

ISSN: 2079-696X

**Compendio de trabajos de investigación realizado  
por estudiantes durante el año 2010**

**Volumen 12**

**Dirección de Asuntos Académicos**

**Instituto Geofísico del Perú**

**Lima, Perú**

**2011**

**Título:** Compendio de trabajo de investigación realizados por estudiantes durante el año 2010

**Título clave abreviado:** Compend. trab. investig. realiz. estud. durante año 2010

**Volumen:** 12

**Autor:** Dirección de Asuntos Académicos, IGP

**Editora:** Yamina Silva

**ISSN:** 2079-696X

Hecho en el depósito legal en la Biblioteca Nacional del Perú N° 2011-16033

Copyright © 2011 Instituto Geofísico del Perú. Dirección de Asuntos Académicos

Correo electrónico: daa@igp.gob.pe

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

Calle Badajoz N° 169-171

Urbanización Mayorazgo, IV Etapa

Lima 3, Perú

Teléfono: (01) 317-2300

Tiraje: 200 ejemplares

Fecha de impresión: noviembre de 2011

Impreso en el Perú

Impreso en: Color Exacto SRL

Dirección: República de Portugal N° 338-Breña-Lima

Teléfono: 3302956

Correo electrónico: colorexactosrl@yahoo.com

La información estadística, los mapas y figuras 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: Dirección de Asuntos Académicos, IGP

# Ministerio del Ambiente

Dr. Manuel Pulgar Vidal

## INSTITUTO GEOFÍSICO DEL PERÚ

Dr. Ronald Woodman Pollitt, Presidente Ejecutivo

Dr. Jorge Chau, Director Técnico

Dra. Yamina Silva, Directora de Asuntos Académicos

### Investigadores responsables de los trabajos publicados:

#### *Sismología:*

Dr. Hernando Tavera

#### *Vulcanología:*

Dr. Orlando Macedo

#### *Geodesia Espacial y Peligro Geofísico:*

Dr. Edmundo Norabuena

Mag. Juan Carlos Gómez

#### *Variabilidad y Cambio Climático:*

Dr. Ken Takahashi

Dra. Yamina Silva

Mag. Grace Trasmonte

Mag. Alejandra Martínez

#### *Astronomía:*

Dr. José Ishitsuka

#### *Electrónica e Instrumentación, Radio Observatorio de Jicamarca:*

MSc. Guillermo Tejada

Ing. José Alcántara

## Agradecimientos

*A la Lic. María Villaverde por su apoyo en la elaboración de una plantilla en MS Word, que facilitó a los tesistas la elaboración de los artículos.*

## ÍNDICE

Agradecimiento.....	6
Presentación.....	11
1. Estudio de las explosiones solares utilizando la base de datos obtenida con el radio polarímetro de Huancayo a 9,4GHz Study of the solar explosions using the data base obtained with the Huancayo radio polarimeter at 9.4Ghz María Victoria Gutiérrez Escate .....	13
2. Sistema de recepción digital de la señal de un radar controlado por CPLDS Digital reception system of the radar signal controlled by CPLDS Rita Jakelyn Abad Lima.....	19
3. Caracterización de tormentas severas en el valle del Mantaro mediante sensoramiento remoto Characterization of heavy storms in the Mantaro valley using remote sensing Steven Paul Chávez Jara.....	25
4. Evaluación y desarrollo de metodologías para el pronóstico estacional de anomalías de la temperatura en el mar peruano asociadas al Fenómeno El Niño y otros Evaluation and development of methodologies for forecasting the seasonal temperature anomalies of Peruvian sea associated with El Niño and others Jorge Antonio Reupo Vélez.....	31
5. Teleconexiones atmosféricas asociadas a diferentes tipos de El Niño Atmospheric teleconnections associated with different types of El Niño César Arturo Sánchez Peña .....	39

6.	Implementación de la morfología del suelo de la cuenca del río Mantaro al modelo MM5 en alta resolución Implementation of soil morphology of the Mantaro river basin in the MM5 with high resolution Dalma Mercedes Mamani Gonzales.....	44
7.	Modelación de los procesos físicos asociados a lluvias intensas en la costa norte durante El Niño Modeling of physical processes associated with heavy rains in the north coast during El Niño Jeffers Palacios Espinoza .....	54
8.	Detección de señales sísmicas usando la transformada Wavelet Seismic Signal detection using Wavelet Transform José Carlos Tacza Anaya.....	62
9.	Inferencias sobre la superficie de contacto entre las placas Nazca y Sudamericana: Perú Inferences on the surface of contact between Nazca and south American Plates: Peru Patricia Guardia.....	68
10.	Análisis y localización de probables áreas de ruptura por sismos en el borde occidental de Perú: distribución de valores de "b" Analysis and location of likely areas of rupture by earthquakes in western Peru: distribution of b-values Cristóbal Condori Quispe.....	73
11.	Análisis y clasificación de la sismicidad asociada a la erupción del volcán Ubinas 2006 -2009 Analysis and classification of the seismicity associated to the 2006-2009 Ubinas volcano eruption Juan Luis Anca Cabrera.....	78
12.	Estudio preliminar de la determinación de umbrales de precipitación como detonantes de deslizamientos y flujos torrenciales Preliminary study of the determination of rainfall thresholds that trigger landslides and torrential flows Marco Andrés Moreno Tapia .....	86

13. Primer análisis de vulnerabilidad física de los principales centros poblados del área del Proyecto MAREMEX-Mantaro, Región Junín  
First physical vulnerability analysis of the principal town centers of the project MAREMEX-Mantaro, Junin Region  
Luis Alberto Céspedes Reyes..... 92
14. Caracterización del efecto del incremento de las precipitaciones pluviales sobre la presencia de *Yersinia ruckeri* en una piscigranja del valle del Mantaro  
Characterization of the effect of increased rainfall on the prevalence of *Yersinia ruckeri* in a fish farm in the Mantaro Valley  
Jahir Anicama Díaz ..... 101
15. Peligro de bajas temperaturas y su impacto en la salud infantil en la subcuenca del río Achamayo  
Low air temperatures and its impacts on children's health in the Achamayo river sub-basin  
Lidia Enciso Condorcuya..... 107





## PRESENTACIÓN

La tarea fundamental del Instituto Geofísico del Perú (IGP) es hacer ciencia. Su área de estudio se circunscribe a los fenómenos y procesos naturales que determinan las características del espacio en el que vivimos: el planeta Tierra, su atmósfera y el espacio exterior que la rodea. Para la realización de sus investigaciones, el IGP cuenta con un *staff* de investigadores y profesionales de alto nivel, los cuales tienen la misión de formar nuevos científicos en el campo de la Geofísica. Para ello, desde hace ya varias décadas, nuestra institución cuenta con un programa de capacitación mediante el cual muchos jóvenes, hoy profesionales y científicos, iniciaron su carrera. Ellos desarrollaron sus prácticas preprofesionales y posteriormente su tesis para obtener el título profesional, asesorados por nuestros investigadores.

En tal sentido, una tarea ineludible para los jóvenes que participan en el programa de capacitación es plasmar los resultados de sus investigaciones en un documento que sea de utilidad para otros estudiantes, profesionales, autoridades y público en general. Escribir un artículo científico no es tarea sencilla, por este motivo, los investigadores experimentados del IGP apoyan a los más jóvenes. De esta manera, se crea en ellos el hábito por la investigación y la publicación de sus resultados.

Este año se publica el volumen número 12 del *Compendio de estudiantes*, que contiene 15 artículos escritos por tesisistas del IGP. Entre ellos, se encuentra un artículo sobre astronomía; uno sobre desarrollo de *software*; cinco sobre temas de meteorología, clima y fenómeno El Niño; tres sobre sismología; uno sobre vulcanología; y uno que vincula el clima con la geología. Asimismo, hay tres trabajos que vinculan el análisis de la vulnerabilidad física, social y económica a las variaciones climáticas. Cabe mencionar que el *Compendio de estudiantes* se origina en 1999, por iniciativa del Dr. Hernando Tavera. Desde ese año muchos jóvenes que han desarrollado tesis y prácticas en el IGP, han publicado sus trabajos en los diversos volúmenes de esta revista.

Esperamos que nuestros tesisistas de hoy continúen investigando, siguiendo así el legado del IGP, que consiste en desarrollar ciencia en beneficio de la sociedad. De esta manera, ayudaremos a reducir los daños que puedan producirse por los fenómenos geofísicos y a la vez podremos aprovechar las potencialidades de nuestro vasto territorio en favor de los ciudadanos del Perú.

YAMINA SILVA VIDAL

Editora





## ESTUDIO DE LAS EXPLOSIONES SOLARES UTILIZANDO LA BASE DE DATOS OBTENIDA CON EL RADIO POLARIMETRO DE HUANCAYO A 9,4 GHz

### STUDY OF THE SOLAR EXPLOSIONS USING THE DATA BASE OBTAINED WITH THE HUANCAYO RADIO POLARIMETER AT 9.4 GHz

**María Victoria Gutiérrez Escate**

Universidad Nacional San Luis Gonzaga de Ica  
Facultad de Ciencias  
airamavi@gmail.com

Asesor: Ph.D. José K. Ishitsuka Iba

Área de Astronomía - Observatorio de Ancón

#### Resumen

En este trabajo se hace un análisis de las explosiones solares en radio con la finalidad de determinar los fenómenos previos a las fulguraciones, explosión inicial y el desarrollo del evento después de la fase previa al gran estallido. El análisis se realiza a partir de los datos registrados en el Observatorio John A. Fleming de Huancayo - Perú para el periodo 1969-1984. Los años seleccionados corresponden al máximo del ciclo solar 20, se comparan los datos del Observatorio de Huancayo con los datos del Observatorio de Toyokawa (obtenido de la NOAA -National Oceanic and Atmospheric Administration), a la frecuencia de 9,4 GHz para el mismo periodo. Se llegó a analizar explosiones de ocho fechas por su flujo total, polarización, clasificación y tiempo de duración.

**Palabras clave:** Explosión Solar, Flujo, Polarización, Emisión Solar, Radio Polarímetro.

#### Abstract

This paper provides an analysis of solar radio bursts in order to determine the events before the flares, the initial explosion and the development of the event after the stage before the big burst. The analysis is based on data recorded at the Observatory John A. Fleming in Huancayo - Peru for the period 1969 -1984, these selected years correspond to the 20s solar cycle maximum. The data from the Huancayo Observatory was compared with Toyokawa Observatory data (obtained from the NOAA-National Oceanic and Atmospheric Administration), for the 9.4 GHz frequency for the same period. Eight explosion's total flux, polarization, classification and duration were analyzed.

**Keywords:** Solar Flare, Flux, Polarization, Solar Emission, Radio Polarimeter.

## 1. INTRODUCCIÓN

A causa de los movimientos aleatorios de los electrones, todos los cuerpos emiten radiación térmica o calor, característica de su temperatura. Se han utilizado mediciones cuidadosas, en todo el espectro de la intensidad de emisiones para calcular la temperatura de los cuerpos alejados de nuestro sistema solar y aún se sigue explorando con el propósito de describir físicamente los fenómenos que puedan influir en la Tierra.

Sin embargo, las mediciones en radioastronomía se ocupan también de la frecuencia de las emisiones no térmicas mucho más intensas, originadas por partículas cargadas, como los electrones y los positrones que se mueven a través de los campos magnéticos galácticos e intergalácticos.

La atmósfera solar es estudiada a diferentes longitudes de onda: métricas (300MHz,  $\lambda=1\text{m}$  a 10 MHz,  $\lambda=30\text{m}$ ), centimétricas (30 GHz,  $\lambda=1\text{ cm}$  a 3 GHz,  $\lambda=10\text{ cm}$ ), decimétricas (3 GHz,  $\lambda=10\text{ cm}$  a 300 MHz,  $\lambda=1\text{ m}$ ) y milimétricas ( $f\geq 30\text{ GHz}$ ). La tecnología electrónica empleada en el monitoreo del Sol varía también de acuerdo a la longitud de onda con que se observa ya que las dimensiones serían diferentes y corresponderían a las diferentes alturas de la atmósfera solar.

La emisión de radio en una explosión proviene de la cantidad extra de partículas energéticas producidas por una explosión, pues es un indicador sobre el proceso evolutivo en el tiempo de la atmósfera solar, esta fulguración suele ocurrir en una región activa donde fue almacenada energía y se establecieron condiciones que propician un fenómeno de inestabilidad de plasma.

Al estudiar las explosiones solares en la banda centimétrica se considera que éstas se originan en la baja corona o en la corona transición – cromosfera. En términos de tiempo, los eventos centimétricos se originan antes que los eventos métricos y decimétricos estando más próximos a donde se originó la explosión principal (Kaufmann, 1975).

Por ello es oportuno realizar un estudio detallado de los datos del radio polarímetro a 9,4 GHz del Observatorio John A. Fleming de Huancayo del Instituto Geofísico del Perú (IGP) (Figura 1), con la finalidad de investigar sobre los orígenes térmicos y no térmicos de la radio emisión y también las características de polarización de los eventos centimétricos, ya que se cuentan con datos desde 1966 a 1984 correspondientes a los ciclos solares 20 y 21.

## 2. DESARROLLO

Antes de mostrar el análisis de una explosión solar, se describirán las características básicas del equipo, así como también algunas definiciones relacionadas al tema.

## 2.1 DEFINICIONES BÁSICAS

### 2.1.1. Radio polarímetro

Dispositivo que mide la intensidad de radiación y el grado de polarización a 9,4 GHz, en la banda centimétrica. Con las siguientes características:

#### Características del Radio Polarímetro

Frecuencia: 9400 MHz

Polarización: Circular derecha e izquierda

Receptor del sistema: Superheterodino Dicke

Frecuencia Intermedia: 30 MHz

Ancho de Banda: 10 MHz

Receptor de Factor de Ruido: Menos de 10 Db

Integrador de constante de tiempo: 0,5 o 1,0 s

Frecuencia de polarización de conmutación: 80 Hz

Frecuencia de conmutación Dicke: 220 Hz

Diámetro de la antena Parabólica: 91,4 cm

Montura: Ecuatorial.

La estructura de los componentes del equipo esta detallado en la Figura 2.



Figura 1. Radio polarímetro a 9,4 GHz del Observatorio "John A. Fleming" de Huancayo, IGP.

