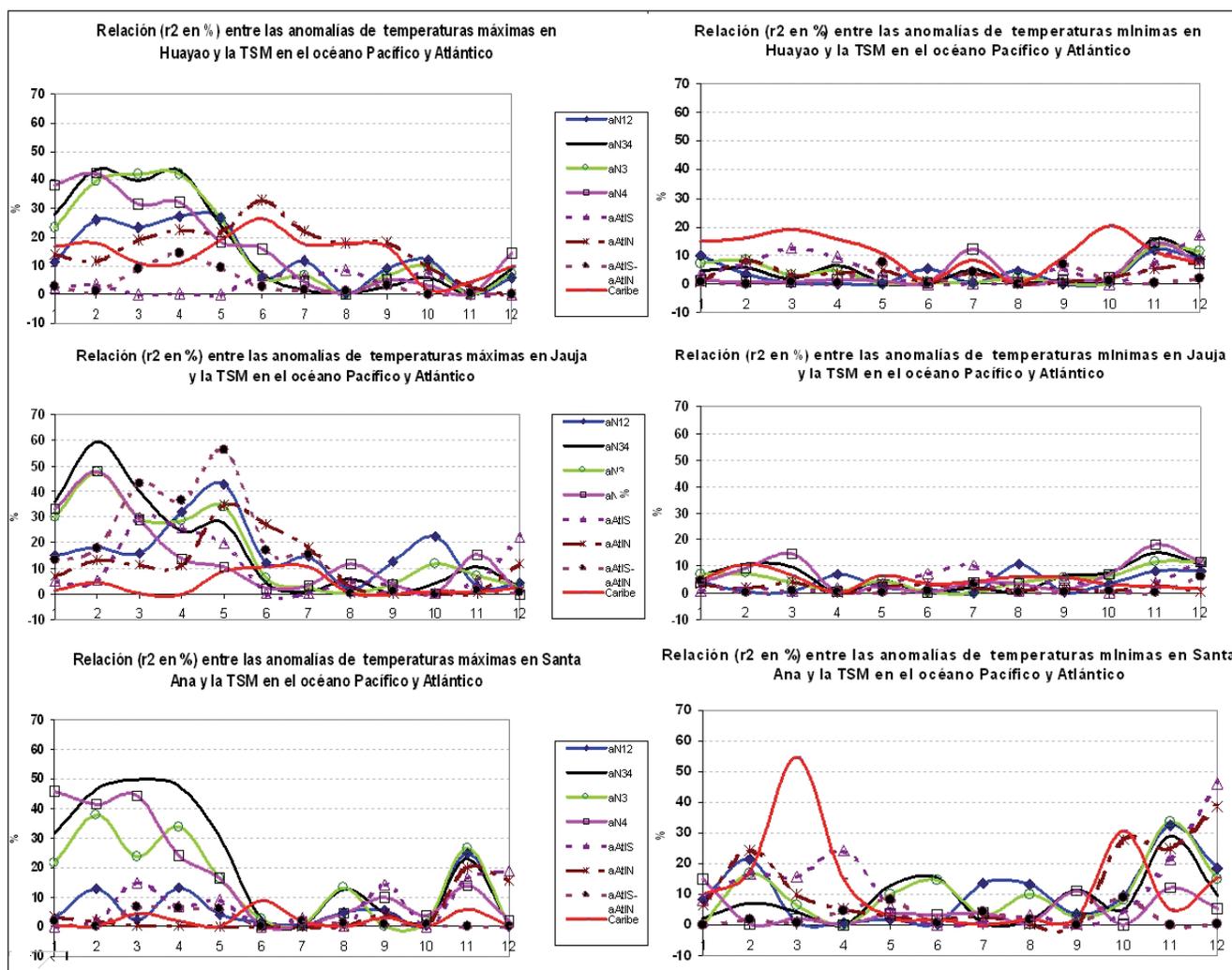


Figura 10. Coeficientes de determinación en % (r^2 %) mensual entre temperaturas en el valle del Mantaro y variables oceánicas globales. Temperaturas máximas en la columna de la izquierda y temperaturas mínimas en la columna de la derecha.

TABLA 6. Años El Niño y La Niña identificados según el índice Niño&Niña, ONI y Niño 1+2.

El Niño	La Niña
1925	1950
1926	1954
1930	1955
1931	1956
1940	1971
1941	1973
1957	1975
1958	1988
1965	1999
1969	2008
1972	
1982	
1983	
1987	
1992	
1997	
1998	
2002	
2006	

zona de Darwin en el Pacífico tropical occidental, y de tipo directo (positivo) con la zona de Tahití, en el Pacífico tropical suroriental; los cuales se deben a las relaciones de tipo inverso que existen entre las TSM y las presiones superficiales de la atmósfera adyacente.

Así también se encontró que la t_{max} de Huayao presenta una correlación persistente y directa (moderada) con las anomalías de las temperaturas promedio globales del aire (aGlobalTair) durante todo el año, y en menor proporción y persistencia en las t_{max} de Santa Ana y Viques. Índices extratropicales, como fue el caso del oscilación del Atlántico norte (NAO), no tuvieron ninguna correlación significativa con los índices térmicos del valle.

b) Relación con El Niño y La Niña

Se han ido encontrando algunos resultados que indican la importante influencia de las condiciones térmicas océano-atmosféricas en el océano Pacífico tropical sobre las temperaturas del valle del Mantaro, en particular sobre las máximas. En este ítem se evaluará con más detalle lo que ha sucedido con las temperaturas máximas y mínimas del valle en años definidos de ocurrencia de eventos El Niño y La Niña, para lo cual se utilizó la serie más larga de Huayao.

Como existen diversos índices para la definición de las condiciones climáticas en el Pacífico ecuatorial (cálidas tipo El Niño, o frías tipo La Niña) se consideró utilizar las más

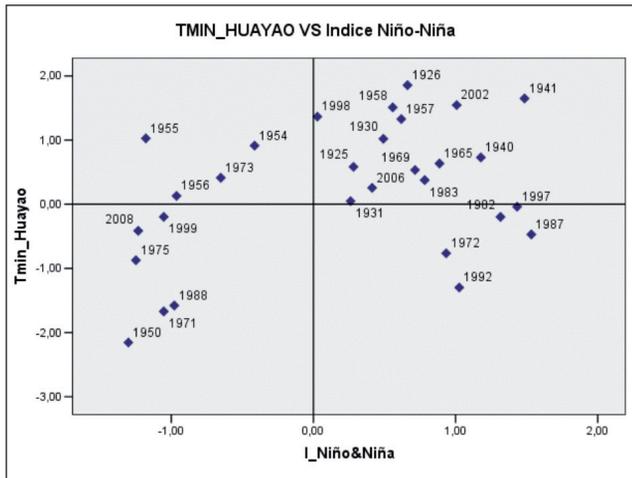


Figura 11. Temperatura mínima y máxima anual de Huayao vs Índice de El Niño y La Niña.

conocidas en base a la TSM en el Pacífico como son ONI o Índice Oceánico El Niño (basado en el Índice Niño 3.4) y el Índice Niño 1+2, además de otro, al que se le dio el mayor peso, que conjuga la contraparte oceánica y atmosférica, como por ejemplo el creado por Smith y Sardeshmukh (2000), llamado el "Mejor Índice ENSO", que nosotros denominaremos I_Niño&Niña, en el que se sintetiza información estandarizada del SOI y Niño 3.4, desde 1871 a la fecha.

Los años identificados como Niño o Niña se presentan en la tabla 6, con un total de diecinueve años tipo El Niño y diez tipo La Niña. Con esa información se obtuvieron los

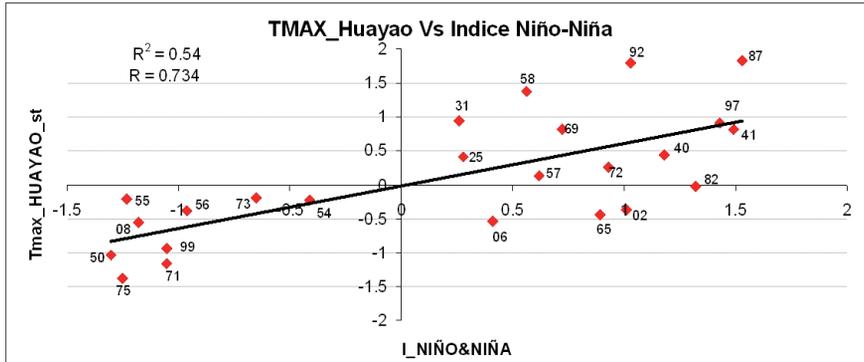
correspondientes valores anuales estandarizados de la tmax (sin tendencia después de 1976) y de la tmin de Huayao, que se graficaron en función a los valores del I_Niño&Niña de esos años, encontrándose una buena correspondencia entre los eventos La Niña y El Niño con las temperaturas máximas y en menor proporción con las tmin (figura 11). Nueve de diez eventos (90%) La Niña identificados implicaron condiciones de la tmax anual en el valle, por debajo del promedio histórico; y en el caso de los eventos El Niño, en la mayoría de ellos, catorce de los diecinueve (74%), se presentaron condiciones más cálidas de lo normal de la tmax, en el resto se dieron condiciones entre normal o más frías de lo normal. Con las tmin, las proporciones disminuyen, solo en un 60% (seis de diez) de eventos La Niña se presentaron condiciones más frías de lo normal, y en un 68% (trece de diecinueve) de eventos El Niño las condiciones térmicas fueron por encima de lo normal.

Es interesante además observar que los años El Niño, considerados extraordinarios o muy fuertes como son Niño 1925-26, Niño 1982-83 y Niño 1997-98 (en ese orden), ocasionaron los valores más extremos en las temperaturas máximas de Huayao, asociados a este tipo de eventos.

Tomando en cuenta un 90% de eventos La Niña y un 80% de los eventos El Niño (graficados en las figura 12 y 13), la correlación entre los índices mejoró notablemente para la tmax y tmin, haciéndolo estadísticamente significativo.

De lo obtenido, se puede indicar que en general existe una muy alta probabilidad (90%) de que durante un evento La Niña, las tmax anuales en Huayao tiendan a ser más frías de lo normal aunque las tmin anuales no necesariamente lo van a ser (tienen solo un poco más del 50% de probabilidad

de serlo), y por otro lado, habría una probabilidad alta (68 a 74%) de que durante la ocurrencia de un evento El Niño, las temperaturas tanto mínimas como máximas en Huayao sean más cálidas de lo normal.



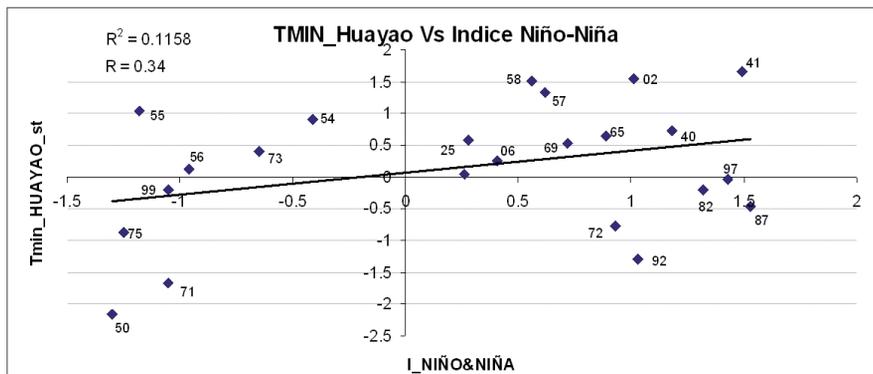
R estadísticamente significativa al 99%

Figura 12. Correlación significativa entre temperatura máxima anual de Huayao e Índice de El Niño y La Niña.

c) Temperaturas mínimas de Huayao e índices solares

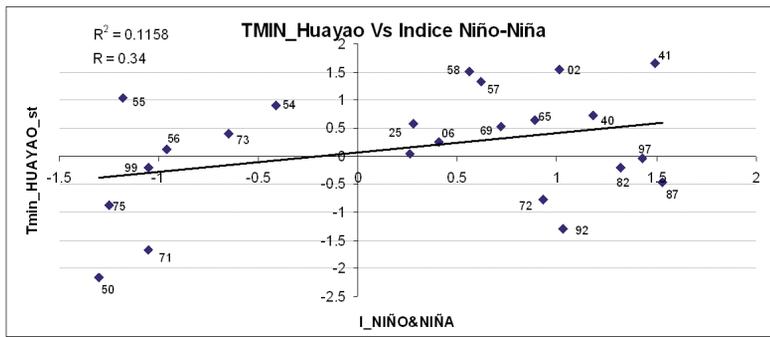
Las fluctuaciones de baja frecuencia en las temperaturas mínimas, de alrededor de una década, fueron evidentes, por lo que se realizó un análisis espectral para determinar las periodicidades más predominantes en la serie (figura 14), destacando los siguientes ciclos: 3 años, 3,6 años, 14 años y 21,8 años. El último podría estar asociado a ciclos solares.

Se contrastó la información anual de tmin Huayao con información de número de manchas solares (SSN, siglas en inglés), sin encontrarse ninguna relación entre ambos (r encontrado fue de -0,02), tal como se observa en la figura 15; tampoco se encontró buena correlación con series estacionales (verano, otoño, invierno o primavera). A pesar de los resultados encontrados, aún no se podría descartar una posible influencia solar en las temperaturas mínimas, y más bien se recomendaría que se realice un estudio más detallado al respecto.



R estadísticamente significativa al 99%

Figura 13. Correlación significativa entre temperatura mínima anual de Huayao e Índice de El Niño y La Niña.



R estadísticamente significativa al 99%

Figura 13. Correlación significativa entre temperatura mínima anual de Huayao e Índice de El Niño y La Niña.

las tendencias se incrementaron en algunos casos un poco más, especialmente en las series anuales y de invierno a +0,18°C/ década y en forma más marcada en otoño (+0,26°C/década). Estos valores están dentro de la tendencia promedio mundial de incremento de las temperatura, asociado al proceso de calentamiento global, dado por algunos investigadores para la región tropical (entre 0,1 y 0,30 °C/ década obtenido por Vuille y Bradley (2000), y entre +0,15 y +0,20°C/década en promedio para zonas andinas con altitudes entre 3000 y 4000 msnm (Vuille et al., 2003).

TABLA 7. Tendencias (°C/ década) en las temperaturas máximas del valle del Mantaro

	Anual	Verano (efm)	Otoño (amj)	Invierno (jas)	Primavera (ond)
Huayao 1922- 2009	+0,09	+0,10	+0,11	+0,10	+0,11
Sig.	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Huayao 1930- 2009	+0,16	+0,18	+0,18	+0,16	+0,11
Sig.	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01	< 0,01
Huayao 1976- 2009	+ 0,18	+0,16	+0,26	+0,18	+0,10
Sig.	< 0,01	No sig.	< 0,05	< 0,10	No sig.

Sig: Significancia estadística

En la figura 16 se presenta el gráfico de tendencias anuales para Huayao. Se puede apreciar, que desde 1930 a la fecha, la tmax anual en Huayao ha subido en promedio 1,27°C, y desde 1976 a la fecha 0,60°C. En verano e invierno, las temperaturas máximas han subido en promedio entre 0,50° y 0,60°C, pero los más altos incrementos se han dado en otoño, que en promedio varió de 19,34°C a 20,21°C (0,87 °C de diferencia) entre 1976 y 2009.

b. Temperatura mínima

En la tabla 9, se presentan los valores de la tendencia lineal encontrada para las series de temperatura mínima promedio anual y estacional de Huayao, para los mismos periodos con los que se trabajó para la tmax, también se resaltó con negrita y color las tendencias estadísticamente significativas, con una confianza menor o igual a 95%.

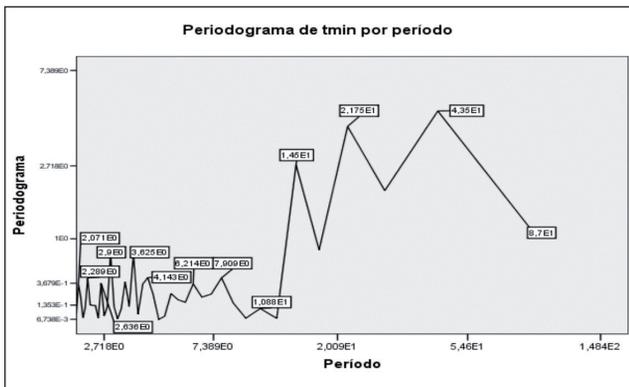


Figura 14. Ciclos de baja frecuencia predominantes en la temperatura mínima de Huayao. Periodo 1921-2009.

4.3 Tendencias

Nos centraremos a analizar las tendencias de la serie más larga del valle, correspondiente a Huayao.

a) Temperatura máxima

En la tabla 7 se han resumido las tendencias obtenidas de las temperaturas máximas de Huayao para tres periodos: 1921-2009, 1930-2009 y 1976-2009, este último considerando la tendencia más brusca que se evidencia a partir de dicho año. Asimismo se ha resaltado en rojo las tendencias estadísticamente significativas, mayormente al 99% de confianza.

Como se puede ver, las tendencias de 1922 al 2009 son ligeramente positivas en todos los casos, a razón de 0,1°C/ década aproximadamente. Pero es a partir de 1930, donde las tendencias positivas son más evidentes, especialmente en verano, otoño, invierno y anual, con valores entre 0,16 a 0,18 en dichos casos. Al tomar el periodo 1976- 2009,

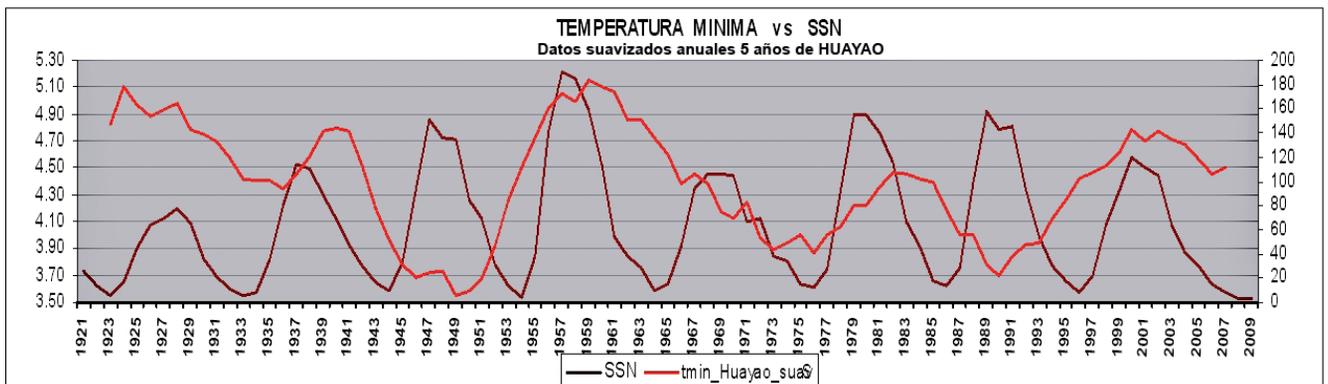


Figura 15. Relación entre la temperatura mínima de Huayao y el número de manchas solares. Periodo 1921-2009.

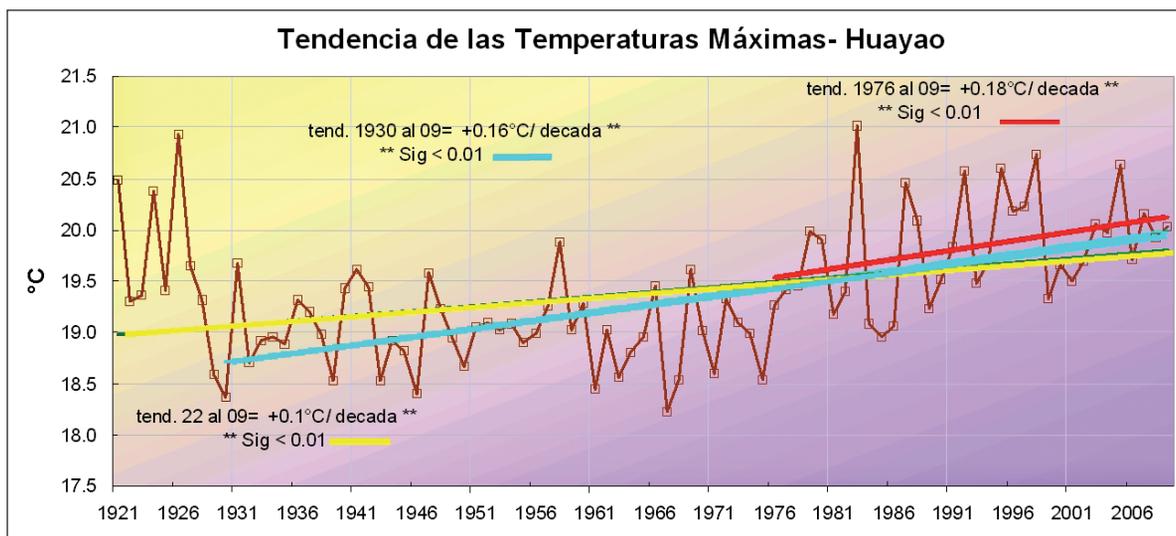


Figura 16. Tendencia lineal de la temperatura máxima anual (°C) en Huayao. Periodo: 1921-2009.

Figura 17. Tendencia lineal de la temperatura mínima anual (°C) en Huayao. Periodo: 1921-2009.

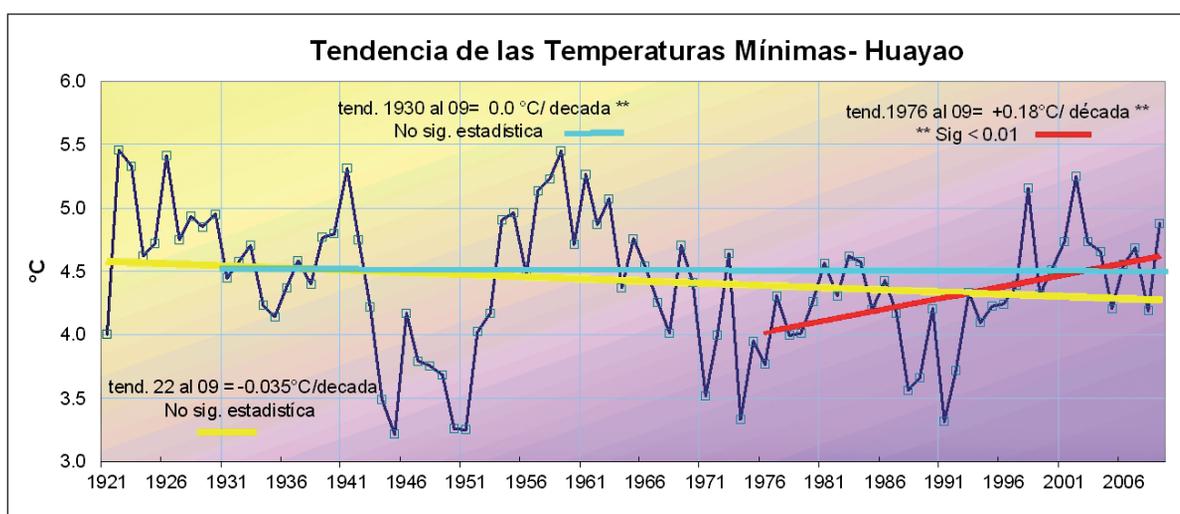


TABLA 7. Tendencias (°C/ década) en las temperaturas máximas del valle del Mantaro

	Anual	Verano (efm)	Otoño (amj)	Invierno (jas)	Primavera (ond)
Huayao 1922- 2009	-0,03	+0,01	-0,08	-0,06	-0,03
Sig.	No sig.	No sig.	< 0,05	< 0,05	No sig.
Huayao 1930- 2009	0,00	0,00	-0,00	-0,00	-0,00
Sig	No sig.	No sig.	No sig.	No sig.	No sig.
Huayao 1976- 2009	+ 0,18	+0,13	+0,29	+0,18	+0,13
Sig.	< 0,01	No sig.	< 0,05	< 0,10	No sig.

Sig: Significancia estadística

En este caso, lo más evidente es que en comparación a las tmax, hay pocas tendencias estadísticamente significativas, y las de mayor valor son positivas y se verifican a partir de 1976 a la fecha, especialmente en los promedios: anuales, otoño e invierno (0,18°C/década, 0,29°C/década y 0,18°C/década, respectivamente); esto quiere decir que las temperaturas mínimas en todas las estaciones del año están siendo menos frías desde 1976. La temperaturas mínimas han aumentado hasta la fecha en promedio entre 0,43

y 0,60°C en verano e invierno, respectivamente, cerca de 1,00°C en otoño y en primavera 0,43°C . Por el contrario, desde 1922 a la fecha, las tendencias son negativas aunque bastante ligeras (alrededor de -0,07°C/década en otoño e invierno y -0,03°C en primavera y anual). En la figura 17, se puede observar el comportamiento de las tendencias para los promedios anuales.

4. Conclusiones

Del análisis realizado se concluye lo siguiente:

- En el valle del Mantaro, las temperaturas máximas presentan los valores más bajos durante verano (febrero a marzo, principalmente, en promedio 18,4°C) y los más altos en noviembre (20,8°C, en promedio), con un segundo máximo en mayo (en promedio 20,3°C).
- La evolución mensual de la temperatura mínima en el valle del Mantaro está fuertemente asociada a los cambios de estación. Se observan dos periodos bien definidos durante el año: de mínimos valores centrado en la estación de invierno (junio y julio), siendo el valor más bajo 0,5°C en julio, y de valores máximos en verano (entre enero y marzo), con valor promedio alrededor de 7,0°C.

- Las temperaturas presentan en general alta variabilidad anual y multianual. En las temperaturas mínimas, se evidencia una mayor ocurrencia de alternancia de periodos más fríos y cálidos relativos, aproximadamente alrededor de diez a once años, sin que se haya podido encontrar alguna relación con índices de la actividad solar. En las temperaturas máximas, las alternancias fueron más variables y por lo general de menor periodo de duración.
- Del periodo común entre las series de datos (1992 al 2009), 2001 fue un año frío generalizado en gran parte del valle, y 1998 fue un año cálido extremo en prácticamente todo el valle, tanto en las temperaturas mínimas como en las máximas. Otros años de temperaturas extremas cálidas se presentaron en 1983, 2004, 1997, 1987, entre otros; y en el caso de temperaturas extremas frías se dieron en 1991, 1999, 1968, 1975, entre otros.
- La temperatura máxima en Huayao, a escala interanual y decadal, está fuertemente asociada a la temperatura promedio global y a cambios en el océano Pacífico norte (observado en la oscilación decadal del Pacífico), desde los años treinta o cuarenta y en particular a partir de 1976. Asimismo, se encontró una moderada a buena correlación con la temperatura superficial del mar en la costa norte de Perú (Puerto Chicama), que podría haber tenido mayor influencia en particular durante el periodo cálido a inicios y mediados de los años veinte. Paralelo a ello, se obtuvo que las temperaturas máximas están altamente correlacionadas, y en forma directa, con los índices océano-atmosféricos en el Pacífico ecuatorial en los meses de verano y otoño (de enero a abril, principalmente), zona donde se desarrollan los eventos El Niño y La Niña.
- Se verificó que existe una alta probabilidad (90%) de que, durante un evento La Niña, las temperaturas máximas anuales en Huayao tiendan a ser más bajas de lo normal, mientras que las temperaturas mínimas solo presentan una probabilidad de un poco más del 50% para tener condiciones más frías. Por otro lado, se encontró una probabilidad alta (68 a 74%) de que durante la ocurrencia de un evento El Niño, las temperaturas, tanto mínimas como máximas en Huayao, sean más cálidas de lo normal.
- En Huayao, las temperaturas máximas han ido incrementándose con el tiempo; desde 1930 a la fecha, la t_{max} anual ha aumentado en promedio $1,27^{\circ}C$, y desde 1976 a la fecha, $0,60^{\circ}C$. En verano e invierno, las temperaturas máximas han aumentado entre 1976 y 2009, alrededor de $0,55^{\circ}C$, aunque los más altos incrementos se han dado en otoño, con un incremento de $0,87^{\circ}C$. Por otro lado, las temperaturas mínimas en toda época del año están siendo menos frías desde 1976, aumentando en promedio alrededor de $0,50^{\circ}C$ en verano e invierno, cerca a $1,00^{\circ}C$ en otoño y en primavera $0,43^{\circ}C$. Las tendencias positivas encontradas en el presente estudio están dentro de los valores de tendencias en las temperaturas encontradas por algunos investigadores para la región tropical andina.

Referencias bibliográficas

- **Climate Diagnostic Center (CDC)/NOAA (2009).** Climate Indices: Monthly Atmospheric and Ocean Time Series. <<http://www.cdc.noaa.gov/ClimateIndices/List/>>. Consultado el 11 diciembre de 2009.
- **Climate Prediction Center (CPC)/NOAA (2009).** El Niño Indices. <<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>>. Consultado el 11 diciembre de 2009.
- **Ebbesmeyer, C. C., D. R. Cayan, d. R. Mclain, F. H. Nichols, H. Peterson, T. Redmond (1991, 1976).** Step in the Pacific Climate: Forty environmental changes between 1968–1975 and 1977–1984. California Department of Water Resources, Interagency Ecological Studies Program Tech. Rep., 26, pp. 115-126.
- **IGP (2005a).** Atlas Climático de Precipitación y Temperatura del Aire en la Cuenca del Río Mantaro. Fondo editorial del Concejo Nacional del Ambiente. Lima, 107 pp.
- **IGP (2005b).** Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro Bajo la Visión del Cambio Climático. Fondo editorial del Concejo Nacional del Ambiente. Lima, 90 pp.
- **Mantua, N. J., Y. Zhang, j. M. Wallace, R. C. Francis (1997).** A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. Bull. Amer. Meteor. Soc., 78, pp. 1069-1079.
- **Necco, G. (1984).** El Estudio del Clima Sobre la Base de las Estadísticas. Copias del Curso Internacional en Climatología. Buenos Aires, 8, 62 pp.
- **Panofsky, H., G. W. Brier (1968).** Some Applications of Statistics to Meteorology. University Park. Pennsylvania. 224 pp.
- **Miller, A. J., D. R. Cayan, T. P. Barnett, N. E. Graham, J. M. Oberhuber (1994).** The 1976-77 climate shift of the Pacific Ocean. Oceanography, 7, pp. 21-26.
- **Silva, J. (1991).** Estudio de evapotranspiración potencial lisimétrica en el Valle del Mantaro. Tesis para optar el título de Ingeniero Meteorólogo. Univ. Nac. Agraria La Molina, 150 pp.
- **Smith, C., P. Sardeshmukh (2000).** The Effect of ENSO on the Intraseasonal Variance of Surface Temperature in Winter. International J. of Climatology, 20, pp. 1543-1557.
- **Tourre, Y., Y. Kushnir, W. White (1999).** Evolution of interdecadal variability in sea level pressure, sea surface temperature, and upper ocean temperature over the Pacific Ocean. J. Phys. Oceanogr., 29, pp. 1528-1541.
- **Trasmonte, G., Y. Silva (2008).** Evento La Niña: Propuesta de Definición y Clasificación según las Anomalías de Temperatura de la Superficie del Mar en el Área Niño 1+2. Informe Instituto del Mar del Perú, 35 (3), pp. 199-207.

ANEXO 1A

Índice / Periodo de información utilizado	Descripción	Área/Lugar que abarca ó representa
PDO 1922-2008	Oscilación decadal del Pacífico, primer componente principal de la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico norte	Océano Pacífico Norte de 20°N
Tsm_CHICAMA (°C) 1922-2008	Temperatura superficial del mar en Chicama	7°S/79°27'W Litoral norte peruano
Tahiti_P (hPa) 1922-2008	Presión atmosférica en el Pacífico tropical	17°33'S/ 149°20'W Pacífico tropical central
JFernandez_P (hPa) 1922-1998	Presión atmosférica en isla Juan Fernandez	Pacífico subtropical sur Frente a Chile
QQ_Piura (m3/sg) 1922-2009	Descargas en el río Piura	Costa norte peruana
N34 (°C) 1922-2009	TSM Pacífico ecuatorial central, área 3.4	5°N-5°S/ 170°W- 120°W Pacífico
Titicaca_niv (m) 1922-2000	Nivel medio del lago Titicaca	Sierra sur peruana
Temp_GLOBAL (°C) 1922-2008	Temperatura del aire promedio global	Global
TSM_82W_4S (°C) 1922-2005	TSM en el Pacífico ecuatorial oriental	4°S/82°W Pacífico ecuatorial oriental
TNI 1950-2009	Trans El Niño Índice. Diferencia entre TSM Niño 1.2 y TSM Niño 4 estandarizado	Pacífico ecuatorial
SSN 1922-2009	Numero de manchas solares	Solar

Índices oceánicos y atmosféricos globales, regionales, nacionales y otros asociados utilizados en el análisis de correlaciones. Datos anuales. Periodos variables.

- **Villaroel, C., B. Rosenbluth, P. Aceituno (2006).** Climate Change along the Extratropical West Coast of South America (Chile): Daily Max/Min Temperatures. International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO), 8, Foz do Iguacu. Proceedings. São José dos Campos: INPE, pp. 487-489.
- **Villegas, E. (1991).** Zonificación del Valle del Mantaro según a intensidad y riesgo de ocurrencia de las heladas radicales. Tesis para optar el título de Ingeniero Meteorólogo. Univ. Nac. Agraria La Molina. 141 pp.
- **Vuille, M., R. S. Bradley (2000).** Mean annual temperature trends and their vertical structure in the tropical Andes. Geophys. Res. Lett., 27, pp. 3885-3888.
- **Vuille, M., R. S. Bradley, M. Werner, F. Keimig (2003).** 20th Century Climate Change in the Tropical Andes: Observations and Model Results. Climate Change, 59, Kluwer Academic Publisher. pp. 75-99.
- **Vega L., G. (2005).** Diagnóstico de la Cadena Productiva de la Alcachofa. Dirección Regional Agraria Junín, 20 pp.
- **Woodman, R. F. (1985).** Recurrencia del Fenómeno El Niño con intensidad comparable a la del año 1982-83. Proceedings of the Seminario Regional, Ciencia y Tecnología y Agresión Ambiental, CONCYEC, pp. 301- 332.
- **Wu, I., D. Eun, Z. Liu (2005).** The 1976/77 North Pacific Climate Regime Shift: The Role of Subtropical Ocean Adjustment and Coupled Ocean-Atmosphere Feedbacks. J. Climate, 18(23), pp. 5125-5140.

ANEXO 1B

Índice	Descripción	Área/Lugar que abarca ó representa
N12 (°C)	Temperatura superficial del Mar (TSM) Pacífico ecuatorial oriental, área 1+2	EQ-10°S/90°W-80°W Pacífico
AN12 (°C)	Anomalía de TSM (ATSM) área 1+2	Pacífico
N34(°C)	TSM Pacífico ecuatorial central, área 3.4	5°N-5°S/ 170°W- 120°W Pacífico
AN34 (°C)	ATSM área 3.4	Pacífico
N 3 (°C)	TSM Pacífico ecuatorial centro-oriental, área 3	5°N-5°S/ 150°W-90°W Pacífico
AN3 (°C)	ATSM área 3	Pacífico
N 4 (°C)	TSM Pacífico ecuatorial occidental, área 4	5°N-5°S/ 160°E- 150°W Pacífico
AN4 (°C)	ATSM área 4	Pacífico
TNA (°C)	ATSM Atlántico tropical Norte	5,5°N-23°N/15°W-57,5°W. Atlántico
TSA (°C)	ATSM Atlántico tropical Sur	EQ-20°S/10°E-30°W. Atlántico
TSA-TNA (°C)	Diferencia TSA- TNA	Atlántico
CAR (°C)	ATSM Atlántico Caribe	26°N-10°N/100°W- 60°W Atlántico
SOI	Índice de oscilación sur (diferencia de presiones estandarizadas entre Tahití y Darwin)	Pacífico tropical sur
SOI_a	Anomalía de la oscilación sur	Pacífico tropical sur
Tahiti (hPa)	Presión nivel Mar PNM en Tahití (Pacífico tropical suroccidental)	Pacífico
aTahiti (hPa)	Anomalía Tahití	Pacífico
Darwin (hPa)	Presión nivel Mar PNM en Darwin (Pacífico tropical occidental)	Pacífico
aDarwin (hPa)	Anomalía Darwin	Pacífico
NAO	Oscilación del Atlántico norte (componente principal de anomalías estandarizadas de altura geopotencial en 500 hPa)	Atlántico Norte 20°N-90°N. Atlántico
aGlobalTair (°C)	Anomalía de temperatura del aire (solamente estaciones meteorológicas) promedio global	Global

Índices Oceánicos y Atmosféricos Globales utilizados en el análisis de Correlaciones. Datos mensuales. Periodo 1958-2008.