### 2.1.2. Explosión solar

Es la violenta liberación de energía en la atmósfera solar debido a la inestabilidad del plasma asociada a los campos magnéticos

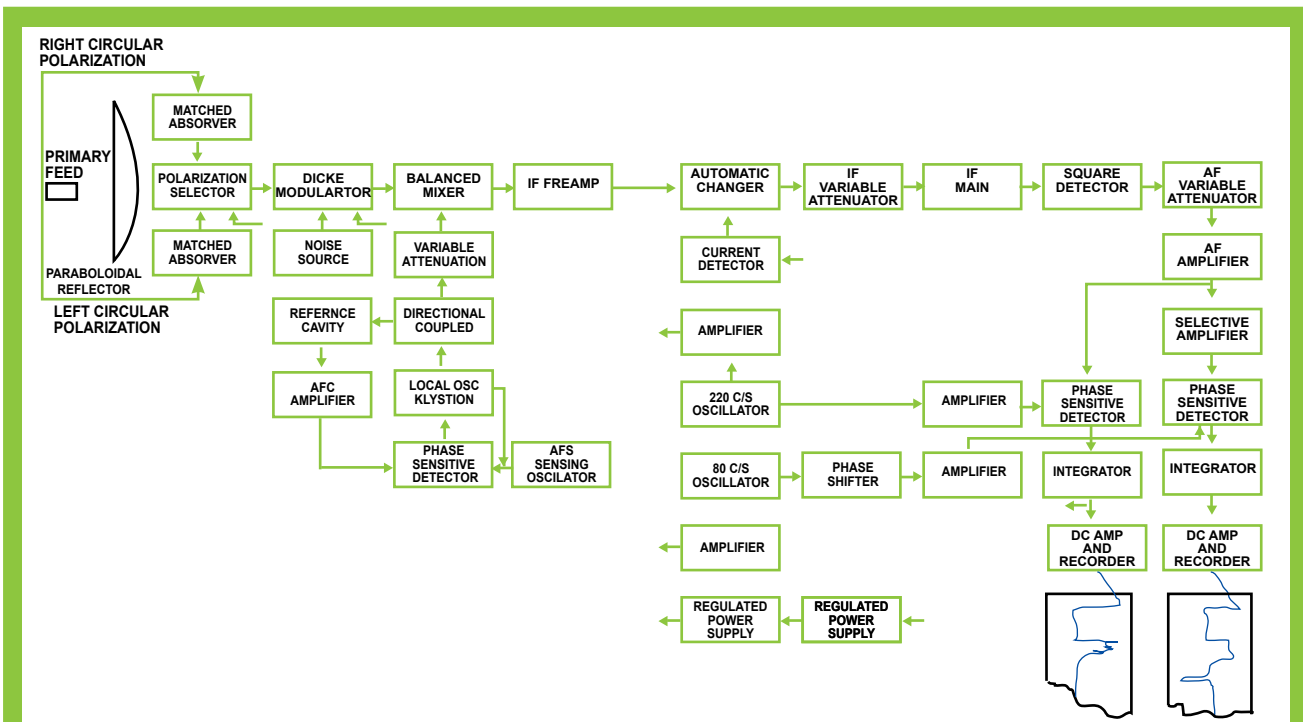


Figura 2. Diagrama de bloques del Radio Polarímetro de 9,4Ghz.

### 2.1.3. Explosión centimétrica

Por lo general los eventos centimétricos ocurren antes que los eventos métricos y decimétricos y están más próximos a la explosión principal, por lo cual su estudio es muy importante porque permite conocer los mecanismos que provocan una explosión solar. Su interpretación se torna algo complicado debido a que contiene efectos de emisión de partículas de alta energía (emisión sincrotrónica) y efectos de propagación en el plasma del ambiente.

### 2.1.4. Polarización

Es un fenómeno producido por la radio-onda parcialmente polarizada, una parte de la energía esta polarizada la otra no polarizada, la proporción es a lo que se llama grado de polarización. Para nuestro caso, la radiación originada en el Sol estará polarizada circularmente, es decir contaremos con dos datos básicos, polarización circular derecha e izquierda.

### 2.1.5. Flujo

Se puede definir como la intensidad de brillo de una determinada área en el Sol integrada en el ángulo sólido que sostiene la fuente a cierta frecuencia. El brillo radio eléctrico y su dependencia con la frecuencia o longitud de onda esta descrita por los principios básicos de la ley de Planck. Los registros totales fueron tomados por el Radio Polarímetro en términos de temperatura equivalente de ruido de la antena. Estos valores se convirtieron en unidades de densidad de flujo  $10^{-22} \text{W.m}^{-2} \cdot \text{Hz}^{-1}$  multiplicado por el factor de conversión 1,129 obtenido por el estudio correlativo entre el observatorio de Huancayo y Toyokawa en la misma frecuencia entre junio y julio de 1968 (Ishitsuka and Lanat, 1970).

## 3. RESULTADOS

El estudio y análisis de los datos se basaron en una selección previa de fechas, además se tuvo que editar una guía en la que se puede especificar los procedimientos de reducción de datos. Para corroborar la información se comparó con los reportes mensuales del mismo periodo.

Para la selección de fechas se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Índice de explosiones solares.
- Tiempo de duración del evento.
- Intensidad del flujo.
- Grado de polarización.
- Número de manchas solares.

Las fechas seleccionadas para el análisis y estudio fueron las siguientes:

- El 20 de noviembre de 1969 (valor máximo).
- El 18-19 de agosto de 1969 (valor mínimo).
- El 15 de noviembre de 1970 (valor máximo).
- El 15 de julio de 1970 (valor mínimo).
- El 15 de junio de 1971 (valor mínimo).
- El 1 de agosto de 1972 (valor máximo).
- El 1-2-3 de mayo de 1972 (valor mínimo).
- El 18-20 de junio de 1972 (valor mínimo).

Estas fechas fueron comparadas con los datos del Observatorio de Toyokawa.

### Erupción solar del 01-08-1972

Esta explosión fue registrada en 9,4 GHz, el día 1 de agosto de 1972, en el Observatorio John A. Fleming

de Huancayo. Su inicio aproximado fue a las 11:28 UTC (Hora Universal Coordinada, por sus siglas en inglés) y su término ocurrió a las 22:35 UTC (ver Figura 3). Se muestra la evolución del evento, se usan unidades de temperatura de antena proporcional a la densidad de flujo. Se trata de un evento simple con 8 estructuras en el tiempo, simple anomalías en las fluctuaciones en el flujo y anomalías en la polarización simple impulsiva. La anomalía gradual es simétrica, el evento tiende a presentar una polarización derecha con una inversión en el tiempo.

En la Figura 3 se verifica la evolución en el grado de polarización en el tiempo, se destaca los mínimos en el grado de polarización antes de la explosión principal, luego hay un crecimiento. Este puede corresponder a la aparición de una fácula. Destacamos los mínimos en el grado de polarización antes de la explosión principal con la anomalía de los tres picos inversos registrada de las 19:55 a las 20:12 UT.

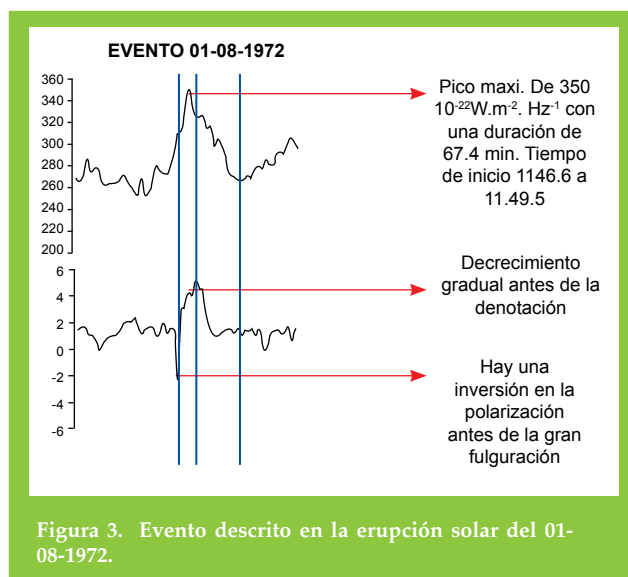


Figura 3. Evento descrito en la erupción solar del 01-08-1972.

### La Erupción solar del 15-10-1970

La erupción solar fue registrada en 9,4 GHz, el día 15 de noviembre de 1970, en el Observatorio John A. Fleming de Huancayo. Su inicio aproximado fue a las 15:11:07 UT y su término ocurrió a las 19:33:30 UT. En la Figura 4 se muestra la evolución del evento, se usan unidades de temperatura de antena proporcional a la densidad de flujo. Se trata de un evento simple con 9 estructuras en el tiempo. Comienza con un evento simple con fluctuaciones, un evento complejo con fluctuaciones, luego una explosión compleja y finalizando con una explosión simple sin fluctuaciones. La evolución en el flujo de acuerdo a la clasificación de Covington para evento en ondas centimétricas sería de 20-20-21-04-20-28-47-46-30-20 en el flujo. Las anomalías en la polarización presentan un aumento gradual e inversión en la polarización: 120-103-128-145-129-121-120-120-120. El evento tiende a presentar una polarización derecha con una inversión en el tiempo. Registrando un máximo en el flujo de tipo 47 y tipo 145 en la polarización. Destacan los mínimos en el grado de polarización antes de la explosión

principal, con la anomalía de los tres picos inversos en la polarización en la región de la explosión principal.

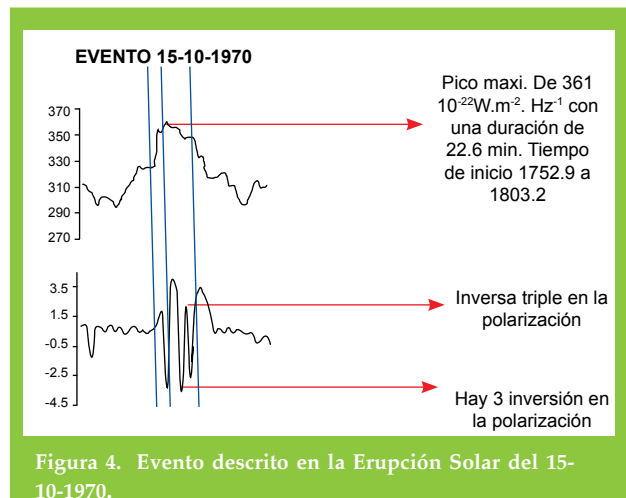


Figura 4. Evento descrito en la Erupción Solar del 15-10-1970.

### Toyokawa vs Huancayo

El Observatorio de Huancayo ubicada a 12° de latitud sur y 75° de longitud oeste, y el Observatorio de Toyokawa ubicada a 34° de latitud norte y 137° de latitud este, muestran una buena correlación del flujo total obtenido en el ciclo solar 20 y 21 en el periodo 1969-1984 (Figura 5).

En la Figura 6 se muestran los índices de explosiones solares en el hemisferio norte y en el hemisferio sur, registrados en el periodo 1966 a 1979. Aparentemente, los índices de explosiones solares en el hemisferio norte son mayores que las del hemisferio sur. Se hace una comparación entre el número de manchas solares con la intensidad de flujo solar del Observatorio de Huancayo y el Observatorio de Toyokawa desde 1969 hasta 1972, en el que se puede apreciar una buena correlación entre ambas variables.

## 4. DISCUSIÓN

Las explosiones solares en la banda centimétrica por lo general están más próximas a la explosión principal. En cuanto a los estados iniciales, al precalentamiento del inicio de una explosión después de su liberación puede estar referida a una mancha solar, fácula, prominencia u otro evento ocurrido en la atmósfera solar. Esto es debido a una súbita perturbación de una región activa, ya que la polarización circular de las ondas centimétricas estarían asociadas con la morfología magnética de estas regiones. Por lo que se puede inferir que antes de la fase de la explosión principal, esto es antes del pico de la explosión, la polarización permanece casi constante (según la intensidad). La rápida variación del grado de polarización antes del aumento de la intensidad podría ser atribuida a algún tipo de variación de las emisiones equivalentes de las regiones polarizadas y no polarizadas. Estas emisiones ordinarias serían de las regiones más profundas las cuales serían más frías, de tal forma que las emisiones más calientes corresponderían a la corona y la variación del grado de polarización se debería principalmente a las diferencias de temperaturas entre estos.

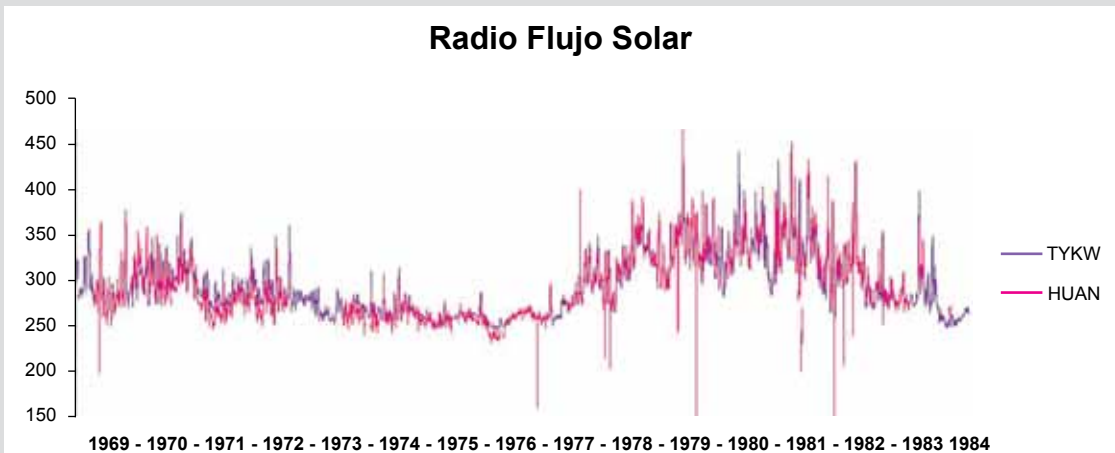


Figura 5. Flujo Solar Total en Huancayo (línea roja) y Toyokawa (línea azul) a 9,4GHz.

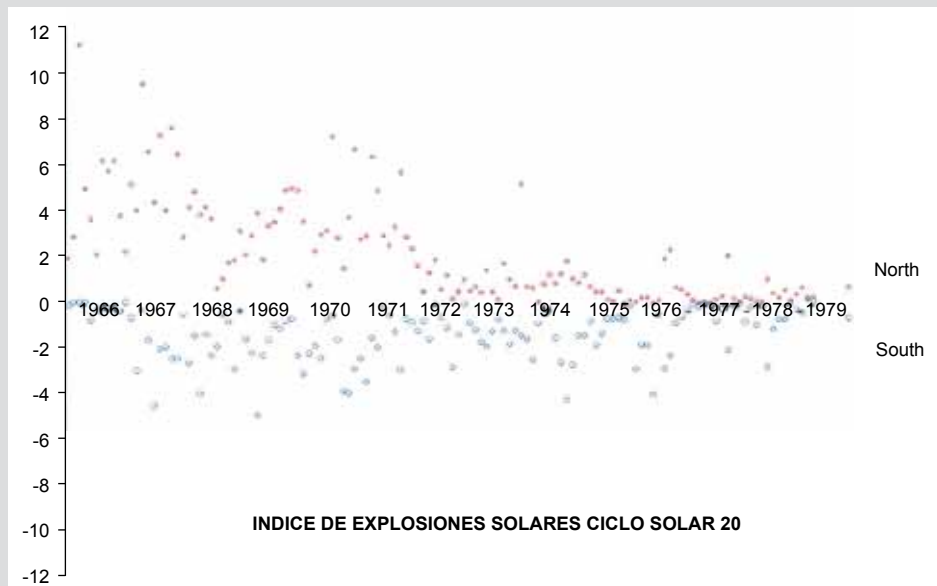


Figura 6. Índice de Explosiones Solares en el Hemisferio Sur y Norte (fuente: NOAA).

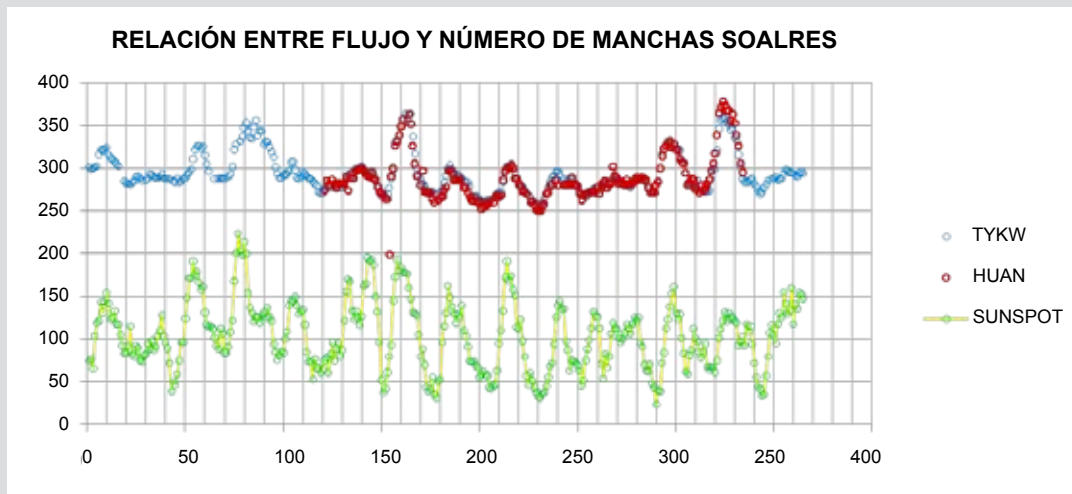


Figura 7. Relación entre flujo solar y número de manchas solares 1969.

## 5. CONCLUSIONES

Con respecto a los fenómenos ocurridos antes de la explosión principal se concluye que, en los instantes que precedieron a la explosión principal no existe una gran variación de intensidad (emisión). Hay variaciones en la polarización, con un pico inverso en el grado de polarización atribuido a la presencia de una fúcula. Por otro lado, cuando existen más de dos picos inversos en la polarización, previos a la explosión, se debe a la presencia de manchas solares.

Se encuentra una relación entre el número de manchas solares con la intensidad de flujo coincidiendo ambas variables en sus respectivos picos (Figura 7).

Para conocer a cabalidad los eventos elegidos en este trabajo, es importante llegar a conocer el procedimiento de la reducción de los datos y tener una idea clara sobre el funcionamiento del equipo.

## 6. RECOMENDACIONES

Sería recomendable que el Radio Polarímetro de Huancayo vuelva a operar y a la vez modernizar su sistema, para poder seguir registrando datos de mucha importancia para el estudio del sol en radio, y sea un complemento que corrobore la información de otros equipos ópticos en diferentes bandas, al mismo tiempo genere trabajos de investigación para alumnos interesados en el área, que lleguen a contribuir con información científica para nuevos estudios.

Lo fundamental para hacer un estudio de las explosiones sería terminar de analizar todos los eventos del ciclo solar

21 y culminar los del ciclo 20 con la finalidad de terminar de construir una nueva clasificación para los eventos centimétricos.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

Al Dr. José Ishitsuka y al Dr. Mutsumi Ishitsuka, por estar a cargo de mi capacitación en el Observatorio de Ancón.

A todo el personal de Observatorio de Ancón quienes han tenido mucho que ver con la formación académica profesional.

Al Dr. Pierre Kaufmann por su apoyo bibliográfico y comentarios que facilitaron el desarrollo de mi tema.

---

## 8. BIBLIOGRAFÍA

Kaufmann P., 1975. La atmósfera solar y su investigación a través de ondas radioeléctricas, Cap.6-8, Editado en el Taller gráfico del Observatorio Nacional de Física cósmica, Buenos Aires Argentina.

Ishitsuka, M. y Lanat J., 1970. Investigation of solar flares and associated plage phenomena. Reporte, Instituto Geofísico del Perú.





## SISTEMA DE RECEPCIÓN DIGITAL DE LA SEÑAL DE UN RADAR CONTROLADO POR CPLDS

### DIGITAL RECEPTION SYSTEM OF THE RADAR SIGNAL CONTROLLED BY CPLDS

**Rita Jakelyn Abad Lima**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Facultad de Ingeniería Electrónica  
jakelyn.abad.lima@gmail.com

Asesores: M.Sc. Guillermo Tejada e Ing. José Alcántara  
Área de Electrónica e Instrumentación – Radio Observatorio de Jicamarca

#### Resumen

JARS (Jicamarca Acquisition Radar System) es un sistema de recepción digital multicanal para radares, construido en el Radio Observatorio de Jicamarca (ROJ). Sus principales características son el número de canales con el que cuenta y su flexibilidad, debido a que la lógica de su funcionamiento ha sido implementada en CPLD's (Complex Programmable Logic Device).

Su funcionamiento consiste en recibir los ecos de las señales, provenientes de la antena y acondicionarlas para ser enviadas a una PC. En el presente trabajo se describirán las partes más importantes del sistema: el hardware, el firmware y el software.

**Palabra clave:** Radar, sistema de recepción, CPLD's

#### Abstract

JARS (Jicamarca Acquisition Radar System) is a multichannel digital receiver for radar, built at JRO – Jicamarca Radio Observatory, its main features are the number of channels and its flexibility, because the logic of their operations has been implemented in CPLD's (Complex Programmable Logic Device).

The system works by receiving the echoes of signals from the antenna, and prepare them to be sent to a PC. In this paper we describe the most important parts of the system: hardware, firmware and software.

**Keyword:** Radar, reception system, CPLD's.

## 1. TRODUCCIÓN

La necesidad de mediciones de radar de alta precisión para el estudio de la alta atmósfera ha motivado el desarrollo de nuevos sistemas de adquisición en el ROJ. Los receptores digitales han reemplazado a los viejos receptores analógicos, proporcionando mayor rango dinámico, tasas de muestreo más rápidas y una mayor flexibilidad en la configuración.

En el ROJ, se utilizan los receptores digitales Echotek GC214, pero no son tan flexibles como lo que se necesitan, así se decidió desarrollar un sistema propio de recepción digital. El primer prototipo que se construyó fue un sistema de dos canales de adquisición de datos (REX-2X).

El sistema fue terminado en el 2008 y se ha utilizado para modernizar el radar SOUSY de Jicamarca. En el 2009, después de la experiencia adquirida en REX-2X, un nuevo

proyecto comenzó, un sistema de adquisición de ocho canales que lleva el nombre de JARS (Jicamarca Acquisition Radar System), Inoñan y Abad, 2010.

## 2. DESARROLLO

### 2.1 DESCRIPCIÓN DEL HARDWARE

El hardware es la parte física del sistema y está constituido por tres tarjetas diseñadas y construidas en el ROJ, las cuales, debido a su función han sido denominadas de la siguiente manera:

- ❖ Tarjeta de Recepción
- ❖ Tarjeta Bus
- ❖ Tarjeta de Control

Adicionalmente se utiliza una tarjeta de adquisición comercial (NIDAQ 6534) como interfase con la PC.

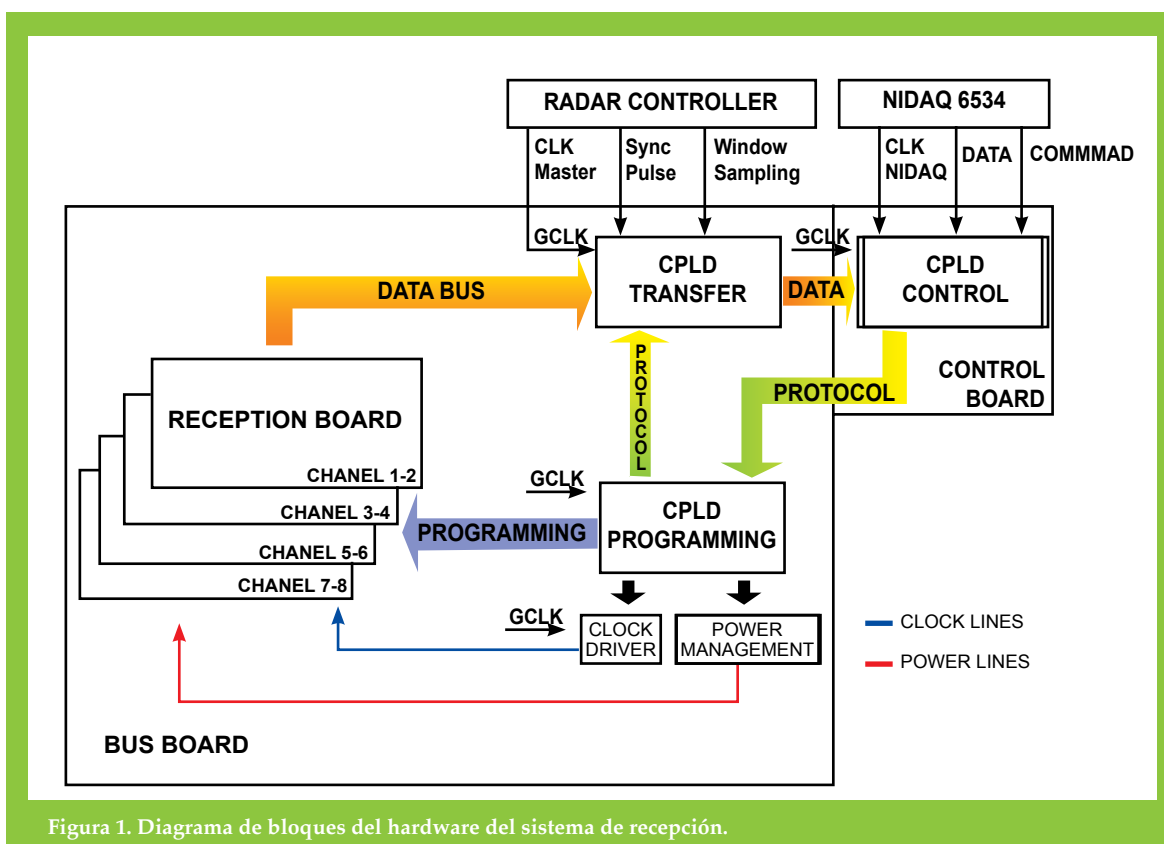


Figura 1. Diagrama de bloques del hardware del sistema de recepción.

El hardware del sistema JARS está controlado por tres CPLD's, los cuales se encuentran en la Tarjeta Bus y Control (ver Figura 1). Los CPLD's configuran todo el sistema a través de comandos enviados desde la PC, además se encarga de adquirir correctamente los datos obtenidos por los canales de recepción.

### 1.1.1. Tarjeta de Recepción

La Tarjeta de Recepción es la primera fase de JARS y se encarga de recibir las señales provenientes de la antena, para luego digitalizar y realizar un pre-procesamiento (demodulación en cuadratura, decimado y filtrado). Para realizar estas tareas cuenta con dos circuitos integrados principales, el convertidor analógico/digital AD6645 y el receptor digital AD6620. (Figura 2).

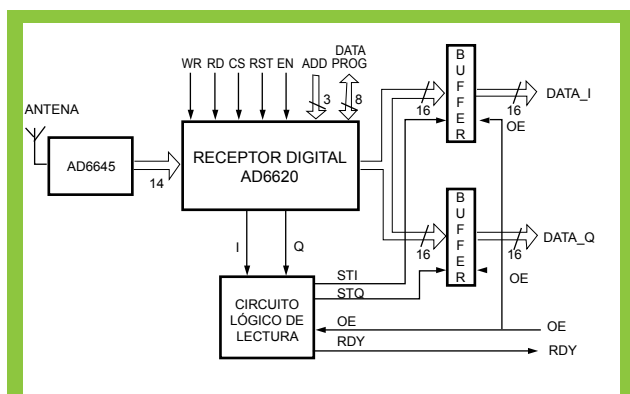


Figura 2. Diagrama de bloques de la tarjeta de recepción del sistema JARS

### 1.1.2. Tarjeta Bus

Se llama así porque utiliza la tecnología tipo bus para acceder al bus de datos que comparten los canales de recepción. La tarjeta Bus está compuesta principalmente por dos chips CPLD's MAX II EPM1270, los cuales controlan la lógica de funcionamiento de la tarjeta que se describe a continuación:

1. Interpreta los comandos provenientes de la PC, los cuales son enviados a través de la Tarjeta de Control del sistema JARS.
2. Habilita los canales que se han seleccionado para adquirir datos, mediante una máscara de bits enviadas desde la PC a través del Software que interactúa con el usuario.
3. Programa y configura los receptores digitales para que estén listos para la adquisición de datos.
4. Adquiere los datos provenientes de las Tarjetas de recepción.
5. Controla y sincroniza la data adquirida con las señales del controlador de radar (reloj maestro,

ventana de muestreo, sincronismo) y luego los envía a la PC a través de la Tarjeta de Control.

### 1.1.3. Tarjeta de Control

El núcleo principal de la tarjeta de control es un CPLD MAX II EPM1270 (CPLD de Control), y se encarga de realizar principalmente dos tareas, las cuales son: comunicación con la PC a través de un protocolo, y la transferencia de datos adquiridos a la PC por la NIDAQ 6534, se muestra un diagrama de bloques de la tarjeta de control en la Figura 3.

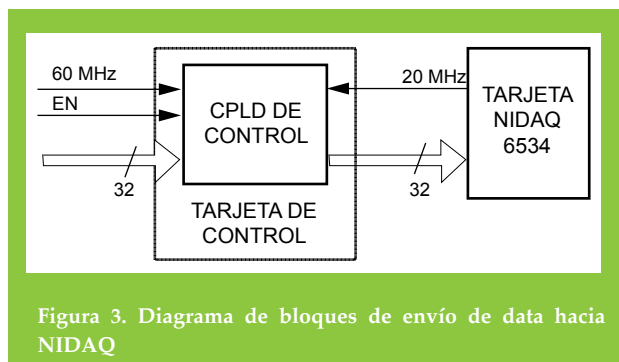


Figura 3. Diagrama de bloques de envío de data hacia NIDAQ

## 2.2 DESCRIPCIÓN DEL FIRMWARE

El firmware es el código desarrollado en lenguaje de descripción de hardware, VHDL. El sistema JARS tiene su lógica de control desarrollada en VHDL e implementada en 03 CPLD's (dispositivos lógicos programables) MAX II de ALTERA, estos CPLD's son: CPLD de control, encargado de la comunicación con la NIDAQ 6534 y de enviar los datos sincronizados con el reloj de la NIDAQ a la PC, CPLD de programación su tarea principal es programar los receptores digitales AD6620 (en las tarjetas de recepción), y el CPLD de transferencia encargado de adquirir la data de las tarjetas de adquisición y sincronizarlas con el Controlador de Radar para enviarlas al CPLD de Control, según se visualiza en la Figura 1.

## 2.3 DESCRIPCIÓN DEL SOFTWARE

El software del sistema JARS ha sido desarrollado de forma modular, donde cada módulo se encarga de una determinada tarea y sólo carga las funciones que un determinado experimento necesita (Figura 4). Lo que lo hace más eficiente.

Jicamarca cuenta con un software propio llamado Pulse Design, en el cual se definen todas las características de un experimento (tipo de pre-procesamiento a realizar, cantidad de bloques por archivo, grabado o no de datos, etc.)

El software guarda los datos crudos adquiridos (valores en voltaje), en el formato Jicamarca, y los datos procesados (valores de espectros) se almacenan en formato PData.