Variabilidad de las precipitaciones en el valle del río Mantaro

Precipitation variability in the Mantaro river valley

Yamina Silva Vidal¹, Grace Trasmonte y Lucy Giráldez

Instituto Geofísico del Perú

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo fue analizar la variabilidad de las precipitaciones en diversas escalas de tiempo, que abarca la variabilidad estacional, interanual, decadal, así como las tendencias climáticas. Se utilizaron datos mensuales de lluvias en las estaciones de Viques, Jauja y Huayao, para este último se usaron datos de las series históricas del observatorio de Huayao con información desde el año 1922 hasta el año 2009. Se calcularon las correlaciones entre las precipitaciones y los índices globales y regionales a fin de identificar la influencia de estas regiones en la variabilidad de las precipitaciones en el valle del Mantaro. Se calculó la tendencia en las lluvias por periodos, tanto para la precipitación anual y estacional, encontrándose que el periodo de 1977-2009 es la que presenta las mayores tendencias negativas. La variabilidad interdecadal muestra que la década de los 50 y 80 fueron los más lluviosos para los meses de enero-marzo, mientras que los 20 y la década actual fueron los más secos.

Palabras clave: precipitación en la cuenca del río Mantaro, periodos secos y lluviosos, tendencias en precipitación.

ABSTRACT

The main objective of this study was to analyze the variability of precipitation at different time scales (seasonal, interannual and decadal), and the time trends in precipitation. We used monthly rainfall data from Viques, Jauja and Huayao stations. For Huayao station, historical data for the period of 1922- 2009 was used. Our analyses made use of correlations between rainfall in the Mantaro River valley and global and regional teleconnection indices to explore the possible influence of these regions on rainfall variability in the Mantaro Valley. We calculated the trends for annual and seasonal precipitation, finding the largest negative trend for the period 1977-2009. Interdecadal variability shows that the 50s and 80s were the wettest decades for of the period January -March, while the 20s and the current decade were the driest.

Key words: Precipitation in Mantaro river basin, dry and wet periods, precipitation trend.

1. Introducción

Una de las variables climáticas de mayor importancia es sin duda la precipitación, debido a la gran importancia que ésta tiene en las actividades humanas, principalmente en la región de los Andes peruanos, como la cuenca del río Mantaro, ya que casi el 80% de la agricultura se desarrolla a secano. Las variaciones en la cantidad y distribución espacial y temporal de las lluvias puede afectar de diversas maneras las actividades humanas, pero principalmente la agricultura,

siendo las sequías uno de los mayores peligros climáticos en esta región (IGP, 2005a).

El objetivo principal de este trabajo fue analizar la variabilidad de las precipitaciones en diversas escalas de tiempo, que abarca la variabilidad estacional, interanual, decadal, así como las tendencias climáticas, para este último se usaron datos de las series históricas del observatorio de Huayao con información desde 1921 hasta el año 2009. Así mismo, se realizaron correlaciones con otros índices globales y regionales a fin de identificar la influencia de estas regiones

¹ Email: yamina.silva@igp.gob.pe

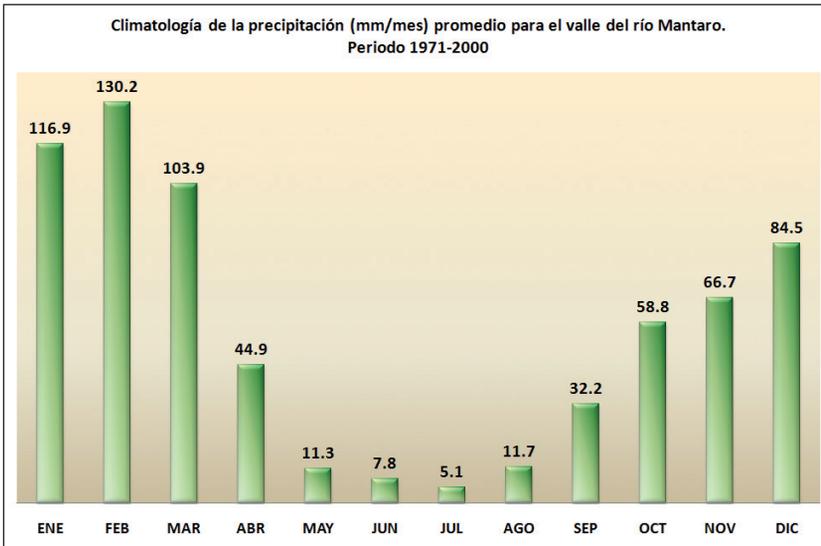


Figura 1. Climatología de la precipitación promediada para el valle del río Mantaro. Se puede apreciar, un periodo seco entre mayo y agosto, inicio de la estación entre setiembre y noviembre y el pico de la estación lluviosa entre enero-marzo.

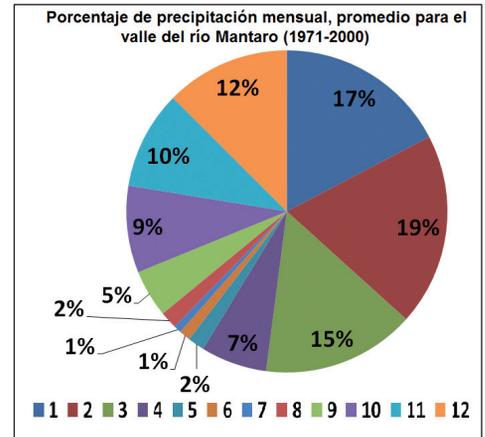


Figura 2. Porcentaje de precipitación mensual en el valle del Mantaro, con respecto a la suma anual.

en el clima del valle del Mantaro.

La zona de estudio, para este trabajo, al igual que todos los que se presentan en este volumen, comprende la zona del valle del río Mantaro.

2. Datos y metodología

Para el estudio de la variabilidad interanual de las lluvias en la cuenca del río Mantaro, se analizaron datos de 38 estaciones para el periodo de 1970 al 2004, para los meses de setiembre a abril. Se calculó el Índice de precipitación Estandarizada (SPI, por sus siglas en inglés), mediante el cual se determinaron los años lluviosos y secos. También se analizó la relación entre la variabilidad de las lluvias en el Mantaro y la variabilidad de la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) de los océanos Pacífico y Atlántico.

Se utilizaron datos mensuales de precipitación de la estación de Huayao desde el año 1922 al 2007, así como datos de 38 estaciones ubicadas en la cuenca del Mantaro, los cuales se describen en IGP (2005b). Para el análisis de la variabilidad interanual de las lluvias en la cuenca del río Mantaro, se analizaron datos de 38 estaciones para el periodo de 1970 al 2004, para los meses de setiembre a abril. Para lo cual se usó el Índice de Estandarizado de Precipitación (SPI, por sus siglas en Inglés), según la metodología propuesta por McKee et al. (1993), y se consideró un año lluvioso o seco si es que, al menos el 20% de las estaciones presenten valores del SPI positivos o negativos respectivamente.

Para analizar la entre la variabilidad de las lluvias en el Mantaro y la variabilidad de la Temperatura de la Superficie del Mar (TSM) de los océanos Pacífico y Atlántico, así como los índices globales, fueron obtenidos del CDC/NCEP².

Para analizar la relación entre las precipitaciones en Huayao y los índices globales y regionales, se usó la correlación lineal de Pearson para determinar la relación entre la precipitación en el valle del Mantaro y los índices climáticos. El periodo base para el calculo de las climatologías fue de 1971-2000.

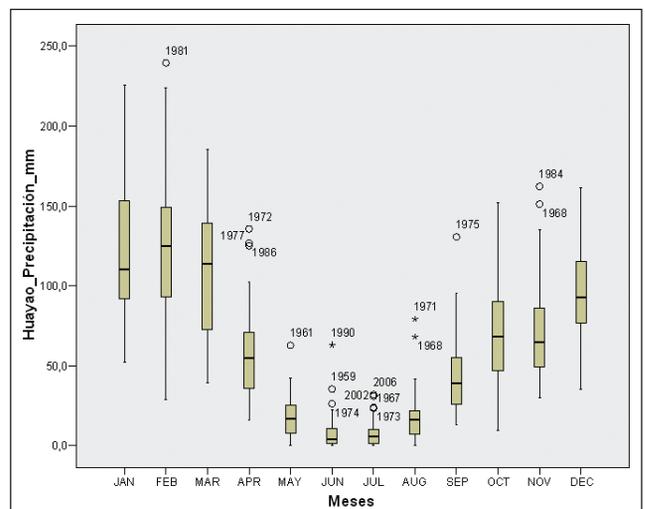


Figura 3. Variabilidad mensual de las precipitaciones en Huayao. Período: enero 1958 a diciembre 2009.

Para determinar periodos secos y lluviosos se usó el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI), calculado según McKee et al. (1993), y se consideró un año lluvioso o seco si es que al menos el 20% de las estaciones presenten valores del SPI positivos o negativos respectivamente.

Se calcularon las series tendencia lineal as en base a la función de regresión. Para el análisis decadal se calcularon los promedios de las lluvias en décadas empezando de 1922 a 1929, 1930-1939, etc. La climatología se calculó para el periodo 1971-2000.

Las significación estadística fue calculado usando el programa SPSS 13.0.

3. Resultados

3.1 Variabilidad mensual

El comportamiento de la precipitación mensual en el valle del río Mantaro, es bastante similar al comportamiento en la cuenca. Tal como se describe en IGP (2005b), las precipitaciones tienen gran variabilidad estacional, estando marcado por una estación seca entre mayo y agosto, y una

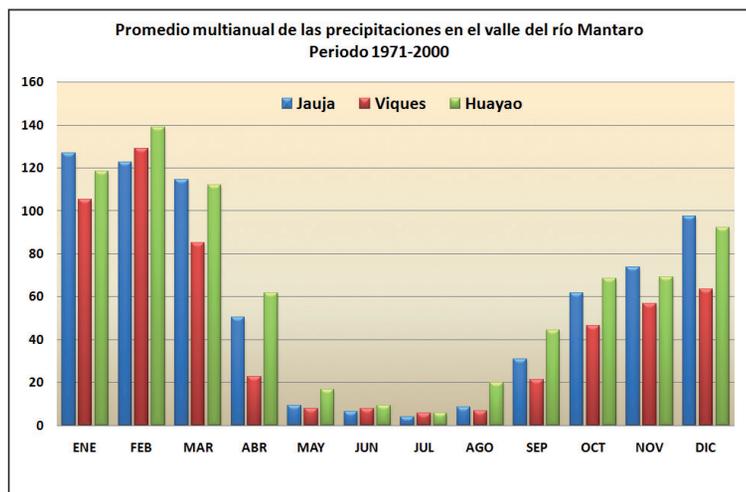


Figura 4. Promedio multianual de las precipitaciones para tres estaciones del valle del Mantaro: Jauja, Viques y Huayao.

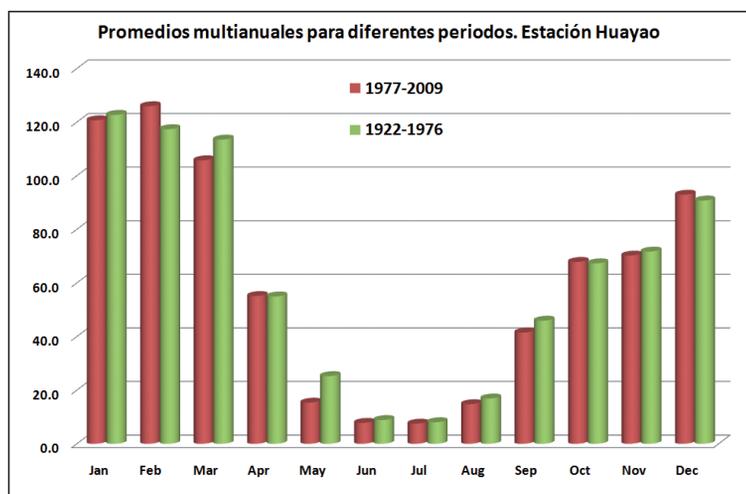


Figura 5. Promedio mutianual de las precipitaciones en el valle del río Mantaro para el periodo 1922-1976 y 1977-2009.

estación lluviosa entre setiembre y abril (figura 1). Cerca del 86% de la precipitación anual ocurren entre los meses de setiembre-abril. Casi la mitad de la precipitación anual (49%) se concentra en los meses de enero-marzo, considerado como el pico de la estación lluviosa, mientras que el 25% en el inicio de la estación lluviosa, entre setiembre y noviembre (figura 2). Mayores detalles sobre el análisis de la climatología a nivel espacial para la cuenca del río Mantaro se puede encontrar el Atlas Climático de la cuenca del río Mantaro, elaborado por el IGP (IGP, 2005a).

El diagrama de cajas de la precipitación mensual en Huayao, muestra que los meses donde las precipitaciones tienen mayor variabilidad son los meses de verano, cuando éstas son máximas. Mientras que los meses de estiaje tienen mejor la variabilidad es menor (figura 3).

3.2 Distribución espacial de las precipitaciones

En cuanto a la distribución espacial de las lluvias en el valle del Mantaro, se puede apreciar que hay variabilidad entre las estaciones (figura 4). Siendo la estación de Huayao la que presenta un buen régimen de lluvias, incluso hasta el mes de abril, mientras que Viques es la que registra menor precipitación, principalmente en los meses de inicio (agosto) y fin (abril) de la estación lluviosa de lluvias. De lo que se puede concluir, que la parte central y norte del valle del

TABLA 1. Años lluviosos y secos detectados en la cuenca del río Mantaro.

Años lluviosos	Años secos
1972/1973, 1973/1974, 1980/81, 1981/82, 1983/84, 1985/86, 1993/94 y 2002/03	1976/77, 1979/80, 1986/87, 1989/90, 1990/91, 1991/92 y 2003/04, 2005/2006, 2006/2007, 2007/2008.

río Mantaro la cuenca presenta mayores precipitaciones, mientras que en la zona sur (Viques) tiene cerca de 25% menos las lluvias son 25% inferiores a lluvias que Huayao.

3.3 Variaciones en la climatología

Con el propósito de identificar las variaciones que pudieran haberse dado en la climatología (promedio multianual de por lo menos de 30 años), debido al salto en el clima encambio en el clima ocurrido en el año 1976 (Trasmonte et al., 2010) se calculó la climatología de las precipitaciones como un promedio desde 1922 hasta 1976 y de 1977 hasta el 2009 (figura 5). Se puede observar que las variaciones más significativas se están dando en los meses de febrero, marzo y mayo. En el mes de febrero, las lluvias a partir del año 1977 son ligeramente superiores al periodo 1922-1976 (+8,6 mm/mes), mientras que en marzo, mayo y setiembre éstas son inferiores, lo que podría indicar, que en los últimos treinta años, la temporada de lluvias está iniciando un poco más tarde y terminando un poco antes, lo que corrobora la percepción de los agricultores del valle, discutidos en los diversos talleres de trabajo. En el resto de los meses la variación es mínima.

El cambio en clima, observado con mayor detalle en la temperatura máxima del aire en Huayao a partir de 1976 podría estar relacionado con el llamado "shift" climático que se ha observado en diferentes partes del mundo y en diferentes variables climáticas (Trasmonte et al, 2010, en este capítulo).

3.4 Variabilidad interanual

Los años secos y lluviosos se determinaron en base al SPI, para lo cual se usaron datos de estaciones ubicadas en la cuenca del río Mantaro. Los datos corresponden a un periodo común, desde 1970 hasta el 2004 para el periodo de setiembre a abril. Los años más lluviosos y secos se indican en la tabla 1 y figura 6. Se encontró que en este periodo, los años más lluviosos fueron: 1972/1973, 1973/1974, 1980/81, 1981/82, 1983/84, 1985/86, 1993/94 y 2002/03 (figura 6). El superávit de lluvias fue generalizada en los años 1993/94 y 1985/86, ya que fueron registradas en la mayor cantidad de estaciones de la cuenca (más de la mitad de las estaciones). Por otro lado, los años más secos fueron: 1976/77, 1979/80, 1986/87, 1989/90, 1990/91, 1991/92 y 2003/04, de los cuales el periodo seco más prolongado ocurrió entre 1989 hasta inicios de 1993. El peor déficit de lluvias se registró en los años 1991/1992 y 1989/1990, registrándose este déficit en casi el 90% y 70%, respectivamente, de las estaciones de la cuenca y en todos los registros del valle. En la estación de Huayao y Jauja, el déficit observado en el 2004 se mantuvo hasta el verano de 2008.

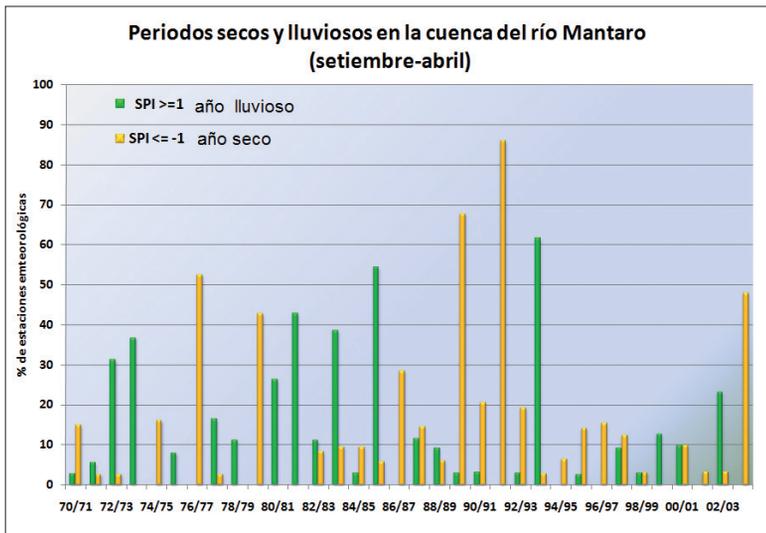


Figura 6. Índice estandarizado de precipitación (SPI). Las columnas verdes indican los años más lluviosos y las amarillas los años más secos (adaptado de Silva et al., 2007).

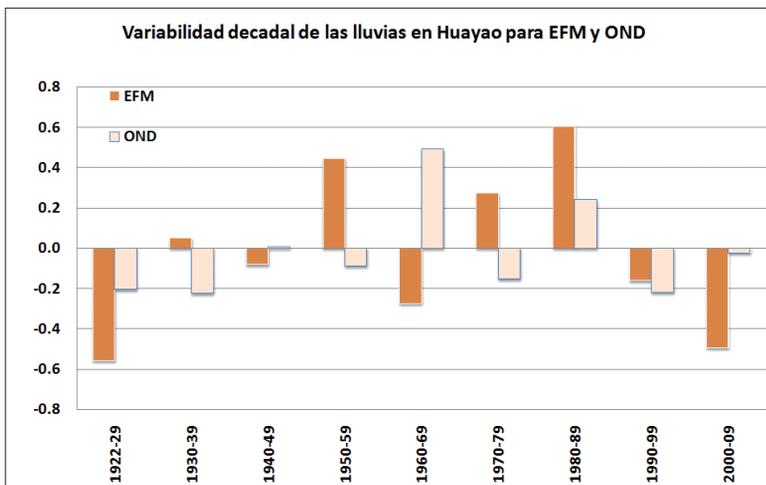


Figura 7. Índices estandarizados de la precipitación decadal en Huayao para OND y EFM.

Según Silva et al., (2007), los periodos secos se hacen mas frecuentes, en casi el 75% de las estaciones de la cuenca, a partir del año 1986/1987, generando una tendencia

negativa de las lluvias, lo cual se discutirá mas adelante en la sección 3.5.

3.4 Variabilidad interdecadal de las precipitaciones en el valle del Mantaro

Para el pico de la temporada de lluvias (EFM) se observa que las décadas de los años 50, 70 y 80 fueron los más lluviosos, mientras que la década de los años 20, 60, 90 y la década actual (hasta el 2009) son más secos. Para OND no existe mucha variación hasta la década de los 60s, donde las precipitaciones fueron más intensas. En general, se observa que la mayor variabilidad se da, durante el pico de la estación de lluvias (figura 7).

3.5 Tendencias de las precipitaciones en los últimos 80 años

En general la tendencia de la precipitación en la cuenca del rio Mantaro es negativa en la parte norte y central de la cuenca, incluyendo el valle del Mantaro, mientras que la parte occidental y centro sur muestran una pequeña tendencia positiva. La tendencia, basada en el periodo 1971-2000, presenta una reducción de las lluvias del orden del 3% por década (IGP, 2005b; Silva et al., 2006). Sin embargo, de acuerdo a la disponibilidad de datos históricos, las tendencias pueden variar significativamente, por ejemplo para el periodo 1960-2003 prácticamente no se observa ninguna tendencia (IGP, 2005), mientras que para el periodo más largo (1922-2009) esta tendencia es +0,74% por década (no mostrado en %) y para el periodo 1977-2009 la tendencia es -7,2% por década (tabla 2), estos valores son mucho mayores para los meses de octubre y febrero, similar a lo que se muestra en figura 8 para la suma anual. Estos resultados nos hacen sospechar,

que las precipitaciones en el valle del Mantaro tendrían alguna relación con el "Shift" climático observado también en la temperatura máxima del aire en Huayao, descrito por Trasmonte et. al. (2010).

Si bien, las tendencias lineales en la precipitación, muestran una disminución de las lluvias, principalmente a partir

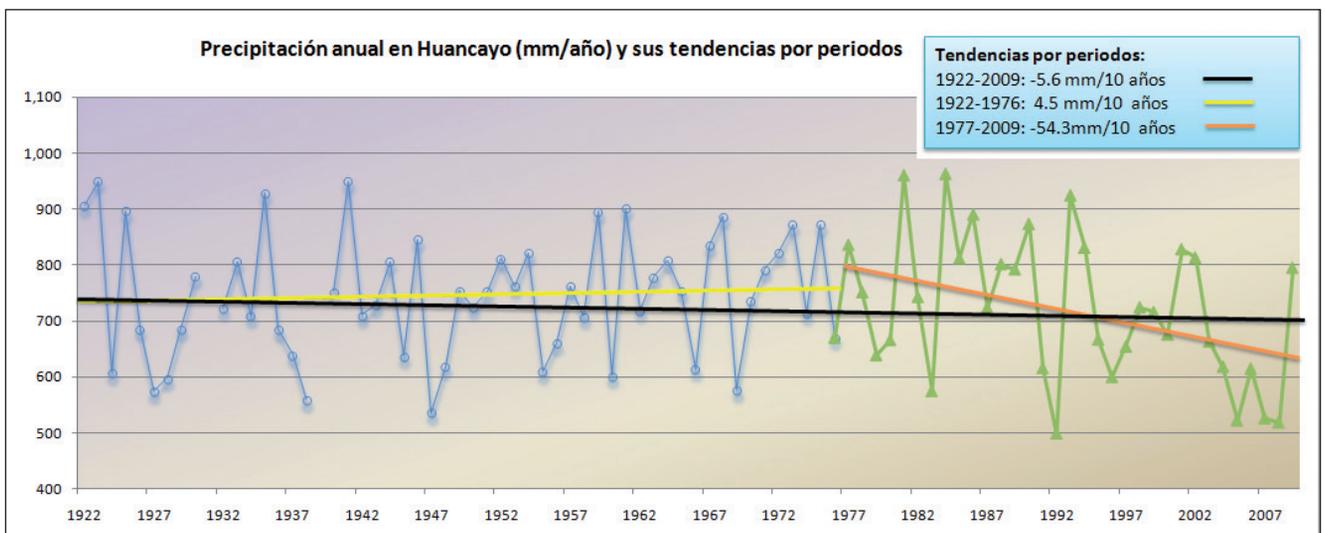


Figura 8. Tendencias lineales de la precipitación para diferentes periodos.

de los años 80, estas no tienen significación estadística. La figura 7, más bien sugiere una oscilación de 30-40 años con periodos lluviosos y secos.

TABLA 2. Tendencias (mm/ década) en las precipitaciones en el valle del Mantaro para diferentes periodos.

Periodo		Anual	Set-abril	EFM	OND	Feb	Oct
1960-2003	mm/década	-0.04	3.10	3.00	-0.10	5.50	0.00
1922-2009	mm/década	-5.60	-1.60	0.00	0.20	1.21	0.20
1922-1976	mm/década	4.70	11.46	2.42	1.09	6.10	3.20
1977-2009	mm/década	-54.28	-52.41	-9.6	-3.4	-19.5	-6.1
1977-2009, referente a climat. 1971-2000	%/década	-7.2	-7.5	-2.6	-1.5	-14.0*	-8.9*

* Significancia al 90%

3.6 Relación entre la precipitación en el valle del Mantaro y los índices climáticos

La precipitación a nivel anual no correlaciona significativamente con los índices climáticos, incluso con los índices del Pacífico ecuatorial en las regiones Niño 3.4 y Niño 1+2. Sólo se obtuviere una correlación inversa, estadísticamente inversa y significativa, con la temperatura global y la temperatura máxima en Huayao (tabla 3), lo cual tiene bastante sentido desde el punto de vista físico, ya que mayor precipitación indica mayor humedad en el ambiente y cobertura de nubes, por lo que la máxima temperatura del día es mejor que un día soleado.

TABLA 3. Correlación entre precipitación de Huayao y temperatura global, PDO y temperatura máxima en Huayao. Periodo 1922-2009

	PDO	Temperatura global	Temp. Máxima Huayao
Coefficiente de correlación	0.003	-0.205*	-.406(**)

Significación *al 95%; **al 99%.

5. Conclusiones

En general, se encuentra una gran variabilidad interanual y decadal de las lluvias, las cuales tienen relación con la variabilidad interdecadal de la temperatura máxima en Huayao e indirectamente con la temperatura global.

Las tendencias para diferentes periodos presentan una fuerte diferencia, siendo el periodo de 1977-2007 donde las tendencias negativas han sido las fuertes, siendo estadísticamente significativas en los meses de octubre y febrero, esto nos indica de que en los últimos treinta años la reducción de las lluvias se ha incrementado.

La variabilidad interdecadal nos muestra que la década de los 50 y 80 fueron los más lluviosos para EFM, mientras que los 20 y la década actual son los más secos. Sin embargo esta variación no es tan dramática como para el inicio de la estación de lluvias (OND), para la cual la década de los 80 fue el más lluvioso seguido de los 40 y 60, mientras que todas las otras décadas fueron secas, principalmente los 90 y la década actual.

6. Bibliografía

- **Instituto Geofísico del Perú, (2005a).** Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la cuenca del río Mantaro. Fondo Editorial CONAM. Lima, Perú.
- **Instituto Geofísico del Perú, (2005b).** Atlas Climático de precipitaciones y temperaturas en la Cuenca del río Mantaro. Fondo Editorial CONAM Lima, Perú.
- **McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kleist, (1993).** The relationship of drought frequency and duration to time scales. Preprints, Eighth Conf. on Applied Climatology, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.
- **Silva, Y.; Takahashi, K.; Cruz, N.; Trasmonte, G.; Mosquera, K.; Nickl, E.; Chávez, R.; Segura, B.; and Lagos, P. (2006).** Variability and climate change in the Mantaro river basin, Central Peruvian Andes. In: International Conference on Southern Hemisphere Meteorology and Oceanography (ICSHMO), 8, Foz do Iguacu. Proceedings. São José dos Campos: INPE, 2006. p. 407-419. CD-ROM. ISBN 85-17-00023-4.
- **Silva, Y., Takahashi, K., y Chávez, R., (2008).** Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). Advances in Geosciences 14, 261-264.
- **Trasmonte, G., Y. Silva, B. Segura, K. Latínez, (2010).** Variabilidad de las temperaturas máximas y mínimas en el valle del río Mantaro. Memoria del Subproyecto "Pronóstico estacional de lluvias y temperaturas en la cuenca del río Mantaro para su aplicación en la agricultura". IGP, Lima, Perú.

Variabilidad de las lluvias en el valle del río Mantaro simulado con el modelo RegCM3

Precipitation variability in the Mantaro valley simulated by the RegCM3

Odón Sánchez-Ccoyllo¹, Yamina Silva Vidal¹
Rosmeri Porfirio da Rocha², Berlín Segura¹

¹Instituto Geofísico del Perú

²Department of Atmospheric Sciences, Institute of Astronomy,
Geophysics and Atmospheric Sciences, University of São Paulo, Brazil

RESUMEN

El presente trabajo tiene por objetivo evaluar la habilidad del modelo regional climático (RegCM) para representar la variabilidad interanual de las lluvias en el valle del Mantaro. Para ello, se han realizado simulaciones con el modelo para dos eventos típicos: un año lluvioso (1993/1994) y un año seco (1991/1992). Las simulaciones se han realizado usando dos esquemas de convección: el de Grell con cierre de Arakawa-Shubert y el de Grell con cierre de Fritch-Chappel, así como diferentes resoluciones: 50 km para América del Sur y 20 km para el dominio anillado para la cuenca del río Mantaro. Los resultados indican que para el año seco, el esquema que mejor representa la variabilidad de las lluvias es el de Grell con cierre de Arakawa-Shubert corrido con 20 km de resolución, mientras que para el año lluvioso es el esquema de Grell con cierre de Fritch-Chappel. El modelo representa de manera general las características de la circulación atmosférica en niveles bajos, aunque con limitaciones para reproducir la corriente del chorro en bajos niveles (Low Level Jet), mientras que en niveles altos de la atmosfera, los vientos son mejor representados.

Palabras clave: Modelo climático regional, periodos secos y lluviosos, simulaciones climáticas.

ABSTRACT

In the present study aims to evaluate the ability of regional climate model (RegCM) to represent the interannual variability of rainfall in the Mantaro Valley, for which simulations are performed with the model for two typical events: a wet year (1993 / 1994) and a dry year (1991/1992). The simulations are performed using two convection schemes, the Grell with closure of Arakawa-Shubert and the locking of Fritch Grell-Chappel, as well as different resolutions: 50 km to South America and 20km for the domain for the basin ringed Mantaro River. The results indicate that for the dry year, the scheme that best represents the variability of rainfall is the Grell with closure of Arakawa-Shubert run with 20km resolution, while for the wet year is the Grell scheme with closed Fritch-Chappel. The model represents a general way the characteristics of the atmospheric circulation at low levels, but limited to reproduce the jet stream at low levels (Low Level Jet), while high levels of the atmosphere, the winds are better represented.

Keywords: regional climate model, wet and dry periods, climate simulations.

1. Introducción

Modelo Climático Regional (RegCM) ha sido desarrollado para la regionalización dinámica (dynamic downscaling) a partir de simulaciones en escala mundial para obtener informaciones más detalladas en regiones específicas (Giorgi et

al., 1993b). En Sudamérica, el RegCM3 (versión 3) ha sido utilizado por Fernández et al. (2006) para el estudio de la habilidad del modelo en simular las características climatológicas del mes de enero (verano), para este propósito, los autores, realizaron simulaciones con el modelo RegCM3 para todos los eneros separadamente para 10 años (1991

a 2000). Ellos observaron, al comparar con datos de Reanálisis del NCEP/NCAR (National Centers for Environmental Prediction; Kalnay et al., 1996), que el RegCM3 simuló una débil Alta de Bolivia, al sur de su posición normal. También Fernández et al. (2006) encontraron que el RegCM3 simuló un débil Corriente de Chorro de Bajos Niveles (LLJ¹) al este de los Andes, así como, el modelo no reprodujo correctamente la precipitación máxima en la región del Amazonas. Por otro lado, Seth y Rojas (2003) y Qian et al. (2003) mostraron una precipitación intensa en la región este de los Andes utilizando el modelo RegCM3 y RegCM2 (versión 2) respectivamente.

Muchos esfuerzos se han hecho por tratar de entender la variabilidad climática usando modelos regionales, ya que en zonas donde no se cuentan con datos observados, un modelo numérico validado ayudaría a entender las variaciones climáticas desde el punto de vista físico. Es por ello, que en el presente trabajo se pretende estudiar la variabilidad de las lluvias en el valle del Mantaro usando el modelo RegCM3, para lo cual se han realizado simulaciones para un año seco y un año lluvioso; se analiza la sensibilidad de los esquemas de convección en el modelo durante estos dos años extremos, y la circulación atmosférica para estos casos.

2. Datos y metodología

Los años secos y años lluviosos (húmedos), en la zona de Mantaro, se determinaron a través del índice estandarizado de precipitación (SPI, según sus siglas en inglés), para el periodo de lluvias entre setiembre y abril, realizado por Silva et al. (2008). El método SPI calcula las distribuciones probabilísticas empíricas de las series de datos de precipitación, las cuales son transformadas a una distribución teórica normal, de tal modo que, la media del SPI es cero para cualquier estación. Valores positivos del SPI indican precipitaciones mayores que la media, y valores negativos indican precipitaciones menores que la media (IGP, 2005). A través de estos valores se identificaron los años lluviosos: 1993/1994, 1985/1986; y los años secos: 1991/1992, 1989/1990 y 2003/2004. En el presente trabajo se realizan simulaciones para el periodo de 1991/1992 y 1993/1994 como los más representativos de los años secos y lluviosos, respectivamente.

2.1. Datos

2.1.1. Datos para las simulaciones

Los datos de condición inicial y de frontera lateral utilizados para correr el modelo RegCM provienen del reanálisis del NCEP/NCAR² (Kalnay et al., 1996), a cada 6 horas. Los datos de TSM son interpolados a partir de la media mensual de OISST (Optimum Interpolation Sea Surface Temperature) con 1° latitud x 1° longitud de resolución espacial.

También se utilizaron datos de reanálisis del Centro Meteorológico Europeo (ERA-40) descrito por Uppala et al. (2005), para calcular la climatología de la circulación atmosférica y humedad en América del Sur.

2.1.2. Datos para la evaluación del modelo

En la evaluación de los resultados del modelo se utilizaron tanto los datos de reanálisis para los vientos y para

precipitaciones; además de datos mensuales registrados en la estación de Huayao (12,0°S; 75,3°O; 3.330 msnm), se utilizaron otras fuentes de datos globales que se describen a continuación:

• Precipitación del Climate Research Unit (CRU)

CRU es una base de datos de lluvias observadas en las estaciones meteorológicas, interpoladas a una grilla de 1x1° (Mitchell et al., 2003), por ello, se tiene información solo en los continentes. La calidad de estos datos depende mucho de la cobertura de estaciones meteorológicas, por lo que la calidad puede ser baja en zonas con pocas observaciones. Estos datos están disponible en http://data.giss.nasa.gov/precip_cru/.

• Precipitación del CMAP (The CPC³ Merged Análisis of Precipitation)

Los datos de precipitación observada por CMAP (Xie y Arkin et al., 1997) son una combinación de datos de lluvias registrados en las estaciones meteorológicas con los estimados por satélite. A diferencia del CRU, estos datos tienen información sobre los océanos es descrito por y disponible en la siguiente web: <http://www.cdc.noaa.gov/cdc/data/cmap.html>.

• Precipitación de Willmott & Matsuura (WM)

La precipitación de WM es una base de datos basada en las observaciones de precipitación en las estaciones meteorológicas interpoladas a una grilla de 0,5x0,5° usando la ponderación de la distancia (Willmott y Matsuura, 2000).

2.2 Modelo RegCM3

Para analizar la sensibilidad de los esquemas de convección, se realizaron simulaciones con el modelo RegCM usando el esquema de convección de Grell con cierre de Arakawa-Shubert (GAS) y con cierre de Fritsch-Chappell (GFC). El análisis se realiza para comparar la representación de las lluvias para zona del Mantaro, para el periodo de setiembre de 1991 a abril de 1992 (año seco) y para el periodo de setiembre de 1993 a abril de 1994 (año lluvioso).

2.2.1 Descripción del Modelo Climático Regional

El Modelo Climático Regional (RegCM) es un modelo hidrostático de área limitada, con coordenada vertical sigma (Elguindi et al., 2009). El RegCM tiene cuatro componentes: Terrain, ICBC (condiciones iniciales y de frontera), el modelo propiamente y Postproc. El Terrain y ICBC son dos componentes de preprocesamiento, mientras que el Postproc permite el posprocesamiento, luego de que el modelo se ejecute. Las variables de Terrain son la elevación del terreno y los tipos de uso del suelo. El programa ICBC se encarga de interpolar los datos de las variables de entrada para el modelo: temperatura de la superficie del mar (TSM), temperatura del aire en diferentes niveles, presión atmosférica, humedad relativa, viento zonal y viento meridional, provenientes del reanálisis global para las grillas del modelo. Estos archivos son utilizados para la condición inicial y frontera durante la simulación a ser descritos en la siguiente subsección. La física del modelo y los esquemas numéricos son descritos por Giorgi et al. (1993 a; 1993b). Una revisión

¹ Low Level Jet.

² National Centers for Environmental Prediction/National Center for Atmospheric Research.

³ The Climate Prediction Center de EEUU.

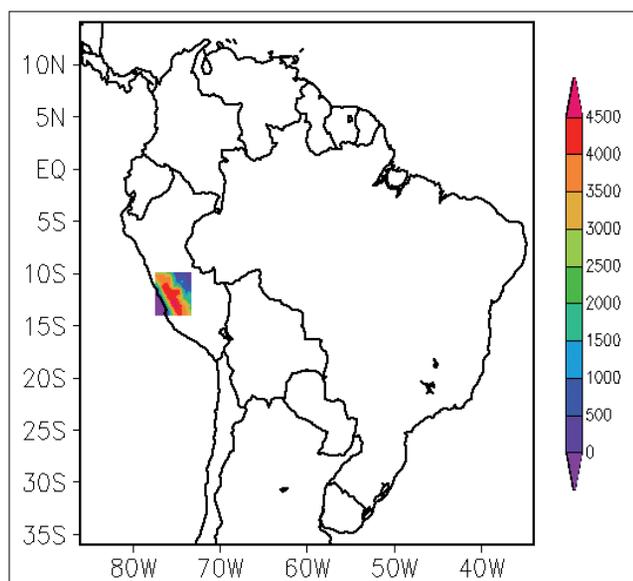


Figura 1. Dominios del modelo RegCM, dominio 1 para América del sur y dominio 2 para la cuenca del río Mantaro (área con colores). La escala de colores indica las elevaciones de la topografía.

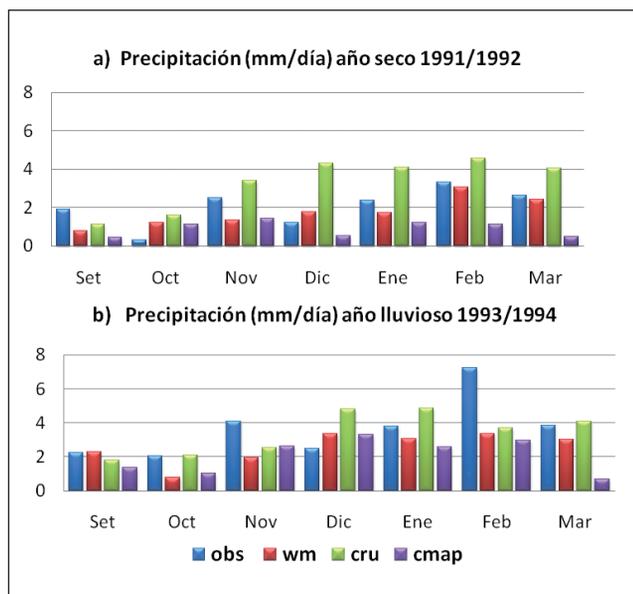


Figura 2. Promedio de la precipitación mensual (mm/día) para a) el año seco (1991/1992) y b) año lluvioso (1993/1994) observada según la estación de Huayao (obs), WM, CRU y CMAP.

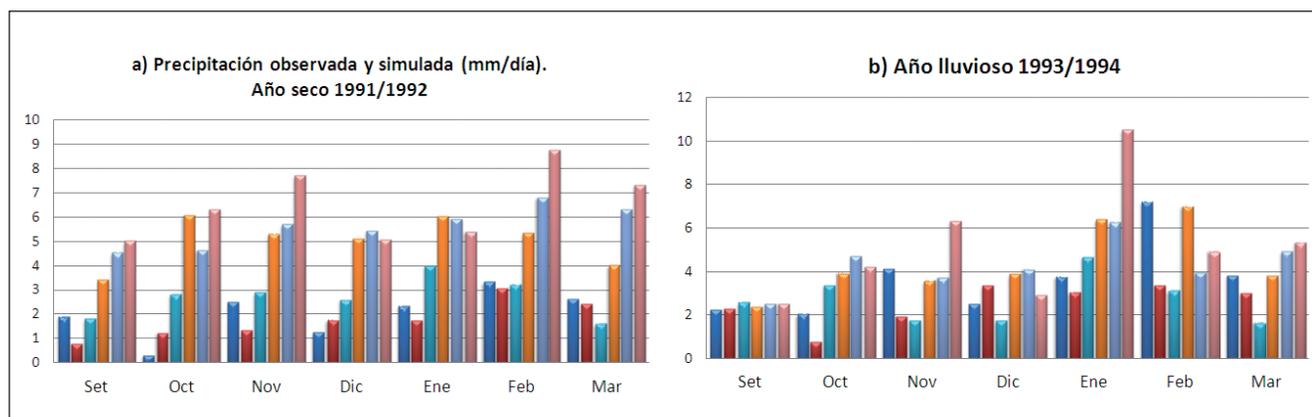


Figura 3. Promedio de la precipitación mensual (mm/día) observada según la estación de Huayao (obs) y WM, y simulada por el RegCM con cierre de GFC y GAS para 20 y 50 km de resolución para el año seco (a) y el año lluvioso (b).

actualizada de todas las parametrizaciones físicas del RegCM3 son dadas en Pal et al. (2007). Este artículo presenta que los flujos de superficie de océanos siguen Zeng et al. (1998) y los esquemas de convección de cúmulos son los de Kuo, Grell y Emanuel.

2.2.2. Configuración del modelo climático Regional

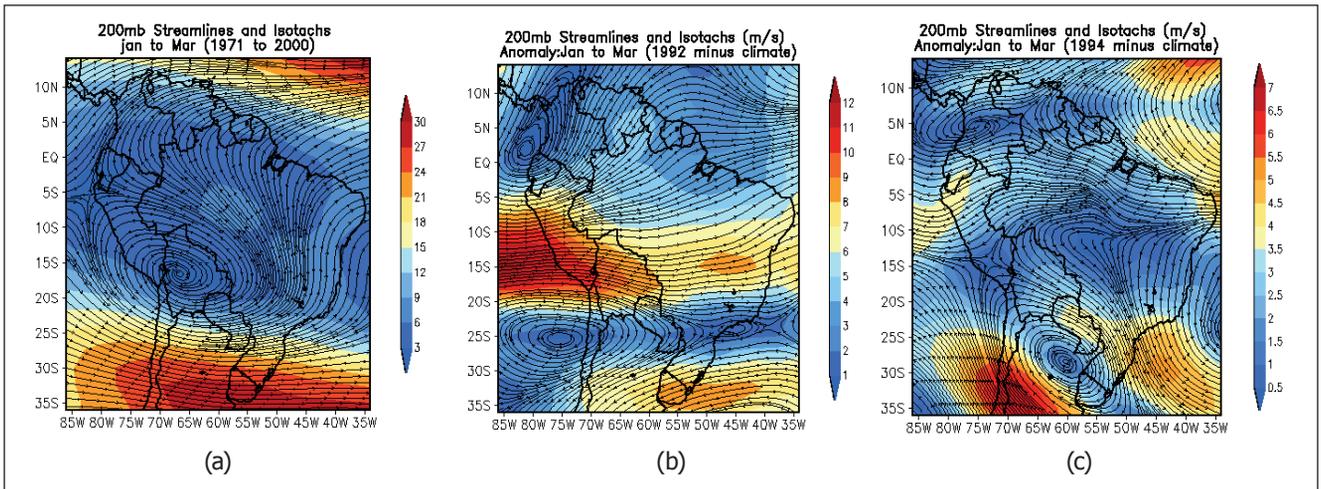
Para la simulación del RegCM3 se utilizaron 18 niveles verticales con el tope en la parte superior de la atmósfera del modelo en 80 hPa. La grilla principal tiene 50 km de resolución horizontal, formando un dominio de 120x120 puntos (área de América del Sur), y la grilla anillada tiene 20 km de resolución horizontal formando un dominio de 24 x 24 puntos (área de la cuenca del río Mantaro), figura 1. Las variables de condición inicial y de frontera de la grilla principal en los 18 niveles verticales son viento zonal y meridional (m/s), temperatura del aire (grados Kelvin), humedad específica (kg/kg), altura geopotencial (m). Las variables de condición inicial y de frontera para la segunda grilla son las salidas de la grilla principal. Las simulaciones del modelo fueron inicializadas el 1 de agosto de 1993 a las 00 UTC, y fueron simulados en forma continua hasta las 00 UTC del 1 de mayo de 1994, para el año lluvioso; mientras que para el año seco se inicializó el 1 de agosto de 1991 a las 00 UTC hasta las 00 UTC de 01 de mayo de 1992.

3. Resultados

3.1 Análisis de la variabilidad de la precipitación mensual en el valle de Mantaro

Una comparación entre las distintas fuentes de datos observados, nos indica que CRU tiende a presentar ligeramente más lluvias, principalmente en el pico de la estación lluviosa (figura 2), sobre todo para el año seco (figura 2a). Entre todas las otras fuentes CRU fue la que más precipitación presentó durante el año seco, incluso comparable al año lluvioso durante los meses de diciembre a marzo (figura 2b). Por otro lado, CMAP presenta menos lluvias que Huayao, sobre todo en el año seco. Los datos de WM son los que mejor se ajustan a los datos observados en Huayao, sobre todo para el periodo diciembre-marzo, a excepción de febrero de 1994, donde las precipitaciones en Huayao fueron superiores a ésta y a las otras fuentes (figura 2). Para la comparación con el modelo se usaron los datos observados en Huayao y los de WM.

En las figuras 3, se presenta la comparación entre el promedio de la precipitación mensual (expresada en mm/día) observada en Huayao y WM, y simulada por el RegCM3



Fuente de datos: Reanálisis del Centro Meteorológico Europeo.

Figura 4. a) Climatología de la circulación atmosférica en América del Sur a 200 hPa para el trimestre enero a marzo (Período 1971-2000) y b) anomalía de vientos para el año seco y c) anomalía de vientos para el año lluvioso. En colores la magnitud del viento, rojos vientos más intensos.

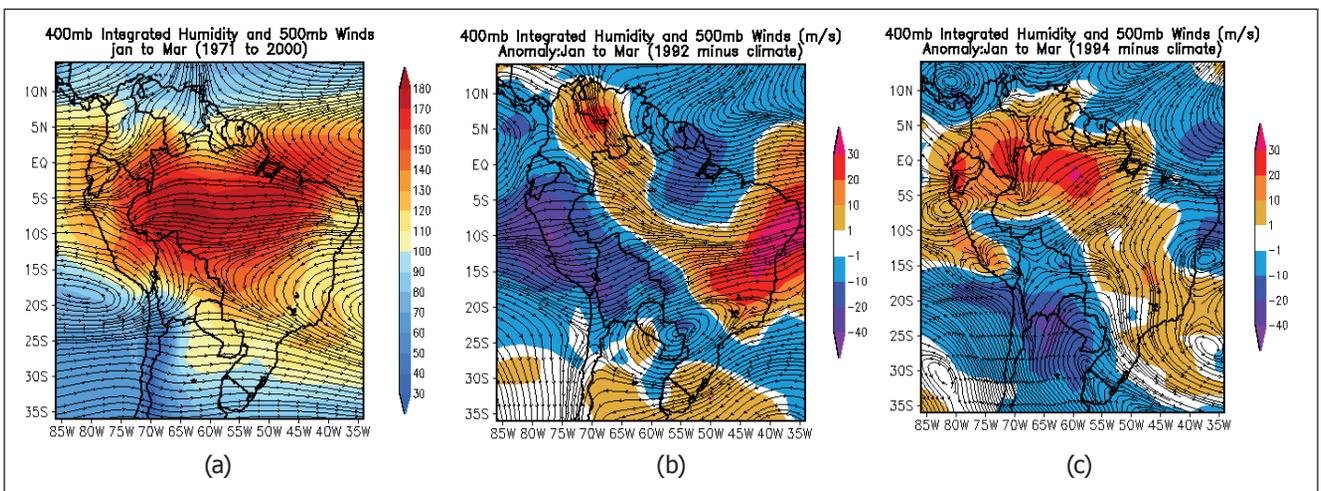
para el año seco 1991/1992, (figura 3a) y lluvioso 1993/1994 (figura 3b), respectivamente. Durante el año seco (figura 3a) se puede apreciar que todas las combinaciones del modelo tienden a sobrestimar las precipitaciones, siendo solo Gas con resolución de 20 km (gas-20 km) la que mejor se aproxima a la precipitación observada y sigue la tendencia de la temporada de lluvias. Por otro lado, para el año lluvioso (figura 3b) se observa, en general una mejor representación de los modelos, sobre todos los de 20 km de resolución (gas-20 km y gfc-20 km) quienes muestran la tendencia durante la temporada de lluvias, con menos lluvias al inicio de la temporada y las máximas en los meses de enero-febrero y la disminución en marzo.

3.2. Análisis de la climatología de la circulación atmosférica y sus anomalías para el año lluvioso (1994) y el año seco (1992)

Niveles altos de la atmósfera (200 hPa)

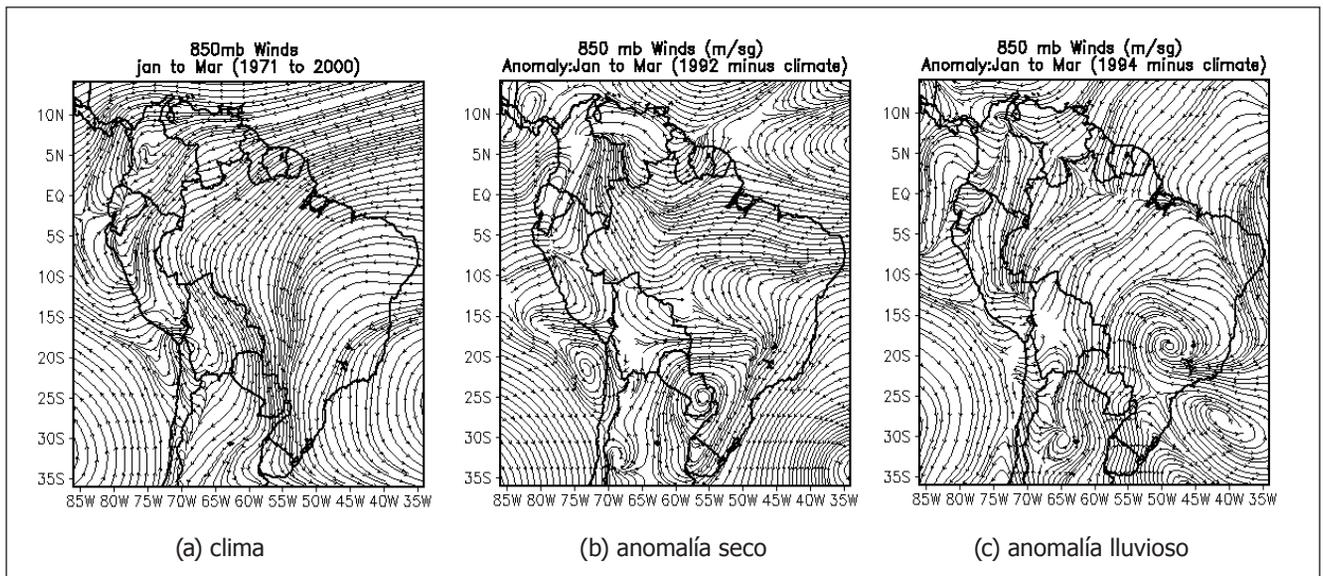
En la figura 4a, se presenta la climatología del viento horizontal para el trimestre enero a marzo, calculado para

el periodo de 1971-2000, la anomalía de viento para el año seco (figura 4b) y la anomalía de viento para el año lluvioso (figura 4c). En los niveles altos de la atmósfera, sobre Bolivia, se encuentra una circulación anticiclónica conocida como la Alta de Bolivia, la que genera flujos del Este, que permite el transporte de humedad desde la Amazonía. En la figura 4a, se aprecia claramente esta circulación. La anomalía de los vientos para el año seco (figura 4b) presenta dos circulaciones ciclónicas (circulación del aire en sentido horario) al norte y sur de Perú. El primero en el océano Pacífico frente al norte de Chile con su centro en 26°S, 76°W y el segundo, también sobre el océano Pacífico frente a las costas de Ecuador y Colombia centrado en 2°N, 81°W. Estas dos anomalías de circulación generan flujos de aire del oeste (desde el océano Pacífico) sobre todo el Perú, es decir, aire más seco y frío. En el año lluvioso (figura 4c), se observa que la anomalía ciclónica del sur de Perú se ha desplazado hacia el norte de Argentina, formando más bien una zona de divergencias al sur de Perú. Por otro lado, al norte de Perú (sobre Ecuador y Colombia), a diferencia del año seco, se observa una circulación anticiclónica, todo ello permitiendo



Fuente de datos: Reanálisis del Centro Meteorológico Europeo.

Figura 5. a) Climatología de la circulación atmosférica en América del Sur a 500 hPa y humedad específica integrada desde la superficie hasta el nivel de 400 hPa para el trimestre enero a marzo (Período 1971-2000) y b) anomalía de vientos para el año seco y c) anomalía de vientos para el año lluvioso. En colores la magnitud del viento, color rojo indica vientos más intensos.



Fuente de datos: Reanálisis del Centro Meteorológico Europeo.

Figura 6. Climatología de la circulación atmosférica para el trimestre enero a marzo (Período de 1971-2000) en América del sur a 850 hPa (a), anomalía de viento de año seco (b) y anomalía de viento de año lluvioso (c).

que los flujos sobre territorio peruano sean del Este, corroborando la teoría de Garreaud et al. (2003), que sostiene que la precipitación en el Altiplano está relacionada con el ingreso de humedad desde la Amazonía.

Niveles medios de la atmósfera (500 hPa)

En la figura 5a, se presenta la climatología de vientos y humedad específica integrada desde la superficie hasta el nivel de 400 hPa (aproximadamente, 7 km sobre la superficie), para el trimestre enero a marzo, calculados para el periodo 1971-2000. Durante el verano (figura 5a), en el nivel medio de la atmósfera, se observan dos centros de circulación anticiclónica, ubicado uno sobre el océano Pacífico (centralizado en 18°S y 81°W) y el otro sobre el océano Atlántico (centralizado en 19°S, 35°W), que generan un área de divergencia sobre Bolivia, asociado a la formación de circulación anticiclónica (circulación del aire en sentido antihorario) conocido como Alta de Bolivia en niveles más altos (200 hPa, figura 4a), lo cual favorece el desarrollo de lluvias en gran parte del centro del continente sudamericano (Figueroa et al., 1995). La zona de mayor humedad y por consiguiente lluvias (color rojo en la figura 5a) se observa sobre

Brasil, la selva peruana y boliviana y en el sur de Colombia. En el año seco (figura 5b), se observa una anomalía de viento del Oeste, sobre todo el territorio peruano, también se observa una anomalía negativa de humedad, sobre todo el territorio peruano. Por el contrario, en el año lluvioso (figura 5c) se observa una anomalía de vientos del Este entre 6°S y 18° de latitud sur, y anomalías positivas de humedad en la parte norte y sur occidental del Perú, y más bien una ligera anomalía negativa en la parte central del Perú.

Niveles bajos de la atmósfera, nivel de 850 hPa

La climatología de la circulación atmosférica en niveles bajos (figura 6a) nos muestra dos centros de alta presión ubicados en los océanos adyacentes al continente sudamericano, mientras que en la parte central de América del Sur, incluida la parte oriental del Perú, se observan flujos de componente norte, convergiendo en la zona sur de Brasil entre Uruguay, Paraguay. En el año seco (figura 6b), se observa una anomalía de divergencia de viento, aproximadamente en los 7°S y 76° en longitud de, mientras, en el año lluvioso (figura 7c) se observa una anomalía de viento del noroeste.

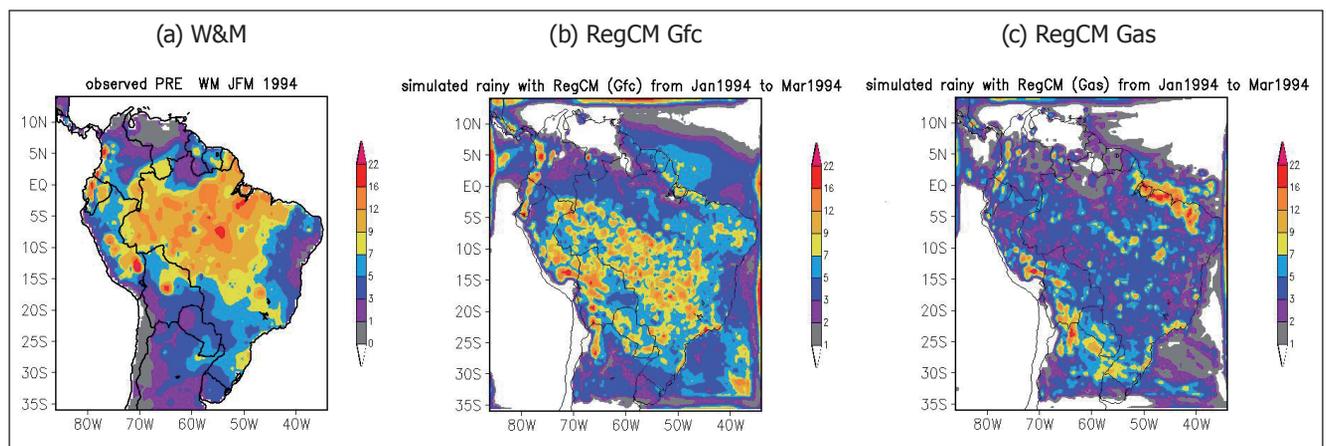


Figura 7. Precipitación (mm/día) promedio para enero-marzo de 1994 (año lluvioso): observado según Willmott & Matsuura (a), simulada por el modelo RegCM con el esquema de Gfc (b), y simulada con el esquema Gas (c).

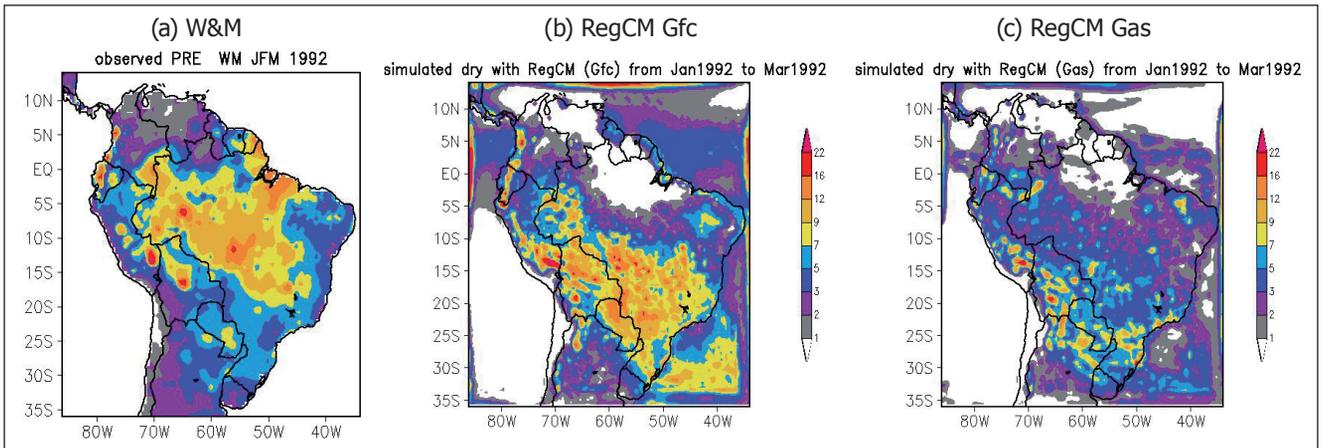


Figura 8. Precipitación (mm/día) promedio para enero-marzo de 1992 (año seco): observada según Willmott & Matsuura (a), simulada por el modelo RegCM con el esquema de Gfc (b), y simulada con el esquema Gas (c).

3.3 Comparación entre la precipitación observada y simulada por el RegCM para los veranos de 1992 (año seco) y 1994 (año lluvioso)

En las figuras 7a a 7c se comparan la precipitación observada según W&M para el verano del año lluvioso (1994) y las precipitaciones simuladas por el RegCM para este mismo periodo, usando dos esquemas de convección: el esquema de Grell Fritch Chappel (Gfc) y el esquema Grell Arakawa Shubert (Gas). Se observa que la precipitación simulada con el esquema Gfc, en general, para América del Sur y el Perú (figura 7b), es bastante diferente a la precipitación observada según W&M (figura 7a), sobre todo en la región

amazónica, sin embargo, existe cierta similitud sobre todo en la parte norte y central, mientras que para el sur tiende a presentar el núcleo de máximas lluvias hacia el Oeste. Por otro lado, la precipitación simulada por el esquema Gas (figura 7c) subestima la precipitación en todo el continente.

Para el verano del año seco (1992), el esquema de Gfc no presenta las precipitaciones en la región amazónica, sino al sur de Brasil, en Bolivia y Paraguay (figura 8b), esta distribución de las lluvias es diferente a la observada (figura 8a). Para el territorio peruano, se observa que el modelo sobrestima las lluvias en la parte central y sur. El esquema de Gas (figura 8c), por su parte, continúa subestimando las

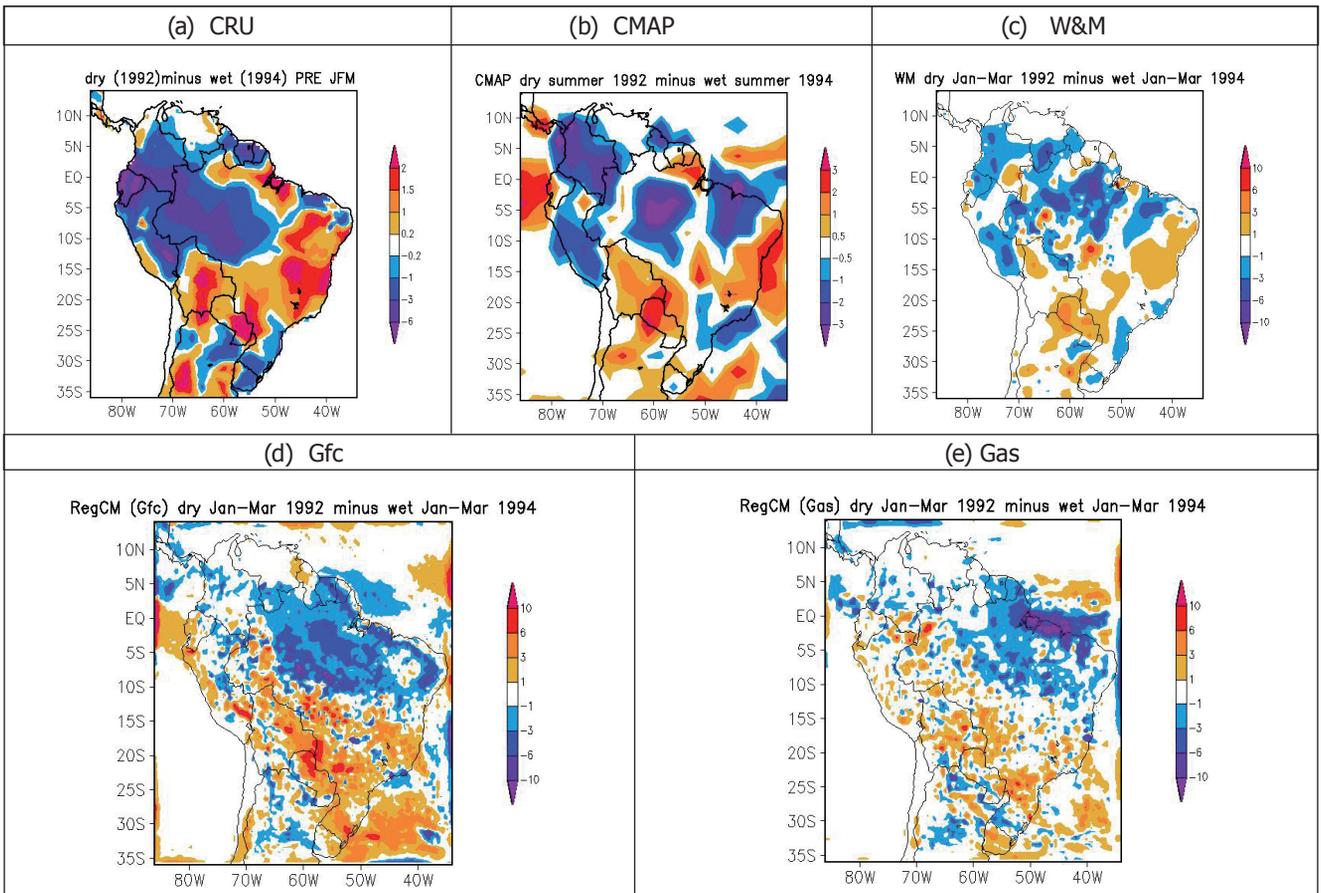


Figura 9. Diferencia entre la precipitación durante el año seco (1992) y lluvioso (1994) con datos observados: a) CRU, b) CMAP y c) W&M; y simulada por el RegCM3: con esquema de Gfc (d) y Gas (e).

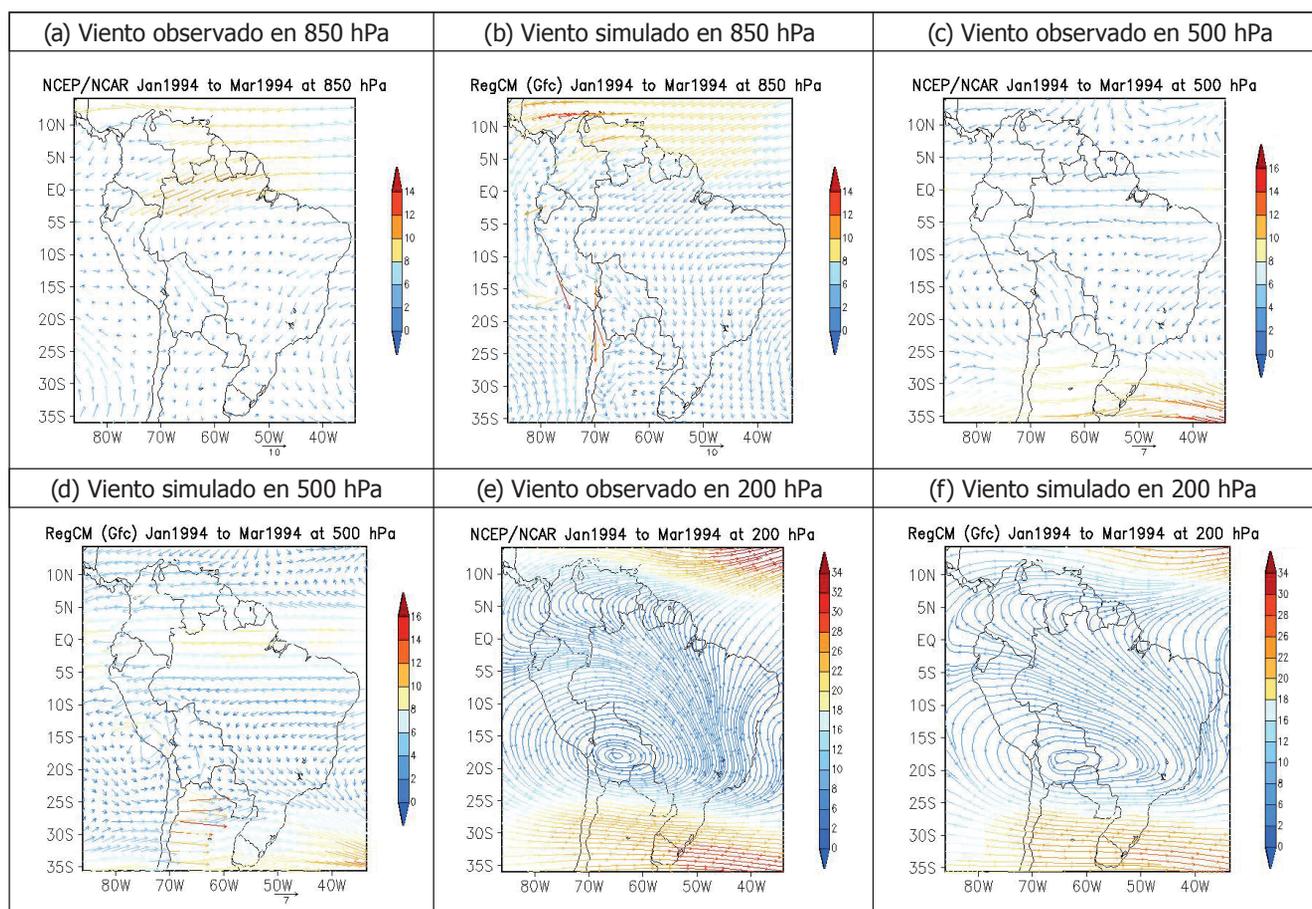


Figura 10. Circulación atmosférica en América del Sur observada y simulada, promedio para enero-marzo de 1994 (año lluvioso) en: 850 hPa (a,b), 500 hPa (c,d) y 200 hPa (e,f).

lluvias en la parte norte y centro del continente, pero esta vez tiene mejor representación sobre Perú.

Para una mejor observación sobre las lluvias durante el año lluvioso y seco, se presentan las diferencias entre estos dos, usando diferentes fuentes de datos observados (CRU, CMAP y W&M) y el modelo RegCM con dos esquemas de convección (Gfc y Gas). En general, se puede observar que el verano de 1992 (figuras 9a, 9b y 9c) fue seco en la parte central y occidental del continente sudamericano y más lluvioso en el sector centro-sur (Bolivia, Paraguay y Este de Brasil). De estas figuras, se puede ver que tanto CRU como CMAP y W&M representan de manera adecuada las condiciones más secas sobre territorio peruano ocurridos en el año 1992. En cuanto al RegCM, ninguno de los dos esquemas (figura 9d y 9e) logran reproducir las condiciones más secas en el Perú del año 1992, y para América del Sur la distribución está distorsionada y presenta el error sistemático de ausencia de lluvias en la Amazonia.

3.4 Comparación entre la circulación atmosférica observada y simulada por el modelo RegCM en el año lluvioso (1994)

En las figura 10, se presenta el promedio del viento para el trimestre enero-marzo de 1994 (año lluvioso), generado con los datos de reanálisis del NCEP/NCAR. En los niveles bajos de la atmosfera (850hPa). En general, se observa que los vientos en el modelo RegCM son más débiles que los observados en gran parte del continente (figura 10b). Se observan zonas periféricas de las circulaciones anticiclónicas sobre el océano Pacífico Sur y el océano Atlántico Sur,

así como una circulación ciclónica (relacionada a una zona de baja presión) sobre Paraguay; se observa la corriente de chorro de bajos niveles (LLJ) mucho más débil y principalmente sobre Bolivia. En los niveles medios de la atmosfera (500hPa), se observa que los vientos del Este en la región tropical simulados por el modelo (figura 10e) son ligeramente más intensos que los observados (figura 10c), mientras que la circulación ciclónica sobre el sur de Perú es más débil en el modelo. En los niveles altos (200hPa), observamos que en el modelo (figura 10d) el centro de la Alta de Bolivia está ubicado ligeramente al este de la posición observada (figura 10d).

3.5 Comparación entre la circulación atmosférica observada y simulada por el modelo RegCM para el año seco (1992)

En los niveles bajos de la atmósfera, durante el verano del año seco, el modelo representa las características generales de la circulación regional sobre América del Sur (figura 11b), observándose las periferias del anticiclón del océano Pacífico Sur y el anticiclón del océano Atlántico Sur. Sin embargo, la zona de vientos más intensos (al norte de la Amazonía brasileña y el océano Atlántico adyacente) no está bien representada por el modelo, este presenta vientos más débiles en esta región y, por el contrario, la zona de vientos más intensos se ubican al Norte, entre Colombia y Venezuela. El LLJ es escasamente representado por el modelo, al igual que para el año lluvioso, solo sobre Bolivia e incluso Paraguay y el sur de Brasil.