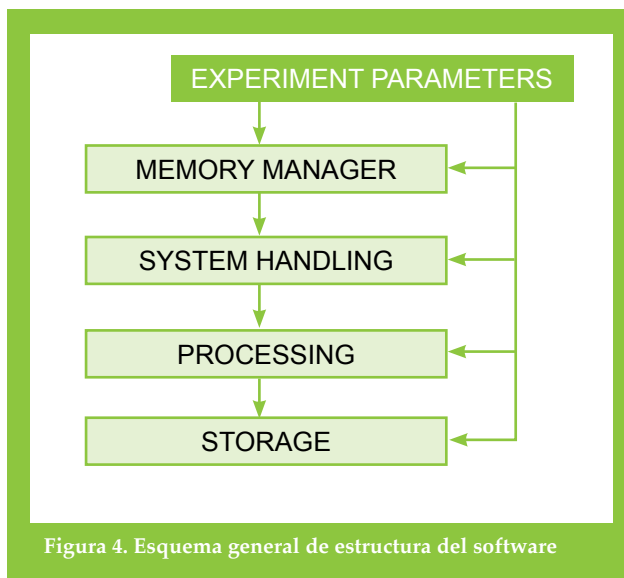


Figura 4. Esquema general de estructura del software

1. Experiment Parameters: Es una clase que contiene todas las estructuras de los datos (Formato Jicamarca para Raw Data y PData para Espectros). Además carga todos los parámetros provenientes del \*.racp.
2. Memory Manager: Clase que se encarga de definir las posiciones y espacios de memoria para la adquisición, a partir de los datos recibidos por Experiment Parameters.
3. Manejo del Sistema: Clase que se encarga de cargar las funciones de la tarjeta NIDAQ, tomar los punteros de Memory Manager y de Experiment Parameters.
4. Procesamiento: Clase que se encarga de realizar el siguiente pre-procesamiento a la data recibida: Decodificación, en algunos experimentos es necesario emplear código; Integración Coherente, consiste en promediar las señales en el dominio del tiempo. Con la integración coherente principalmente se reduce la cantidad de datos y se mejora la relación señal a ruido (SNR); Integración Incoherente, consiste en promediar los espectros de potencia para mejorar la relación SNR.
5. Almacenamiento: Clase que se encarga de guardar la data recibida en formato Jicamarca o en PData.

Siguiendo esta estructura, se realizó un programa de visualización de data ingresada (usando MFC's), que fue de ayuda para las primeras pruebas. La interface, se muestra en la Figura 5.

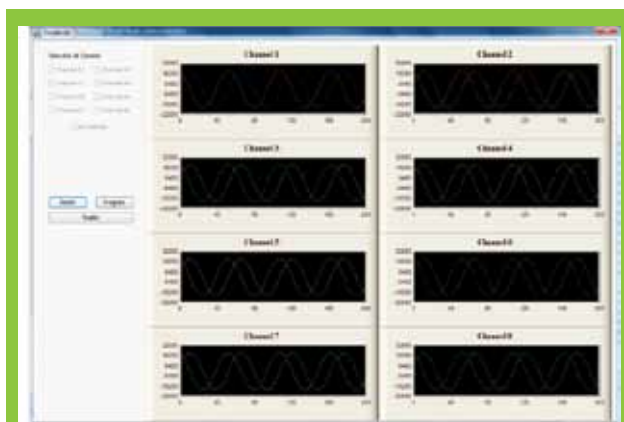


Figura 5. Programa de adquisición para pruebas (08 canales)

## 2.4 PROTOCOLO DEL SISTEMA

Debido a las distintas funciones que realiza el sistema JARS, es necesario establecer un protocolo de comunicación entre sus etapas de control, con el fin de ejecutar en forma ordenada cada proceso. El sistema JARS cuenta con 03 etapas de control, cada una de ellas manejada por un CPLD (Configuración y Programación, Transferencia y Control). Estos CPLD's tienen líneas dedicadas de comunicación entre sí para poder interpretar cualquier instrucción enviada desde la PC.

Este protocolo se transmite de manera serial a través de la línea de Control de la NIDAQ hacia el CPLD de Control, luego éste les envía a los demás CPLD's en forma paralela a través de líneas de Control exclusivas para el traslado del protocolo. La longitud del protocolo consta de 22 bits, su estructura se detalla en la Figura 6.



Figura 6. Estructura de comando de protocolo final.

A continuación, se detalla cada paquete que compone un comando.

### 1. HEADER:

Secuencia con que se inicia un comando, siempre empieza con 0101, esto para evitar una mala interpretación del protocolo.

2. CHIP#:

Debido a que algunas funciones son útiles sólo para un CPLD, este paquete indica a qué chip va dirigido el comando: si es 0 va dirigido a todos los chips, 1 al de la tarjeta de control, 2 al del bus de comando y 3 al del bus de transferencia.

3. CMD:

Indica el comando en sí que la unidad de control respectiva ejecutará

4. BY\_CTRL/DATA:

Este valor indica, a través de qué líneas se va a enviar, si después de enviar el comando se va a enviar más información que complementa a la función misma del comando (tal como los coeficientes del filtro del AD6620), los datos se enviarán a través del puerto de datos o del puerto de control de la NIDAQ.

5. DATA SIZE:

La cantidad de palabras de 11 bits que se enviarán por el puerto de datos de la NIDAQ, si se pasa por las líneas de Control este valor debe ser 0.

### 3. RESULTADOS

1. Rango dinámico, el sistema fue configurado para funcionar con 08 canales a 1 MHz de resolución. Los resultados se muestran en la Tabla 1.

TABLA 1. Rango Dinámico en cada canal de JARS.

Canal	Número de bits excitados	Señal mínima	Señal máxima	Rango dinámico
Ch1	06 bits	-74.1 dBm	6.7 dBm	80.8 dB
Ch2	06 bits	-80.2 dBm	6.8 dBm	87.0 dB
Ch3	06 bits	-82.2 dBm	6.7 dBm	88.9 dB
Ch4	06 bits	-75.2 dBm	8.8 dBm	84.0 dB
Ch5	06 bits	-82.2 dBm	6.8 dBm	89.0 dB
Ch6	06 bits	-74.1 dBm	6.9 dBm	81.0 dB
Ch7	07 bits	-68.1 dBm	6.9 dBm	89.0 dB
Ch8	07 bits	-72.1 dBm	6.9 dBm	82.2 dB

En la actualidad, JARS se utiliza para adquirir datos del radar principal del ROJ, en los experimentos de imagen, cuyas características se muestran en la Tabla 2.

TABLA 2. Características principales del experimento de Imágenes.

Resolución	100 KGz
Data procesada	Si
Fecha de experimento	18-01-2011

Los resultados se muestran en la Figura 7, donde se muestra una imagen de Spread-F.

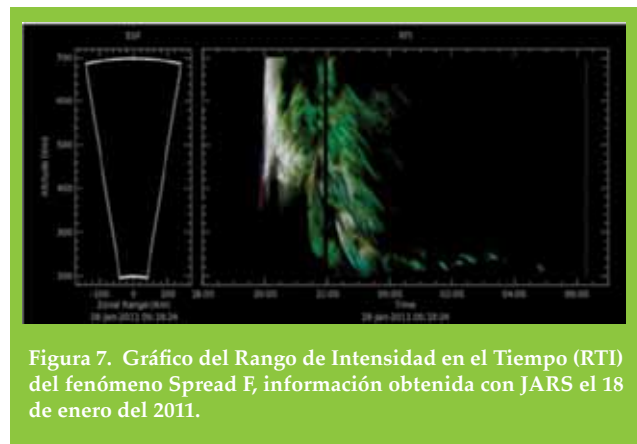


Figura 7. Gráfico del Rango de Intensidad en el Tiempo (RTI) del fenómeno Spread F, información obtenida con JARS el 18 de enero del 2011.

### 4. CONCLUSIONES

- a) JARS es un sistema de adquisición estable, flexible y de fácil configuración.
- b) Debido a que JARS ha sido enteramente desarrollado en el ROJ, tenemos pleno conocimiento de la funcionalidad del sistema, que nos permitirá configurar fácilmente cualquier tipo de experimento de radar. Esto ampliará aun más las capacidades del radar de Jicamarca para llevar a cabo experimentos más sofisticados y un mejor estudio de la atmósfera.

### 5. AGRADECIMIENTOS

Al Radio Observatorio de Jicamarca por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

Al M.Sc. Darwin Córdova y a todo el personal de Radio Observatorio, quienes han tenido mucho que ver con la construcción del sistema de recepción JARS.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Inoñan, M. y Abad R., 2010. Sistema de Adquisición Digital JARS. Reportes trimestrales del ROJ, 2do Trimestre 2010.

AD6645 Datasheet Rev. D, Analog Devices Inc., 2002-2008

AD6620 Datasheet Rev. A, Analog Devices Inc., 2001

National Instruments CORPORATE, NI 6534X, 1997. User Manual for Tradicional NI-DAQ, U.S.A.



## CARACTERIZACIÓN DE TORMENTAS INTENSAS EN EL VALLE DEL MANTARO MEDIANTE SENSORAMIENTO REMOTO

### CHARACTERIZATION OF HEAVY STORMS IN THE MANTARO VALLEY USING REMOTE SENSING

**Steven Paul Chávez Jara**

Facultad de Ciencias e Ingeniería  
Pontificia Universidad Católica del Perú  
steven.chavez@pucp.pe

Asesor: Ph.D. Ken Takahashi G.  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

La medición precisa de la variación espacial y temporal de las lluvias tropicales de todo el mundo sigue siendo uno de los graves problemas no resueltos de la meteorología. En particular, en los Andes peruanos la gran heterogeneidad geográfica y la escasez de estaciones meteorológicas impide una adecuada caracterización de la precipitación. Más aún, técnicas de estimación por sensoramiento remoto basadas en observaciones satelitales de nubosidad no han sido exitosas en esta región. En este estudio para caracterizar las tormentas intensas buscamos la mayor cantidad de información de distintas fuentes, para ello nos valemos del radar de precipitación (PR) a bordo del satélite TRMM producto

#### Abstract

The accurate measurement of the spatial and temporal variation of tropical rainfall around the globe remains one of the critical unsolved problems of meteorology. In particular, in the Peruvian Andes the great geographic heterogeneity and the scarcity of weather stations prevents proper characterization of the precipitation. Moreover, estimation techniques based in remote sensing satellite observations of cloud cover have not been successful in this region. In this study we characterize the heavy storms with as much information from various sources, for this we use the precipitation radar (PR) onboard TRMM Product 2A25, which allows us to obtain the spatial distribution of rainfall in three dimensions and an

2A25, el cual nos permite obtener la distribución espacial de lluvias en tres dimensiones y también un estimado de lluvia en la superficie. Por otro lado, los rayos eléctricos, asociados a tormentas intensas, son localizados en forma continua valiéndonos de la red mundial de detección de rayos WWLLN (World Wide Lightning Location Network). La información sobre las nubes y su temperatura de brillo la obtenemos del satélite estacionario GOES. En este trabajo se presenta un mapa de un caso de estudio con toda la información recolectada.

**Palabras clave:** Tormentas, TRMM PR 2A25, WWLLN

estimated surface rainfall. On the other hand, the lightning associated with severe thunderstorms are continuously located in availing of the global lightning detection WWLLN (World Wide Lightning Location Network). Information on clouds and their brightness temperature is obtained from the stationary satellite GOES. In this paper, we present a map of a case study with all the information collected.

**Keywords:** Storms, TRMM PR 2A25, WWLLN

## 1. INTRODUCCIÓN

Este es un primer estudio que conjuga la información de distintas fuentes de sensoramiento remoto para caracterizar las tormentas intensas en el valle del Mantaro y las principales subcuencas estudiadas dentro del proyecto MAREMEX Mantaro (Manejo de riesgos ante eventos meteorológicos extremos). Para este fin, se utiliza información de lluvia estimada en la superficie proporcionada por el radar de precipitación a bordo del satélite TRMM producto 2A25 (PR 2A25). Los rayos eléctricos son localizados de manera continua con la red mundial de detección de rayos (WWLLN) de la cual el IGP forma parte y tiene una antena en el Observatorio de Huancayo y finalmente la información de nubes, en particular la temperatura de brillo, se obtiene de las imágenes del satélite estacionario GOES en la banda de Infrarrojo IR04.

### 1.1 EL RADAR

Un radar cambia alternadamente entre emitir pulsos de radiación de microondas con una antena común. La antena es usada para enfocar la radiación en un haz estrecho, de tal manera que las señales viajen hacia fuera en una dirección específica. El propósito original fue detectar y localizar objetivos militares. Las señales recibidas son reflejadas de los objetivos que están en el camino del haz y la distancia o rango  $r$  del objetivo respecto del radar puede ser determinada precisamente del tiempo entre las señales transmitidas y recibidas. Con un apropiado equipo para el procesamiento de datos, las señales recibidas pueden ser interpretadas en términos de cantidades físicas relevantes para la física de precipitaciones y dinámica de nubes.

#### 1.1.1 El Radar Meteorológico

Los radares meteorológicos operan en longitudes de onda ( $\lambda$ ) entre 1- 30 cm siendo 3, 5 y 10 las más usadas. Las señales más cortas en el rango de 1-30 cm de  $\lambda$  son más sensibles a objetivos que reflejan débilmente, estas

señales no requieren una antena de gran diámetro para enfocar el haz, sin embargo están sujetas a la atenuación de la señal en lluvias intensas. La longitud de onda de 10 cm es la más corta a la cual la atenuación es esencialmente eliminada (Houze, 1993). Sin embargo, la antena requerida para enfocar un haz de 10 cm de  $\lambda$  es muy grande, un disco de 8m de diámetro es necesario para 1° de ancho de haz o beamwidth. Es por esto que la mayoría de radares meteorológicos tienen antenas escaneables, que permiten al radar apuntar en una dirección específica. Para que un radar meteorológico opere en órbita desde un satélite, debe haber un balance entre el tamaño de la antena y las limitaciones de espacio.

#### 1.1.2 Volumen de Resolución

Las partículas de precipitación detectadas por radares meteorológicos se llaman objetivos distribuidos. Muchos elementos dispersivos son iluminados por el haz del radar. El volumen que contiene a los objetivos iluminados es llamado volumen de resolución del radar. Este volumen es determinado por el ancho del haz y la duración del pulso de radiación transmitido.

Como los objetivos distribuidos están moviéndose unos respecto a otros por la diferencia de sus velocidades de caída y los vientos turbulentos, la potencia que regresa del volumen de resolución centrado en el rango  $r$  fluctúa en el tiempo. La potencia instantánea depende entonces del arreglo de los dispersores. Sin embargo, un promedio en el tiempo de aproximadamente 0,01 s promedia la fluctuaciones en la potencia recibida.

## 1.2 RADAR DE PRECIPITACIÓN (PR)

El radar de precipitación es uno de los cinco instrumentos a bordo del satélite TRMM. El PR es un radar activo de 13,8 GHz, su longitud de onda de 2,17 cm está sujeta a atenuación. El PR graba la energía reflejada por objetivos en la atmósfera y en la superficie y tiene una compleja geometría de escaneo (Figura 1).



### El Producto 2A25

El producto 2A25 del PR tiene como objetivo corregir la atenuación en la medición de la reflectividad del radar y estimar la distribución tridimensional de la lluvia a partir de los datos del TRMM PR. Para ello utiliza un complejo algoritmo (Iguchi y Meneghini, 2000). Proporciona además un estimado de la lluvia en la superficie.

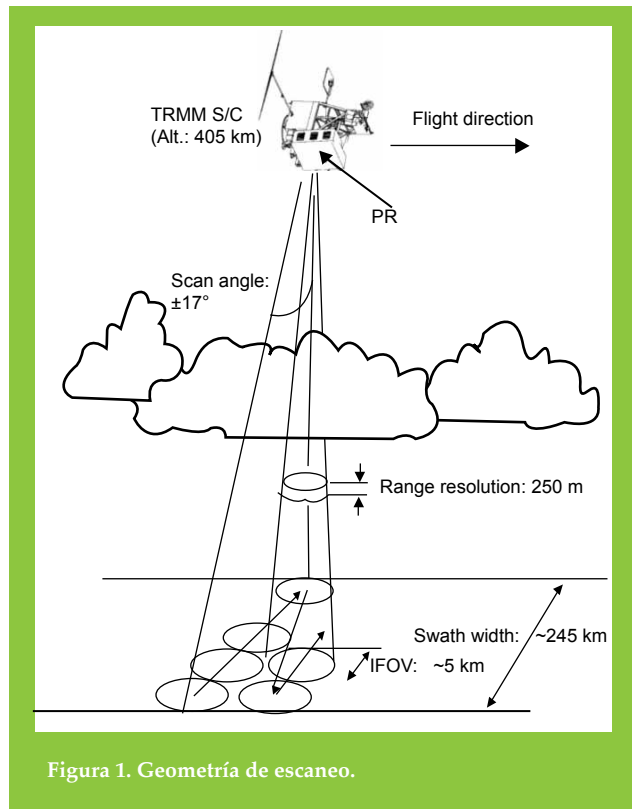


Figura 1. Geometría de escaneo.

Cada escaneo contiene 49 haces o rayos tomados en un sector angular de 34°. Para un rayo dado el satélite comienza a grabar muestras a una distancia fija del satélite y graba un cierto número de muestras. El PR observa un swath de 245 km que contiene 49 rayos y lo hace cada 0,6 s. El ancho de cada haz (beamwidth) es de 0,7° y el diámetro del pie de haz es de aproximadamente 5 km en el nadir. El ancho del pulso de 1,67 ms corresponde a una resolución del rango de 250m.

La potencia de retorno medida por el PR obedece la siguiente ecuación de radar:

$$Pr(range) = \frac{\pi^3 |K|^2}{2^{10} \ln 2} \frac{Pt * Gt * Gr * along * cross * c * pulse}{wavelength^2} \frac{1}{range^2} Z_m$$

donde:  $P_t$  es la potencia transmitida

$Z_m$  es el factor de reflectividad medido

El factor de reflectividad medido  $Z_m(r)$  y el verdadero factor de reflectividad  $Z_e(r)$  están relacionados por:

$$Z_m(r) = Z_e(r)A(r)$$

$$= Z_e(r) \exp\left[-0.2 \ln(10) \int_0^r k(s) ds\right], \quad (1)$$

donde  $A(r)$  es el factor de atenuación del radar al rango  $r$  y  $k(s)$  es la atenuación específica.  $k = \alpha Z_e^\beta$

La atenuación específica  $k(s)$  está relacionada con  $Z_e(r)$  mediante una ley de potencias empírica. La ecuación (1) es resuelta usando un híbrido entre el método de Hitschfeld-Bordan (Hitschfeld & Bordan, 1953) y el método de superficie de referencia (Iguchi y Meneghini, 2000).  $R = aZ_e^d$

El algoritmo 2A25 del PR estima el verdadero factor de reflectividad  $Z_e$  en cada celda de resolución de las muestras verticales de reflectividad  $Z_m$ . La razón de lluvia (R) es entonces calculada de la  $Z_e$  estimada.

Donde los coeficientes (a,b) son consistentes con los (a,b) dada una Distribución de tamaño de gotas (DSD) (Iguchi y Meneghini, 2000). Una apropiada selección de un modelo de DSD es muy importante porque este afectaría sustancialmente los estimados finales de R.

### 1.3 SISTEMAS DE LOCALIZACIÓN DE RAYOS

Los sistemas de localización de rayos mediante redes de receptores de radio son de dos clases. La primera se basa en encontrar la dirección magnética en cada estación receptora y la segunda clase utiliza la diferencia en los tiempos de llegada de los impulsos de radio, producidos por las descargas de rayos (llamados “esféricos”) para cada par independiente de estaciones receptoras.

La banda VLF (3-30kHz) que contiene la densidad espectral de más alta potencia de radiación de rayos (Malan, 1983 en Dowden, 2002) nos permite detectar y medir rayos a distancias o rangos de varios de miles de kilómetros, para ello se utiliza todo el frente de onda. Hay dos maneras de usar todo el frente de onda VLF para hacer mediciones de tiempos. Una de uso comercial mide la diferencia en el tiempo de arribo (Arrival Time Difference, ATD) por correlación cruzada de todos los frentes de onda VLF recibidos en un par de lugares (Lee, 1986 en Dowden, 2002). La segunda mide la razón de cambio de la fase esférica con respecto a la frecuencia, al tiempo de producida la señal, para encontrar el tiempo de grupo de arribo (Time of Group Arrival, TOGA) en cada sitio receptor.

## 1.4 WWLLN

La mayoría de las observaciones terrestres en la banda VLF están dominadas por las señales impulsivas de descargas de rayos o esféricos. Existe una significativa potencia electromagnética radiada desde algunos hertzios hasta varios cientos de megahercios, con la mayor parte de la energía radiada en la banda VLF.

La Red Mundial de Detección de Rayos (World Wide Lightning Location Network, WWLLN) con su red de sensores esféricos funcionando en la banda VLF (3-30kHz) produce mapas regulares de la actividad eléctrica sobre todo el mundo (Dowden, 2002).

## 1.5. SATÉLITES GOES

Los satélites GOES (Geostationary Operational Environmental Satellite) proveen el tipo de monitoreo continuo necesario para un análisis intensivo de datos. Ellos circulan la Tierra en una órbita geosíncronica, esto significa que orbita el plano ecuatorial de la Tierra a la misma velocidad que la Tierra rota. Y esto les permite permanecer suspendidos continuamente sobre una posición de la superficie. El plano geosíncronico está alrededor de 35 800 km sobre la Tierra, suficientemente alto que permite a los satélites tener una vista del disco completo de la Tierra y como están sobre un punto fijo de esta, proveen una vigilancia de los desencadenantes atmosféricos de condiciones severas del clima tales como tornados, huracanes y tormentas de granizo. Cuando estas condiciones se desarrollan los satélites GOES permiten monitorear el desarrollo de las tormentas y seguir su movimiento.

Las observaciones hechas por el satélite GOES son del tipo pasiva (recibe la radiación emitida por los objetos) y son hechas en diferentes canales del espectro electromagnético, en el visible y el infrarrojo. Las imágenes de satélite del canal infrarrojo IR4 (10,7  $\mu$ m) muestran la radiación en onda larga emitida por la Tierra. Si el emisor se comporta como un cuerpo negro en esta banda, como es el caso de nubes ópticamente espesas, el suelo y cuerpos de agua, entonces la señal que llega al satélite está íntimamente ligada a la temperatura de este. Por ello, estas imágenes permiten un diagnóstico de la temperatura de la superficie y del tope de las nubes.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

### 2.1 PR 2A25

Los datos de lluvia en la superficie son proporcionados por la NASA en formato hdf4, los cuales son visualizados con hdfview, exportados y organizados en tablas con su geolocalización. Los Datos son interpolados mediante una interpolación de vecinos naturales y presentados como un mapa de precipitación.

### 2.2 WWLLN

La información de los rayos eléctricos en todo el mundo son recibidos en archivos .loc en forma de tablas con la fecha, geolocalización, hora con precisión de milisegundos, etc.

### 2.3 GOES

Se utilizaron las imágenes GOES en la banda de infrarrojo cuatro (IR04) de las cuales se extraen los valores de cada pixel y su geolocalización. Mediante una interpolación se puede reconstruir la imagen o mejor aún se puede usar la información del pixel para determinar la temperatura de Brillo y construir un mapa con las temperaturas de brillo.

En todos los casos para extraer y seleccionar los datos se hicieron programas en GNU Octave que permitieron obtener las tablas con la geolocalización y la información correspondiente.

### 2.4 DISTRIBUCIÓN DE TAMAÑO DE GOTAS

Debido a que la DSD es un factor determinante en el algoritmo del PR2A25, para la validación de este en la región andina se planeó utilizar la técnica del papel de filtro (Rinehart, 1997) durante una campaña observacional hecha del 20 al 24 de febrero del 2011 para poder caracterizar la DSD representativa de los Andes y su relación con parámetros del radar, particularmente la reflectividad. Se tomaron 60 muestras de gotas de lluvia en Huancayo, Concepción y Chupaca, se muestra un ejemplo en la Figura 2. Esta información está aún en procesamiento.

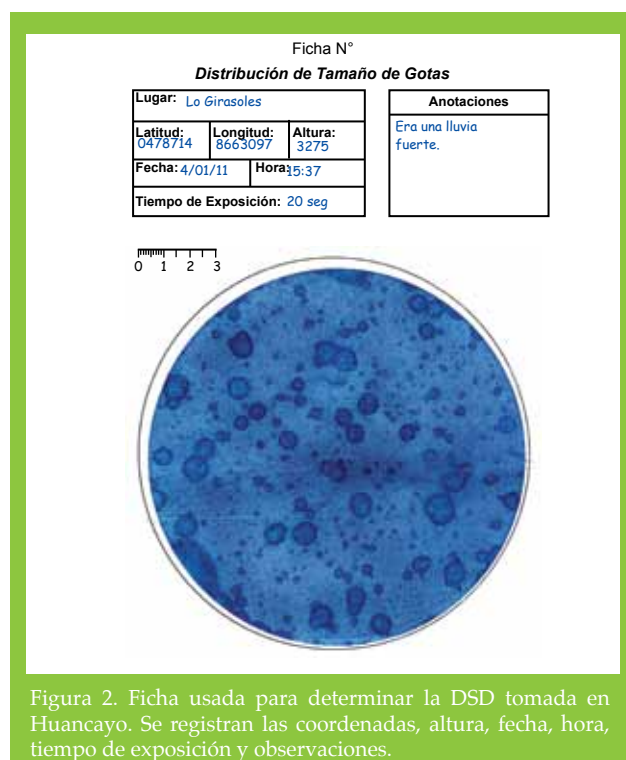


Figura 2. Ficha usada para determinar la DSD tomada en Huancayo. Se registran las coordenadas, altura, fecha, hora, tiempo de exposición y observaciones.

### 3. RESULTADOS

Se generaron mapas de precipitación, con información de rayos y temperatura de brillo para algunos casos de estudio (por ej. Figura 3). La inspección de estos mapas nos permiten caracterizar algunas propiedades de las tormentas. Por ejemplo, se han encontrado que las tormentas vistas desde el espacio tienen por lo general, forma de elipse y en algunos casos se les puede aproximar a círculos con radios que van desde los 5km hasta los 20 km para tormentas en el valle del Mantaro y sus alrededores. Esto nos indica que una red pluviométrica para el monitoreo de tormentas deberá tener una alta densidad de estaciones. Por otro lado, se han observado grandes tormentas en la selva del departamento de Junín donde las lluvias se extienden por áreas que pueden tener radios de hasta 50 km.

Se observa la presencia de rayos en la zona donde las lluvias son más intensas, cabe mencionar que se observan rayos también en zonas donde el satélite no detecta lluvias pero en las cuales puede que esté granizando o nevando, ya que

el PR 2A25 no detecta la precipitación de hielo, granizo o nieve. Tal es el caso del territorio cerca a la frontera entre Lima y Junín que es una zona montañosa elevada y donde constantemente se detectan rayos.

Se observa que alrededor del valle del Mantaro las nubes altas, identificadas con temperaturas de brillo bajas, se ubican típicamente hacia el suroeste de las lluvias, consistente con Segura et al., 2010 (Mapa de correlación de precipitación observada y satelital sobre la cuenca del Mantaro). Esto refleja la advección por los vientos predominantes en niveles altos e indica que en general las zonas con nubosidad más alta no coincidirán con las zonas con más lluvia.

El presente trabajo, que aún se encuentra en desarrollo, permitirá determinar las relaciones entre diferentes parámetros de las tormentas, como la intensidad de la lluvia, su extensión horizontal, la altitud de sus topes, el número de rayos, etc. Estas relaciones serán útiles para el desarrollo de técnicas de estimación de lluvias por sensoramiento remoto.

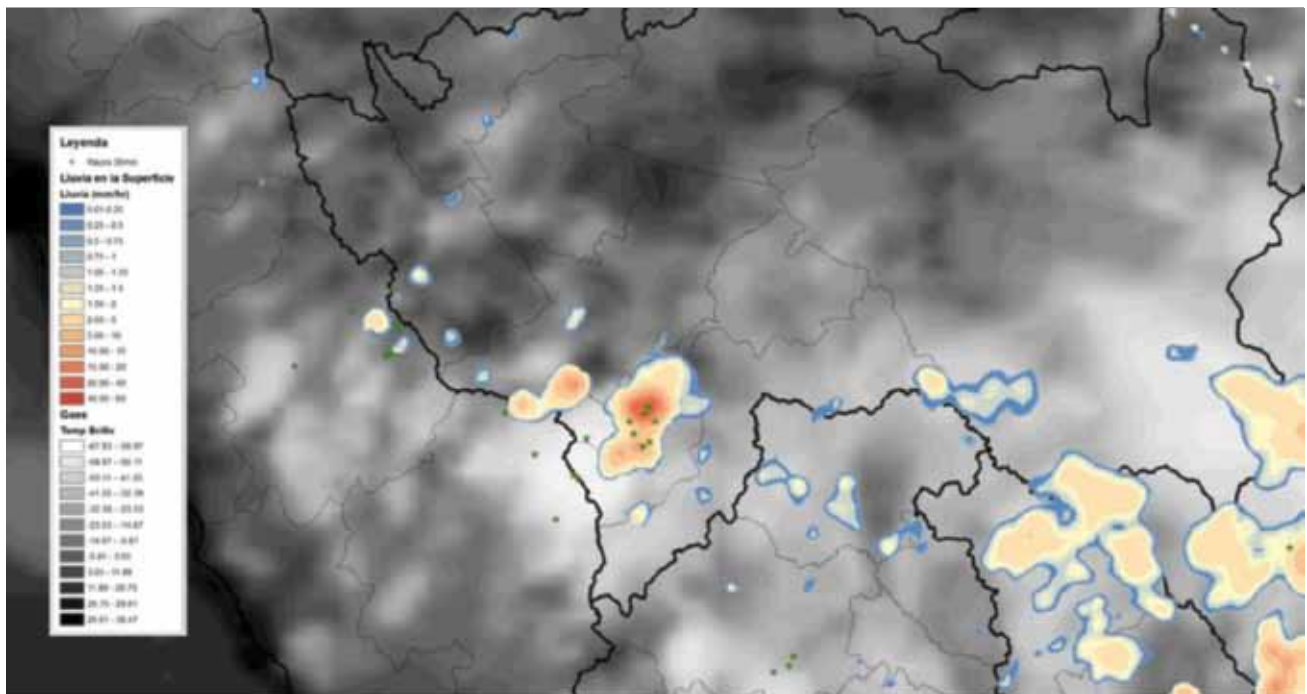


Figura 3. Mapa del día 16 de febrero del 2010 a las 2:02 pm hora local. Los rayos detectados entre los 30 minutos antes y después del paso del satélite son representados por estrellas verdes. La temperatura de brillo (en grados centígrados) está en una escala de grises, donde el color negro representa temperaturas altas (superficie) y el color blanco temperaturas bajas (nubes). La razón de lluvia en la superficie (en mm/hr) se muestra a colores, se han excluido los valores de precipitación menores a 0,7 mm/hr.

## 4. CONCLUSIONES

- Se ha logrado hacer mapas que nos permiten ver las tormentas.
- Se ha encontrado que las tormentas tienen radios que van desde los 5 hasta los 20 km y que los rayos se presentan en la zona de la tormenta donde las lluvias son más intensas. Las nubes altas no están ubicadas junto con las lluvias, sino que están típicamente hacia el suroeste de éstas, dependiendo del viento predominante.
- La experiencia en el manejo de estas fuentes de sensoramiento remoto nos permite extender el trabajo y cuantificar otras variables como la altura del tope de la tormenta, el gradiente topográfico, el tope de lluvia y la banda brillante para determinar correlaciones que nos se han hecho antes.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A Dios y a mi familia.

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

Al Ph.D. Ken Takahashi G. mi asesor de tesis, por guiarme en el presente trabajo y su entusiasmo en el tema.

Al M.Sc. Alejandra Martínez, directora del proyecto MAREMEX Mantaro por estar interesada en que todos los tesisistas del proyecto terminemos de la mejor manera con nuestras investigaciones.