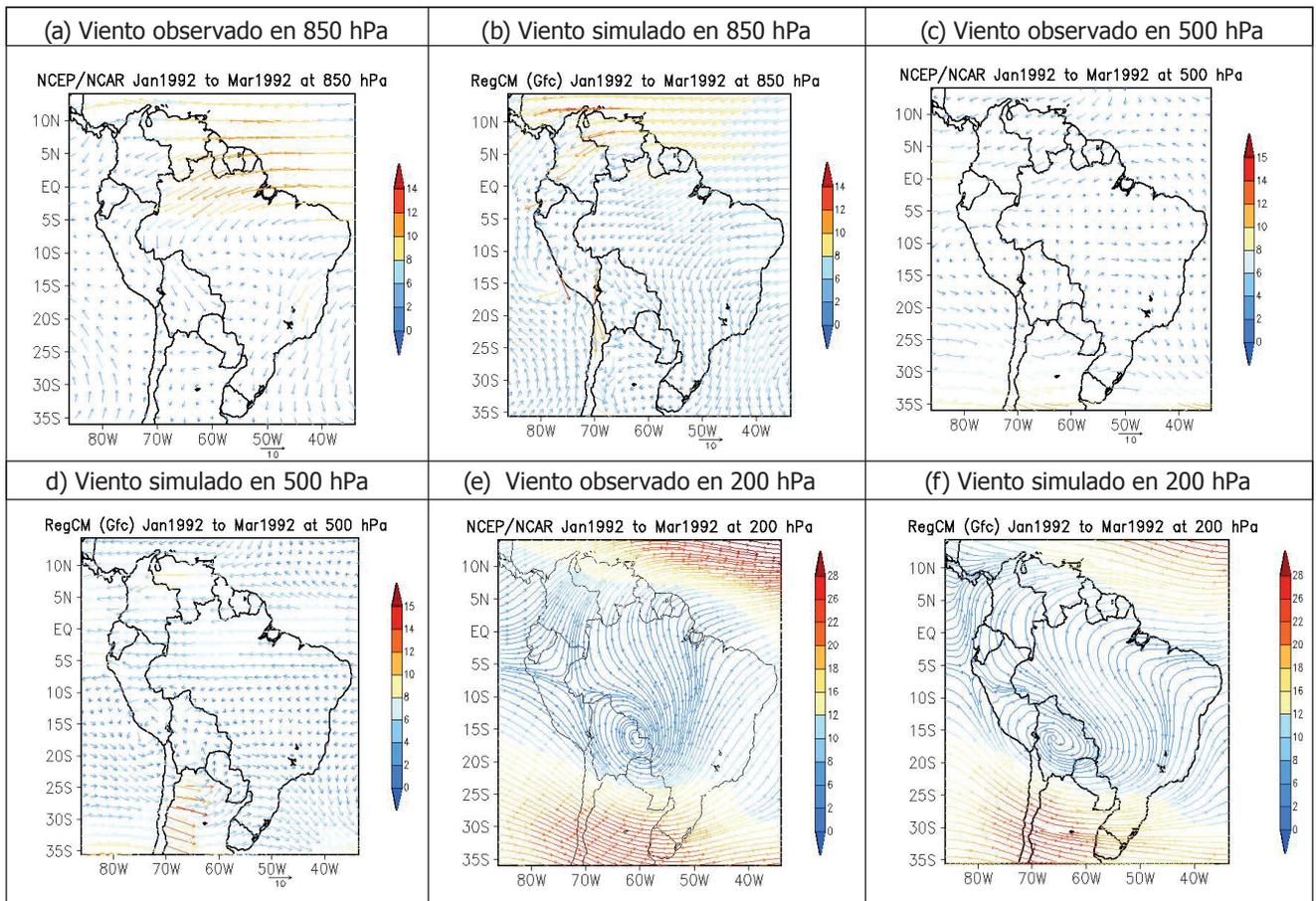


Figura 11. Circulación atmosférica en América del sur observada y simulada, promedio para enero-marzo de 1992 (año seco) en: 850 hPa (a,b), 500 hPa (c,d) y 200 hPa (e,f).

En los niveles medios de la atmósfera (500hPa), sobre el territorio peruano se observa una circulación anticiclónica, permitiendo que la circulación al norte del Perú (10°S), sea del Este (figura 11c). El modelo simuló esta circulación, aunque fue bastante más débil (figura 11d). Por otro lado, se observa también que los vientos en la parte norte de la Amazonía brasileña son mayormente del Este y bastante más débiles.

En los niveles altos de la troposfera (200hPa), según lo observado se encuentra que la Alta de Bolivia (AB) está ubicada sobre el este de Bolivia, con su centro en 17°S/60°W (figura 11e), generando una circulación del viento del Noroeste sobre el centro y sur de Perú (al sur de los 5°S), mientras que el norte del Perú, los vientos son del Oeste y Suroeste, y del Este en las zonas de San Martín y Piura. En este nivel de la tropósfera, también se observa una zona de vientos fuertes (entorno de 26 m/s) conocida como la corriente de Chorro Subtropical (CH) (Marengo y Suárez, 2002). El resultado de modelo RegCM, con el esquema de Gfc, simuló este AB y CH con bastante éxito (figura 11f). Pero el centro de AB simulado fue desplazado al Oeste con su centro en 16°S, 68°W, permitiendo la dirección del viento simulado de NE debajo de los 10°S de latitud.

4. Conclusiones

En el año seco, se aprecia que la precipitación simulada por el modelo RegCM, con el esquema de convección de Grell con cierre de Arakawa-Shubert (Gas) con 20 km de resolución espacial, representa mejor la variabilidad de la

precipitación comparada con la observada (obs), durante el inicio y el pico (enero-marzo) de la temporada de lluvias; mientras que las simulaciones de Grell con cierre de Fritch-Chappel (Gfc) de 20 y 50 km de resolución y Gas de 50 km, sobreestiman las lluvias en todos los meses.

En el año lluvioso, lo simulado por el Gfc con 20 km de resolución horizontal, se aproxima mejor a la precipitación observada en todos los meses, a excepción de enero-febrero donde lo sobreestima. El modelo con las otras combinaciones también sobreestima las lluvias en enero y febrero, y noviembre para Gfs.

El modelo con 50 km de resolución no reproduce las lluvias en la Amazonía brasileña, y tiende a presentar más lluvias hacia el sur del continente sudamericano.

Los vientos en el modelo son más débiles, sobre todo en los niveles bajos de la atmósfera y no representa adecuadamente el chorro en bajos niveles, conocido como Low Level Jet (LLJ).

5. Referencias bibliográficas

- Elguinde, n., X. Bi, f. Giorgi, b. Nagarajan, j. Pal, f. Solmon, s. Rauscher, a. Zakey (2009). RegCM versión 3.1. User's Guide, Trieste, Italia.
- Emanuel, k. A. (1991). A scheme for representing cumulus convection in large-scale models, J. Atmos. Sci., 48 (21), pp. 2313-2335.

- **Garreaud, r., M. Vuille, a. Clement (2003).** The climate of the Altiplano: Observed current conditions and mechanisms of past changes. *Palaeogeography, Palaeoclimatology, Palaeoecology*, 194, pp. 5-22.
- **Giorgi, f., G. T. Bates, s. J. Nieman (1993a).** The multi-year surface climatology of a regional atmospheric model over the western united states. *J. Climate*, 6, pp. 75-95.
- **Giorgi, f., M. R. Marinucci, g. T. Bates (1993b).** Development of a second generation regional climate model (regcm2): Boundary layer and radiative transfer processes. *Mon. Wea. Rev.*, 121, pp. 2794-2813.
- **Giorgi, f., R. Francisco, j. S. Pal (2003b).** Effects of a subgrid-scale topography and land use scheme on the simulation of surface climate and hydrology. Part 1: Effects of temperature and water vapor disaggregation. *Journal of Hydrometeorology*, 4, pp. 317-333.
- **Figuroa, s. N., P. Satyamurty, p. Silva Días (1995).** Simulations of the summer circulation over the South American region with an Eta coordinate model. *J. Atmos. Physics*, 52, pp. 1573-1584.
- **Instituto Geofísico del Perú (2005).** Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire en la Cuenca del río Mantaro. Volumen I. Fondo Editorial del CONAM, Lima.
- **Marengo, j., W. Suárez (2002).** Episodios de chorros de bajos niveles al este de los Andes durante el 13-19 de abril de 1999. XII Congresso Brasileiro de Meteorología, Foz de Iguacu-PR.
- **Mitchell, t. D., T. R. Carter, p. D. Jones, m. Hulme, m. New (2003).** A comprehensive set of high-resolution grids of monthly climate for Europe and the globe: The observed record (1901-2000) and 16 scenarios (2001-2100). *J. Climate*, submitted.
- **Pal, j. S., E. E. Small, e. A. B. Eltahir (2000).** Simulation of regional-scale water and energy budgets: Representation of subgrid cloud and precipitation processes within RegCM, *J. Geophys. Res. Atmospheres*, 105 (D24), 29, pp. 579-29,594.
- **Silva y, k. Takahashi, r. Chávez (2008).** Dry and wet rainy seasons in the Mantaro river basin (Central Peruvian Andes). *Adv. Geosci.*, 14, pp. 261-264.
- **Uppala, s. Et al. (2005).** The ERA-40 re-analysis. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.*, 131, pp. 2961-3012.
- **Xie, p., P. A. Arkin (1997).** Global precipitation of 17 year monthly analysis based on gauge observations, satellite estimates, and numerical model outputs. *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 78, pp. 2539-2558.
- **Willmott, c. J., K. Matsuura (2000).** Terrestrial air temperature and precipitation: Monthly and annual time series (1950- 1996). University of Delaware, 2000, <[http://climate/geog.udel.edu/~climate/html_pages/README.ghcn_ts.html](http://climate.geog.udel.edu/~climate/html_pages/README.ghcn_ts.html)>.
- <http://www.fs.fed.us/psw/mtnclim/talks/pdf/Mcafee_Poster2008.pdf>. Consultado el 10 de junio del 2010.
- **Zeng, x., M. Zhao, r. E. Dickinson (1998).** Intercomparison of bulk aerodynamic algorithms for the computation of sea surface fluxes using the TOGA COARE and TAO data. *J. Climate*, 11, pp. 2628-2644.

Pronóstico estacional a tres meses de lluvias y temperaturas en el valle del río Mantaro utilizando la técnica no paramétrica: regresión multivariada adaptativa splines (MARS)

Seasonal forecast three-month lag of rain and temperatures at the mantaro river valley using the non parametric method: multivariate adaptive regression splines (MARS)

Karen Latínez ¹

Instituto Geofísico del Perú

RESUMEN

Muchas actividades agrícolas dependen significativamente de la precipitación y la temperatura, afectando la producción y productividad de los cultivos. La cuenca del río Mantaro (Junín, Perú) está expuesta a una alta variabilidad climática debido a su ubicación y características geográficas. Asimismo, son escasos los trabajos de investigación sobre la elaboración y utilización de pronósticos climáticos para aprovecharlos en la agricultura, por ello, esta investigación plantea ampliar el conocimiento al respecto. Se han utilizado datos de las estaciones de Huayao, Santa Ana, Jaula y Viques; y una vez que estos fueron revisados se eliminaron los valores atípicos extremos, y se procedió a su análisis con la técnica: Regresión Multivariada Adaptativa utilizando Splines (MARS). Las variables utilizadas para el análisis constan de 17 variables explicativas en el caso de las precipitaciones y 15 para las temperaturas, tanto mínimas como máximas. Las variables explicativas que se utilizaron en este estudio son variables globales provenientes de información secundaria, siendo recomendable que para próximos estudios se revise la calidad de estas. Los inputs utilizados tienen un desfase de tres meses (lag = 3). En Huayao, la precipitación muestra un error relativo de predicción (ERP) de 1,04; la temperatura mínima muestra un ERP = 0,45; la temperatura máxima muestra un ERP = 7,34, los valores altos de ERP se pueden deber a valores inusuales del conjunto de los predictores al momento de la validación. En Jauja, la precipitación muestra un ERP = 0,62; la temperatura mínima muestra un ERP = 0,27 y; la temperatura máxima muestra un ERP = 1,51. En Viques, la precipitación muestra un ERP = 0,66. A valores menores de ERP, mejor será el resultado de los pronósticos y, por ende, serán más precisos.

Palabras Clave: *Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), pronóstico, precipitación, temperatura, Huancayo, Mantaro.*

ABSTRACT

Agricultural activities are strongly dependant on rainfall and temperature, affecting the production and productivity of crops. The Mantaro river basin (Junín - Peru) is exposed to a high climatic variability due to location and geographical characteristics. Moreover, little research is performed on the development and use of climate forecasts for use in agriculture, so this research intends to expand knowledge in this regard. Data from stations Huayao, Santa Ana, and Viques cage were used. Once these data were reviewed and extreme outliers were removed : Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS) technique was applied. In the analysis, 17 explicative variables for precipitation and 15 for air temperature (maximum and minimum). The explanatory variables that were used in this study are global variables from secondary information; in this sense a review of these variables quality is recommended for future studies. The inputs used have a gap of three months (lag = 3). At Huayao precipitation showed a predictive relative error (PRE) equal to 1,04, the minimum temperature showed a PRE = 0,45, and maximum temperature showed a PRE = 7,34; a high value of PRE may be due to an unusual value in predictor set at validation stage. At Jauja precipitation showed a PRE = 0,62, minimum temperature showed a PRE = 0,27, and maximum temperature showed a PRE = 1,51. At Viques, precipitation showed a PRE = 0,66. The lower the values of PRE, the more accurate are the forecasts.

Key Words: *Multivariate Adaptive Regression Splines (MARS), forecast, rainfall, temperature, Huancayo, Mantaro.*

¹ E-mail: karen.latinez@igp.gob.pe

1. Introducción

En la cuenca del río Mantaro la predictibilidad de las lluvias y temperaturas no es conocida. Dar un pronóstico mensual es muy difícil debido a la geografía del área y la influencia de otros factores físicos aún desconocidos, esto hace que esta área se vea expuesta a una alta variabilidad climática. Asimismo, la cuenca del río Mantaro es uno de los centros agrícolas más importantes de la zona central del Perú; aquí reside la importancia de los pronósticos. La agricultura y otras actividades agrícolas dependen intensamente de las lluvias y temperatura; de ahí surge la necesidad de modelos predictivos que ayuden a la realización de pronósticos confiables y oportunos. El objetivo de esta investigación es determinar los pronósticos de precipitación y temperatura basados en la influencia de variables globales sobre dicha zona sin la necesidad de entrar en el campo de las series de tiempo, más bien utilizando un tipo de regresión no lineal.

Esta investigación muestra un modelo de regresión no paramétrico conocido como Regresión Multivariada Adaptativa *Splines* (MARS). MARS no hace ninguna suposición sobre la relación funcional entre la variable respuesta y las variables explicativas, como por ejemplo, la regresión múltiple que necesita la estructura del modelo. MARS construye esta relación basándose en un conjunto de coeficientes asociados a las funciones base que son completamente determinadas a partir de la regresión de los datos.

2. Datos y metodología

2.1. Zona de estudios y datos

La zona de estudio comprende el valle del río Mantaro, cuya descripción se encuentra en el capítulo 1 del presente libro.

2.1.1. Variables respuesta

Los datos analizados provienen de tres estaciones meteorológicas: Huayao, Jauja y Viques.

TABLA 1. Características de las estaciones utilizadas en el análisis de precipitación y temperaturas máximas y mínimas.

Estaciones Meteorológicas	Longitud (O)	Latitud (S)	Altura (msnm)	Periodo
Huayao*	75,30°	12,00°	3.350	1960 - 2008
Jauja	75,50°	11,75°	3.410	1960 - 2008
Viques**	75,23°	12,17°	3.184	1963 - 2008

* Periodo 1952-2008 para temperatura

** Sólo precipitación

2.1.2. Variables explicativas o predictores

También fue utilizada información secundaria de los predictores proveniente de instituciones especializadas adquiridas a través de Internet. Es importante señalar que la cantidad de información es limitada en ciertas áreas de la cuenca. La información obtenida en esta investigación es aplicable únicamente, a la cuenca del río Mantaro, y no en otras áreas del Perú sin un amplio estudio previo. Los predictores fueron utilizados con tres meses de desfase. Este desfase fue seleccionado a partir de un estudio previo

en Latévez (2008), el cual mostró mejores resultados cuando se usa tres o cuatro meses de desfase, donde los errores de los pronósticos con tres meses de desfase tuvieron menor error que los errores de cuatro meses.

Se utilizaron como predictores un conjunto de índices globales: TSM del Pacífico Ecuatorial, conocidos como las regiones Niño 1+2, Niño 3, Niño 4 y Niño 3.4, que provienen del *Earth System Research Laboratory*¹ (ESRL); la presión atmosférica a nivel del mar en Darwin, Tahití y el Índice de Oscilación del Sur (SOI), provienen del *Climate Prediction Center*² (CPC) de la NOAA³; entre otras de distintas zonas del mundo. La recolección de los predictores se hizo a través de internet, accediendo desde los portales de cada institución. Se utilizaron 17 predictores correspondientes al mismo periodo de análisis.

2.2. Métodos

2.2.1. Análisis exploratorio de datos (AED)

Las técnicas utilizadas en el AED fueron (a) histogramas y (b) diagrama de cajas (*Boxplot*). Estas técnicas se utilizarán debido a que los datos pueden tener errores de medición, ya que las medidas son tomadas por observadores que pueden incurrir en errores de digitación, mala observación, independientemente de los errores instrumentales y operacionales que puedan existir. Los valores que sean detectados como valores atípicos extremos que no tengan explicación coherente serán eliminados del estudio.

2.2.2. Regresión Multivariada Adaptativa *Splines* (MARS)

El modelo MARS se construye usando las funciones base. Estas, junto a los parámetros del modelo, se combinan para producir los estimados de los valores de entrada. El modelo general es:

$$\hat{f}(x) = a_0 + \sum_{m=1}^M a_m \prod_{k=1}^{K_m} \left[s_{km} \cdot (x_{v(k,m)} - t_{km}) \right]_+ \quad (2.1)$$

donde la sumatoria es sobre las M funciones base definidas en el modelo.

Luego:

1. a_0 es el intercepto de la función
2. a_m son los coeficientes de las funciones base, que ponderan a la productoria de las funciones base.
3. $s_{km} \cdot (x_{v(k,m)} - t_{km})$ es una función base, siendo $s_{km} = \pm 1$.
4. $\prod_{k=1}^{K_m} [s_{km} \cdot (x_{v(k,m)} - t_{km})]$ es el producto de las km funciones base.
5. Siendo $x_{v(k,m)}$ los valores de las v variables explicativas en el k -ésimo nodo de la m -ésima función base.

Se puede pensar en este modelo como "la selección de" una suma ponderada de funciones base del conjunto de funciones de base que abarcan todos los valores de cada

² <http://www.esrl.noaa.gov/>

³ <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/>

⁴ National Oceanic and Atmospheric Administration

predictor. El algoritmo MARS hace las búsquedas sobre el espacio de todos los valores de las variables explicativas y variables respuesta, así como las interacciones entre las variables explicativas.

2.2.3. Funciones base

Las funciones base dentro del marco del modelo MARS son producidas por el Algoritmo MARS 1 (anexo 2), las regiones correspondientes no son disjuntas sino que se sobreponen. Es por eso que al remover una función base no se produce un vacío en el espacio de los predictores.

Inicialmente (línea 1), el modelo está compuesto por todo el conjunto de funciones base J^* proveniente del algoritmo MARS 1. Cada iteración del bucle externo *For* del algoritmo MARS 2 (anexo 3) produce la eliminación de una función base. El bucle interior elige cuál función base se elimina. Esta es la única que se remueve y su salida mejora o degrada el ajuste del modelo. Nótese que la función base constante $B_j(X)=1$ nunca es seleccionada para ser removida. El algoritmo MARS 2 construye una secuencia de $M_{max} - 1$ modelos (donde M es la cantidad de términos no constantes del modelo), cada uno tiene una función base menos que el modelo previo en la secuencia. El mejor modelo en esta secuencia se devuelve al momento de supresión.

Durante esta investigación, un número cada vez mayor de funciones base se añaden al modelo (algoritmo MARS 1), para aprovechar al máximo criterio de bondad de ajuste. Como resultado de estas operaciones, MARS determina automáticamente las variables explicativas más importantes (algoritmo MARS 2), así como las más importantes interacciones entre ellos.

2.4 Variables respuesta

El algoritmo MARS se puede aplicar a múltiples variables respuesta. Este algoritmo determina un conjunto de funciones base a partir de las variables explicativas, pero los coeficientes se calculan de manera diferente para cada una de las variables respuesta. Este método trabaja con múltiples variables respuesta y no se diferencia de las arquitecturas de las redes neuronales, donde hay múltiples variables respuesta. En el caso de MARS a múltiples variables respuesta se prevé comunes funciones base con diferentes coeficientes.

2.5 Modelo de selección y poda

En general, los modelos no paramétricos son adaptables y pueden exhibir un alto grado de flexibilidad que, en última instancia, podría resultar sobrestimado si no se toman medidas para contrarrestarlo. Aunque tales modelos pueden lograr un error igual a cero en los datos ajustados, tienen la tendencia a predecir mal si se presentan nuevas observaciones. MARS, al igual que la mayoría de los métodos de este tipo, tienden a sobrestimar los pronósticos. Para lidiar con este problema, MARS utiliza la técnica de la poda para limitar la complejidad del modelo, reduciendo el número de sus funciones base.

En Friedman (1988) se usa una forma modificada del criterio original de validación cruzada y generalizada propuesto por Craven y Wahba (1979). El criterio del GCV es el promedio cuadrado residual del ajuste de los datos (numerador) y una penalidad (denominador inverso) que cuenta para el incremento de la varianza asociada con el incremento de la complejidad del modelo (número de funciones base M). Se expresa:

$$LOF(\hat{f}_M) = GCV(M) = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [y_i - \hat{f}_M(x_i)]^2 \Big/ \left[1 - \frac{C(M)}{N} \right] \quad (2.1)$$

Aquí la dependencia de \hat{f} (2.1), y el criterio sobre el número de las M funciones base está indicado explícitamente.

Si los valores de los parámetros de las funciones base (número de factores K_{m^t} , variables $v(k,m)$, ubicación de los nodos t_{km} y el signo s_{km}) asociados con el modelo MARS fueron determinados independientemente de los valores de la variable respuesta $(y_j, \mathbf{K} y_j)$, entonces solo los coeficientes $(a_j, \mathbf{K} a_j)$ son ajustados a los datos.

Consecuentemente, la función costo de complejidad en relación con el número de parámetros ajustados es:

$$C(M) = \text{traza} \left(\mathbf{B}(\mathbf{B}^T \mathbf{B})^{-1} \mathbf{B}^T \right) + 1 \quad (2.3)$$

donde \mathbf{B} es la matriz de datos de dimensión $M \times N$, de las M funciones base (no constantes) $(B_j = B_j(x_i))$. Esto es igual al número de funciones base linealmente independientes en (2.1) y, por tanto, $C(M)$ en (2.3) es justo el número de parámetros que serán ajustados. Usando (2.3) en (2.2) lleva al criterio de GCV propuesto por Craven y Wahba (1979).

El procedimiento MARS hace uso intensivo de los valores de la variables respuesta para construir el conjunto de funciones base. Es así como logra su poder y flexibilidad. Esto reduce (usualmente en forma dramática) la precisión del modelo estimado, pero al mismo tiempo incrementa la variancia desde que parámetros adicionales son estimados para ayudar al mejor ajuste de los datos. La disminución de la precisión es directamente reflejada en la reducción del promedio cuadrado residual [numerador (2.2)]. El denominador (2.2) (2.3), sin embargo, ya no refleja la variancia debida al número adicional de parámetros así como su naturaleza no lineal.

3. Resultados

3.1. Descripción de los modelos

Se calcularon doce modelos MARS de cada serie de tiempo; por ejemplo, para la precipitación de Huayao hay doce modelos no lineales. El periodo de entrenamiento se calculó a partir del comienzo de cada serie hasta diciembre de 2000. Y el periodo de validación comprendió desde enero de 2001 hasta agosto de 2008. Se tienen tres series de tiempo que corresponden a precipitación total mensual, temperatura mínima promedio mensual y temperatura máxima promedio mensual. Estas variables fueron particionadas en 12 grupos cada una, los cuales equivalen a los 12 meses del año. Por ejemplo, en precipitación total mensual de Huayao, se tiene precipitación de todos los eneros, precipitación de todos los febreros, precipitación de todos los marzos, y así sucesivamente hasta llegar a diciembre.

Las series de Huayao analizadas no presentan valores atípicos extremos, pero sí las series de Jauja y Viques. Los valores atípicos leves no son removidos, debido a que las variaciones de las variables respuesta, en este caso la temperatura y la precipitación, tienden a tener algún punto fuera de rango asociado a algún fenómeno físico ocurrido en el planeta. Y considerando que algunas variables climáticas ciertas veces presentan grandes fluctuaciones, se ha visto la necesidad de dejar solo los valores atípicos leves, mas no los valores atípicos extremos.

El modelo MARS para esta aplicación queda definido como:

$$Y_j = \alpha_j + \sum_{m_j=1}^{m_j} \beta_{m_j} \prod_{k=1}^K [S_{km}(x_{v(k,m)} - t_{km})]_+, \quad i = 1,2,3, \quad j = 1,2,3$$

donde:

1. Y_{ij} es la j-ésima variable respuesta de la i-ésima estación meteorológica.
2. μ_{ij} es el término constante del modelo.
3. β_{mij} es el coeficiente de la m-ésima función base de la j-ésima variable respuesta en la i-ésima estación meteorológica.
4. $X_{v(k,m)}$ es la v-ésima variable explicativa que se encuentra en la m-ésima función base en el k-ésimo nodo de la j-ésima variable respuesta en la i-ésima estación meteorológica.
5. t_{km} es el valor del k-ésimo nodo en la m-ésima función base de la j-ésima variable respuesta en la i-ésima estación meteorológica.
6. S_{km} es el valor ± 1 .
7. La sumatoria representa la suma de las M_{ij} funciones base calculadas para la j-ésima variable respuesta de la i-ésima estación meteorológica.

Luego, teniendo las series sin valores atípicos extremos, se calcularon los modelos MARS para cada grupo. Estos modelos se calcularon hasta con dos y tres interacciones de las variables explicativas y, además, con un desfase de tres meses de los valores de las variables explicativas. Es decir, al estimar los coeficientes del modelo, estos tendrían funciones base asociadas que estarían conformadas por una sola variable o la combinación de dos o tres variables, según sea el caso. Cuando se calcula un modelo hasta con dos interacciones, se llama modelo MARS de grado 2. Este modelo, además de contener funciones base de una sola variable, contiene también funciones base que son la combinación de dos variables. Asimismo, cuando se calcula un modelo de hasta tres interacciones, se llama modelo MARS de grado 3. Este modelo tiene funciones base de una sola variable, funciones base que son la combinación de dos variables y, además, funciones base que son la combinación de tres variables. Los resultados se analizaron con el software R versión 2.8.1, utilizando la librería mda.

La selección del mejor modelo se basa en el mejor conjunto de índices, en este análisis se utiliza índices como GCV (*generalized cross-validation: validación cruzada generalizada*), RSQ (*R-Squared of the model: coeficiente de determinación del modelo*), ECM (*mean squared error: error cuadrático medio*) y COR (*correlation: correlación*). El mejor modelo es aquel que tenga un GCV y un ECM menor que el otro, además de un RSQ y un COR mayor que el otro.

Estación de Huayao

En la Tabla 2 se encuentran las variables que intervienen en cada uno de los modelos. Esta selección de variables es determinada por el algoritmo MARS. El modelo que presenta la menor cantidad de variables es noviembre con sólo dos variables en el modelo que son EA y PNA.

TABLA 2. Variables que intervienen en los modelos MARS de precipitación de Huayao.

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Enero ²	PDO, CAR, EA
Febrero ²	EAWR, PDO, SOI, PNA, SCA
Marzo ²	WP, N4, NAO, TSA, PDO
Abril ²	N12, TNA, D, SCA, PDO
Mayo ²	N3, NAO, SOI, EAWR
Junio ²	N4, SCA, TNA, D
Julio ³	NAO, EA, PNA

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Agosto ²	NAO, N4, EA, N12, N3
Setiembre ²	N4, D, TSA
Octubre ³	PDO, SCA, NAO
Noviembre ³	EA, PNA
Diciembre ²	N3, D, PNA, TSA

² Modelos con dos interacciones

³ Modelos con tres interacciones

En la Tabla 3, se indica qué variables intervienen en cada modelo de temperatura mínima que han sido seleccionadas por el algoritmo del modelo MARS. El mes que tiene menos variables en su modelo es mayo, con las variables N3 y CAR. Y el mes que tiene mayor cantidad de variables es octubre, con la presencia de 8 de las 15 variables utilizadas en el análisis que son SOI, N34, PDO, EA, N12, WP, D, N4

TABLA 3. Variables que intervienen en los modelos MARS de temperatura mínima de Huayao.

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Enero ³	NAO, PDO, PNA, TSA, N3
Febrero ²	PDO, N12, TNA, EA, CAR
Marzo ²	TSA, WP, PNA, N12, CAR
Abril ²	CAR, TSA, TNA, WP
Mayo ²	N3, CAR
Junio ²	NAO, TNA, N34, CAR
Julio ³	N34, TNA, WP, EA, N4, SOI
Agosto ³	SOI, N34, PDO, EA, N12, WP, D, N4
Setiembre ³	CAR, WP, PNA, D, TSA
Octubre ²	N34, PDO, N3, N4, TNA, TSA, PNA, CAR
Noviembre ²	N34, PNA, N3, N4, WP, TNA
Diciembre ²	N34, PDO, PNA, TSA, CAR, SOI

En la Tabla 4, se encuentran las variables que intervienen en cada modelo. En el mes de octubre el algoritmo MARS no encuentra con alguna variable apropiada, por lo que queda como una constante igual a 20,30 mm. En el mes de enero sólo una variable está presente N3.

TABLA 4. Variables que intervienen en los modelos MARS de temperatura máxima de Huayao.

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Enero ²	N3
Febrero ²	N3, N34, PNA, EA
Marzo ³	N3, N34, N4, TNA, PDO
Abril ²	N4, N34, EA
Mayo ³	N12, N34, NAO, PNA, CAR
Junio ³	N4, PDO, N12, T, TNA, WP, CAR
Julio ²	N34, PDO, SOI, N12, NAO, TNA
Agosto ³	TSA, PDO, CAR, NAO
Setiembre ²	PNA, T, TNA, SOI
Octubre	-
Noviembre ²	WP, SOI, N12, N4, NAO, WP, TSA
Diciembre ²	N12, TSA, PNA

Estación de Jauja

En la Tabla 5 se muestran las variables que han sido seleccionadas por el algoritmo del modelo MARS para la estimación de los modelos de cada mes. Los meses de enero, noviembre y diciembre muestran un guión ya que para esos meses no se pudo encontrar un modelo adecuado en donde intervenga al menos una variable explicativa, dejándose como constantes 125,29 mm, 72,06 mm y 99,16 mm, respectivamente. Luego, en el mes de septiembre sólo se incluyen dos variables: N3 y WP. El mes con mayor cantidad de variables en su modelo es el mes de junio con 7 variables, que son PNA, N3, N34, PDO, PNA, EAWR, TSA.

TABLA 5. Variables que intervienen en los modelos MARS de precipitación de Jauja.

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Enero	-
Febrero ²	TSA, EA, CAR, SOI
Marzo ²	PDO, WP, SCA
Abril ²	N12, N34, SCA
Mayo ²	TNA, EA, TSA
Junio ³	PNA, N3, N34, PDO, PNA, EAWR, TSA
Julio ³	NAO, PNA, EAWR, CAR, TSA
Agosto ²	SOI, N3, EA, PNA, EAWR, CAR
Setiembre ²	N3, WP
Octubre ²	NAO, PDO
Noviembre	-
Diciembre	-

En la Tabla 6 se encuentran las variables que intervienen en los modelos. El lector puede verificar que en los meses de febrero y abril la variable que interviene en el modelo es N12, siendo estos meses los que tienen la menor cantidad de variables. El mes con la mayor cantidad de variables en su modelo es agosto con 6 variables, que son PDO, N4, N12, TNA, T, CAR.

TABLA 6. Variables que intervienen en los modelos MARS de temperatura mínima de Jauja.

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Enero ²	N4, TSA, SOI, PDO, D
Febrero ²	N12
Marzo ²	N4, N34
Abril ²	N12
Mayo ²	N3, NAO
Junio ²	PDO, NAO
Julio ²	SOI, TNA
Agosto ³	PDO, N4, N12, TNA, T, CAR
Setiembre ³	CAR, WP, PNA, PDO, D
Octubre ²	N4, PDO, EA, T
Noviembre ²	PNA, PDO
Diciembre ²	N34, WP, TNA, EA, TSA

En la Tabla 7 se muestran las variables que intervienen en los modelos. El mes que tiene la menor cantidad de variables

en su modelo es julio, con la presencia de la variable TNA. Y el mes con la mayor cantidad de variables es abril, con 6 variables en su modelo, que son N4, NAO, SOI, PNA, TNA, TSA.

TABLA 7. Variables que intervienen en los modelos MARS de temperatura máxima de Jauja.

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Enero ²	N3, TSA
Febrero ²	N3, NAO, TSA
Marzo ²	N34, NAO, D, PNA, SOI
Abril ³	N4, NAO, SOI, PNA, TNA, TSA
Mayo ³	N34, TSA
Junio ³	PNA, TSA, N3, T, TNA
Julio ²	TNA
Agosto ²	TNA, SOI, N4, EA
Setiembre ²	TNA, N12, PNA
Octubre ³	N12, N4, WP, SOI
Noviembre ²	PNA, TSA
Diciembre ²	N34, TSA

Estación de Viques

En la Tabla 8 se muestran las variables que están presentes en los modelos. Los meses de enero y marzo son constantes iguales a 80,07 mm y 77,04 mm, respectivamente. El mes donde sólo una variable está presente es noviembre con la presencia de CAR.

TABLA 8. Variables que intervienen en los modelos MARS de precipitación de Viques.

Mes	Variables que intervienen en el modelo
Enero	-
Febrero ²	SCA, EAWR
Marzo	-
Abril ²	N12, TSA, EA, SOI
Mayo ²	N34, NAO
Junio ²	TNA, TSA, N3, NAO
Julio ²	N4, WP, SCA
Agosto ³	N4, N34, PDO, PNA, EA
Setiembre ²	D, PDO, PNA
Octubre ³	CAR, EAWR, N4, SCA, SOI
Noviembre ²	CAR
Diciembre ²	PDO, PNA, CAR, TNA

3.2. Validación del modelo MARS

Estación de Huayao

Se presenta un alto grado de error en los pronósticos debido a dos picos negativos iguales a -51,21 mm en marzo de 2003 y otro de -13,61 mm en agosto de 2004, además de dos picos positivos de 258,16 mm en enero de 2004 y 191,31 mm en agosto de 2008 (Figura 1). Estos valores pueden producirse por cambios inusuales en las variables explicativas que intervienen en cada modelo. Las principales medidas de error se presentan en la Tabla 9.

TABLA 9. Evaluación del pronóstico de precipitación en Huayao utilizando MARS.

ECM (mm ²)	RECM (mm)	EAM (mm)	EAMN	BIAS (mm)	COR	ERP
2.069,595	45,493	28,870	22,645	10,031	0,579	1,04

El ECM observado en los modelos de temperatura mínima es 2,773 °C, el RECM es 1,665 °C, el EAM es 1,063 °C, el EAMN es 0,069 y la correlación es 0,816. Presenta un sesgo promedio de -0,126 °C. La Figura 2 muestra el gráfico de las series de temperatura mínima observada y los valores pronosticados. En el gráfico se puede observar que las series son muy similares, como indica la correlación antes mencionada. En el último año, la serie pronosticada tiene dos picos: uno de 13,05 °C en noviembre de 2007 y 8,68 °C en junio de 2008. Estos picos pueden ser causados por algún valor inusual de las variables explicativas. El ERP es 0,45.

En las predicciones de temperatura máxima, el sesgo promedio que se obtiene es -0,711 °C (Tabla 10). Se observa que el ECM es relativamente bajo, pero la correlación es bastante pequeña, esto se debe al valor inusual calculado de

-1,96°C en diciembre de 2007 (Figura 3). Ya que al eliminar ese valor inusual, los valores del ECM, RECM, EAM, EAMN y la correlación cambian a 1,071 °C², 1,035 °C; 0,81 °C; 0,04 y 0,538, respectivamente (Figura 4). El sesgo disminuye a -0,473 °C. Alguno o algunos de los valores de las variables explicativas deben presentar valores inusuales que influyen en el resultado. El valor eliminado no será removido del estudio, sólo se calculó para demostrar la diferencia que existe al tener un cálculo inusual. Estos cálculos inusuales nuevamente podrían deberse a cambios en los valores de las variables explicativas. El ERP es 7,34 con el resultado negativo, eliminando ese valor se obtiene un ERP de 1,21. Este resultado indica que se pueden presentar errores futuros, aquellos valores extremos que puedan aparecer necesitan un análisis previo a la eliminación o sustitución, para llegar a la mejor alternativa de solución.

TABLA 10. Evaluación de pronósticos de temperatura máxima de Huayao utilizando MARS.

	ECM (°C ²)	RECM (°C)	EAM (°C)	EAMN	BIAS (°C)	COR	ERP
Todos los pronósticos	6,494	2,548	1,044	0,052	-0,711	0,163	7,34
Sin el valor inusual	1,071	1,035	0,810	0,040	-0,473	0,538	1,21

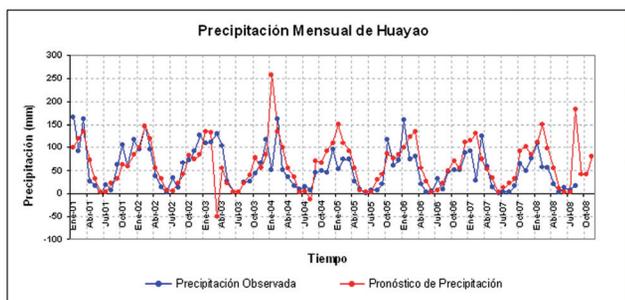


Figura 1. Precipitación de Huayao. Valores observados y pronosticados con MARS.

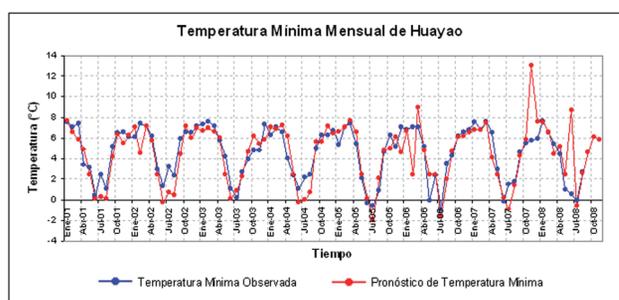


Figura 2. Temperatura mínima de Huayao. Valores observados y pronosticados con MARS.

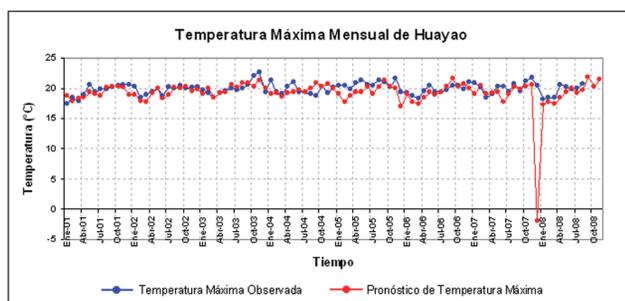


Figura 3. Temp. máxima Huayao. Valores observados y pronosticados con MARS.

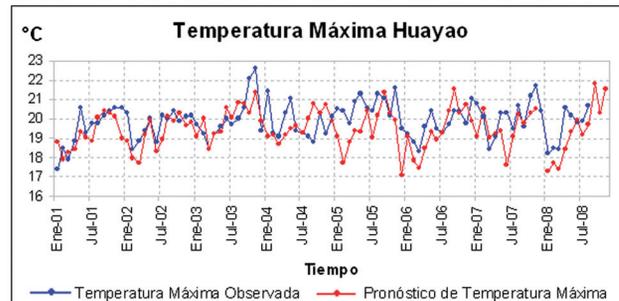


Figura 4. Temp. máxima sin valor extremo Huayao. Valores observados y pronosticados con MARS.

Estación de Jauja

En la Tabla 11 se presentan los errores del modelo para el pronóstico de lluvias, observándose que este es grande debido a los dos picos negativos: -61,64 mm y -84,51 mm, que corresponden a julio de 2002 y febrero de 2005, respectivamente. Estos picos influyen también en la correlación. El ERP es 0,62. (Figura 5).

Tabla 11. Evaluación de pronósticos de precipitación de Jauja utilizando MARS.

ECM (mm ²)	RECM (mm)	EAM (mm)	EAMN	BIAS (mm)	COR	ERP
1.277,648	35,744	21,784	64,646	3,004	0,741	0,62

Para el caso de la temperatura mínima, el ECM es 1,561 °C², el RECM es 1,249 °C, el EAM es 0,918 °C, el EAMN es 0,339 y la correlación es 0,861. El sesgo promedio es -0,186 °C. El error es bajo y la correlación alta, dado que no hay ningún pico inusual. En la Figura 6 se muestra la gráfica de las series, y la serie pronóstico es muy similar a la serie observada. Esto concuerda con la correlación alta y positiva que se había calculado. El ERP es 0,27.

Para la temperatura máxima, el ECM es 1,739 °C², el RECM es 1,319 °C, el EAM es 1,093 °C, el EAMN es 0,06 y la correlación es 0,464. El sesgo promedio es 0,774. El error presente en la serie pronóstico es relativamente bajo, del mismo modo que la correlación es baja. Esta correlación baja se debe a que por lapsos de tiempo los valores pronosticados son superiores a los observados. En la Figura 7 se muestra la gráfica de las series observada y pronosticada, se observa que la serie pronóstico casi en la mayor parte del tiempo está sobre la serie observada. Con excepciones como en enero de 2003, donde se estima 17,16 °C y el valor observado es 20,6 °C, más de tres grados de diferencia; en este caso el pronóstico es inferior al observado. El ERP es 1,51.

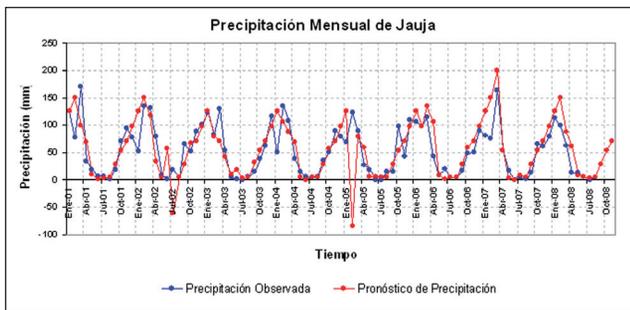


Figura 5. Precipitación de Jauja. Valores observados y pronosticados con MARS.

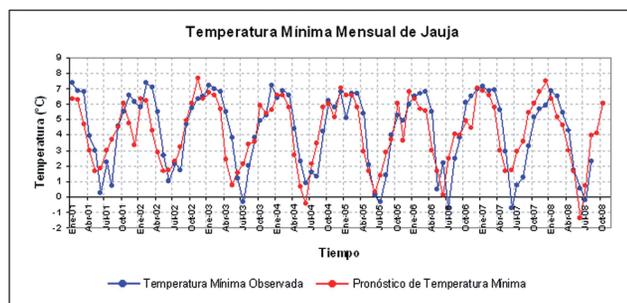


Figura 6. Temperatura mínima de Jauja. Valores observados y pronosticados con MARS.

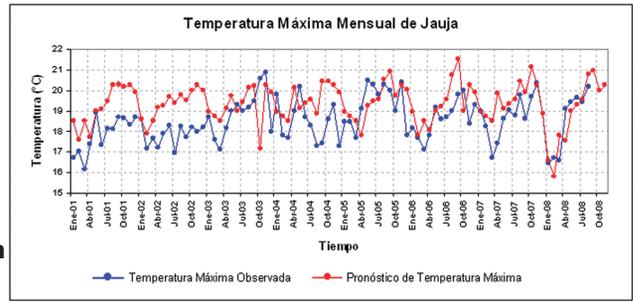


Figura 7. Temperatura máxima de Jauja. Valores observados y pronosticados con MARS.

Estación de Viques

La evaluación de los pronósticos de precipitación en esta estación presenta un ECM de 1 248,179 mm², el RECM de 35,33 mm, el EAM de 24,167 mm, el EAMN de 376,931 y la correlación es 0,685. El sesgo promedio es -10,105 mm. El error es relativamente bajo y la correlación media es alta, ya que no existen picos inusuales. En la Figura 8 se muestra la gráfica de las series observada y pronóstico, que son bastante similares. En algunos puntos la serie pronóstico sobrestima a la observada como en el caso del periodo enero-marzo de 2002 y 2005, sin embargo, entre agosto de 2002 y marzo de 2003, y julio de 2005 y marzo de 2006, la serie pronóstico subestima a la observada. El ERP es 0,66.

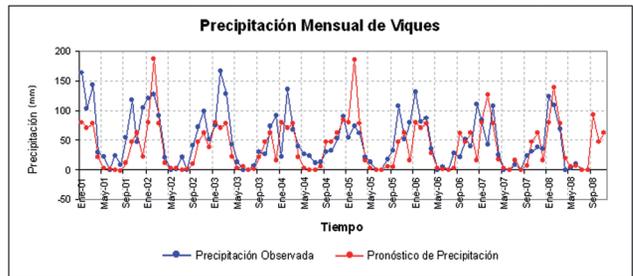


Figura 8. Precipitación de Viques. Valores observados y valores pronóstico con MARS.

4. Conclusiones

Los errores de pronóstico en la validación usando MARS, en general, son bajos. En promedio, los errores se encuentran en un rango aceptable. Es evidente que a los pronósticos les falta un mayor ajuste para disminuir estos errores. Al agregarle otras variables del entorno y algunas otras características físicas del lugar se podrían mejorar estos resultados.

Este es un modelo que calcula valores a tres meses, lo cual es bastante complicado para cualquiera. Lo que nos proporciona es una media de lo que se podría esperar. Lo recomendable es empezar a trabajar con valores diarios y analizar la posibilidad de generar un modelo en donde las entradas sean diarias y no mensuales. Es probable que disminuyendo el tiempo de pronóstico (no de tres meses, sino de 30 días o menos) estos se puedan mejorar. Cuanto más cercano esté el momento que se quiere predecir, los pronósticos será más exactos y precisos.

La selección de las variables en los modelos MARS fue arbitraria desde que se utilizó el criterio del GCV en la selección de variables sin tomar en cuenta las relaciones físicas que podrían existir entre ellas. En futuros estudios se preseleccionará a los predictores que no serán removidos del análisis, por estar relacionadas físicamente con la variable respuesta.

5. Referencias bibliográficas

- **Craven y Wahba, G. (1979).** Smoothing noisy data with spline functions: estimating the correct degree of smoothing by the methods of generalized cross-validation. *Numerische Mathematik*, 31, pp. 377-403.
- **Friedman, J. H. (1988).** Fitting functions to noisy data in high dimensions. In computer Science and Statistics:

Proceeding of the 20th Symposium (E. Wegman, D. Gantzz y J. Miller, eds.). Washington D.C.: Amer. Statist. Assoc., pp. 13-43.

- **Friedman, J.H. (1991).** Multivariate Adaptive Regression Splines. *The Annals of Statistics*, vol. 19, N.º 1, pp. 1-67.
- **Latínez, K. (2009).** *Pronóstico de Precipitación y Temperaturas Extremas del Aire con Meses de Anticipación Usando el Modelo MARS*. Instituto Geofísico del Perú (IGP). Compendio de trabajos de investigación, vol. 10.

6. Anexos

Anexo 1. Variables globales. Nombre, abreviatura y uso.

Variable	Abreviatura	Se utiliza en el modelado de	
		pp	tm y tx
Oscilación Decadal del Pacífico	PDO	Sí	Sí
Oscilación del Atlántico Norte	NAO	Sí	Sí
Patrón del Atlántico Este	EA	Sí	Sí
Índice del Pacífico Oeste	WP	Sí	Sí
Índice del Pacífico Norteamericano	PNA	Sí	Sí
Patrón del Atlántico Este / Oeste de Rusia	EA/WR	Sí	No
Patrón de Escandinavia	SCA	Sí	No
Índice de TSM en el Extremo Oriental del Pacífico (Región Niño 1+2)	N12	Sí	Sí
Índice de TSM Oriental del Pacífico (Región Niño 3)	N3	Sí	Sí
Índice de TSM Occidental del Pacífico (Región Niño 4)	N4	Sí	Sí
Índice de TSM en el Pacífico Central Oriental (Región Niño 3.4)	N34	Sí	Sí
Presión a nivel del mar en Darwin	D	Sí	Sí
Presión a nivel del mar en Tahití	T	Sí	Sí
Índice de TSM en el Caribe	CAR	Sí	Sí
Índice del Atlántico Tropical Norte	TNA	Sí	Sí
Índice del Atlántico Tropical Sur	TSA	Sí	Sí
Índice de Oscilación del Sur	SOI	Sí	Sí

Anexo 2. Algoritmo MARS 1.

```

 $B_1(x) \leftarrow 1; M \leftarrow 2$ 
Loop until  $M > M_{\max}$  :  $lof^* \leftarrow \infty$ 
For  $m = 1$  to  $M - 1$  do:
  For  $v \notin \{v(k, m) \mid 1 \leq k \leq K_m\}$ 
    For  $t \in \{B_m(x_j) > 0\}$ 
       $g \leftarrow \sum_{i=1}^{M-1} a_i B_i(x) + a_M B_m(x) [(x_v - t)]_+ + a_{M+1} B_m(x) [-(x_v - t)]_+$ 
       $lof \leftarrow \min_{a_1, K, a_{M+1}} LOF(g)$ 
      if  $lof < lof^*$  then  $lof^* \leftarrow lof$ ;  $m^* \leftarrow m$ ;  $v^* \leftarrow v$ ;  $t^* \leftarrow t$  end if
    end for
  end for
end for
 $B_M(x) \leftarrow B_{m^*}(x) [(x_{v^*} - t^*)]_+$ 
 $B_{M+1}(x) \leftarrow B_{m^*}(x) [-(x_{v^*} - t^*)]_+$ 
 $M \leftarrow M + 2$ 
end loop
end algorithm

```

Fuente: Friedman (1991).

Anexo 3. Algoritmo MARS 2.

```

 $J^* = \{1, 2, K, M_{\max}\}; K^* \leftarrow J^*$ 
 $lof^* \leftarrow \min_{\{a_j \mid j \in J^*\}} LOF(\sum_{j \in J^*} a_j B_j(x))$ 
For  $M = M_{\max}$  to 2 do:  $b \leftarrow \infty; L \leftarrow K^*$ 
  For  $m = 2$  to  $M$  do:  $K \leftarrow L - \{m\}$ 
     $lof \leftarrow \min_{\{a_k \mid k \in K\}} LOF(\sum_{k \in K} a_k B_k(x))$ 
    if  $lof < b$  then  $b \leftarrow lof$ ;  $K^* \leftarrow K$  end if
    if  $lof < lof^*$  then  $lof^* \leftarrow lof$ ;  $J^* \leftarrow K$  end if
  end for
end for
end algorithm

```

Fuente: Friedman (1991).

Retos del uso de pronósticos estacionales de lluvias y temperaturas aplicado a la agricultura en el valle del Mantaro

Challenges in the use of rainfall and temperature seasonal forecasts applied to agriculture in the Mantaro valley

Alejandra G. Martínez¹ y Karen Latínez²

^{1,2} Instituto Geofísico del Perú

■ RESUMEN

En este artículo se presentan los detalles de las acciones tomadas en el marco del subproyecto para el desarrollo de herramientas que permitan a los potenciales usuarios de la información utilizar los pronósticos climáticos generados para su aplicación en la agricultura en el valle del río Mantaro. Entre estas acciones se incluyen la homogenización de conceptos, el desarrollo de productos para diseminar dichos pronósticos y finalmente validar su uso.

Se discuten los factores determinantes en el uso de los pronósticos: acceso a la información, factibilidad del uso de la información y la representatividad espacial de la información. Finalmente se señalan los principales problemas encontrados, incluyendo un breve análisis de las vulnerabilidades asociadas, así como los retos futuros.

Palabras clave: pronósticos climáticos, homogenización de conceptos, diseminación de información climática.

■ ABSTRACT

This article presents details of the actions taken in the frame of the subproject for the development of tools that allow the use of climate seasonal forecasts for its implementation in the agriculture of the Mantaro valley, by the potential users of climate information. These actions include the homogenization of concepts, the development of products to disseminate those forecasts and to validate their use.

Determinant factors in the use of forecasts are discussed: access to information, the ease of information use and the spatial representation. Finally, the main problems found are pointed out, including a brief analysis of the vulnerabilities found; as well as the future challenges.

Key word: climate forecast, homogenization of concepts.

¹ Email: alejandra.martinez@igp.gob.pe

² E-mail: karen.latinez@igp.gob.pe

1. Introducción

En el marco del subproyecto INCAGRO se consideró que eran necesarias actividades complementarias a la generación de pronósticos estacionales, que permitieran que dichos pronósticos se difundieran de forma eficiente y oportuna entre los potenciales usuarios de la información.

Se consideraron como potenciales usuarios de la información a los miembros de la Alianza Estratégica del subproyecto: Instituto Nacional de Investigación Agraria (INIA) y Universidad Nacional del Centro del Perú (UNCP). Adicionalmente, se tomaron en cuenta a otras instituciones locales vinculadas al sector agricultura: agencias agrarias, ONG, etc., hasta completar una docena de ellas en total, las cuales se constituyeron en el *grupo focal*³ de trabajo, y que en adelante se denominarán "usuarios de la información". En el subproyecto se evitó intencionalmente la difusión de los pronósticos a agricultores o grupos de agricultores, debido al carácter piloto del proyecto y a la necesidad de validar tanto la calidad de la información, como la forma de difusión.

La metodología de trabajo consideró la técnica de investigación participativa a través de talleres y reuniones de trabajo periódicos con el grupo focal (Figura 1), donde se discutió sobre la importancia y utilidad de los pronósticos, así como de los problemas asociados, en forma de diálogo permanente.

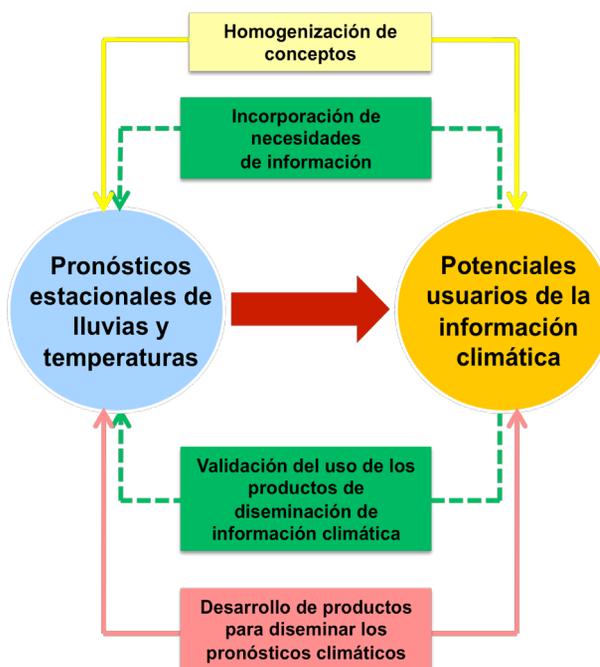


Figura 2. Actividades desarrolladas en base al desarrollo de los pronósticos estacionales y su potencial uso.



Figura 1. Vista de uno de los talleres de trabajo desarrollados durante el proyecto. Fotografía: Raúl Chávez Aquino.

2. Actividades desarrolladas

Las actividades programadas y desarrolladas fueron (i) homogenizar los conceptos técnicos y socioeconómicos entre el personal base y los potenciales usuarios, (ii) incorporar las necesidades de los potenciales usuarios en el desarrollo de los pronósticos, (iii) desarrollar productos para diseminar los pronósticos climáticos y (iv) validar el uso de los productos de diseminación de pronósticos climáticos. Estas actividades son esquematizadas en la Figura 2.

Todas las actividades se basaron tomando en cuenta dos factores: por un lado, los pronósticos estacionales de lluvias y temperaturas, y por otro lado, su potencial uso por parte de las instituciones vinculadas con el campo agrícola en el valle del Mantaro.

2.1 Homogenización de conceptos e incorporación de necesidades de información

Las dos primeras actividades, homogenización de conceptos e incorporación de necesidades (parte superior de la Figura 2), tuvieron como objetivo contar con un lenguaje común que permitiera una comunicación más fluida entre los investigadores que desarrollaron los pronósticos y los usuarios de la información, a través del diálogo desarrollado en las reuniones de trabajo y talleres. Para ello, se tomaron en consideración aspectos importantes de la realidad socioeconómica y cultural de la región. Por ejemplo, el concepto de *sequía* tiene una connotación muy distinta cuando se diferencia por duración, ya que el término puede referirse a sequías de corta duración (también llamados veranillos), o a sequías de larga duración (meses o años). El reconocimiento de las diferencias conceptuales permitió —en más de un caso— reorientar los temas de investigación del subproyecto.

En el marco de la actividad de "incorporación de necesidades" se pudo recibir el aporte de los usuarios de la información, sobre la información climática que podría serles de mayor utilidad en sus actividades de planeamiento en el sector. Sin embargo, las expectativas iniciales con las que contaban al entrar en contacto con el proyecto no fueron concordantes con las actividades programadas para el desarrollo de los pronósticos estacionales. Las principales expectativas que los potenciales usuarios tenían se pueden

³ Grupos de discusión organizados alrededor de un tema específico.

dividir en dos tipos: aquellas relacionadas con la información meteorológica base generada, y aquellas relacionadas con pronósticos y alertas.

Entre las primeras se contaron la instalación de mayor cantidad de estaciones meteorológicas en la zona, la libre disponibilidad de datos meteorológicos de las estaciones ya existentes y la solicitud de contar con mayor cantidad de tipos de información meteorológica, como por ejemplo horas de sol, evapotranspiración, entre otras, en lugar de sólo datos de precipitación y temperatura. Estas demandas sobrepasaban con creces los alcances del proyecto, tanto a nivel de objetivos propuestos como de presupuesto, así como de competencias del Instituto Geofísico del Perú, lo que fue explicado oportunamente al iniciar las actividades.

El segundo grupo de expectativas referido al tema de pronósticos y alertas incluían pronósticos diarios de lluvias, pronósticos quincenales de lluvias y temperaturas, fecha de inicio de temporada de lluvias, y alertas tempranas ante eventos extremos como heladas o lluvias intensas. Este tipo de necesidades declaradas indicaron que aún entre personal profesional vinculado al sector agrícola existe una confusión entre tiempo y clima, y por otro lado que —en general— existen muy altas expectativas de los resultados que pueden llegar a tener los pronósticos, a pesar de que los usuarios de la información declararon “no confiar mucho” en ellos.

Asimismo, existieron dudas sobre el uso que efectivamente se le podría dar a un pronóstico estacional. En todos los casos, los potenciales usuarios declararon que si bien preferirían información a más corto plazo (la preferencia general fue sobre pronósticos quincenales), los pronósticos estacionales con tres o cuatro meses de anticipación “de todos modos podrían ser útiles”, sobre todo para acciones de planificación a mediano plazo. Entre las acciones de planificación se identificaron la programación de actividades económicas complementarias al ciclo agrícola, la posibilidad de escoger el tipo de cultivo y/o semilla a utilizar, entre otras.

2.2 Desarrollo de productos para diseminar los pronósticos climáticos

A través de las reuniones y los talleres de trabajo desarrollados se determinó por consenso que la herramienta más útil para diseminar los pronósticos era una página web de acceso libre, garantizando que los pronósticos pudieran ser fácilmente consultados. En la Figura 3 se aprecia la página principal:

<http://www.met.igp.gob.pe/proyectos/incagro/pronostico>

La página web que se desarrolló muestra los pronósticos estacionales de precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima de cada estación, tomando como climatología el período 1970-2000. Esta información se actualiza mensualmente a comienzos de la segunda quincena del mes.

En la página de resultados se cuenta con dos secciones bien diferenciadas. La primera sección muestra un total de doce meses: los resultados de los pasados nueve meses más los tres meses de pronósticos a futuro. Por cada variable estudiada se muestra la climatología de la variable, el valor observado, el valor pronóstico y, para los meses pronóstico, el porcentaje de variación respecto al año anterior. Además, los resultados se muestran para tres estaciones: Huayao,

Jauja y Viques. En la Figura 3 se muestra un ejemplo con la información de lluvias, temperatura máxima y temperatura mínima de la estación de Huayao⁴.

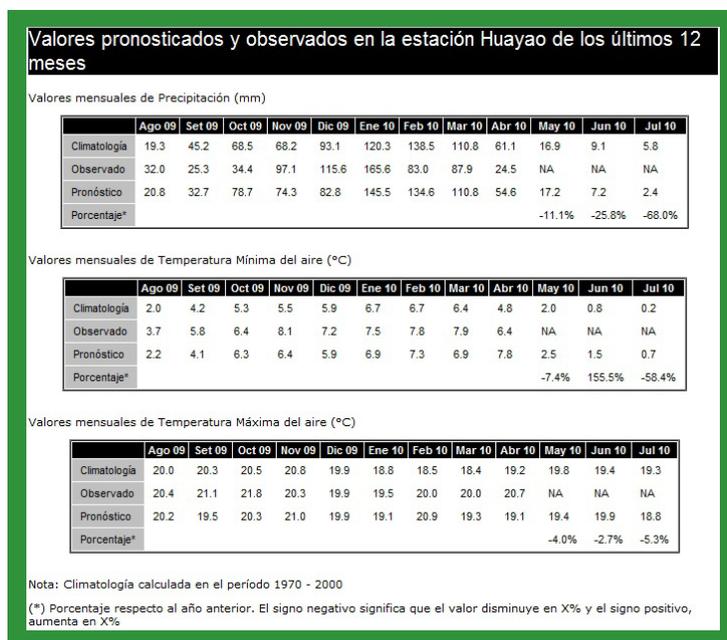


Figura 3. Ejemplo de pronósticos estacionales (estación de Huayao).

En la segunda sección, se presentan los gráficos que comparan los valores observados y los valores pronóstico desde el año 2001 hasta la fecha de la última actualización de la página. En el ejemplo de la figura 4 se observan las gráficas de precipitación y temperatura máxima de Huayao.

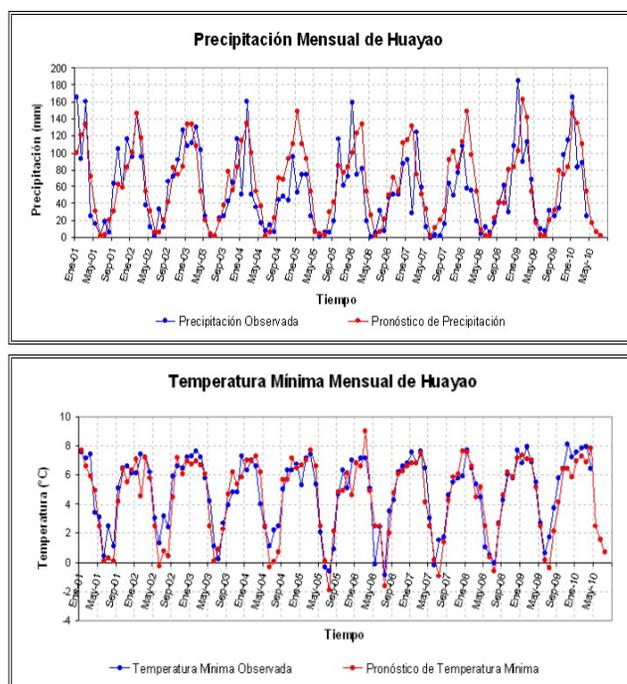


Figura 4. Gráfico comparativo de los valores observados y valores pronóstico.

⁴ Latitud: -12,04N, longitud: -75,82E, altitud: 3313 msnm.

Existe además una sección de **usuarios avanzados** con acceso mediante usuario y clave⁵ asignados. En esta página existe mayor información sobre el modelo MARS, utilizado para los pronósticos, así como la opción de interactuar con las variables independientes del modelo. Esta sección se ha creado con el fin de apoyar el desarrollo de temas de investigación específicos, desarrollo de tesis, entre otros.

2.3 Validación del uso de los pronósticos

Esta actividad tuvo como objetivo la verificación del **uso**⁶ del pronóstico por parte de los usuarios de la información. Para realizar este seguimiento, además de los talleres y reuniones de trabajo se programaron tres visitas de control a las instituciones identificadas como usuarias de la información, entre setiembre del año 2009 y febrero del año 2010.

En estas visitas de control se realizaron encuestas que evaluaron tres categorías: acceso a la información, factibilidad del uso de la información y representatividad espacial de la información; el modelo de encuesta se encuentra en el Anexo A. Asimismo, en cada una de las visitas de control se entregó material informativo sobre el subproyecto en formato impreso y digital.

En el tema de acceso a la información, cerca de dos tercios de los entrevistados indicaron que tuvieron problemas para acceder a la información, debido principalmente a falta de tiempo y problemas para el acceso a internet. La falta de tiempo puede entenderse —parcialmente— como falta de motivación para revisar los pronósticos, ya que para los entrevistados no ha sido fácil identificar el uso práctico que podrían darle a la información en sus actividades laborales cotidianas. Los problemas de acceso a internet se refieren al escaso ancho de banda desde sus centros de labores, o los cortes en el servicio de internet. Adicionalmente, un par de entrevistados indicaron no tener libre acceso a páginas que no estuvieran directamente relacionadas con sus labores.

Sobre la factibilidad de uso de la información, en cada una de las tres rondas de encuestas, estas preguntas solo fueron respondidas por un 25% de los encuestados. En todos los casos en que la pregunta fue respondida, la respuesta fue afirmativa, indicando que la información fue útil o muy útil. Sin embargo, al indagar sobre en qué forma fueron útiles los pronósticos, las respuestas fueron vagas, apreciándose que la información fue utilizada más como una comparación con otras variables manejadas por los usuarios antes que con los propósitos del planeamiento.

La representatividad espacial de la información se refiere a que los pronósticos fueron generados para tres puntos distintos en el valle (Huayao, Viques y Jauja), por lo que esta pregunta se orientaba a conocer las diferencias en el pronóstico de los tres puntos en el valle. Solo un pequeño porcentaje respondió a este grupo de encuestas (entre 10 y 20% de los encuestados por vez), de ellos, el 75% indicó que el mejor pronóstico era el de la estación de Huayao, y un 25% que el mejor pronóstico era el de la estación de Jauja.

Un problema encontrado durante la realización de las encuestas fue la constante rotación de personal en las instituciones visitadas, hecho que dificultó el correcto seguimiento de los avances en el uso de los pronósticos. Sin embargo, también se detectaron algunos problemas de base: escaso conocimiento sobre agrometeorología y temas afines, y dificultades para entender los aspectos probabilísticos de los pronósticos por parte del grueso de los usuarios de la información. En la siguiente sección se hace un breve análisis de las vulnerabilidades asociadas a estas carencias.

3. Breve análisis de vulnerabilidades

Un problema importante fue la dificultad para dar a entender el uso apropiado de los pronósticos por una parte significativa del grupo focal de usuarios de la información, sobre todo considerando que se trabajó a nivel de instituciones vinculadas al planeamiento o a la investigación en el sector agrícola. Durante los talleres y reuniones de trabajo el tema fue tocado, y hubo consenso en indicar que los temas de meteorología y estadística habían sido poco desarrollados tanto durante los años de estudios universitarios de los participantes como en el marco de las actividades laborales cotidianas. Por ello, en el marco del subproyecto se organizaron talleres de capacitación que fortalecieron el trabajo que se venía desarrollando.

El potencial para beneficiarse del uso de los pronósticos climáticos es más complicado que solo contar con los pronósticos y entenderlos. En la Figura 5 se muestra el gráfico de los determinantes de ese potencial.

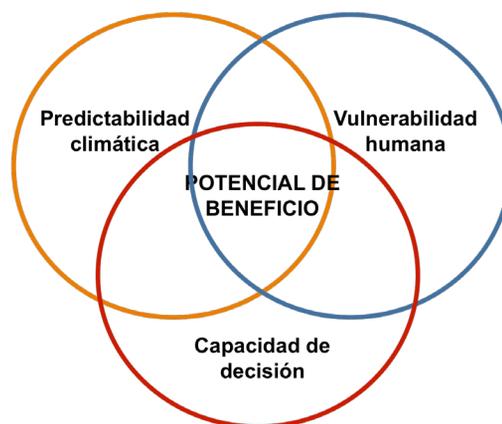


Figura 5. Determinantes del potencial de las poblaciones humanas para beneficiarse de la predicción climática estacional (Hansen, 2002).

Además de la predictabilidad climática (ver discusión en el artículo anterior), es necesario considerar que los usuarios de la información deben tener capacidad de decisión sobre los aspectos del sector agrícola que podrían ser planificados gracias a los pronósticos. Finalmente, los aspectos de vulnerabilidad humana también deben ser considerados, sobre todo en los aspectos de vulnerabilidad social, política e institucional.

En este sentido, un pronóstico estacional —incluso si es de gran calidad— puede ser un factor muy importante en la mejora de las condiciones productivas del sector agrícola, pero no suficiente, pues otros factores deben ser considerados. Por ejemplo, ¿el tener un pronóstico estacional de lluvias y temperaturas que nos indica que es mejor utilizar cierto tipo de semilla de papa mejorada de corto periodo fenológico es suficiente para ir en contra de los aspectos culturales de la población que está acostumbrada a sembrar semillas de largo periodo fenológico? ¿Tiene la población los recursos financieros y apoyo técnico suficiente para hacer ese cambio en un período de decisión de solo unos meses? De hacer el cambio de cultivo, ¿encontrará mercado que pueda absorber un tipo de papa poco conocida? Son solo algunas de las interrogantes que surgen.

⁵ Mayor información a karen.latinez@igp.gob.pe

⁶ La **calidad** del pronóstico es discutida en el artículo de Karen Latínez del presente libro.

Por otro lado, el uso de los pronósticos requiere de una red compleja y eficiente de entrega de información, que abarque no sólo a los usuarios finales de la información (agricultores y grupos de agricultores), sino también a los tomadores de decisiones, instituciones de apoyo técnico, e incluso a los consumidores finales de los productos agrícolas.

La identificación de información climática que pueda ser más fácilmente utilizable/aplicable por los usuarios de la información, así como la existencia de políticas de planeamiento de arriba hacia abajo (*top-down policies*) y el fortalecimiento de las instituciones parecen ser aspectos cruciales en el uso eficiente de los pronósticos.

4. Próximos pasos: el proyecto MAREMEX-MANTARO

En febrero del año 2009 se dio inicio al proyecto "Manejo de riesgo de desastres 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. Con este proyecto se espera poder dar continuidad a los estudios en la cuenca del río Mantaro, de los que el subproyecto INCAGRO ha sido parte importante.

Este proyecto —que viene siendo ejecutado por el Instituto Geofísico del Perú, con financiamiento del *International Development Research Centre* (IDRC) de Canadá⁸, 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 tanto de la población como de las instituciones que tienen el manejo de los recursos naturales a su cargo, tema que nació de las múltiples inquietudes que aparecieron durante la ejecución del subproyecto INCAGRO.

Entre los objetivos específicos que se busca con este nuevo proyecto están a) fortalecer y profundizar los estudios sobre causas, ocurrencias e impactos de heladas, sequías y fenómenos de lluvias intensas en la región, b) 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 c) promover el fortalecimiento institucional y difusión de los resultados del proyecto a la población, instituciones y medios científicos, a través de la creación o fortalecimiento de capacidades de investigación de

entidades e investigadores locales en temas de adaptación al cambio climático.

5. Referencias bibliográficas

- **Hansen, J. W. (2002).** Realizing the potential benefits of climate prediction to agriculture: issues, approaches, challenges. *Agricultural Systems*, vol. 74, Issue 3, pp. 309-330.
- **Hansen, J. W.; Challinor, A.; Ines, A.; Wheeler, T. y Moron, V. (2006).** Translating climate forecasts into agricultural terms: advances and challenges. *Climate Research*, vol. 33, pp. 27-41.
- **Kloprogge, P., y van der Sluijs, J. P. (2007).** The inclusion of stake holder knowledge and perspectives in Integrated assessment of climate change. *Climatic Change*, en prensa.
- **Instituto Geofísico del Perú (2005).** *Diagnóstico biofísico y socioeconómico de la cuenca del Mantaro en el contexto del cambio climático*. Lima: Fondo Editorial CONAM.
- **Instituto Geofísico del Perú (2005).** *Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del río Mantaro*. Lima: Fondo Editorial CONAM.
- **Martínez, A. G.; Núñez, E.; Takahashi, K.; Silva, Y.; Trasmonte, G.; Mosquera, K. y P. Lagos (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. Aceptado por el *Advances in Geosciences*.
- **Ray, A. J.; Garfin, G. M.; Wilder, M.; Vásquez-León, M.; Lenart, M.; y Comrie, a. C. (2007).** Applications of Monsoon Research: Opportunities to Inform Decision Making and Reduce Regional Vulnerability. *Journal of Climate*, vol. 20, pp. 1608-1627

6. Agradecimientos

A los Sres. Danny Pereyra, Arturo Jiménez y Susan Pérez por su apoyo en el desarrollo de las encuestas para la validación del uso de los pronósticos.