A todos los miembros del Proyecto MAREMEX Mantaro y del área de Clima del IGP por su disposición y cordial colaboración.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Dowden, R. L., Brundell, J. B., & Rodger, C. J., 2002. VLF lightning location by time of group arrival (TOGA) at multiple sites. *Journal of Atmospheric and Solar-Terrestrial Physics*, 64(7), 817–830. Elsevier.

Hitschfeld, W., & Bordan, J., 1953. Errors Inherent in The Radar Measurement Of Rainfall at Attenuating Wavelengths. *Journal of Meteorology*, 11, 58.

Houze, R., 1993. *Cloud Dynamics*. Academic Press Volume 53, International Geophysics Series pp. 107-119.

Iguchi, T., & Meneghini, R., 2000. Rain-Profiling Algorithm for TRMM Precipitation Radar. *Journal of Applied Meteorology*, 25(5), 2038

Rinehart, R., 1998. *Radar for Meteorologist*. Rinehart Pub; 3<sup>rd</sup> edition Appendix F.

Segura, B., K. Takahashi, y P. Lagos, 2010. Mapa de correlación de precipitación observada y satelital sobre la cuenca del Mantaro (2000-2006) en Cambio Climático en la cuenca del río Mantaro. Instituto Geofísico del Perú, Lima.

Tropical Rainfall Measuring Mission (TRMM), Team Japan Aerospace Exploration Agency (JAXA), National Aeronautics and Space Administration (NASA), 2005. *Precipitation Radar Algorithm Instruction Manual For Version 6*.

Tropical Rainfall Measuring Mission Science Data and Information System, 2008. *Interface Control Specification between the Tropical Rainfall Measuring Mission, Science Data and Information System (TSDIS) and the TSDID Science user (TSU) Vol3*.

### Información disponible en Internet:

Goes Project Science. <http://goes.gsfc.nasa.gov/goeseast-lzw/peru/>

GNU Octave <http://www.gnu.org/software/octave/docs.html>

NASA TRMM [http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/documentation/TRMM\\_README/TRMM\\_2A25\\_readme.shtml](http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/precipitation/documentation/TRMM_README/TRMM_2A25_readme.shtml)

WWLLN. <http://wwlln.net/>



## EVALUACIÓN Y DESARROLLO DE METODOLOGÍAS PARA EL PRONÓSTICO ESTACIONAL DE ANOMALÍAS DE LA TEMPERATURA EN EL MAR PERUANO ASOCIADO AL FENÓMENO EL NIÑO Y OTROS

### EVALUATION AND DEVELOPMENT OF METHODOLOGIES FOR FORECASTING THE SEASONAL TEMPERATURE ANOMALIES OF PERUVIAN SEA ASSOCIATED WITH EL NIÑO AND OTHERS

**Jorge Antonio Reupo Vélez**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Facultad de Ciencias Físicas

jorgereupo@gmail.com

Asesor: Ph.D. Ken Takahashi Guevara

Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

Con el propósito de evaluar la predicción de anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) frente a la costa de Sudamérica asociada al fenómeno El Niño-Oscilación Sur (ENOS), en este trabajo se analizaron los resultados del modelo climático acoplado (océano-tierra-atmósfera) Climate Forecast System (CFS) de National Centers for Environmental Prediction (NCEP). Este modelo hace el pronóstico hasta 9 meses a futuro y se toma para el estudio los pronósticos para el periodo de los años 1982-2009 para la región Niño 1+2. Los mayores índices de correlación entre los pronósticos y los datos observados se dieron entre los meses mayo-

#### Abstract

In order to evaluate the prediction of anomalous sea surface temperature (SST) front the coast of South America associated with El Niño-Southern Oscillation (ENSO), this study analyzed the results of coupled climate model (ocean- land-atmosphere) Climate Forecast System (CFS) National Centers for environmental Prediction (NCEP). This model makes the forecast up to 9 months in the future and taken to study the forecasts for the years 1982-2009 period for the Niño 1 +2 region. The highest levels of correlation between forecasts and observed data were among the months from May to December with a value between

Diciembre con un valor entre 0,65 y 0,9. Estos valores son mayores hacia los últimos meses del año y disminuyen a manera que se incrementan el tiempo de pronósticos. El análisis de los pronósticos de anomalías de TSM para las regiones Niño 1+2, Niño 3 y Niño 3.4 se dividió en tres periodos abarcando los siguientes años 1982-1990, 1991-2000, 2001-2009. Las correlaciones fueron buenas para los primeros dos periodos, pero en el periodo 2001-2009 se observaron bajos niveles de correlación para la región Niño 1+2, donde los niveles de correlación incluso fueron en algunos meses negativos. Se sugiere que esto último se debe a cambios decadales en el clima del Pacífico que ha llevado en una predominancia de eventos "El Niño Modoki".

Palabras clave: Modelo CFS, TSM, ENOS, Niño1+2, Niño Modoki

0,65 and 0,9. These values are higher toward the end of the year and decrease so as to increase the time of forecasts. The analysis of forecasts for SST anomalies for the regions Niño 1+2, Niño 3 and Niño 3.4 was divided into three periods comprising the following years 1982-1990, 1991-2000, 2001-2009. The correlations were good for the first two periods, but in the period 2001-2009 there were low levels of correlation for Niño 1+2 region where the correlation levels were even negative in some months. It is suggested that the latter is due to decadal changes in Pacific climate that has led to a predominance of events "El Niño Modoki".

Keywords: CFS model, SST, ENSO, Niño1+2, Niño Modoki

## 1. INTRODUCCIÓN

El Perú es uno de los países más afectados durante el evento climático (ENOS) que se desarrolla en el océano Pacífico ecuatorial (OPE) central y oriental. La fase cálida del ENOS conocida como El Niño se manifiesta principalmente por el aumento de la TSM, el hundimiento de la termoclina<sup>1</sup> también está relacionado con la reducción del afloramiento<sup>2</sup> y debilitamiento de los vientos alisios<sup>3</sup>. En un evento Niño Canónico, la piscina de agua caliente del oeste del OPE migra hacia el este tras el colapso de los vientos alisios y la "lengua" fría ecuatorial, indicativo del afloramiento ecuatorial que normalmente ocupa el Pacífico oriental y central, se debilita o puede llegar a desaparecer. La presencia de estas anomalías genera alteraciones en el clima del Perú, como fuertes precipitaciones en la costa norte y déficit de lluvias en la sierra sur (Lagos et al, 2007). La fase inversa del ENOS, conocida como La Niña se caracteriza por presentar TSM mas fría, intensificación de los vientos alisios y elevación de la termoclina.

En este trabajo se recurre al modelo numérico acoplado Climate Forecast System (CFS-NCEP) que es utilizado para la predicción del comportamiento del océano y la atmósfera, cuya interrelación es clave para el ENOS. Este modelo realiza corridas ("leads"), de hasta 9 meses de duración, por lo que podemos contar con pronósticos de 9 meses, el "lead" 1 corresponde al mes que se ingresaron las 15 condiciones iniciales.

Se analiza el resultado de los pronósticos de las anomalías en la TSM en la región Niño1+2 (10°S-0°, 80°W-90°W), frente a la costa de Perú. También se hace el análisis de los resultados de los pronósticos de anomalías de TSM para las regiones Niño 3 (5°S-5°N, 150°W-90°W) y Niño 3.4 (5°S-5°N, 170°W-120°W) para comparar sus resultados con la región Niño 1+2, motivados por la posible existencia de un nuevo tipo de evento, denominado "El Niño Modoki" (Ashok et al., 2007) que se presenta con el incremento de la TSM en el Pacífico ecuatorial central, mas no en la costa de Perú. Se puede decir que este Niño Modoki es casi desapercibido en la región Niño 1+2.

## 2. DATOS Y METODOLOGÍA

Un pronóstico del CFS consiste en una integración de 9 meses de anticipación (en Ingles "leads") con condiciones iniciales correspondientes a cada uno de 12 los meses naturales sobre un periodo de aproximadamente 28 años. Para cada mes inicial, se cuenta con un conjunto ("ensemble") de corridas individuales ("miembros") iniciadas en 15 instantes distintos alrededor de dicho mes.

Para realizar el *ensemble*, las condiciones iniciales para cada mes se dividen en tres segmentos. Para cada segmento, un solo análisis del océano fue utilizado como condiciones iniciales y una serie de estados atmosféricos tomados del Reanálisis una vez al día a intervalos cerca de la hora de análisis del

<sup>1</sup> Capa donde la temperatura del mar disminuye bruscamente con la profundidad.

<sup>2</sup> Ascenso de aguas frías a la superficie rica en sustancias nutritivas

<sup>3</sup> Vientos que soplan en las zonas tropicales hacia el ecuador pero al combinarse con la rotación de la Tierra la dirección real en que soplan es noreste a sureste en el hemisferio norte y de sureste a noroeste en el hemisferio sur.

océano se utilizaron como condiciones iniciales para los siguientes días del mes:

- Segmento 1: 9, 10, 11, 12, 13
- Segmento 2: 19, 20, 21, 22, 23
- Segmento 3: 29, 30, 1, 2, 3

En el segmento 1, las condiciones iniciales para el océano corresponden al día 11 del mes dado, y los 5 días alrededor de este son los cinco estados atmosféricos iniciales. Del mismo modo, para el segundo segmento el día 21 del mes sería la condición inicial para el océano y los 5 días para la atmósfera, para el tercer segmento en el 1er día del siguiente mes sería la condición del océano y los 5 días para la atmósfera.

El modelo oceánico tiene una resolución de 1 grado en latitud y 2 grados de longitud. Los resultados de las variables meteorológicas pronosticadas y observados se encuentran en la página web del CFS-NOAA (<http://cfs.ncep.noaa.gov/cfs/monthly/>) en a nivel mensual y en formato GRIB.

Los datos observados y parte de las condiciones iniciales son el resultado del GODAS (Global Ocean Assimilation System), que es un sistema de asimilación de datos en un modelo oceánico para la estimación del estado de las variables de campo oceánicas.

Se descargaron los datos de pronósticos de la TSM y los datos observados de la página web de CFS-NCEP-NOAA. Se calcularon las climatologías y anomalías utilizando el software GrADS. Para cada *ensemble*, se promedian los resultados de todos sus miembros. El análisis de las series de tiempo, correlaciones simples y su representación en contornos se hicieron con la ayuda del software Octave

### 3. RESULTADOS

Se compararon las series de tiempo para las anomalías de la TSM en la región Niño 1+2 tomando los años 1982-

2009 pronosticadas por el CFS para los 9 *leads* con las anomalías observadas (Figuras 1-3). En las series se puede apreciar las anomalías máximas y mínimas generadas durante los eventos Niño y Niña.

Para los 5 *leads* menores, se observa que es más predecible la fase de crecimiento y caída de los eventos Niño muy intensos 1982-1983, 1997-1998, mientras que en las otras 4 figuras siguientes la fase de crecimiento de los eventos Niño no llega a las anomalías máximas observadas. Para los 9 *leads*, la fase de decaimiento de estos eventos es adecuadamente pronosticada. En los eventos Niño moderados (1987 y 1992), los pronósticos se aproximan a la fase de crecimiento, pero a *leads* mayores se observa una disminución en la máxima anomalía de los pronósticos.

En cuanto a los eventos Niña, como en el caso de los eventos de 1985, 1988, 1996, 1999, y 2001, el modelo hace el pronóstico de anomalías negativas pero en menor magnitud comparadas a las observadas. Interesantemente, el pronóstico de La Niña 2007-2008 subestimó su magnitud y no representó su declinación adecuadamente, incluso a *lead* 1.

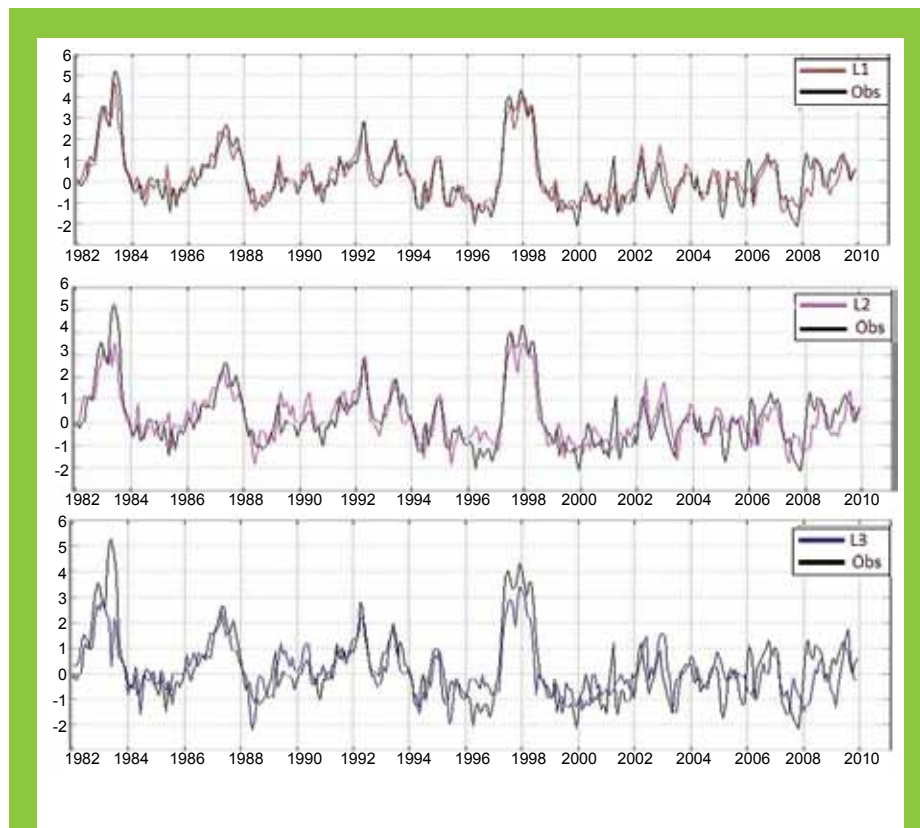


Figura 1. Series de tiempo de las anomalías de la TSM observada (color negro) y las anomalías de los pronósticos (L1 color rojo, L2 color morado y L3 color azul).

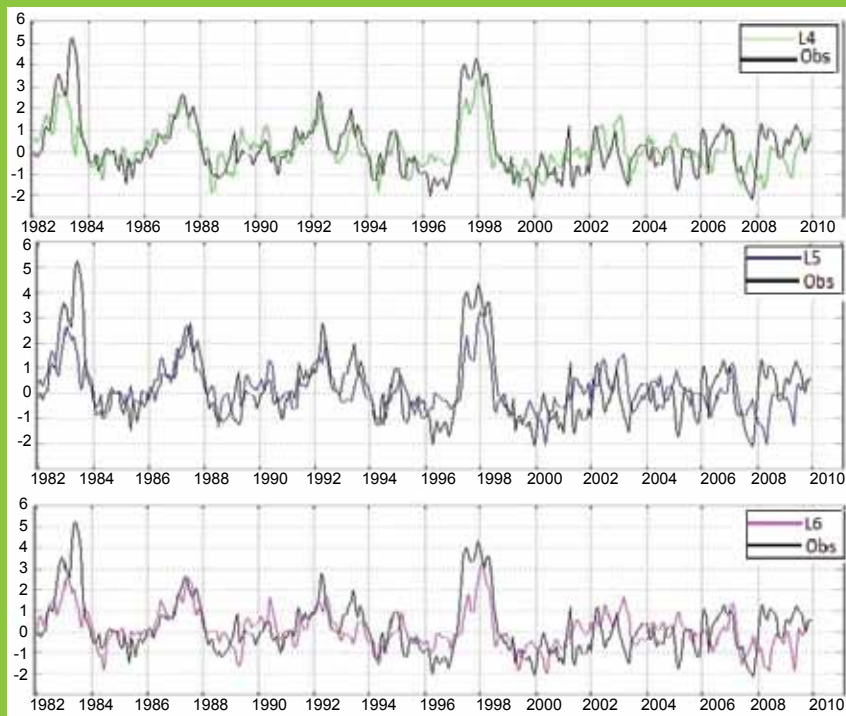


Figura 2. Series de tiempo de las anomalías de la TSM observada (color negro) y las anomalías de los pronósticos (L4 color verde, L5 color azul y L6 color magenta).