⁷ Mayor información en maremex@igp.gob.pe

⁸ www.idrc.ca

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

Influence of temperature, precipitation and photoperiod on potato (*solanum tuberosum*) Yungay and Canchan varieties in El Tambo and El Mantaro districts

Lucy Giráldez Solano ¹

Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo

RESUMEN

El siguiente trabajo se realizó en dos distritos del valle del Mantaro: El Tambo y El Mantaro. Los objetivos del estudio fueron: a) determinar la influencia de la temperatura del aire, precipitación y fotoperiodo en el cultivo de papa variedad Canchán y Yungay en el distrito de El Tambo y El Mantaro, expresados en los rendimientos respectivos, b) identificar si las variables climáticas en estudio entre ambas localidades son diferentes. Los tratamientos fueron localidades (El Mantaro y El Tambo) y variedades (Canchán y Yungay). Asimismo, se empleó el diseño de bloques completamente randomizado con cuatro repeticiones para cada localidad y el análisis de variancia de bloques completamente randomizado combinado para ambas localidades. Para el análisis con los datos meteorológicos se empleó la regresión y correlación lineal simple y múltiple. Las características evaluadas fueron la altura de planta, área foliar, peso de tubérculos por planta, número de tubérculos por planta; además, se consideraron a las variables climáticas tales como temperatura del aire, precipitación y fotoperiodo. Los resultados indican que existe relación lineal altamente significativa entre las variables independientes (temperatura del aire, precipitación y fotoperiodo) con el peso de tubérculos por planta; las tres variables independientes en conjunto influyen en 78,4% sobre el rendimiento del cultivo, donde la temperatura es la variable que contribuye significativamente, a explicar lo que ocurre con el peso de tubérculos por planta. En el tratamiento El Tambo-Yungay, la altura de planta, el área foliar y el peso de tubérculos por planta superó estadísticamente a los demás tratamientos. Finalmente la temperatura es variable entre ambas localidades, mientras que la precipitación y el fotoperiodo son considerados estadísticamente similares en ambas localidades.

Palabras clave: Variedades de papa Canchán y Yungay, influencia del clima en rendimiento de papa.

ABSTRACT

The following work was conducted in two districts of the Mantaro valley: El Tambo and El Mantaro. The objectives of this study are: a) to elucidate the influence of air temperature, precipitation and photoperiod in the potato crop Canchán and Yungay varieties in the district of El Tambo and El Mantaro, expressed in yields, b) to identify whether climate variables under study between the two locations are different, and the potato varieties considered in this study are Canchán and Yungay. The block design randomized with four replications was used for each location and analysis of variance of randomized complete block for both locations combined was performed. Simple linear and multiple regression and correlation techniques were used for the analysis of meteorological data. The variables analyzed were plant height, leaf area, weight of tubers per plant, number of tubers per plant, and also climatic variables were taken into account such as air temperature, precipitation and photoperiod. The results indicate a highly significant linear relationship between the independent variables (air temperature, precipitation and photoperiod) and the weight of tubers per plant, the three independent variables affecting overall 78,4% return on the crop, where temperature is the variable that contributes most significantly to explain the weight of tubers per plant. In treatment El Tambo-Yungay, the plant height, leaf area and weight of tubers per plant was statistically than the other treatments. Finally the temperature is variable between the two localities, while precipitation and photoperiod are considered statistically similar at both locations.

Key words: Canchán and Yungay potato's varieties, influence of climate in the potato's yield.

¹ E-mail: lucygiraldezh@hotmail.com

1. Introducción

La papa es un cultivo oriundo y representativo del Perú; es el patrimonio más grande de nuestra cultura agraria, y uno de los mayores problemas que afecta a su producción es el factor climático, el cual es un factor no controlado por el productor y que puede impactar positiva o negativamente en el rendimiento y calidad del producto cosechado. De todos los factores ambientales que inciden sobre el cultivo de papa, tal vez la menos estudiada y comprendida —a pesar de su prioritaria importancia— sean las condiciones atmosféricas en el que está inmerso el cultivo y probablemente la temperatura del aire, la precipitación y el fotoperiodo son las variables ambientales que más impactan en este cultivo.

Es necesaria la cultura de usar la información climática, la cual es muy pobre entre los agricultores del valle y ahora más que antes dado que, en los últimos años, hay un cambio significativo en el clima y debemos adaptarnos.

En el presente trabajo se consideraron la precipitación, la temperatura ambiental y el fotoperiodo como variables representativas del sistema climático, los cuales influyen en la producción de papa, en una siembra tradicional en seco, de un agricultor de tecnología media a baja del valle, los que comúnmente utilizan las variedades Canchán (precoz) y Yungay (tardía) (Egúsquiza, 2000).

2. Materiales y metodología

2.1 Características del experimento

2.1.1 Lugar de ejecución

El trabajo de investigación se realizó durante la campaña agrícola 2007-2008 en dos distritos del Valle del Mantaro:

Distrito de El Tambo, en el lote 23 de la Estación Experimental Agropecuaria (EEA) Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), ubicado a 7 km al Norte de la ciudad de Huancayo, correspondiente al anexo de Hualahoyo;

Distrito de El Mantaro, en el lote 1 de la EEA El Mantaro de la Universidad Nacional del Centro del Perú, ubicado en el km 34 de la carretera central, margen izquierda. La información política y geográfica de ambas localidades se presenta en la tabla 1.

TABLA 1. Datos políticos y geográficos de ambas localidades

	El Tambo	El Mantaro
Lugar	EEA Santa Ana (INIA)	EEA El Mantaro (UNCP)
Distrito	El Tambo	El Mantaro
Provincia	Huancayo	Jauja
Departamento	Junín	Junín
Altitud	3270 msnm	3316 msnm
Latitud Sur	12° 00' 34.68"	11° 50' 03.58"
Longitud Oeste	75° 13' 16.80"	75° 23' 40.52"

2.2 Material genético

Se utilizaron dos variedades de papa: una tardía y otra precoz, las cuales fueron instaladas en ambas localidades:

Variedad tardía (Yungay)

Origen: (Saskia x Earline) x (Huagalina x Renacimiento), cruzamiento y selección de Carlos Ochoa Nieves de la UNALM, N.º CIP 720064, liberada por la UNALM, Lima en 1970 (figuras 1 y 2).



Figura 1. Planta var. Yungay en campo



Figura 2. Tubérculo var. Yungay

Variedad precoz (Canchán INIA)

Origen: BL-1.2 x Murillo III-80, cruzamiento y selección de Juan Landeo Cabezado del CIP y otros. N.º CIP 0389.1, liberada por el INIA en 1990 en la EEA Canchán-Huánuco (figuras 3 y 4).



Figura 3. Planta var. Canchán



Figura 4. Tubérculo var. Yungay

Las características generales de las variedades en estudio se presentan en la tabla 2.

TABLA 2. Característica varietal de Canchán y Yungay

Características	Yungay Variedad tardía	Canchán INIA Variedad precoz
Adaptación	Toda la sierra hasta los 3700 msnm	Sierra central hasta 3500 msnm y costa central
Color del tallo	Verde oscuro	Verde claro
Color del follaje	Verde oscuro	Verde claro
Color de la flor	Rojizo claro	Lila
Forma del tubérculo	Oval aplanado	Redondo
Color de la piel del tubérculo	Crema con manchas alargadas de color rosado alrededor de los ojos	Rojizo
Color de la carne del tubérculo	Amarillentas	Blanca
Ojos del tubérculo	Superficiales	Superficiales
Color de brotes	Morado intenso	Rosado intenso
Floración	Abundante	Escasa
Fructificación	Regular	Escasa
Periodo vegetativo (días)	150 – 210	120
Distancia entres surcos (m)	1,00 – 1,10	0,90
Distancia entre plantas (m)	0,30 – 0,40	0,30
Resistencia a la ranca	Tolerantes	Resistente
Rendimiento (t/ha)	Hasta 50 (alto porcentaje de tubérculos grandes)	30 (tubérculos medianos a grandes)
Materia seca %	20 – 24	25
Calidad culinaria	Muy buena	Buena

Fuente: Cabrera H.; Escobal F. Cultivo de la papa en la Región Cajamarca. INIA-TTA. Lima 1993. Elaboración: Ministerio de Agricultura, DGLA, Dirección de Análisis y Difusión.

2.3. Datos meteorológicos

Se utilizaron datos diarios de temperatura del aire tanto máxima como mínima, precipitación acumulada a las 7 y 19 horas, y las horas sol registradas diariamente en las estaciones meteorológicas de Santa Ana, ubicadas en el mismo terreno del INIA, en El Tambo y Jauja, como representativa de la región de El Mantaro, ya que no existe otra estación meteorológica más cercana. Ambas estaciones pertenecen al SENAMHI. Adicionalmente, se tomaron datos de lluvias usando, diariamente, un pluviómetro manual instalado en el campus de la Facultad de Agronomía de la UNCP. Para realizar el análisis relacionándolo con el cultivo, se agruparon los datos meteorológicos cada quince días según el estado fenológico del cultivo, que también fue evaluado cada quincena después de la emergencia del cultivo.

El fotoperiodo son las horas de luz diarias, y se determina a través de las formulas propuestas por García (1994). En este trabajo se llevó a cabo con la siguiente fórmula:

$$N = (2W)/15$$

$$N = \text{Fotoperiodo}$$

$$\cos W = -\text{tg}(\varnothing) * \text{tg}(\square)$$

$$W = \text{ángulo horario (de la salida del sol al medio día).}$$

$$\varnothing = \text{latitud}$$

$$\square = \text{declinación}$$

$$\square = \text{sen}^{-1}\{0.4 \text{sen}\{360/365(dn-82)\}\}$$

$$dn = \text{Número de días que pasaron en el año}$$

$$(M/N)*100 = \% \text{ horas sol}$$

$$M = \text{horas sol}$$

2.4. Metodología de la investigación

2.4.1. Universo de la investigación

El experimento se realizó en dos localidades: El Mantaro y El Tambo, y en cada localidad se instalaron dos tratamientos: Variedad Canchán y Variedad Yungay, siguiendo el siguiente esquema (figura 5).

A. LOCALIDADES	$a_1 = \text{El Mantaro}$
	$a_2 = \text{El Tambo}$
B. TRATAMIENTOS	$b_1 = \text{Variedad Canchán}$
	$b_2 = \text{Variedad Yungay}$
C. INTERACCIÓN (L*T)	$a_1b_1 = \text{El Mantaro-Canchán}$
	$a_1b_2 = \text{El Mantaro-Yungay}$
	$a_2b_1 = \text{El Tambo-Canchán}$
	$a_2b_2 = \text{El Tambo-Yungay}$

2.4.2. Características del experimento

Número de localidades	2
Número de tratamientos/localidad	2
Número de repeticiones	4
Número de plantas por tratamiento	150
Distancia entre surcos	0,9 m
Distancia entre plantas	0,30 m
Número de surcos por parcela	5
Longitud de la parcela	9 m
Área neta parcelar	40,5 m ²
Número de parcelas/localidad	8
Área neta por localidad	324 m ²
Área neta total	648 m ²
Área total experimental	984 m ²

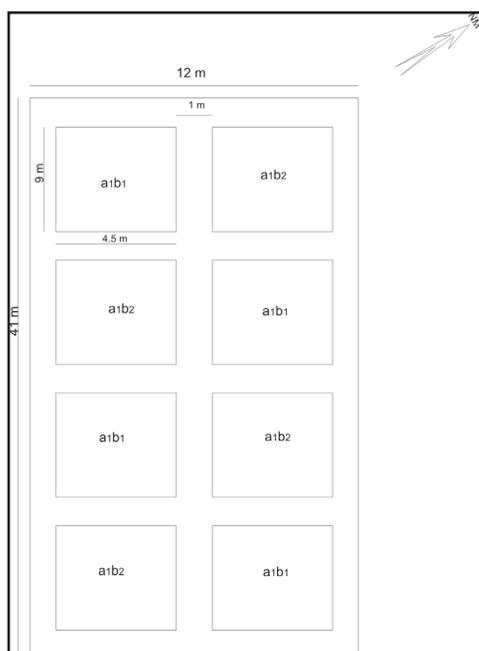


Figura 5. Croquis de desarrollo del experimento.

2.5. Conducción del experimento

El trabajo fue realizado bajo condiciones del agricultor, con tecnología media o baja en secano, siguiendo los siguientes pasos:

- Preparación del suelo
- Demarcación del terreno y trazado
- Fertilización
- Siembra
- Etiquetado de plantas
- Primer aporque y control de malezas
- Segundo aporque
- Control fitosanitario
- Corte de mata
- Cosecha
- Etiquetado de tubérculos
- Embolsado

2.6. Evaluaciones registradas

- Porcentaje de emergencia
 - Altura de planta
 - Área foliar
 - Peso de tubérculos por planta
 - Número de tubérculos por planta
 - Tamaño de tubérculos
- Asimismo, para el análisis se consideraron las siguientes variables meteorológicas:
- precipitación (mm)
 - temperatura (°C)
 - fotoperiodo (horas)

2.7. Análisis estadístico

El análisis estadístico se realizó, en base al modelo aditivo lineal para el análisis de varianza de BCR, con cuatro repeticiones para cada localidad, y el análisis de variancias combinado, para ambas localidades (Osorio, 1989). Cabe resaltar que se empleó la prueba de significancia de los promedios de los tratamientos según Tukey, con un nivel de significancia de 0,05 (Osorio, 2000). Para realizar el análisis de los datos meteorológicos relacionando el cultivo se emplearon las ecuaciones de la regresión lineal simple y múltiple.

3. Resultados y discusión

En el cultivo de papa, el componente más importante es el rendimiento, expresado en peso, de tubérculos por planta; por lo cual los resultados que se presentan a continuación se centran más en esta característica.

3.1. Peso de tubérculos por planta

Mediante el análisis estadístico de regresión y correlación lineal simple y múltiple realizado, se comprobó que, efectivamente, la temperatura, la precipitación y el fotoperiodo (en conjunto) influyen en 78,4% sobre el peso de tubérculos por planta, de los cuales la temperatura es la variable que más contribuye a explicar lo que ocurre con el peso del tubérculo.

La localidad que obtuvo mayor rendimiento es El Tambo, con un promedio de 1,009 kg de tubérculos por planta; lo cual, superó a la localidad de El Mantaro; esto se debe a las características climáticas que posee dicha localidad, donde la combinación de las variables en estudio hizo que finalmente en la localidad de El Tambo el promedio del rendimiento sea mayor. En la tabla 3, se muestra el promedio de la temperatura, el fotoperiodo y el acumulado de la precipitación hasta los 198 días después de la siembra del cultivo (cosecha de la variedad tardía) de El Tambo. La combinación de estas variables meteorológicas (en conjunto) influyó en el rendimiento; la temperatura es la variable que contribuye de forma significativa sobre el peso de tubérculos por planta.

TABLA 3. Características ambientales a los 198 días después de la siembra de la papa.

Localidad	Días	T. máx. (°C)	T. mín. (°C)	T. med. (°C)	PP. (mm)	Fotop. (horas)
El Mantaro	198	19,33	2,90	11,11	477,0	12,065
El Tambo	198	21,56	3,92	12,74	445,7	12,04

En cuanto a variedades, la que superó en rendimiento fue la Yungay (1,048 kg de tubérculos por planta), en comparación al rendimiento en El Mantaro (0,864 kg); esto debido al carácter genético que posee cada variedad donde la primera es tardía y posee mayor ciclo vegetativo; es de porte alto, desarrolla mayor área radicular, por lo cual normalmente rinde más que la variedad precoz como la Canchán.



Figura 6. Cosecha var. Yungay.



Figura 7. Cosecha var. Canchán.

La interacción (localidades x variedades) que obtuvo mayor rendimiento fue El Tambo-Yungay, con un promedio de 1,155 kg de tubérculos por planta; esto fue debido a la influencia ambiental sobre el carácter genético de cada variedad; es decir, tanto el carácter genético como el ambiental influyeron para que el peso de tubérculos por planta de esta interacción haya superado a los demás tratamientos.

3.2. Altura de la planta

La altura de la planta es un dato complementario, puesto que no siempre una mayor altura significa mejor rendimiento; es decir, tal característica no siempre es directamente proporcional al rendimiento, pero en este caso se comprobó que sí lo fue; por lo tanto, fue importante para el rendimiento de los tubérculos.

En cuanto a las localidades, se observó que en El Tambo las plantas (ambas variedades) con un promedio de 54,95 cm de altura de planta, a los noventa días después de la siembra, desarrollaron mayor altura que en El Mantaro, debido a la combinación de características climáticas que presenta aquel lugar.

En la tabla 4 se muestra que la combinación de las variables (13,04 °C; 203 mm y 11,41 horas de fotoperiodo en promedio hasta los noventa días después de la emergencia) en la localidad de El Tambo influyeron para que la altura de la planta haya superado a la de El Mantaro, donde, de la misma forma, la temperatura es la variable que influye significativamente sobre la altura de planta.

En cuanto a variedades, la Yungay, con un promedio de 59,08 cm de altura de planta a los noventa días después de la siembra, superó en altura a la de la variedad Canchán, tanto en la localidad de El Tambo como en la de El Mantaro. Esto se debe principalmente al carácter genético de esta variedad; la Yungay pertenece a la subespecie andígena, la cual es de porte alto; mientras que, la Canchán es de la subespecie tuberosum y generalmente es de porte bajo (figura 8).



Figura 8. Altura de planta a los 90 días de la variedad Canchán y Yungay en El Tambo.

La interacción Yungay-El Tambo, con una altura de 64,16 cm, fue mayor a los demás tratamientos; esto se debió a la influencia del ambiente sobre el carácter genético de las plantas. Es decir, tanto el carácter genético como el medio ambiente influyeron para que dicho tratamiento haya superado en altura a los demás.

En la figura 9 se muestra la distribución de la precipitación, la temperatura del aire y el fotoperiodo durante las fases fenológicas del cultivo en la interacción El Tambo-Canchán, que es en donde se obtuvo menor altura, menor área foliar y, por lo tanto, menor rendimiento. Se deduce, entonces, que estuvo expuesto a factores ambientales menos favorables que en las demás interacciones; por tal motivo, solo analizaremos esta interacción, donde se observa un déficit moderado de precipitación en el periodo de la emergencia, en el que hubo periodos prolongados de sequía que afectaron atrasando la emergencia y ocasionando que la semilla acabe rápidamente con todas las sustancias de reserva con las que posee. La emergencia de algunas plantas, pues, fue débil y el déficit en las lluvias, en la etapa de maduración, repercutió de esta manera en la acumulación de asimilados y en la baja del rendimiento. En cuanto a la temperatura y el fotoperiodo, ambos se encuentran dentro del nivel de tolerancia del cultivo, es decir, las condiciones ambientales en el Valle ya salen del nivel óptimo que requiere el cultivo, y entran al nivel crítico del requerimiento climático, sin embargo, este cultivo es tolerante a comparación a otros.

Tabla 4. Características ambientales a los noventa días después de la emergencia de la papa.

Localidad	Días	T. máx. (°C)	T. mín. (°C)	T. med. (°C)	PP. (mm)	Fotop. (horas)
El Mantaro	90	18,77	6,06	12,41	235,6	11,40
El Tambo	90	20,35	5,72	13,04	203,0	11,41

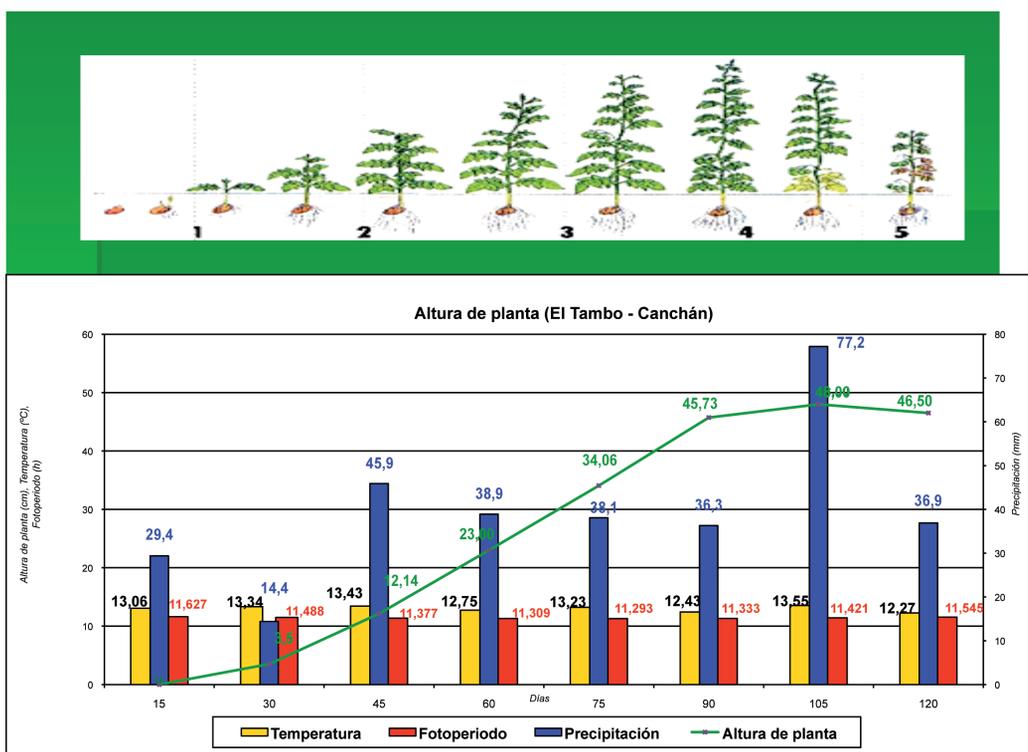


Figura 9. Variables climáticas y altura de la papa variedad (Canchán en El Tambo)

3.3. Área foliar

Al igual que la altura de la planta, el área foliar es un dato complementario, y se comprueba, en este experimento, que ambos influyen directamente en el peso de los tubérculos, por tanto es importante el porte de la planta en el resultado final (rendimiento).

3.4. Variables climáticas de ambas localidades

Para comprobar si hay diferencia entre las variables climáticas en ambas localidades, se hizo un resumen de los datos meteorológicos, agrupándolos cada quince días, desde la fecha de siembra hasta la de cosecha, y se consideró el tiempo de duración de la variedad de ciclo vegetativo más largo.

Mediante la prueba estadística de t de student (tabla 5), se determinó que solo la temperatura es variable entre ambas localidades, mientras que la precipitación y el fotoperiodo se consideran estadísticamente similares entre ambas localidades estudiadas.

4. Conclusiones

Las variables climáticas en conjunto influyen en un 78,4% sobre el rendimiento del cultivo de papa, donde la temperatura es la variable que contribuye de forma significativa a explicar lo que ocurre con el peso de tubérculos por planta. La interacción (El Tambo-Yungay) en altura de planta (64,16cm), en área foliar (24,65 cm²) y en peso de tubérculos por planta (1,115kg) superó estadísticamente a las demás interacciones.

Existe diferencias en la temperatura entre ambas localidades; mientras que la precipitación y el fotoperiodo son estadísticamente similares.

5. Recomendaciones

Se recomienda realizar la réplica del presente trabajo en dos épocas diferentes de siembra para así diferenciar el efecto ambiental en por lo menos tres localidades.

TABLA 5. Prueba t (Student) para las variables climáticas (temperatura, precipitación y fotoperiodo), en las localidades de El Mantaro y El Tambo.

	Temperatura °C	media	Precipitación (mm)	acumulada	Fotoperiodo (horas)	
	El Mantaro	El Tambo	El Mantaro	El Tambo	El Mantaro	El Tambo
Suma	155,40	163,88	477,0	445,70	151,72	151,50
Promedio	11,95	12,61	36,69	34,28	11,67	11,65
Variancia	0,466	0,449	289,394	437,711	0,128	0,122
tc	-2,459	0,322	0,119			
ta/2 (gl)	2,18	2,18	2,18			
Sig.	*	n.s.	n.s.			

Se aconseja incorporar más variables independientes para estimar mejor la ecuación de regresión múltiple.

Es preciso realizar este tipo de trabajo por varias campañas consecutivas para estimar un pronóstico con mayor seguridad.

6. Agradecimientos

El autor del presente trabajo expresa su gratitud al Instituto Geofísico del Perú (IGP) e INCAGRO por el financiamiento de la tesis.

7. Referencias bibliográficas

- **Egúsquiza, B. R. (2000).** *La papa: Producción, transformación y comercialización*. Publicación A. B. PRISMA y del Proyecto PAPA ANDINA.
- **Elias, C. F. (2001).** *Agrometeorología*. 2.^a edición. INIA. Departamento del medio ambiente y ciencias del suelo. Madrid: Universidad de Leida.
- **García, J. (1994).** *Principios físicos de la climatología*. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Ediciones UNALM.
- **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 grado de Ingeniera agrónoma. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.
- **Horton, Douglas. (1992).** *La papa: producción, comercialización y programas copublicación del Centro Internacional de la papa (CIP)*. Lima: Edit. Hemisferio sur Montevideo.
- **Osorio, P. G. (2000).** *Glosario de Estadística y diseños experimentales*. Huancayo: Facultad de Agronomía, Universidad Nacional del Centro del Perú.
- **Osorio, F. O. (1989).** *Métodos estadísticos aplicados a la estadística: conceptos fundamentales sobre diseños de experimentos*. Editorial IICA. Honduras.

Influencia de la temperatura y la precipitación en el cultivo de maíz amiláceo (*zea mays l.*) Cv. San Gerónimo y Blanco Urubamba en el valle del Mantaro

Influence of temperature and precipitation on soft corn (*zea mays l.*) San Gerónimo and Blanco Urubamba varieties in the Mantaro valley

Alex A. Ochoa Acevedo¹

Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo

■ RESUMEN

El siguiente trabajo de investigación tiene por 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. Esta investigación se desarrolló en dos localidades del valle del Mantaro: El Tambo y El Mantaro, con el propósito de observar y analizar en campos experimentales el comportamiento de la precipitación y la temperatura, y en qué forma éstas influyen en el desarrollo y rendimiento de dos variedades de maíz amiláceo. Se utilizó el diseño experimental de Bloques Completos al Azar con el análisis de varianza combinado para su interpretación e interrelación en ambas localidades y variedades. Se concluye que la temperatura y la precipitación son factores determinantes para el rendimiento final de ambas variedades, en especial para el Blanco Urubamba, que tiene mayor requerimiento hídrico.

Palabras clave: maíz amiláceo, valle del Mantaro, influencia de temperatura y precipitación en el maíz.

■ ABSTRACT

The objectives of this work are: a) to analyze the influence of rainfall and temperature on San Gerónimo and Blanco Urubamba corn varieties at two locations in the Mantaro valley; b) to identify variations in precipitation and temperature in the two study locations. This work was developed in two locations in the Mantaro valley: El Tambo and El Mantaro; b (it was already mentioned in the objectives). For the experimental design Randomized Complete Block was applied, with analysis of variance combined for interpretation and interaction in both locations and varieties. We conclude that temperature and precipitation are major factors in determining final yield of both varieties, especially for Blanco Urubamba, which presents a higher water requirement

Key word: corn starch, Mantaro valley, temperature and precipitation influence in corn.

¹E-mail: aaoa_2@hotmail.com

1. Introducción

El maíz amiláceo es uno de los principales cultivos y constituye uno de los productos básicos para el consumo humano en nuestro País. Es la sierra central la que tiene mayor área dedicada a este cultivo. El valle del Mantaro es la mayor productora de maíz de grano seco y abastece al principal mercado de Lima, aportando con aproximadamente el 20% de la producción nacional (DGIA, 2008). Sin embargo, estando ubicado en la sierra altoandina del Perú, presenta ambientes bastante variados, con insuficientes e irregulares precipitaciones que provocan periodos de escasez de agua y variaciones de temperatura que van desde los 0,7°C a 21°C aunque alcanza muchas veces valores bajo cero, lo que afecta a los cultivos. Aún con estas condiciones negativas, el maíz amiláceo es el principal cultivo; su siembra está limitada al uso de variedades muy tradicionales y complejas, como la variedad Blanco Urubamba y San Gerónimo. Sus rendimientos son bajos, dado a que es cultivado mayormente por pequeños y medianos agricultores, quienes lo producen para autoconsumo o su pequeña comercialización, ya sea en el estado de choclo o grano. Constituye además una base fundamental de su alimentación y economía. Las variedades más comerciales son aquellas que muestran buena característica de mazorca con hileras bien conformadas y granos medianos o grandes, como el Blanco Urubamba, que es la preferida en el mercado de maíz amiláceo, sin embargo, tal variedad es de un periodo vegetativo largo, lo que la hace susceptible al frío, por tanto, tiene mayor requerimiento de agua y necesita un manejo agronómico adecuado. Estos factores hacen que aumenten los riesgos y reduzca notoriamente la rentabilidad a causa de las variaciones en el clima que se presentan con bastante frecuencia en los últimos años.

2. Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó en dos localidades dentro del valle del Mantaro, en el distrito de El Mantaro en la EEA El Mantaro de la UNCP, y en el distrito de El Tambo en la EEA Santa Ana del INIA. Es recomendable revisar para mayor detalle sobre la ubicación de estos campos experimentales a Giráldez (2010) en este mismo capítulo.

Las variedades de maíz utilizadas en el presente estudio estuvieron constituidas por San Gerónimo (obtenida por cruzamiento de San Gerónimo Junín x San Gerónimo Huancavelica, en el año 1970 por la UNALM) como se muestra en la figura 1, y el Blanco Urubamba (variedad nativa adaptada del Urubamba por varios años en Junín). Se muestra, en la figura 2, variedades con valor económico y cultural en la zona del valle de El Mantaro.



Figura 1. Maíz de la variedad San Gerónimo.



Figura 2. Maíz de la variedad Blanco Urubamba.

Esta investigación se realizó en la campaña agrícola 2007-2008, en octubre, y se inició con la siembra en los campos experimentales agropecuarios Santa Ana (El Tambo) y El Mantaro, donde se adoptaron las condiciones de un pequeño y mediano agricultor de la zona, tomando en consideración las condiciones de secano (cultivo dependiente de la precipitación) para determinar la influencia de los dos factores en estudio sobre el cultivo de maíz amiláceo.

Las características de las parcelas experimentales de las localidades ya mencionadas fueron las siguientes: distancia entre surcos 0.80 m, distancia entre golpes de 0,40 m (variedad San Gerónimo) y 0,50 m (variedad Blanco Urubamba), número de surcos 5, longitud de surco 9 m, área neta experimental por localidad 288 m² y área neta experimental de 576 m². La conducción del experimento se llevó a cabo de acuerdo a lo previsto en el proyecto, por ejemplo, muestreo y análisis de suelos (figura 3), preparación de suelo, demarcación y trazado, siembra, abonamiento, desahije, control de malezas, control fitosanitario, cosecha (figura 4).



Figura 3. Extracción de muestreo de suelos.



Figura 4. Evaluación para la cosecha.

Para las evaluaciones de la investigación se utilizó el diseño experimental de Bloques Completos al Azar

(Vásquez, 1990), con cuatro repeticiones; cada una tuvo dos tratamientos (variedades), y los caracteres medidos fueron el peso de mil semillas, porcentaje de emergencia (figura 5), días al 50% de floración masculina y femenina (figura 6), altura de planta y a la inserción de mazorca superior, número de plantas por parcela, número de mazorcas por parcela, número de granos por mazorca, rendimiento de mazorca y rendimiento de grano kg/ha. De las evaluaciones registradas se tomaron en consideración los tres surcos centrales, de los cuales diez plantas fueron tomadas al azar para la extracción de datos y su posterior análisis. De la extracción de datos calculó un promedio de cada tratamiento, para cada característica de planta evaluada, estimando el efecto ambiental influenciado por la temperatura y precipitación.



Figura 5. Emergencia de plantas.



Figura 6. Floración, variedad San Gerónimo.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza de Bloques Completos al Azar, combinando los dos ambientes. El análisis se hizo considerando ambientes y materiales genéticos (variedades) como factores de efectos fijos, de modo que el cuadrado medio del error general pudo ser usado para las pruebas de significación de cada factor de evaluación y luego comparándolos mediante la prueba de significación de Tukey al 5% para ver los efectos de la influencia de la precipitación y la temperatura.

3. Resultados

En el análisis de varianza combinado (dos localidades y dos variedades) se indicaron efectos significativos y la influencia directa de la precipitación y temperatura en los rendimientos, donde en la prueba de significación de Tukey al 5% mostró los promedios de los tratamientos que se realizaron para el peso de grano (kg/ha). En la tabla 1 de la prueba significación de Tukey al 5% se observa que en la interacción (localidad x variedad), Santa Ana-San Gerónimo obtuvo un mejor rendimiento con 1389,3 kg/ha seguido de

El Mantaro-San Gerónimo con 1320,4 kg/ha, rendimientos de promedio bajo que no mostraron significación estadística entre ellas por las características de esta variedad, pero sí se notó una diferencia estadística altamente significativa con las interacciones El Mantaro-Blanco Urubamba, que obtuvo un rendimiento de 1144,2 kg/ha, seguido de Santa Ana-Blanco Urubamba, con un rendimiento de 1059,1 kg/ha, presentando rendimientos muy bajos para ambas localidades, lo cual demuestra la influencia directa que tuvo la precipitación y la temperatura. Con esto se remarca que la variedad Blanco Urubamba debió obtener mejores resultados en rendimiento por las características genéticas de dicha variedad.

TABLA 1. Prueba de significación de los promedios de los tratamientos para el peso de grano (kg/ha) para las interacciones AB (localidades x variedades), según Tukey al 5%.

OM	Interacción	Rto. Prom. (kg/ha)	Significación
1	Santa Ana-San Gerónimo	1.389,3	a
2	El Mantaro-San Gerónimo	1.320,4	a b
3	El Mantaro-Blanco Urubamba	1.144,2	b c
4	Santa Ana-Blanco Urubamba	1.059,1	c

La Influencia de precipitación y temperatura en la fenología del maíz amiláceo se determinó con la escala fenológica más utilizada para describir el ciclo del cultivo de maíz de Ritchie & Hanway (1982). En esta escala se puede visualizar dos grandes etapas: la vegetativa (V) y la reproductiva (R). En ella se muestra la subdivisión numérica de la fase vegetativa en la que empieza con la emergencia (VE), primera hoja (V1), segunda hoja (V2) hasta la culminación de la enésima hoja (Vn), de acuerdo a la variedad y culminando con el periodo vegetativo con el panojamiento o floración masculina (VT); en la etapa reproductiva se comienza con la emergencia de estigmas u flor femenina (R1), cuaje o ampolla (R2), grano lechoso (R3), grano pastoso (R4) y culmina en madurez fisiológica (R6). En la figura que se presenta podemos identificar, de manera clara, cada fase del cultivo, y determinar la influencia de la temperatura y precipitación en todas sus fases fenológicas del cultivo.

En la figura 7, podemos observar el desarrollo del cultivo en función al comportamiento de la precipitación y temperatura de la campaña agrícola 2007-2008. Se identificaron, pues, las fases sensibles del cultivo en el que se observa que en la fase de panoja 15 días se registró una precipitación acumulada de 55,9 mm y una temperatura mínima de 4,4 °C; la fase de espiga 10 días registró una precipitación acumulada de 24,7 mm y una temperatura mínima de 3,8; la polinización 12 días registro una precipitación acumulada de 21,1 mm y una temperatura mínima de 5,8 °C, y en la fase de maduración 45 días se registró una precipitación acumulada de 177,1 mm y una temperatura mínima de 1,4 °C. Son los 82 días mas sensibles de las fases.

La variedad San Gerónimo, en la localidad de Santa Ana, solo se registró 481,1 mm de precipitación acumulada durante todo su ciclo; no alcanzó sus requerimientos mínimos para que este cultivo se desarrolle en forma normal al igual que las temperaturas mínimas registradas, observadas en la figura 7, resaltando así que en la fase de polinización, después

de la parición de la panoja, se extiende por unas semanas, la fecundación del polen sobre los ovulos; no puede afectarse si no existe humedad suficiente y temperatura moderada, por lo que estas condiciones son fundamentales, pues los óvulos no fecundados en ese periodo no lo harán después, determinando que durante todo este tiempo la disponibilidad hídrica debe ser significativa y la temperatura óptima. La deficiencia hídrica repercute en el bajo rendimiento del cultivo. Fereyra y Selles (1997) aseguran que la mayor disminución en los rendimientos de grano la ocasiona el déficit de agua durante el periodo de floración incluyendo la formación de la inflorescencia, la formación de estigma y la polinización; debido principalmente a una reducción de número de granos por mazorca, mientras que Bolaños (1995) afirma que la temperatura es el elemento primario que influye más sobre el desarrollo del maíz. Los cultivares se clasifican en los siguientes: de madurez temprana o tardía, en base a sus requerimientos térmicos para cumplir ciertas fases del desarrollo. El tiempo térmico es una medida de la temperatura acumulada por encima de un mínimo y por debajo de un máximo adecuados para el desarrollo. Las unidades de tiempo térmico son los grados-días. La floración es generalmente usada como el evento del desarrollo que caracteriza los cultivares como tempranos o tardíos. Andrade *et al.* (1997) nos mencionan que dentro de la fenología de maíz

se 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 de que transcurre el tiempo.

En el periodo fenológico del cultivo de maíz Blanco Urubamba, se observa en el figura 8, que en la localidad de Santa Ana, durante las fases de panoja, espiga, polinización y maduración, los días más sensibles a la humedad y temperatura fueron claves para el rendimiento. En esta figura, se puede observar que la precipitación máxima alcanzada en la fase de panoja en quince días se registró una precipitación acumulada de 59,2 mm, y una temperatura mínima de 4,6 °C; en la fase de espiga en 12 días se registró una precipitación acumulada de 37,7 mm y una temperatura mínima de 1,4 °C; en la fase de polinización se registró una precipitación acumulada de 45,3 mm y una temperatura mínima de 2,8 °C, y en la maduración se registró una precipitación acumulada de

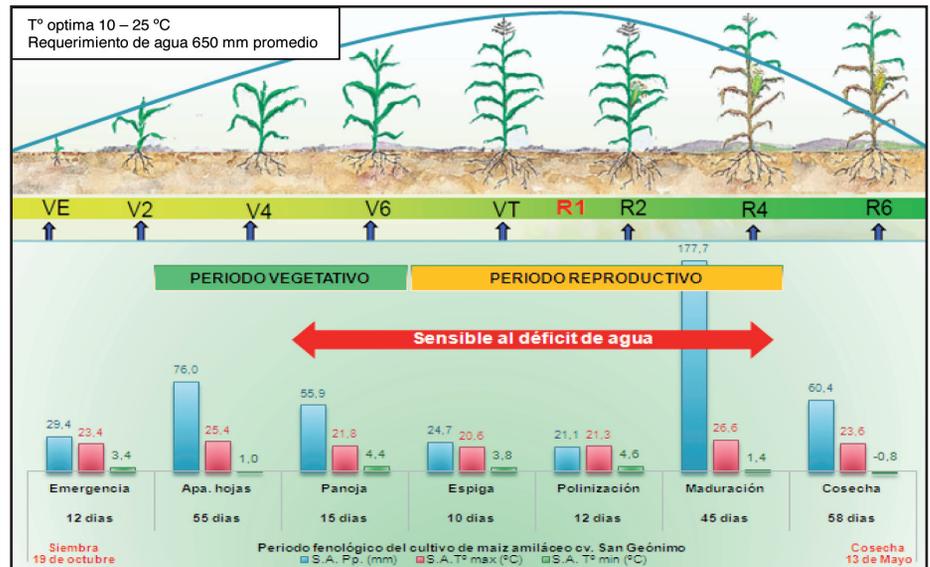


Figura 7. Precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase fenológica del cultivo de maíz amiláceo cv. San Gerónimo, Santa Ana.

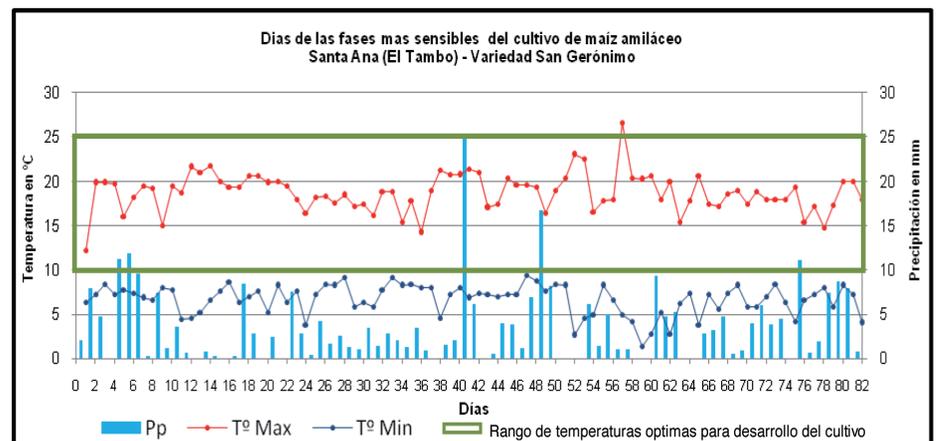


Figura 8. Frecuencia de precipitaciones y temperaturas observadas en Santa Ana en las fases más sensibles del cultivo de maíz var. San Gerónimo y rangos óptimos de temperatura.

105,4 mm y una temperatura mínima de -0,8 °C. Se remarca que las precipitaciones y temperaturas mínimas fueron los factores importantes que influyeron directamente al cultivo, tal como muestran los registros durante las fases más sensibles, donde la precipitación acumulada en todo el ciclo del cultivo registró 467,8 mm, y las temperaturas mínimas registradas no favorecieron a la planta, ya que fueron rangos que estuvieron muy por debajo del mínimo requerido. Se menciona y resalta que en la fase de cuaje (R2) a la madurez fisiológica (R6) se registra ausencia de precipitaciones y temperaturas bajas, y en las etapas que corresponden al llenado de grano, las necesidades de agua son necesarias para la incorporación sustancial de reservas. A partir del grano pastoso, éste comienza un activo proceso de desecación por lo la falta de agua en la etapa de llenado de grano. Esto afecta directamente al peso final del grano y, lógicamente, al rendimiento del cultivo. Marmolejo (2000) asegura que los daños que ocasionan las

bajas temperaturas o heladas en las plantas son las principales causas de los bajos rendimientos del cultivo. Asimismo, 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. Valentinuz y Papparotti (2004) concuerdan en que es conocida la gran caída del rendimiento de maíz en situaciones de estrés abiótico, como por ejemplo la falta de agua y 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 drásticamente al maíz. Si esto ocurre durante el periodo de floración, los rendimientos pueden caer hasta una décima del rendimiento potencial.

En la tabla 2, se observan los rendimientos del peso de granos de maíz para ambas variedades en las dos localidades. Se obtuvo como resultado en los rendimientos lo siguiente: la variedad San Gerónimo registró 1320,0 kg/ha en Santa Ana (El tambo), mientras que en El Mantaro se obtuvo 1390,0 kg/ha; en la variedad Blanco Urubamba 1144,0 kg/ha en Santa Ana (El Tambo), y en El Mantaro 1060,0 kg/ha. Lo esperado de los rendimientos es que la variedad Blanco Urubamba obtenga mejores rendimientos por sus características, pero esto no fue así. También se observa que en la localidad de El Mantaro fue superior la precipitación con respecto a Santa Ana, sin embargo, ésta fue menor que el requerimiento de agua para el cultivo. Según Nicosia y Martín (2004), el cultivo de maíz tiene buen comportamiento en el desarrollo con precipitaciones de hasta 700 mm, y por debajo de ello conviene el 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 haciendo un total de 700 a 1000 mm, lo que no se aplicó en el presente estudio.

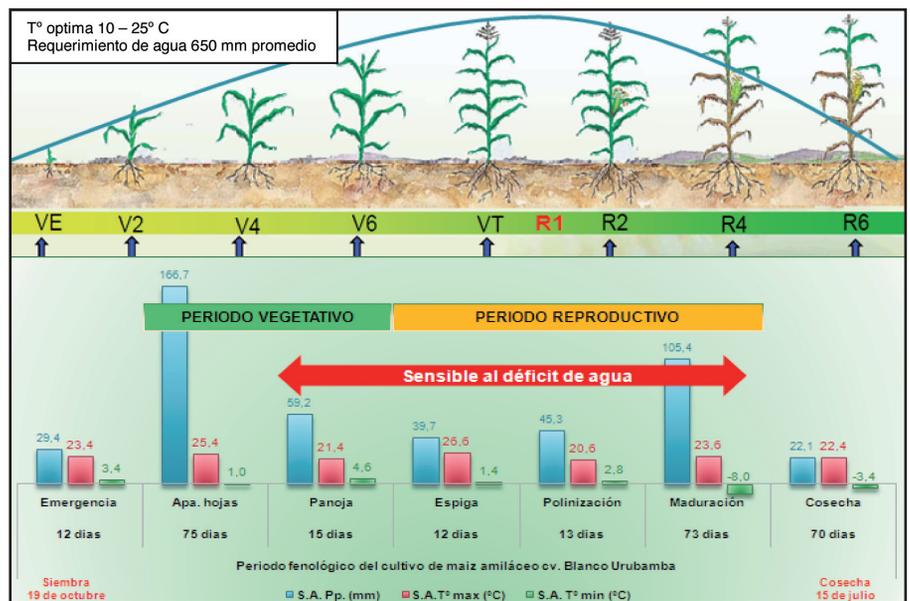


Figura 9. Precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima durante la fase fenológica del cultivo de maíz amiláceo cv. Blanco Urubamba, Santa Ana.

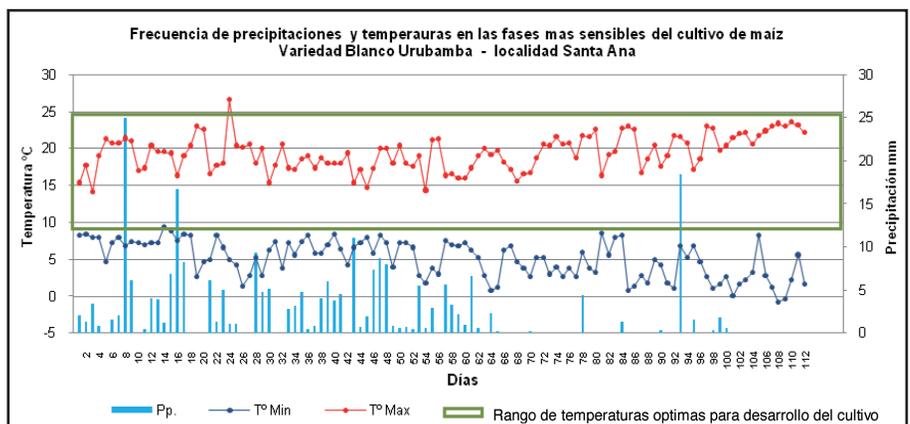


Figura 10. Frecuencia de precipitaciones y temperaturas observadas en Santa Ana en las fases más sensibles del cultivo de maíz var. Blanco Urubamba y sus rangos óptimos de temperatura.

TABLA 2. Comparación del peso de grano de maíz (t/ha) y precipitación en El Mantaro y El Tambo para ambas variedades.

Localidades	Variedades	Precipitación mm	Rendimiento kg/ha
Santa Ana	San Gerónimo	445,7	1.320,0
Santa Ana	Blanco Urubamba	467,8	1.144,0
El Mantaro	San Gerónimo	481,1	1.390,0
El Mantaro	Blanco Urubamba	496,0	1.060,0

4. Conclusiones

En el cultivo de maíz amiláceo, el resultado más importante dentro de las características analizadas es el rendimiento, debido a la sensibilidad de este cultivo, a la ausencia de agua y bajas temperaturas. Esto se obtiene del análisis de varianza y las pruebas de Tukey. Cabe destacar que la ausencia de precipitación en días claves del desarrollo del ciclo del maíz fue determinante para los rendimientos obtenidos, y el otro factor importante que es la temperatura afectó considerablemente a las variedades tardías (Blanco Urubamba); además se observó que la escasez de precipitaciones en esta época originó que estas variedades tardías no tengan un buen llenado de grano. También se pudo determinar que las variedades tardías presentaron ligeros tumbados de plantas, reacciones propias de falta de agua.

Según la evaluación del peso de 1000 semillas después de la cosecha, la variedad Blanco Urubamba fue ligeramente superior a San Gerónimo, sin embargo, en ambas variedades se encontró que el peso fue inferior al peso de 1000 antes de la siembra, lo que no ocurre cuando el cultivo es manejado bajo condiciones de riego.

Por otro lado, el número de mazorcas por planta entre localidades no varía significativamente; mientras que entre variedades los promedios fueron en general superiores para la de San Gerónimo. Asimismo, el peso de mazorca fue mayor en El Mantaro para la variedad Blanco Urubamba

En la localidad de El Mantaro se presentó mayor precipitación con respecto a Santa Ana, pero menor temperatura, sin embargo, la precipitación fue inferior al requerimiento de agua para el cultivo de maíz, lo que repercutió en el rendimiento, especialmente para la variedad Blanco Urubamba.

El cultivo de maíz de periodo corto presentan los máximos potenciales de producción, mientras no ocurran deficiencias hídricas severas en la floración; esto ocurre porque aprovechan las mejores condiciones ambientales para el crecimiento del cultivo, la fijación de un alto número de granos y la producción de asimilados en la planta para abastecer el llenado de los granos.

5. Agradecimientos

Se hace extensivo el agradecimiento 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", ejecutado por el Instituto Geofísico del Perú (IGP) con financiamiento del Fondo para el Desarrollo de Servicios Estratégicos FDASE de INCAGRO, ya que este estudio se desarrolló como trabajo de Tesis para optar el título de Ing. Agrónomo en la Universidad

Nacional del Centro del Perú (Huancayo); también se agradece al Asesor de la tesis MSc. César Aquino Zacarías, y a la gratitud del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA) por las facilidades y apoyo brindado, en especial al Ing. Óscar Garay Canales.

6. Referencias bibliográficas

- **Andrade et al. (1997).** *Densidad de plantas en maíz.* CERBAS, INTA, EEA Balcarce. Boletín Técnico 108.
- **Bolaños, J. (1995).** *Physiological bases for yield differences in selected maize cultivars from Central America.* *Field Crops Res.*, 42: 69-80.
- **Dgia (2008).** Intensiones de siembra campaña agrícola agosto 2007-julio 2008. Lima: Ministerio de Agricultura.
- **Ferreyra, E. y Selles, G. (1997).** Manejo de Riego en Condiciones de Restricciones Hídricas. *Instituto de Investigaciones Agropecuarias, Serie la Plantina N.º 67.* Chile.
- **Giráldez, S. 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.
- **Marmolejo, D. (2000).** *Mejoramiento genético de plantas cultivadas.* Huancayo: Facultad de Agronomía de la Universidad Nacional del Centro del Perú.
- **Nicosia y Martín (2004).** Producción de maíz (parte 2). Algunos aspectos. Cat. forrajes y Cereales. Facultad de Agronomía: Tucumán.
- **Ritchie, S. & J. J. Hanway (1982).** *How a corn plant develops.* Iowa State Univ. of Science and Technology. Coop. Ext. Service.
- **Valentinuz y Paparotti (2004).** *Rendimiento potencial y tolerancia al estrés de maíz.* Buenos Aires.
- **Vásquez, A. V. (1990).** *Experimentación agrícola. Diseños estadísticos para la investigación científica y tecnológica.* Lima: Editores Amaru.
- **UNALM (1970).** *El Programa de Cereales y Leguminosas en el área de maíz realiza las investigaciones respecto a su mejoramiento genético, agronómico y transferencia de tecnología.* Lima.

Influencia de la precipitación y la temperatura en el cultivo de quinua (*chenopodium quinoa wild.*) Cultivar Hualhuas y Blanca de Junín en el valle del río Mantaro

Influence of precipitation and temperature on the cultivation of quinoa (*chenopodium quinoa wild.*) Hualhuas and Blanca de Junín varieties in the Mantaro valley

Gilberto Grober Galindo Chacón¹

Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo

RESUMEN

El presente trabajo de investigación tiene por objetivo determinar la influencia de la variabilidad de precipitación y temperatura del aire en dos variedades de quinua: Hualhuas y Blanca de Junín en dos localidades del valle del río Mantaro (El Mantaro y El Tambo). Se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar, con el análisis de varianza combinado para su interpretación e interrelación entre ambas localidades y variedades, con lo cual se concluyó que la influencia de la precipitación y temperatura fueron los factores determinantes en los resultados obtenidos en la producción de esta campaña agrícola, especialmente en la variedad Blanca de Junín, que no alcanzó el rendimiento esperado, debido a que es una variedad tardía (periodo vegetativo más largo), y por lo tanto estuvo más tiempo expuesto a condiciones climáticas extremas. Por otro lado, en la localidad de El Mantaro, la precipitación fue superior a El Tambo, pero la temperatura fue inferior. Si bien la precipitación estuvo dentro del rango requerido de agua para el cultivo de quinua, la frecuencia de estas influyó en el rendimiento de ambas variedades.

Palabras clave: El Mantaro, Fenología, precipitación, quinua, temperatura.

ABSTRACT

This research aims to find out the effect of precipitation and air temperature variability on two varieties of quinoa (Blanca de Junín and Hualhuas), at two different localities of the Mantaro River Valley (El Mantaro and El Tambo). For the experimental design, the Randomized Complete Block technique was used, with the analysis of combined variance, for interpreting and relating the two different sites and varieties.

It was found that precipitation and air temperature are determining factors in the production obtained in the current agricultural season, especially in the Blanca de Junín yield, which could not perform well because of its longer growing season(it spent more time exposed to extreme weather conditions). In El Mantaro location, the precipitation was greater than in Santa Ana, but the air temperature was lower; precipitation was within the range of water required for quinoa crops, but the frequency of this precipitation influenced the performance of both varieties.

Key word: El Mantaro, Phenology, precipitation, quinoa, temperatura

1. Introducción

El cultivo de quinua es una actividad de gran importancia en la sierra peruana desde tiempos ancestrales hasta la fecha. Se cultiva en zonas áridas y semiáridas de los Andes. Tiene una gran adaptabilidad, tanto en latitud como en altitud, encontrándose en el Perú desde Tacna hasta Piura, y desde el nivel del mar hasta los 4 000 metros de altura (FAO). La quinua constituye uno de los elementos más importantes de la dieta alimenticia de la población humana, principalmente en los Andes peruanos, debido a sus propiedades nutricionales. En el valle del río Mantaro, la quinua es uno de los cultivos más populares, aunque allí están expuestos a las variaciones del clima, las cuales son bastante extremas, como son las sequías o heladas, que algunos autores (Trognitz) sugiere el mejoramiento genético como alternativa para la mejor adaptación de la quinua a climas hostiles como los del valle del río Mantaro. Actualmente, en el valle del Mantaro, se vienen observando variaciones en el clima como sequías prolongadas y presencia de lluvias en fechas que antes no se presentaban; estas variaciones, en muchos casos, son la causa del bajo rendimiento de los cultivos de la zona. Es por ello que en este trabajo se pretende entender tanto el comportamiento del clima como la influencia de este en las diversas fases fenológicas de la quinua, y finalmente en el rendimiento de esta semilla.

2. Materiales y métodos

El trabajo de investigación se realizó en dos localidades dentro del valle del Mantaro: en el distrito de El Mantaro en la Estación Experimental Agropecuaria El Mantaro de la UNCP, y en el distrito de El Tambo en la Estación Experimental Agropecuaria Santa Ana del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA). Mayor detalle sobre la ubicación de estos campos experimentales en Giráldez (2010) en este capítulo.

Las variedades de quinua utilizadas en el presente estudio fueron Hualhuas (figura 1) y Blanca de Junín (figura 2), cuyas características se describen en la tabla 1.

El material genético, en ambas variedades, proviene del Programa de Cultivos Andinos de la Estación Experimental Agropecuaria "El Mantaro".

Tabla 1. Características de las variedades de quinua utilizadas en el estudio.

Variedad	Característica	Periodo vegetativo	Procedencia	Rendimiento t/ha
Hualhuas	Grano mediano, blanco, bajo contenido en saponina	Semitardío	Junín – UNCP Ing. Herquinio	3,5 a 4,0
Blanca de Junín	Grano blanco, bajo contenido en saponina	Tardío	Junín	3,5 a 4,0



Figura 1. Quinua variedad Hualhuas.



Figura 2. Quinua variedad Blanca de Junín.

El estudio se realizó en los campos experimentales agropecuarios Santa Ana del INIA (El Tambo) y El Mantaro de la UNCP, durante la campaña agrícola 2007-2008; se inició en el mes de octubre con la siembra. Las condiciones utilizadas fueron las de un agricultor de la zona con tecnología mediana, en seco, para determinar la influencia de la precipitación y temperatura sobre el cultivo de quinua en las dos variedades.

La características de las parcelas experimentales de las localidades ya mencionadas, fueron distancia entre surcos 0,80 m, la siembra fue a chorro continuo, número de surcos 5, longitud de surco 9 m, área neta experimental por localidad 288 m² y área neta experimental de 576 m². La conducción del experimento se llevó a cabo de acuerdo a lo previsto, considerando los siguientes pasos: muestreo y análisis de suelos, preparación de suelo, demarcación y trazado del terreno, siembra, abonamiento, desahije, control de malezas, control fitosanitario, cosecha. En la figura 3, se puede apreciar la demarcación del campo de cultivo para iniciar la siembra, así como la evaluación del cultivo en la etapa de panojamiento (figura 4).

Valores pronosticados y observados en la estación Huayao de los últimos 12 meses

	Ago 09	Sep 09	Oct 09	Nov 09	Dic 09	Ene 10	Feb 10	Mar 10	Abr 10	May 10	Jun 10	Jul 10
Valores mensuales de Precipitación (mm)												
Climatología	19.3	45.2	68.5	68.2	93.1	120.3	138.5	110.8	61.1	16.9	9.1	5.8
Observado	32.0	25.3	34.4	97.1	115.6	165.6	83.0	87.9	24.5	NA	NA	NA
Pronóstico	20.8	32.7	78.7	74.3	82.8	145.5	134.6	110.8	54.6	17.2	7.2	2.4
Porcentaje*										-11.1%	-25.0%	-60.0%
Valores mensuales de Temperatura Mínima del aire (°C)												
Climatología	2.0	4.2	5.3	5.5	5.9	6.7	6.7	6.4	4.8	2.0	0.8	0.2
Observado	3.7	5.8	6.4	8.1	7.2	7.5	7.8	7.9	6.4	NA	NA	NA
Pronóstico	2.2	4.1	6.3	6.4	5.9	6.9	7.3	6.9	7.8	2.5	1.5	0.7
Porcentaje*										-7.4%	155.5%	-58.4%
Valores mensuales de Temperatura Máxima del aire (°C)												
Climatología	20.6	20.3	20.5	20.8	19.9	18.5	18.5	18.4	19.2	19.8	19.4	19.3
Observado	20.4	21.1	21.8	20.3	19.9	19.5	20.0	20.0	20.7	NA	NA	NA
Pronóstico	20.2	19.5	20.3	21.0	19.9	19.1	20.9	19.3	19.1	19.4	19.9	18.8
Porcentaje*										-4.0%	-2.7%	-5.3%

Figura 3. Demarcación de campo en la localidad de El Mantaro.



Figura 4. Cultivo de Blanca de Junín en etapa de panojamiento en El Mantaro.

Para las evaluaciones de la investigación, se utilizó el diseño experimental de bloques completos al azar (Vásquez, 1990), con cuatro repeticiones. Cada repetición tuvo dos tratamientos (variedades de quinua), en los cuales las características medidas fueron peso de mil semillas, porcentaje de germinación, emergencia de plántulas en campo (figura 5), días de panojamiento, días al 50% de floración, días al estado de grano lechoso, altura de planta, diámetro de panoja y peso de grano kg/ha. De las evaluaciones registradas se tomaron en consideración los tres surcos centrales, de los cuales diez plantas fueron tomadas al azar con el fin de extraer datos para su análisis. De la extracción de datos, se calculó un promedio de cada tratamiento para cada característica de planta evaluada, estimando el efecto (temperatura y precipitación).

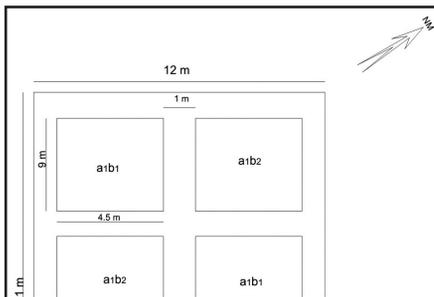


Figura 5. Quinua variedad Hualhuas.



Figura 6. Variedad Blanca de Junín en panojamiento, localidad de El Mantaro.

Los datos fueron sometidos a un análisis de varianza de bloques completos al azar, combinando los dos ambientes. El análisis para cada característica se hizo considerando ambientes y materiales genéticos (variedades) como factores

de efectos fijos, de modo que el cuadrado medio del error general pudo ser usado para las pruebas de significación de cada factor de evaluación y luego comparándolos mediante la prueba de significación de Tukey al 5%, para ver los efectos de la influencia de la precipitación y temperatura sobre el cultivo de quinua.

3. Resultados

El análisis de varianza, combinado entre las dos localidades y las dos variedades, indicó efectos significativos y la influencia directa de la precipitación y temperatura en los rendimientos; la prueba de significación de Tukey al 5% mostro los promedios de los tratamientos que se realizó para el peso de grano (kg/ha).

En esta prueba se observa que en la interacción localidad-variedad, El Mantaro (Jauja)-Hualhuas obtuvo un mejor rendimiento con 2 206,34 kg/ha, seguido de Santa Ana (El Tambo)-Hualhuas con 2 144,29 kg/ha, rendimientos promedio bajos, que no muestran significación estadística entre ellos por las características de esta variedad, pero sí se aprecia una diferencia estadística altamente significativa con las interacciones Santa Ana-Blanca de Junín, que obtuvo un rendimiento de 2 038,54 kg/ha, seguida de El Mantaro-Blanca de Junín, con un rendimiento promedio de 2 024,43 kg/ha, rendimientos muy bajos para ambas localidades. Esta diferencia en el peso, se debe principalmente a que la variedad Blanca de Junín no llegó a completar el llenado de granos por falta de humedad, en las fases fenológicas donde este elemento es esencial.

En la figura 7, se puede apreciar la variación de las temperaturas máximas, mínimas y precipitaciones que se presentaron durante esta campaña agrícola, observándose un resumen del periodo fenológico del cultivo de quinua de la variedad Hualhuas en las localidades de El Mantaro y Santa Ana. Se observa que, en todas las fases, la temperatura mínima del aire estuvo por debajo de la temperatura óptima, aunque este cultivo es tolerante a dichas temperaturas. Por otro lado, el déficit hídrico es más importante en las fases de panoja hasta grano pastoso, en este caso el efecto no solo es por la cantidad de lluvia total, sino también por la frecuencia de las mismas.

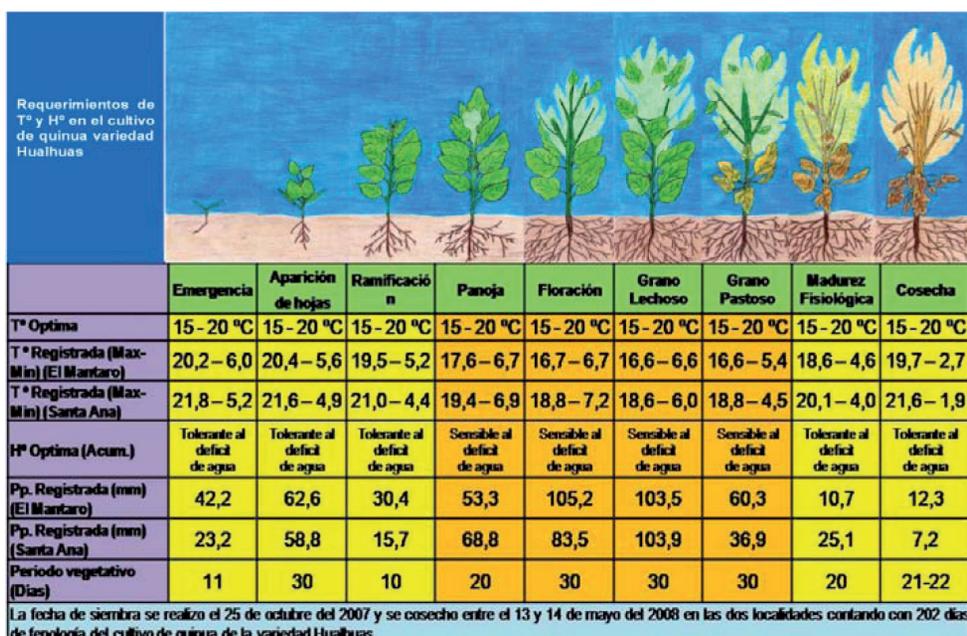


Figura 7. Precipitación, temperaturas máximas y temperaturas mínimas durante las fases fenológicas del cultivo de quinua variedad Hualhuas-El Mantaro y Santa Ana.

La figura 8 es un resumen del periodo fenológico del cultivo de quinua de la variedad Blanca de Junín; observa que las variaciones climáticas son muy importantes en el cultivo de quinua y fundamentales dentro del periodo fenológico, ya que de esto dependerá el éxito de la producción, en la cual se observa que la variedad Blanca de Junín es más sensible a las bajas temperaturas y ausencias de precipitaciones; en momentos claves del cultivo, se pudo determinar que en las dos localidades hubo diferencias significativas de precipitaciones y temperaturas, así como influencia de las variaciones climáticas que están afectando al cultivo de quinua de variedad Blanca de Junín. Mujica (1998) indica

que la sequía es una de las limitantes más importantes de la producción agrícola de los Andes; está asociada a zonas que reciben insuficiente precipitación pluvial, inadecuada y problemas en la distribución temporal. Ello causa efectos detrimentales drásticos en las plantas y en la producción de las mismas, en consecuencia, se produce escasez de alimentos y migración de personas. Sin embargo, granos andinos como la quinua han desarrollado mecanismos morfológicos, fisiológicos, fenológicos, anatómicos y bioquímicos que le permiten obtener producciones económicamente aceptables en condiciones de escasa precipitación (solo de 150 a 250 mm).

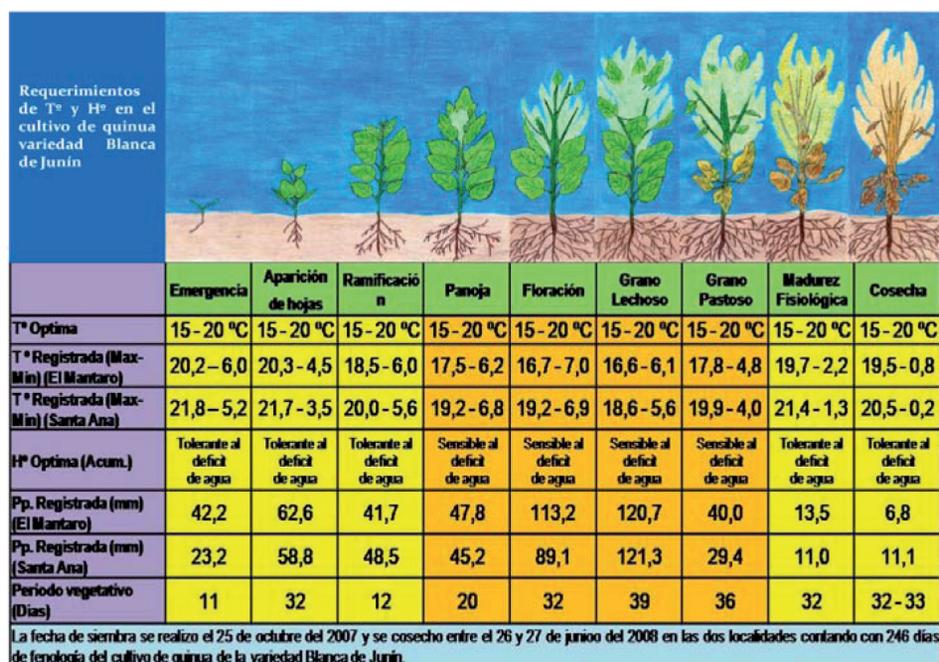


Gráfico 8. Precipitación, temperaturas máximas y temperaturas mínimas durante las fases fenológicas del cultivo de quinua variedad Blanca de Junín-El Mantaro y Santa Ana.

Sobre la influencia de la precipitación en la producción de granos de quinua, se observa que en la localidad de El Mantaro hubo mayor precipitación, pero la temperatura fue menor en comparación con Santa Ana. La precipitación fue menor que el requerimiento de agua para este cultivo de quinua, que tiene buen comportamiento en el desarrollo con precipitaciones de 300 a 1000 mm; por debajo de ello, conviene un riego complementario. Esto significa que, para nuestras condiciones, la precipitación durante toda la etapa fenológica no fue adecuada para ambas variedades. Sin embargo, debemos resaltar que la frecuencia de las lluvias en la mayoría de meses no fue en forma regular, sino que hubo intervalos de veranillos, donde las precipitaciones fueron afectando directamente al rendimiento del cultivo en momentos clave de la fenología de la quinua para ambas variedades. Mujica y Jacobsen (1998) indican que las características agroclimáticas de los Andes determinan que la agricultura sea una actividad permanentemente de alto riesgo, entre los factores adversos abióticos más nocivos de efectos graves y generalizados en el cultivo de quinua se encuentran la sequía, las heladas, las granizadas, las nevadas, la salinidad de suelos, los vientos e inundaciones. Los Andes poseen características climáticas particulares, las cuales imponen condiciones severas a la producción de la quinua. Los resultados coinciden con lo mencionado por Canahua y Rea (1979), quienes en dos campañas agrícolas observaron que la quinua, en la fase fenológica, de hojas cotiledones, dos y cinco hojas verdaderas se comportaron como tolerantes, no sufrieron daño por las bajas temperaturas; en cambio, la helada en la fase de panojamiento y floración afectó seriamente a la quinua. Estos mismos autores, sostienen que la quinua no sufre daño antes del panojamiento, pero que es muy susceptible en la fase de floración.

4. Conclusiones

En el cultivo de quinua, el resultado más importante dentro de las características analizadas es el rendimiento, debido a la sensibilidad de este cultivo a la ausencia de agua y bajas temperaturas, lo que se obtuvo mediante el análisis de varianza. Cabe destacar que la ausencia de precipitación en días claves del desarrollo del ciclo de quinua fue determinante para los rendimientos obtenidos, y el otro factor importante, la temperatura, afectó considerablemente a las dos variedades. Además, se observó que la escasez de precipitaciones en esta época originó que la variedad tardía no tenga un buen llenado de grano, a diferencia de la variedad precoz.

En cuanto al peso de grano (kg/ha), la variedad Hualhuas, en promedio, supera significativamente a la variedad Blanca de Junín, debido a que en la primera los granos completaron el llenado, mientras que la segunda 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.

En la localidad de El Mantaro, la precipitación fue superior a Santa Ana, pero la temperatura fue menor. Si bien la precipitación estuvo dentro del rango requerido de agua para el cultivo de quinua, la frecuencia de lluvias influyó en el rendimiento de ambas variedades.

5. Agradecimientos

Un agradecimiento especial 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", ejecutado por el IGP, con financiamiento del Fondo para el Desarrollo de Servicios Estratégicos (FDASE) de INCAGRO, ya que este estudio se desarrolló como trabajo de tesis para optar el título de Ing. Agrónomo, en la UNCP (Huancayo). Otro agradecimiento especial al asesor de la tesis, el M. Sc. Zenón Mata Adatao, y también se expresa la gratitud al INIA por las facilidades y apoyo brindado, en especial al Ing. Óscar Garay Canales.

6. Referencias bibliográficas

- **CANAHUA, A. y J. REA (1979).** Quinuas resistentes a heladas. En II Congreso Internacional de Cultivos Andinos, junio 4-8. ESPOCH. Ríobamba. pp. 143-150
- **FAO. Chapter XI Quinoa: Post-harvest Operations.** <<http://www.fao.org/inpho/content/compend/text/ch11.htm>>. Consultado el 10 de junio 2010.
- **GRACE, B. (1985).** El Clima del Altiplano. *Departamento de Puno, Perú*. INIPA, CIPA XV, Convenio Perú-Canadá. Puno, 183 pp.
- **LIMACHE, J. (1992).** *Tolerancia a heladas de 14 ecotipos y 2 variedades de quinua (Chenopodium quinoa Willd.), en Waru-Waru de Caritamaya-Acora*. Tesis para optar por el grado de Ingeniero Agrónomo. Universidad Nacional del Altiplano. Puno, 180 pp.
- **MUJICA, S. y S. JACOBSEN. (1998).** *Importancia de Factores Abióticos Adversos en la Agricultura Andina*. La Paz, 55 pp.
- **MUJICA, E. y J. L. RUEDA (1997).** *La Sostenibilidad de los sistemas de producción campesina en los andes*. CONDESAN, Lima, 227 pp.
- **TROGNITZ, B.** *Mejoramiento de la quinua para la resistencia a factores adversos*. Centro Internacional de la Papa. <<http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro14/cap3.6.htm>>. Consultado el 11 junio del 2010.

Fluctuación poblacional de los cogolleros del maíz (*zea mays l.*) bajo condiciones de temperatura precipitación, humedad y radiación solar en el valle del Mantaro

Population fluctuation of armyworm in corn (*zea mays l.*) under conditions of precipitation temperature, humidity and solar radiation in the Mantaro valley.