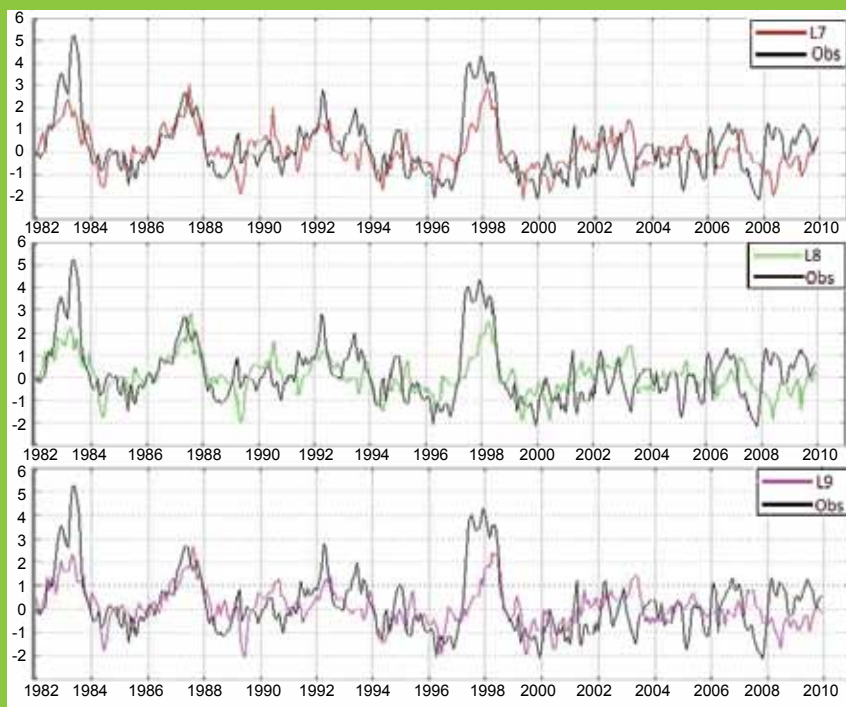


Figura 3. Series de tiempo de las anomalías de la TSM observada (color negro) y las anomalías de los pronósticos (L7 color rojo, L8 color verde y L9 color magenta).

Se calcularon los coeficientes de correlación lineal entre los pronósticos de anomalías de TSM en la región Niño 1+2 para los 12 meses del año y 9 *leads* con los datos observados para el periodo 1982-2009 (Figura 4). Se observan valores altos de correlación, entre 0,8 y 0,9 para L1 y L2 (*lead* 1 y *lead* 2, respectivamente), ver panel superior de la Figura 4. Los valores son de 0,5 a 0,7 para el L3 y L5, respectivamente y se observa que a mayor *lead* los coeficientes de correlación disminuyen. Se observa el mínimo valor entre los meses de junio y septiembre para los *leads* L7 y L9. Las correlaciones se mantienen altas a mayor *lead* a medida que se avanza desde junio hacia diciembre, indicando que la predictibilidad aumenta hacia finales del año, pero disminuye abruptamente en el mes de febrero del siguiente año. En el panel inferior de la Figura 4 se muestran las correlaciones para el periodo mencionado, pero excluyendo del cálculo los eventos Niño de los años 1982-1983, 1997-1998 y 2002-2003. Al comparar ambas figuras, se observa una distribución similar, pero con una disminución general de los valores de los coeficientes de correlación. Esto indica que el desempeño del CFS se vio favorecido solo ligeramente por los eventos más intensos.



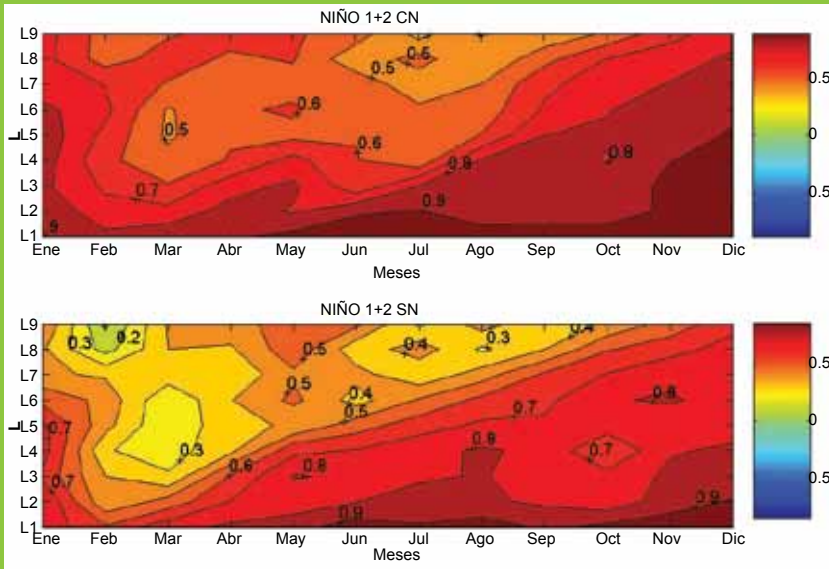


Figura 4. Índices de correlación en la región Niño 1+2 para los 9 pronósticos. La imagen superior corresponde al periodo 1982-2009 y la inferior para las correlaciones para el mismo periodo pero sin considerar los eventos Niño 1982-1983, 1997-1998 y 2002-2003.

aumentando hasta 9 en octubre. (Figura 5).

Para la región Niño 3 (Figura 6), las correlaciones se distribuyen en forma similar a la región Niño 1+2, pero con una reducción abrupta de los valores de la correlación en abril en lugar de febrero. En el primer y segundo periodo se muestran niveles de correlación entre 0,9 y 0,4 y entre 0,9 y 0,7 respectivamente. En el tercer periodo, en forma similar que para la región Niño 1+2, se observan niveles de correlación muy bajos en algunos meses y *leads*. Se aprecian correlaciones negativas, pero en general no tan bajas como en el caso de la región Niño 1+2. En particular, la correlación mínima a *lead* 1 es de aproximadamente 0,2 en abril. (Figura 6).

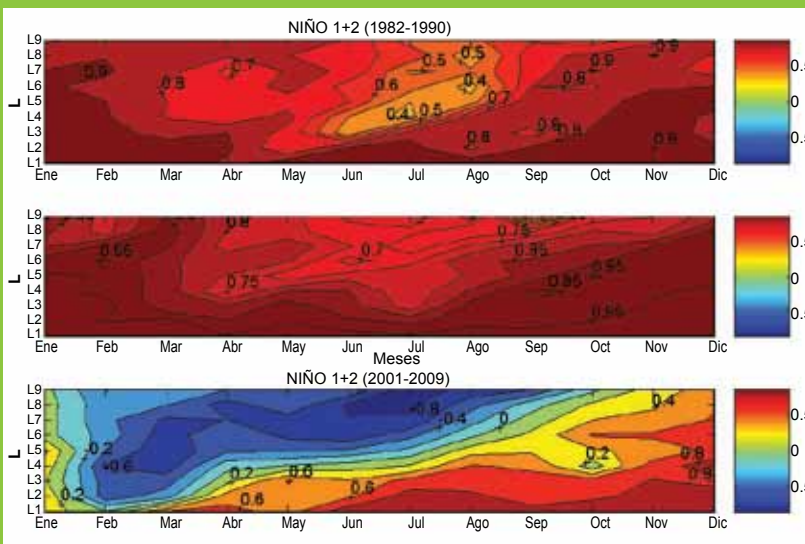


Figura 5. Coeficiente de correlación en la región Niño 1+2 para los 12 meses y 9 *leads*. Periodo 1982-1990 (panel superior), periodo 1991-2000 (panel central), 2001-2009 (panel inferior).

Para la región Niño3.4 (Figura 7), el primer periodo muestra niveles de correlación entre 0,9 y 0,5 para los meses entre enero y diciembre desde L1 a L7, y valores menores (entre 0,5 y 0,3) para los meses de junio y agosto desde L7 a y L9. En el segundo periodo se encuentran valores mayores (entre 0,9 y 0,7) mientras que en el tercer periodo, como en las otras dos regiones, se encuentra una reducción de las correlaciones, pero en menor grado. Esta reducción es más dramática para mayo, con la correlación de 0,7 en L2, comparado con L5 y L8 para el primer y segundo periodo, respectivamente. En este tercer periodo, el *lead* correspondiente al valor de 0,7 aumenta de L5 en junio a L9 en diciembre. Las correlaciones mínimas (negativas) se encuentran para julio a partir de L7 y agosto a partir de L8.

Luego, se hizo un análisis similar para las regiones Niño 1+2, Niño3 y Niño 3.4, considerando tres periodos: 1982-1990, 1991-2000 y 2001-2009.

Para la región Niño1+2 (Figura 5), en el primer y segundo periodo se observan niveles de correlación entre 0,9 y 0,4 y entre 0,9 y 0,6; respectivamente. Por otro lado, para el tercer periodo, se observan niveles de correlación muy bajos en algunos meses y *leads*, con valores negativos a partir de *lead* 1 para febrero y *lead* 2 para marzo, con este *lead* de correlación nula

(Figura 6).

Para comprender mejor las particularidades en las correlaciones, se utilizó la metodología de representar los resultados del modelo en diagramas de dispersión entre los pronósticos y los datos observados. Para ello, se calcularon los promedios trimestrales (enero-marzo, abril-junio, etc.). Se representa en cajas rojas

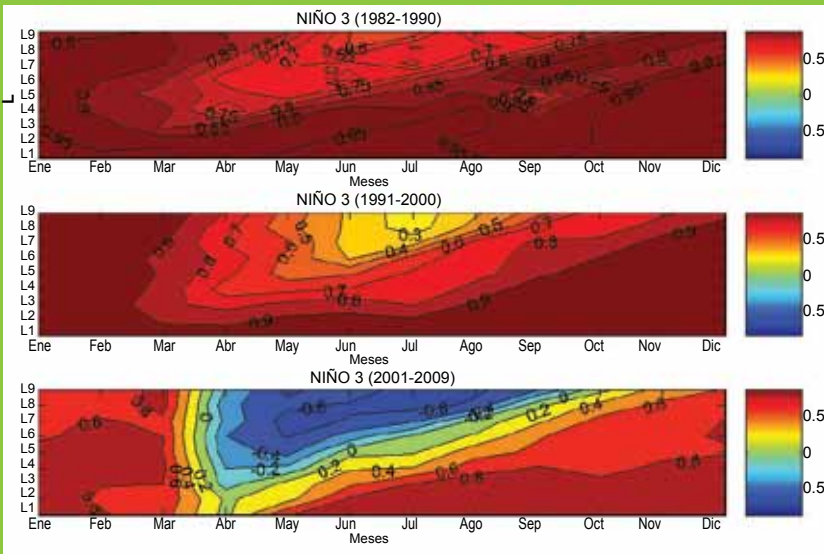


Figura 6. Coeficiente de correlación en la región Niño 3 para los 9 y 12 meses y leads. Periodos: 1982-1990 (panel superior), 1991-2000 (panel central) y 2001-2009 (panel inferior)

En la figura 9, se presenta el pronóstico L2 para el segundo trimestre, donde se puede apreciar casi una recta para los eventos Niño, sin embargo para los eventos Niña se observa mayor dispersión. La TSM observada, para los años 1998 y 1983, fue cerca del 50% superior a lo pronosticado.

La Figura 10, representa el pronóstico a L3 para el tercer trimestre, donde se puede apreciar que en este trimestre del año 1983, el modelo subestimó la TSM pronosticada, con una anomalía de 1,3°C cuando lo observado fue de 3,1°C. En cuanto a los años de los eventos La Niña, en el tercer trimestre el modelo pronosticó en promedio una anomalía superior en 1°C con respecto a lo observado.

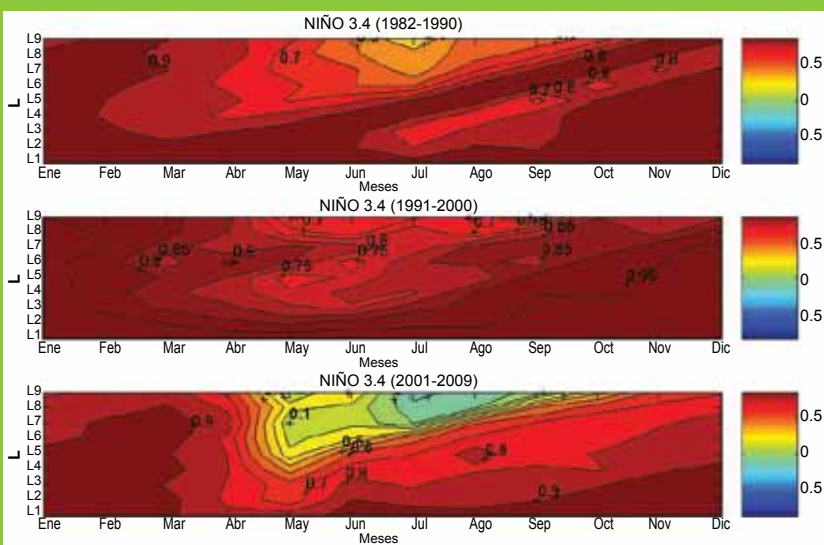


Figura 7. Coeficiente de correlación en la región Niño 3.4 para los 9 12 meses y leads. Periodo 1982-1990(superior), periodo 1991-2000 (medio), 2001-2009(inferior)

En la Figura 11 se observa el pronóstico a L4 para el cuarto trimestre, donde puede verse que la magnitud de las anomalías pronosticadas fue la mitad que las observadas. En particular, el pronóstico para los años 1983, 1987 y 1997 fue subestimado por el modelo en un grado centígrado. Mientras que los años Niña, el modelo sobrestimó en un grado centígrado.

#### 4. CONCLUSIONES

Frente a la costa de Perú, el pronóstico de las anomalías de la TSM cerca o durante la fase de declinación de un evento Niño es más previsible que la fase de inicio. Mientras que la magnitud del pico del evento es típicamente subestimada.

los eventos Niño (según la NOAA) 1982-1983, 1987, 1992, 1997-1998 y en cajas azul los eventos Niña (Trasmonte y Silva, 2009) 1985, 1988, 1996, 1999, 2001 y 2007 para la región Niño 1+2. Las figuras para cada trimestre se muestran para leads que resultan en valores de la correlación similares.

En la figura 8 se presenta el pronóstico L6 para el primer trimestre, donde se puede apreciar casi una relación 1:1 para los eventos Niño y los eventos Niña, pero los demás años no satisfacen esta relación.

En cuanto a los eventos La Niña, el modelo tiende a subestimar la magnitud (alrededor de un grado centígrado) y el modelo no predice correctamente la fase de declinación del evento.

La predictabilidad frente a la costa de Perú es mínima (correlación cerca de 0,7 a lead 2) en febrero y marzo, los meses estacionalmente más cálidos.