Efraín Lindo Mancilla¹

Universidad Nacional del Centro del Perú, Huancayo

RESUMEN

El trabajo se ejecutó en dos localidades: E. E. A. El Mantaro y E. E. A. Santa Ana donde se sembraron las variedades de maíz *San Gerónimo* y *Blanco Urubamba*. Teniendo como objetivos a) determinar el efecto de la temperatura, precipitación, humedad relativa y horas de sol en la fluctuación poblacional de los complejos de cogolleros, de acuerdo a su fenología en dos variedades de maíz, y b) determinar las especies de cogolleros que se presentan en las dos variedades de maíz y la diferenciación de las poblaciones en las dos localidades. En campo se realizaron trece evaluaciones para San Gerónimo, y dieciséis evaluaciones para Blanco Urubamba. Asimismo, se registraron cuatro variables climáticas. Una vez obtenidos los datos, estos fueron analizados mediante regresión múltiple, para determinar el efecto de estas condiciones en la población de cogolleros. Para diferenciar las poblaciones entre localidades, se realizó un análisis de pares a un nivel del 0,05 de probabilidad. Los resultados indican que la presencia del complejo de cogolleros en ambas localidades en la variedad de maíz San Gerónimo se determinó en la fase de crecimiento lento hasta la maduración; mientras que en la variedad Blanco Urubamba, solo se observó en ambas localidades desde el crecimiento lento hasta la fructificación. Las mayores gradaciones del complejo de cogolleros en ambas localidades y variedades fueron al finalizar el crecimiento rápido e inicio de la floración. La fluctuación poblacional depende en gran medida de la fenología del cultivo. Las mayores poblaciones fueron registradas en los meses de enero y febrero en ambas localidades, observándose un rango de 4 a 12 individuos en total; la temperatura tuvo un efecto significativo en la localidad de la E. E. A. El Mantaro, en las dos variedades en la población del total de cogolleros, mientras que la precipitación y la humedad relativa tuvieron efecto generalmente en la masa de huevos. En las dos variedades se determinó que las especies que actuaron como cogolleros fueron *Mythimna unipuncta* y *Dargida grammivora*.

Palabras clave: *Mythimna unipuncta*, *Dargida grammivora*, variedad Blanco Urubamba, variedad San Gerónimo.

ABSTRACT

This work was performed in two agricultural experiment stations: El Mantaro and Santa Ana, where Blanco Urubamba and San Geronimo corn varieties were planted. The objectives of this work are: a) to determine the effect of temperature, precipitation, relative humidity and sunshine hours on the population dynamics in armyworm complexes, according to their phenology in two varieties of corn, and b) to determine which species of armyworm are present in the two varieties of maize and the differentiation of populations in the two locations. In field assessments thirteen evaluations for San Gerónimo, and sixteen evaluations for Blanco Urubamba were done, and four climatic variables were registered. Once collected the data, multiple regression analysis was applied to analyze the effect of these conditions in the population of armyworm. In order to compare the populations of the two locations, an analysis of pairs to a probability level of 0,05 was performed. Results indicate that the presence of complex of armyworm at both locations in the San Geronimo corn variety was determined in the slow growth phase to maturity, whereas in the variety Blanco Urubamba, it was only observed in both locations since the slow growth to fruition. The largest complex of armyworm gradations in both locations and varieties were the end of the rapid growth and early flowering. The population dynamics depends largely on crop phenology. The highest populations were recorded in January and February at both locations, showing a range of 4-12 individuals in total, the temperature had a significant effect on the location El Mantaro, in the two varieties in the total population of armyworm tools that precipitation and relative humidity generally had no effect on egg mass. In the two varieties was determined that the species were acting as cogolleros *Mythimna unipuncta* and *Dargida grammivora*.

Key word: *Mythimna unipuncta*, *Dargida grammivora*, Blanco Urubamba variety, San Geronimo variety.

¹ Email: elm_agro4@hotmail.com

1. Introducción

El maíz (*Zea mays* L.) es originario de América. Allí era el alimento básico de las culturas americanas muchos siglos antes de que los europeos llegaran al Nuevo Mundo. En el Perú, el maíz se cultiva en costa, sierra y selva, debido a su gran adaptación a climas y zonas y por su alta tasa de mutación.

En el valle del Mantaro, el maíz se siembra a partir del mes de septiembre por las condiciones climáticas, sin embargo, las variedades mejoradas normalmente se siembran desde agosto en suelos con regadío. El agricultor maicero frecuentemente siembra todos los años esta especie y ocasiona el monocultivo que conlleva al desequilibrio del ecosistema, contribuyendo al incremento de las densidades de poblaciones insectiles, por estas razones los agricultores del valle del Mantaro aplican insecticidas para el control de los cogolleros de maíz a gran escala, lo que produce resistencia al cogollero. Para emprender un manejo integrado es necesario el estudio de la fluctuación de poblaciones de este complejo, el cual es el objetivo del presente trabajo.

2. Revisión bibliográfica

En el Perú, el maíz se viene utilizando en la alimentación humana desde hace más de 1220 a 1300 años a. C. Bajo condiciones climáticas adecuadas, el maíz es el más productivo de los cereales. Este cultivo tiene amplia capacidad de adaptación, su elevado rendimiento y las posibilidades futuras de mejorar por vía genética, hacen de este cereal uno de los cultivos más prometedores para afrontar "la amenaza del hambre en el mundo". Asimismo, Jugenheimer (1988) reporta que el maíz tiene cientos de usos. El grano maduro contiene aproximadamente 77% de almidón, 2% de azúcar, 9% de proteínas, 5% de aceites, 5% de pentosanas y 2% de cenizas. Se usa principalmente para la alimentación humana en la mayoría de las regiones del mundo, otro porcentaje considerable es destinado a la alimentación de los ganados. Los consumidores industriales de maíz se dividen en fabricantes de alimentos mixtos para ganado, las molindas en seco, las procesadoras en húmedo y las industrias destiladoras y fermentadoras. Por otro lado, la FAO (2002) cita que el maíz es un cultivo importante del Perú, tanto por su área cultivada como por su impacto social. En el año 2002, se sembró 481 509 ha para grano y 43 500 ha para choclo, lo que constituye en su conjunto, aproximadamente la cuarta parte del área cultivada en el país con cultivos anuales. El Ministerio de Agricultura (2002) sostiene que la productividad del maíz en el Perú ha crecido de 1,6 T/ha en 1980 a 2,1 T/ha en 2002. Este crecimiento se debe al aumento de la productividad en algunos valles de la costa

3. Materiales y métodos

3.1 Material biológico

Insecto: Se utilizaron huevos, larvas, pupas y adultos de la *Dargida grammivora* y *Mythimna unipuncta*.

Cultivo: En el experimento se utilizó el cultivo de maíz de las variedades *San Gerónimo* y *Blanco Urubamba*.

3.2 Método de la investigación

Para determinar la fluctuación poblacional de los cogolleros del maíz se usó el método de observación.

3.3 Población y muestra

El universo de investigación estuvo conformado por:

- **Plantas hospederas:** maíz con dos variedades.
- **Insecto:** *Dargida grammivora* y *Mythimna unipuncta*. La

población estuvo conformada por todos los individuos adultos presentes en el campo de observación. Población: *Número de plantas de maíz por lugar agroecológico* fue de 1136 plantas.

3.4 Análisis estadístico

Los datos obtenidos se analizaron mediante regresión múltiple:

Variables dependientes: número de huevos, número de larvas, número de pupas, de cogolleros encontrados en las plantas de maíz.

Variables Independientes:

- Temperatura (X_1)
- Precipitación (X_2)
- Humedad relativa (X_3)
- Radiación solar. (X_4)

El modelo de regresión múltiple fue determinado con la siguiente ecuación:

$$Y = a + bX_1 + cX_2 + dX_3 + eX_4$$

Y = número total de cogolleros en las diferentes fases

a = intercepto

b, c, d y e: coeficientes de regresión parcial

X_i : variables independientes.

Para determinar las diferencias de población entre los dos agroecosistemas dentro de cada variedad se usó la prueba de medias pareadas, a nivel del 95%, con la fórmula:

$$t_c = \frac{\bar{d}}{eS(d)} \quad eS(d) = \sqrt{\frac{s^2 d}{n}}$$

tc = "t" calculado

d = diferencia de pares

eS (d) = desviación Standard de pares

S²d = variancia de los pares

n = número de pares

4. Resultados y discusiones

4.1 Fluctuación poblacional del total de cogolleros en var. *San Gerónimo* en la Estación Experimental Agraria Santa Ana (El Tambo)

En la figura 1 se aprecia que en la fase de germinación (desde el 31 de octubre hasta el 15 de noviembre), incluyendo parte del crecimiento lento, es decir, hasta la tercera evaluación (30 de noviembre) no se registraron cogolleros en ninguna de sus fases, a partir de la cuarta evaluación (15 de diciembre), cuando las plantas estuvieron en crecimiento lento, se observó una población de 2 larvas y una pupa, totalizando 3 cogolleros, cuando la temperatura promedio fue de 13°. En la quinta evaluación (30 de diciembre), cuando la planta tuvo 87 días, a un inicio del crecimiento rápido se observó una masa de huevo, una larva y 4 pupas haciendo un total de 6 cogolleros, cuando la temperatura se incrementó ligeramente (13,1°C). A partir de la sexta evaluación (14 de enero), al término del crecimiento rápido, se observaron 2 masas de huevo, 2 larvas y 3 pupas, lo que constituyeron 7 cogolleros, a pesar de que la temperatura decreció ligeramente (12,6°C). En la fase de floración, hasta

el 13 de febrero, se observó una gradación de 7 individuos en promedio, a partir de la novena evaluación (28 de febrero) en la fase de inicio de fructificación de cultivo del maíz, la población total de cogolleros disminuye, registrándose 5 individuos al igual que en la décima evaluación (14 de marzo), en plena maduración. Secuencialmente disminuye la cantidad de cogolleros en toda la maduración hasta la última evaluación que se realizó el 28 de abril, cuando ya no se observa ningún individuo de cogollero. Asimismo, reporta Cisneros (1980), se distinguen cinco fases en el ciclo anual de una plaga: 1) fase de represión, considerada en el maíz en la fase de germinación hasta el crecimiento lento; 2) fase de colonización, en el inicio de la fase de crecimiento rápido; 3) fase de colonización; 4) reproducción masal y pico de la densidad en el crecimiento rápido del maíz e inicio de la floración; y 5) fase de la declinación, considerado en la maduración del cultivo.

4.2 Influencia de los factores climáticos en la fluctuación poblacional del cogollero en la variedad San Gerónimo en la localidad de Estación experimental Agraria Santa Ana (El Tambo)

En la tabla 1, se observa que en el análisis de regresión para el total de cogolleros no existe significación estadística, sin embargo, con precipitación sí hubo significancia. Bajo estas condiciones se dio la población mínima del cogollero, lo que sugiere que la precipitación influye en la población de esta plaga en la variedad San Gerónimo en la localidad de El Tambo.

TABLA 1. Análisis de regresión lineal múltiple de masa de huevos, larva, pupa y total de cogolleros del maíz en variedad. San Gerónimo. Localidad E.E.A. Santa Ana, en 40 plantas (Y) vs. temperatura (X1), precipitación (X2), humedad relativa (X3) y horas de sol (X4). Campaña 2007-2008.

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Huevo		Larva		Pupa		Total		Ftab	
		Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	0,05	0,01
Regresión	4	5,03	*	1,52	n.s	0,83	n.s	3,20	n.s	3,84	7,01
Temperatura	1	0,11	n.s	0,51	n.s	0,10	n.s	0,5	n.s	5,32	11,26
Precipitación	1	16,05	**	3,78	n.s	0,51	n.s	7,06	*	5,32	11,26
Humedad	1	1,19	n.s	0,21	n.s	0,01	n.s	0,23	n.s	5,32	11,26
Horas de Sol	1	3,08	n.s	1,54	n.s	2,68	n.s	4,99	n.s	5,32	11,26
Error	8										
Total	12										
		R ² = 71,6%		R ² = 43,2%		R ² = 29,3%		R ² = 61,5%			

Por otro lado, se observó que en los estados de larva, pupa y el total, no existen diferencias significativas, es decir, las condiciones climáticas para estos estados, aparentemente, no están determinando su población. Sin embargo, se observó tanto en las localidades de El Mantaro como en El Tambo, en las dos variedades, las poblaciones de cogolleros fue relativamente reducida, o sea, que en la campaña 2007-2008, estos insectos no tuvieron una presencia significativa

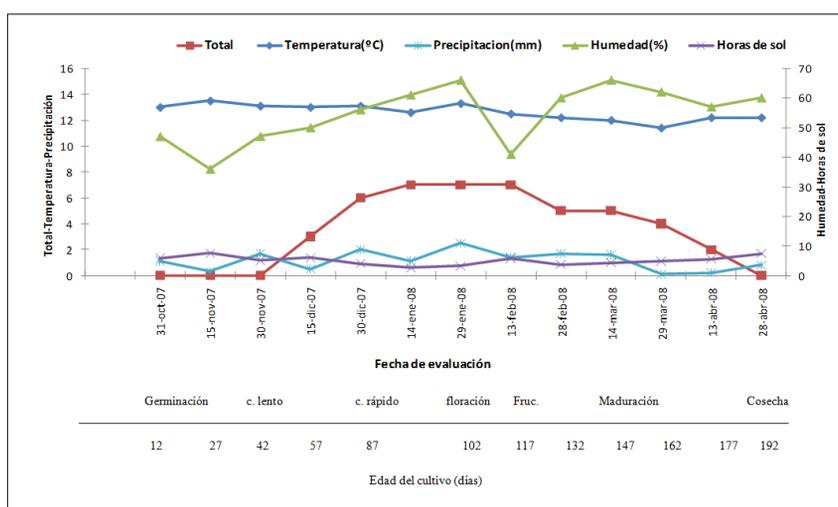


Figura 1. Variación de las variables climáticas y total de cogolleros en la variedad San Gerónimo en la Estación Experimental Agraria Santa Ana.

como plaga, asimismo las condiciones climáticas fueron altamente heterogéneas en relación a años anteriores. Estas aseveraciones concuerdan con Ramos (2003), quien reportó sobre la fluctuación de plagas en tres localidades en el valle del Mantaro, indicando que el factor determinante de la ocurrencia y fluctuación poblacional de insectos plagas del cultivo de maíz es el desarrollo fenológico del cultivo.

4.3 Fluctuación poblacional del total de cogolleros en variedad Blanco Urubamba en Estación experimental Agraria Santa Ana

En la figura 2 se aprecia, en la variedad Blanco Urubamba en Santa Ana, que desde la fase de germinación desde el 31 de octubre hasta el 15 de noviembre, no se registró ninguna fase del cogollero, así como en la tercera (30 de noviembre) y cuarta (15 de diciembre) evaluación. A partir de la quinta evaluación

(30 de diciembre), cuando las plantas estuvieron en crecimiento lento, se dio un ligero incremento en la población, observándose un total de 2 cogolleros, cuando la temperatura promedio fue de 13,1° C; el número de individuos se incrementó hasta la séptima evaluación (29 de enero), cuando el cultivo estuvo en la etapa de inicio de crecimiento rápido, registrándose 9 individuos. Sin embargo, el pico más alto de la gradación del total de cogolleros de maíz fue en la octava evaluación (13 de

febrero), donde se observó una masa de huevos, seis larvas y cinco pupas, haciendo un total de 12 cogolleros. Cuando la temperatura promedio fue de 12,5°C, a partir de la novena y décima evaluación (el 28 de febrero y 14 de marzo) respectivamente, cuando el cultivo se encontró en estado de floración, decreció el número de individuos hasta 9. A partir de la fructificación, en la onceava evaluación (29 de marzo) se registraron 6 individuos y a partir de la doceava evaluación (13 de abril) fue decreciendo en todas las etapas del cogollero, llegando a la decimo quinta evaluación (28 de mayo), donde el maíz se encuentra a inicios de maduración, sin ningún individuo al igual que la decimo sexta evaluación, hasta la cosecha. En estas dos últimas etapas se dieron las temperaturas promedio más bajas de 10,6°C y 10,4°C, respectivamente.

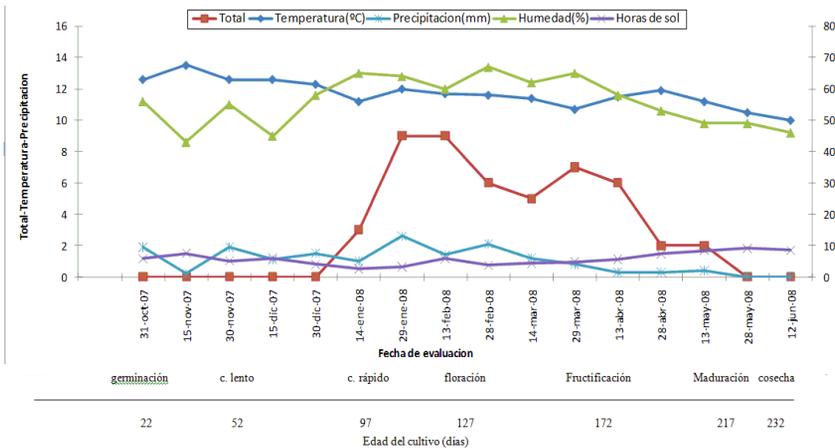


Figura 2. Variación de las variables climáticas y total de cogolleros en la variedad San Gerónimo en la Estación Experimental Agraria Santa Ana.

4.4 Influencia de los factores climáticos en la fluctuación poblacional del cogollero en la variedad Blanco Urubamba en la Estación experimental Agraria Santa Ana

En la tabla 2 se observa que en el total de cogolleros, según el análisis de regresión, no existe significancia estadística, al igual que en el caso de la variedad San Gerónimo en esta misma localidad solo hay significancia con la precipitación, concluyendo que esta variable influye en la población de la variedad Blanco Urubamba en la localidad de Santa Ana.

Por otro lado, se observa que en el análisis de regresión múltiple en los estados de larva, pupa y el total no existen diferencias significativas, es decir, las condiciones climáticas para estos estados aparentemente no están determinando su población, como en el caso de la variedad San Gerónimo. Se observó en las localidades, tanto en El Mantaro como en El Tambo, que en las dos variedades las poblaciones de cogolleros fue relativamente reducida, lo cual significa que en la campaña 2007-2008 estos insectos no fueron significativos como plaga; asimismo, las condiciones climáticas fueron altamente heterogéneas en relación a los años anteriores; los coeficientes de determinación oscilaron entre 39,5 a 60,6%, lo que significa que los resultados obtenidos bajo las cuatro condiciones físico-climáticas dependió de esta magnitud, y la diferencia se debió a factores no previstos en el experimento.

4.5 Fluctuación poblacional del total de cogolleros en variedad San Gerónimo en el Estación Experimental Agropecuario El Mantaro

En la figura 3 se aprecia que desde la fase de germinación (del 31 de octubre hasta el 15 de noviembre) y hasta la tercera evaluación (30 de noviembre) no se registró ninguna fase de los cogolleros; a partir de la cuarta evaluación (15 de diciembre), cuando las plantas entran en crecimiento lento hay un incremento, observándose una larva y dos pupas haciendo un total de 3 cogolleros a una temperatura promedio de 12,6°C, y cuando la temperatura promedio registró 12,3°C en la quinta evaluación (30 de diciembre), se registraron 4 cogolleros. A partir de la sexta evaluación (14 de enero), cuando el maíz estuvo en pleno crecimiento rápido, se observó el pico más alto del total de cogolleros, donde se lograron registrar 6 cogolleros a una temperatura promedio de 11,2°C; posteriormente, en la séptima evaluación (29 de enero), se registró un total de 5 cogolleros; luego en la octava evaluación, cuando el maíz estaba en inicios de floración, se observa una ligera disminución de cogolleros, registrándose 4 individuos; se mantuvo esta misma cantidad hasta la décima evaluación (14 de marzo) cuando ya el maíz entra a la última etapa de fructificación.

A partir de la undécima evaluación (29 de marzo) hasta la

Tabla 2. Análisis de regresión lineal múltiple de masa de huevos, larva, pupa y total de cogolleros del maíz en variedad Blanco Urubamba. Localidad E.E.A. Santa Ana, en 40 plantas (Y) vs. temperatura (X1), precipitación (X2), humedad relativa (X3) y horas de sol (X4). Campaña 2007-2008.

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Huevo		Larva		Pupa		Total		Ftab	
		Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	0,05	0,01
Regresión	4	4,22	*	1,03	n.s	1,94	n.s	1,80	n.s	3,36	5,67
Temperatura	1	0,32	n.s	0,04	n.s	0,38	n.s	0,09	n.s	4,84	9,65
Precipitación	1	4,74	n.s	2,23	n.s	7,04	*	5,73	*	4,84	9,65
Humedad	1	6,20	*	0,06	n.s	0,01	n.s	0,51	n.s	4,84	9,65
Horas de Sol	1	5,8	*	1,77	n.s	0,32	n.s	0,84	n.s	4,84	9,65
Error	11										
Total	15										
		R ² = 60,6%		R ² = 27,3%		R ² = 41,4%		R ² = 39,5%			

décimo tercera evaluación (28 de abril), es decir, en toda la maduración del maíz, el número total de cogolleros va decreciendo secuencialmente hasta que no exista ningún individuo en la última evaluación (28 de abril), cuando no se registró ningún individuo del total de cogolleros.

Ramos (2003) reportó en su trabajo sobre fluctuación de plagas en tres localidades en el valle del Mantaro que el factor determinante de la ocurrencia y fluctuación poblacional de insectos plagas del cultivo de maíz fue el desarrollo fenológico del cultivo, en dicho trabajo no encuentra relación con el clima, de-

bido posiblemente a la escasa información climática analizada.

Por otro lado, se observa que hay una alta significación estadística, en la temperatura y horas de sol, lo que se atribuye que manteniendo constante la precipitación y humedad, cuando existe un cambio unitario de las dos variables independientes, se produce un cambio significativo en la fase de pupa. Así también se observa que en el total de cogolleros en el análisis de regresión, existe significación estadística, la cual fue determinada bajo los factores climáticos de temperatura y horas de sol.

4.7 Fluctuación poblacional del total de cogolleros en variedad *Blanco Uru-bamba* en Estación Experimental Agropecuario El Mantaro.

En la figura 4 se observa que desde la fase de germinación (desde 31 de octubre hasta el 15 de noviembre) no se registró ninguna fase del cogollero, y así tampoco desde la tercera evaluación (30 de noviembre) hasta la quinta (30 de diciembre), sin embargo, cuando la temperatura promedio alcanza 11,2°C; a partir de la sexta evaluación (14 de enero) terminando el crecimiento lento de la planta, se registra una población de 3 cogolleros (una larva y 2 pupas); los picos se observaron a partir de la séptima evaluación (29 de enero) a una temperatura promedio de 12°C, y en la octava evaluación (13 de febrero) a 11,7°C de temperatura promedio se registró en ambos casos 9 cogolleros durante la fase de crecimiento rápido del maíz.

A partir de la novena evaluación (28 de febrero), en la fase de plena floración, decrece ligeramente a 6 cogolleros a una temperatura promedio de 11,6°C, y en la décima evaluación (14 de marzo), la temperatura promedio cayó ligeramente en 11,4°C, en donde se registraron 5 cogolleros; luego, en la undécima (29 de mayo) hubo un incremento de la pobla-

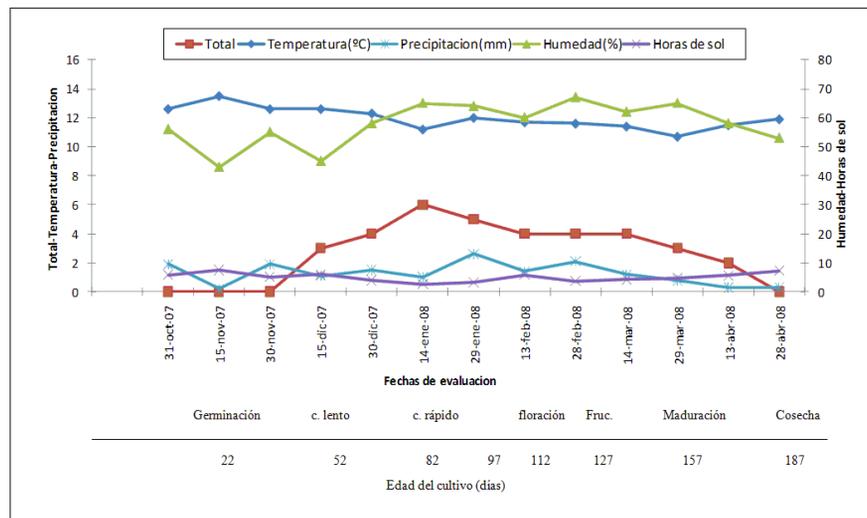


Figura 3. Variación de las variables climáticas y total de cogolleros en la variedad San Gerónimo en la Estación Experimental Agraria El Mantaro.

4.6 Influencia de los factores climático en la fluctuación poblacional del cogollero en la variedad *San Gerónimo* en la localidad de la estación Experimental Agropecuario El Mantaro.

En la tabla 3 se observa el resumen de los análisis de variancia de la regresión de cada una de las fases del cogollero. Se comprobó que para las masas de huevo existe una alta significación estadística, es decir, el coeficiente de regresión es diferente de cero. Esto indica que realmente la masa de huevos puestos por los cogolleros varía en la magnitud señalada por el coeficiente de regresión por efecto del cambio unitario de las variables independientes. Por otro lado, se observa que la precipitación y las horas de sol son los factores que determinan esta etapa, observándose que durante la campaña 2007-2008 existió una significación (*) y una alta significación (**), respectivamente.

TABLA 3. Análisis de regresión lineal múltiple de masa de huevos, larva, pupa y total de cogolleros del maíz en var. San Gerónimo. Localidad E.E.A. El Mantaro, en 40 plantas (Y) vs. temperatura (X1), precipitación (X2), humedad relativa (X3) y horas de sol (X4). Campaña 2007-2008.

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Huevo		Larva		Pupa		Total		Ftab	
		Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	0,05	0,01
Regresión	4	7,60	**	1,29	n.s	9,00	**	5,82	*	3,84	7,01
Temperatura	1	3,61	n.s	3,53	n.s	12,09	**	10,54	*	5,32	11,26
Precipitación	1	8,94	*	1,65	n.s	0,04	n.s	3,80	n.s	5,32	11,26
Humedad	1	4,83	n.s	0,01	n.s	1,59	n.s	0,04	n.s ²	5,32	11,26
Horas de sol	1	14,27	**	0,01	n.s	23,4	**	8,97	*	5,32	11,26
Error	8										
Total	12										
		R ² = 79,2%		R ² = 39,2 %		R ² = 81,8%		74,4%			

ción donde se registraron 7 cogolleros; sin embargo, en la décimo segunda evaluación (13 de abril) a inicios de la fructificación, se registraron 6 cogolleros; y a partir de la décimo tercera (28 de abril) y décimo cuarta evaluación (13 de mayo), se registró un total de 2 individuos por cada evaluación; finalmente, donde no se registró ningún cogollero fue en la décimo quinta y décimo sexta evaluación, hasta la cosecha, donde sus temperaturas promedio fueron las más bajas registrándose de 10,5°C y 10°C, respectivamente.

La fluctuación del complejo de cogolleros en ambas localidades se observó en sus fases iniciales bajo las condiciones del experimento, ninguna población; sin embargo, a partir de la fase del crecimiento lento hasta la maduración de poblaciones que no representó significativamente como plaga. Estas aseveraciones concuerdan con Ramos (2003), quien reporta que *Mithimna unipuncta* y *Dargida grammivora* atacan a las fases fenológicas de crecimiento lento y rápido, disminuyendo en la fase de floración.

cogollero existe una alta significación estadística, esto es que el coeficiente de regresión es diferente de cero. Esto indica que realmente la totalidad de fases de los cogolleros varía en la magnitud señalada por el coeficiente de regresión por efecto del cambio unitario de las variables independientes, también a nivel de precipitación y humedad hubo significación estadística, bajo estas condiciones de la población mínima del cogollero como las condiciones climáticas totalmente heterogéneas se concluye que la precipitación y humedad influyen en la población de esta plaga bajo la variedad *Blanco Urubamba* en la localidad de El E. A. El Mantaro.

Dentro de las condiciones físico-climáticas se ha observado que la humedad y la precipitación influyen directamente en el desarrollo poblacional de las especies de cogollero. Asimismo, Ramos (2003) determinó en las tres localidades y para "cogolleros" en la localidad de Iscos también fue significativo el efecto de precipitación.

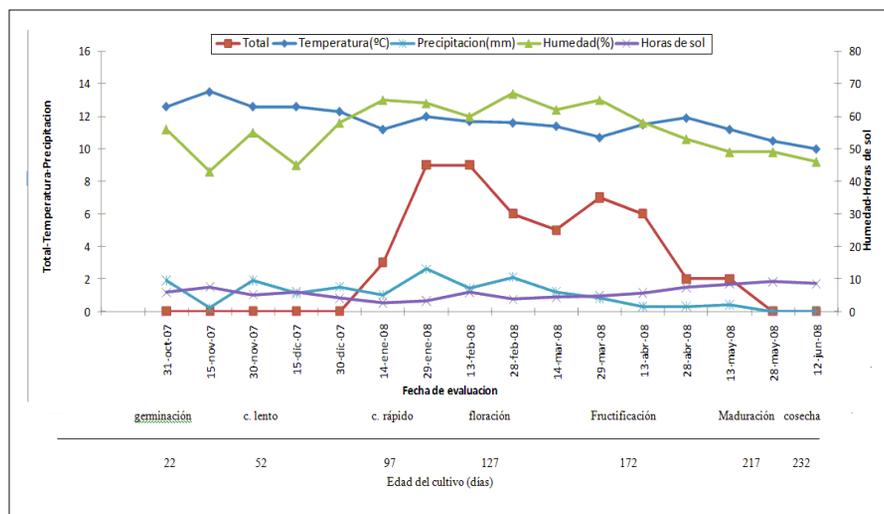


Figura 4. Variación de las variables climáticas y total de cogolleros en la variedad Blanco Urubamba en la Estación Experimental Agraria El Mantaro

4.8 Influencia de los factores climáticos en la fluctuación poblacional del cogollero en la variedad Blanco Urubamba en la localidad de la Estación Experimental Agropecuario El Mantaro

En el cuadro 4 se observa el resumen de los análisis de variancia de la regresión de cada una de las fases del cogollero, donde se comprobó que en los estados de huevo larva y pupa no existen diferencias significativas, es decir, las condiciones climáticas para estos estados, aparentemente, no están determinando a su población, sin embargo, se observó en las localidades del Mantaro como en Santa Ana bajo las dos variedades en el experimento que las poblaciones de cogolleros fue relativamente reducida, lo que significa que en la campaña 2007-2008 estos insectos no fueron significativos como plaga; asimismo, las condiciones climatológicas fueron altamente heterogéneas en relación a años anteriores. Estas aseveraciones concuerdan con Ramos (2003), quien reportó un trabajo de fluctuación de plagas en tres localidades en el valle del Mantaro, que el factor determinante de la ocurrencia y fluctuación poblacional de insectos plagas del cultivo de maíz fue el desarrollo fenológico del cultivo.

Así también se observa que en el total de cogolleros, en el análisis de regresión, se comprobó que para todas las fases del

4.9 Comparación de poblaciones de cogolleros en las dos localidades

Para determinar las poblaciones del total de cogolleros registrados en las dos localidades bajo las dos variedades, se uso como datos lo tabulado en las tablas 1, 2, 3 y 4. Del análisis de pruebas de medias pareadas, se observa en la tabla 5 a un nivel del 95% de probabilidad los siguientes para cada variedad.

5. Conclusiones

Del experimento conducido en la campaña 2007-2008 en las dos localidades Estación Experimental Agropecuario El Mantaro y Estación experimental Agraria Santa Ana, bajo dos variedades San Gerónimo y Blanco Urubamba se concluye:

- La presencia del complejo de cogolleros en ambas localidades en la variedad de maíz *San Gerónimo* se determinó en la fase de crecimiento lento hasta la maduración; mientras que en la variedad *Blanco Urubamba* solo se observó desde crecimiento lento hasta la fructificación en ambas localidades.
- Las mayores gradaciones del complejo de cogolleros en ambas localidades y variedades fueron al finalizar el crecimiento rápido e inicio de floración. La fluctuación poblacional depende en gran medida de la fenología del cultivo.
- En la fase de germinación, el complejo de cogolleros no se presentó en ambas variedades y localidades.
- En la cosecha en ambas variedades y localidades, no se registraron pupas en la mazorcas y en las plantas.
- Las mayores poblaciones fueron registradas en los meses de enero y febrero en ambas localidades, observándose un rango de 4 a 12 individuos total.
- La temperatura tuvo efecto significativo en la localidad del Mantaro en las dos variedades en la población del total de cogolleros, mientras la precipitación y la humedad relativa tuvieron efecto generalmente en la masa de huevos.

TABLA 4. Análisis de regresión lineal múltiple de masa de huevos, larva, pupa y total de cogolleros del maíz en variedad Blanco Urubamba. Localidad E.E.A. El Mantaro, en 40 plantas (Y) vs. temperatura (X1), precipitación (X2), humedad relativa (X3) y horas de sol (X4). Campaña 2007-2008.

Fuente de Variabilidad	Grados de Libertad	Huevo		Larva		Pupa		Total		Ftab	
		Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	Fcal	Sig	0,05	0,01
Regresión	4	7,60	**	1,29	n.s	9,00	**	5,82	*	3,84	7,01
Temperatura	1	3,61	n.s	3,53	n.s	12,09	**	10,54	*	5,32	11,26
Precipitación	1	8,94	*	1,65	n.s	0,04	n.s	3,80	n.s	5,32	11,26
Humedad	1	4,83	n.s	0,01	n.s	1,59	n.s	0,04	n.s ²	5,32	11,26
Horas de sol	1	14,27	**	0,01	n.s	23,4	**	8,97	*	5,32	11,26
Error	8										
Total	12										
		R ² = 79,2%		R ² = 39,2 %		R ² = 81,8%		74,4%			

TABLA 5. Prueba de medias pareadas, a nivel del 95%, del total de cogolleros en las dos localidades.

	San Gerónimo			Blanco Urubamba		
	Santa Ana	Mantaro	Sign	Santa Ana	Mantaro	Sign
Desv	2,87	2,09	4,11	3,42		
Prom	3,53	2,69	3,69	3,06		
Ttab	2,17			2,13		
Tcal	3,09		**	1,62		n.s

- En las dos variedades se determinó que las especies que actuaron como cogolleros en las dos variedades de maíz fueron *Mythimna unipuncta* y *Dargida grammivora* (entre 70 y 80% de predominancia de la última).
- En la variedad *San Gerónimo* hubo mayor población del total de cogolleros en la localidad de Santa Ana respecto a la localidad del Mantaro, mientras en la variedad *Blanco Urubamba* fue similar en ambas localidades.

6. Recomendaciones

- Continuar con los estudios de fluctuación del complejo de cogolleros al menos por 5 años.
- Determinar la incidencia de estas dos especies en cada una de las variedades en estudio.
- Realizar estudios biológicos de preferencia de las dos especies en las dos variedades.

7. Referencias bibliográficas

- **Cisneros, V. (1980).** *Control de Plagas Agrícolas*. Lima: Ed. Full Print.
- **FAO (2002).** Estadísticas. Roma, Italia. Referencia citada por Sevilla, R. (2005) *Magnitud e impacto potencial de la liberación de organismos genéticamente modificados y sus productos comerciales*. CONAM, pp. 44-60.
- **Jugenheimer, R. (1998).** *Maíz, variedades mejoradas, métodos de cultivo y producción de semillas*. México: Editorial Limusa.
- **Ministerio de Agricultura (2002).** *Estadísticas de Producción 2002*. Lima: Dirección General de Información Agraria.
- **Ramos, W. (2003).** *Dinámica poblacional de las plagas de maíz en tres localidades del valle del Mantaro*. Tesis para optar el título de Ingeniero Agrónomo. Huancayo: Universidad Nacional del Centro del Perú.

ISBN: 978-612-45795-3-0



El Instituto Geofísico del Perú (IGP), es un organismo público adscrito al Ministerio del Ambiente que tiene como misión realizar estudios e investigación científica en el campo de la geofísica, orientado a la prevención de desastres naturales, así mismo concentra sus esfuerzos en capacitación y enseñanza -al más alto nivel- a estudiantes de las universidades públicas y privadas del Perú, y presta servicios científicos en las diversas áreas de la geofísica.

El IGP tiene un staff de investigadores de alto nivel en las diversas áreas de la geofísica.

Programas
de investigación
del IGP

- ▶ Sismología
- ▶ Vulcanología
- ▶ Magnetismo terrestre
- ▶ Geodesia espacial
- ▶ Geología
- ▶ Ciencias atmosféricas
- ▶ Variabilidad y cambio climático
- ▶ Alta atmósfera
- ▶ Astronomía
- ▶ Astrofísica
- ▶ Física solar

Calle Badajoz N° 169 - Urb. Mayorazgo, 4ta. Etapa. Ate.
Apartado Postal N° 3747 - Lima 3
Telefax: 317-2300

<http://www.igp.gob.pe>