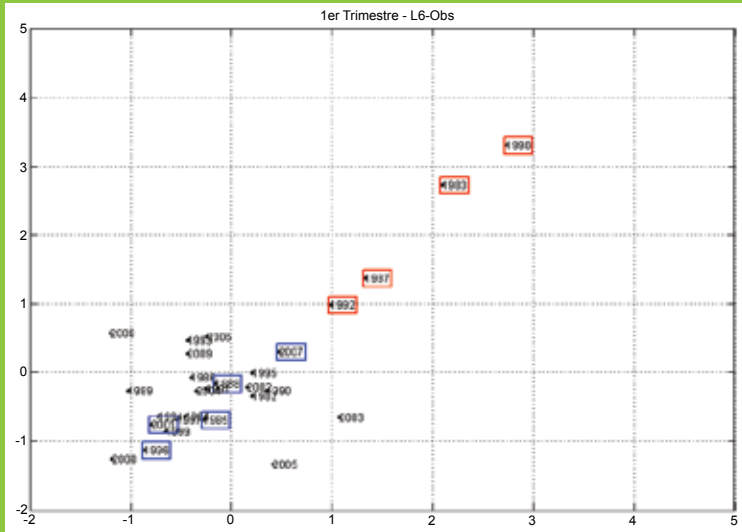


Figura 8. Dispersión del pronóstico de la anomalía de TSM pronosticada para lead 6 (eje horizontal) y los datos observados (eje vertical) para el trimestre enero-marzo.

Figura 9. Dispersión del pronóstico de la anomalía de TSM pronosticada para lead 2 (eje horizontal) y los datos observados (eje vertical) para el trimestre abril-junio.

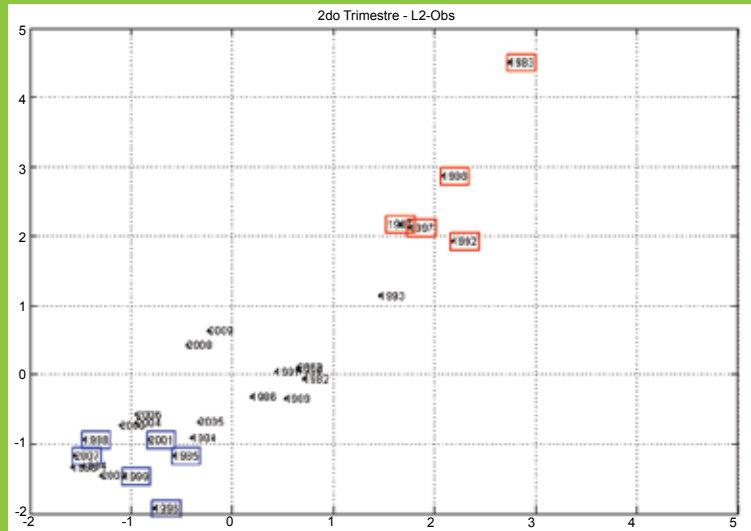


Figura 9. Dispersión del pronóstico de la anomalía de TSM pronosticada para lead 2 (eje horizontal) y los datos observados (eje vertical) para el trimestre abril-junio.

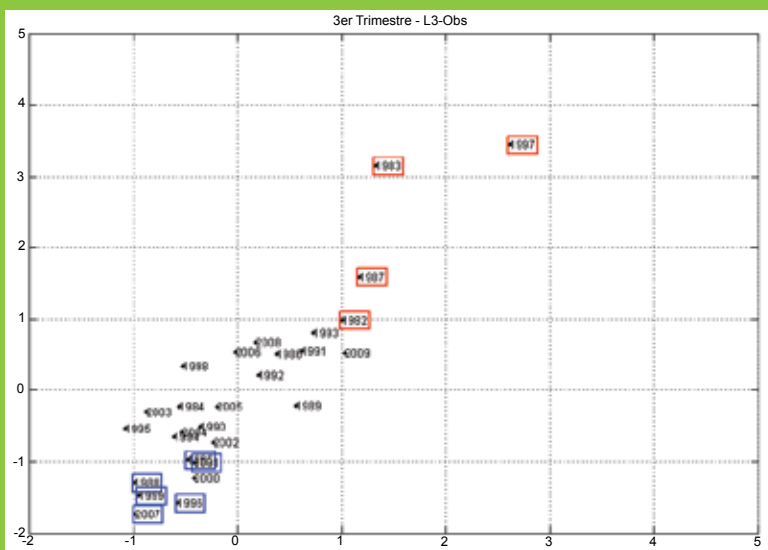


Figura 10. Dispersión del pronóstico de la anomalía de TSM pronosticada para lead 3 (eje horizontal) y los datos observados (eje vertical) para el trimestre julio-setiembre.

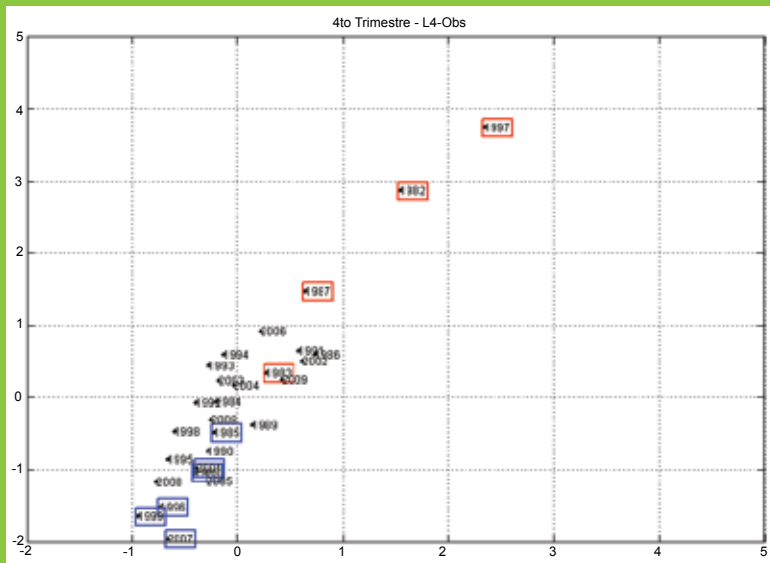


Figura 11. Dispersión del pronóstico de la anomalía de TSM pronosticada para lead 4 (eje horizontal) y los datos observados (eje vertical) para el trimestre octubre-diciembre.

Aumenta progresivamente en los meses siguientes (0,7 a lead 9 en diciembre). La disminución en la predictabilidad del Pacífico central/oriental durante la primavera boreal (otoño austral) con la recuperación en los meses posteriores es conocida como “barrera de predictabilidad de primavera” (“spring predictability barrier” en inglés). La causa de esta barrera no es del todo conocida, varias hipótesis se han discutido. Ciertos autores sugirieron que puede ser un resultado de acoplamiento relativamente débil entre el océano y la atmósfera durante la primavera boreal (Zebiak y Cane 1987).

La notoria disminución en la correlación en el periodo 2001-2009, particularmente para la región Niño 1+2, podría tener su explicación en la predominancia en este periodo de “El Niño Modoki” (por ej. Yeh et al., 2009), una de cuyas características es una débil señal frente a la costa de Perú. El cambio en predictabilidad podría entonces estar asociado a cambios decadales en el clima del Pacífico, que podrían ser tanto naturales como producidos por el hombre.

## 5. AGRADECIMIENTOS

Agradezco a todos los colaboradores del área de Investigación en Prevención de Desastres Naturales del Instituto Geofísico del Perú (IGP) en especial a mi asesor Ph. D Ken Takahashi por su paciente orientación e ideas en el trabajo de tesis, al Mag. Kobi Mosquera por su apoyo en el uso de software.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Ashok, K, S.K. Behera, S.A Rao, H. Weng & T. Yamagata, 2007. El Niño Modoki and its possible teleconnections. *J Geophys. Res* 112.

Emilia K. Jin, James L. Kinter III, 2008. Characteristics of tropical Pacific SST predictability in coupled GCM forecast using NCEP CFS.

Lagos, P., Silva, Y., Nickl, E., Mosquera, K., 2007. El Niño – related precipitation variability in Perú. *Adv. Geosci.* Vol. 14, 1-7

Saha S., S. Nadiga, C. Thiaw, J. Wang, 2005. The NCEP Climate Forecast System

Trasmonte G., Silva Y., 2008. Evento la Niña: Propuesta de definición y clasificación según las anomalías de temperatura de la superficie del mar en el área Niño1+2. *Boletín de IMARPE*, vol 35(3), pp 199.

Yeh S.-W., J.-S. Kug, B. Dewitte, M.-H. Kwon, B. P. Kirtman, and F.-F. Jin, 2009. El Niño in a changing climate. *Nature*, **461**, 511-514.

Zebiak SE, Cane MA, 1987. A model El Niño-Southern oscillation. *Mon Weather Rev* 115:2262–2278.



## TELECONEXIONES ATMOSFÉRICAS ASOCIADAS A DIFERENTES TIPOS DE EL NIÑO

### ATMOSPHERIC TELECONNECTIONS ASSOCIATED WITH DIFFERENT TYPES OF EL NIÑO

**César Arturo Sánchez Peña**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos

Facultad de Ciencias Físicas

arturo66cta@gmail.com

Asesor: Ph.D. Ken Takahashi Guevara

Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

El presente estudio tiene como objeto identificar los mecanismos físicos asociados a la teleconexión entre anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) para las diferentes regiones de El Niño y el comportamiento del viento zonal anómalo para diferentes niveles de presión (desde 925hPa a 200hPa). Con este propósito, se ha realizado un análisis de regresión lineal entre datos de viento zonal de NCEP/NCAR Reanálisis con los índices de TSM para las regiones El Niño estándar para el periodo de tiempo desde enero de 1950 hasta diciembre del 2010. Los resultados anteriores se compararon con experimentos realizados con un modelo de circulación general, éstos son una herramienta muy importante para la comprensión de la relación entre el océano, atmósfera y otros componentes. En el presente trabajo se utiliza el modelo de circulación general

#### Abstract

This study to identify the physical mechanisms associated the teleconnection between anomalies of sea surface temperature (SST) for different regions of El Niño and the anomalous behavior of the zonal wind for different levels of pressure (from 925hPa to 200hPa). For this purpose, we have performed a linear regression analysis between zonal wind data of NCEP/NCAR Reanalysis with SST indices for the regions standard El Niño period time from January 1950 to December 2010.

The above results were compared with experiments performed with a general circulation model, these are a very important tool for understanding the relationship between ocean, model SPEEDY is 5 experiments

atmosférico SPEEDY, se realizaron 5 experimentos que consistieron en una corrida control con TSM climatológica y cuatro corridas similares en las que además se introdujeron perturbaciones de TSM en cada una de las regiones Niño. Se analizaron los efectos de las perturbaciones en el viento zonal en 925 hPa.

Se encontró que el modelo presenta un comportamiento característico a dos celdas de Walker opuestas en cada una de las regiones Niño, Mientras que para el caso particular de El Niño 3.4 se verifica dos zonas de alta y baja presión en el Pacífico norte, esto está relacionado al patrón de Teleconexiones del Pacífico Norte (PNA).

**Palabras clave:** Teleconexión, TSM, El Niño, viento zonal, circulación general, Speedy, PNA.

performed consisted of a control run with climatological SST and four runs also similar in the SST perturbations were introduced in each of the Niño regions. We analyzed the effects of disturbances in the zonal wind at 925 hPa.

It was found that the model has a characteristic behavior of two opposing Walker cells in each of the Niño regions, while for the case of El Niño 3.4 is checked two zones of high and low pressures in the North Pacific, this is related the pattern of North Pacific teleconnection (PNA).

**Keywords:** Teleconnection, SST, El Niño, zonal wind, general circulation, Speedy, PNA.

## 1. INTRODUCCIÓN

En condiciones normales existe una masa de agua cálida en el océano Pacífico ecuatorial occidental, mientras que en las costas de América del Sur el agua superficial es más fría. Esto se debe a los vientos alisios ecuatoriales que soplan de este a oeste, que mantienen una termoclina que es más somera en la zona oriental del Pacífico ecuatorial y llevan al afloramiento de agua subsuperficial fría. Cuando estos vientos se relajan la termoclina pierde su pendiente, por lo cual la masa de agua cálida viaja hacia el este del océano Pacífico hasta llegar a tocar las costas del Perú. Este fenómeno es conocido como El Niño canónico (Rasmusson & Carpenter, 1982). En otras ocasiones el calentamiento anómalo se limita al Pacífico central, sin un impacto significativo en la costa de Perú, y se le conoce como pseudo-Niño o Niño Modoki (Ashok et al, 2007).

Se entiende por teleconexión asociadas a El Niño, a un enlace entre cambios en la TSM en el Pacífico ecuatorial y el clima en regiones alejadas por grandes distancias sobre todo el globo terráqueo, lo cual ocurre a través de cambios en la circulación atmosférica. Se analizarán diferentes variables climáticas en presencia de anomalías de TSM asociadas a los dos tipos de El Niño para determinar las diferencias en las teleconexiones.

En el presente trabajo nos centraremos en la variable de viento zonal cerca de la superficie durante el verano austral (diciembre-febrero), por ser una variable y periodo crítico para el acoplamiento entre el océano y la atmósfera. Además, la estación de verano (diciembre-febrero), debido a que ésta corresponde a la estación de lluvias en los Andes, por lo que es de particular interés para la variabilidad del clima en el Perú.

## 2. ADQUISICIÓN Y PROCESAMIENTO DE DATOS

### 2.1 DATOS OBSERVADOS

Se descargaron datos mensuales de los índices de TSM en las regiones de Niño 1+2, 3, 3.4 y 4, y campos de viento zonal de NCEP/NCAR Reanálisis desde las siguientes páginas:

<http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/>

[http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep\\_reanalysis.html](http://www.esrl.noaa.gov/psd/data/gridded/data.ncep_reanalysis.html)

Se descargó un total de 60 años de datos lo que equivale a 720 datos individuales, estos son datos globales y tienen una resolución de  $2,5^\circ \times 1,5^\circ$ .

### 2.2 DATOS DE SIMULACIÓN

La herramienta utilizada para generar los datos de simulación fue el modelo SPEEDY (Simplified Parameterizations, primitive Equation Dynamics). Éste es un modelo espectral con truncación en T30, que posee 7 niveles en la vertical (desde 925 hPa a 100 hPa) y una resolución de  $4^\circ$ . Además el modelo SPEEDY genera 34 variables entre ellas: viento zonal (U), viento meridional (V), humedad específica (Q), humedad relativa (RH), temperatura superficial (ST), precipitación convectiva (PRECNV), evaporación (EVAP) entre otros.

Con el modelo SPEEDY se realizaron 5 experimentos. El experimento control consistió en una simulación de 40 años

con TSM climatológica. Los otros cuatro experimentos fueron similares pero se les introdujeron respectivamente perturbaciones constantes de la TSM en cada una de las diferentes regiones de Niño (Tabla 1).

**TABLA 1.** Ubicación y magnitud de las perturbaciones en TSM.

Experimento	Latitud	Longitud	Perturbación
Experimento 1	0°-10°S	90°W-80°W	5 °C
Experimento 2	5°N-5°S	90°W-150°W	5 °C
Experimento 3	5°N-5°S	120°W-150°W	1 °C
Experimento 4	5°N-5°S	150°W-160°W	5 °C

### 2.3 PROCESAMIENTO DE DATOS

Una vez descargados los datos de TSM para las zonas de Niño 4, 3, 3.4 y 1+2, se calculó la climatología (promedios multianuales para cada mes). Luego a los datos originales se le sustrajo la climatología el resultado obtenido es denominado anomalía de TSM. El mismo procedimiento se aplicó a los datos de viento zonal.

Una vez procesados los datos observados el siguiente paso fue promediarlos para las cuatro estaciones del año (diciembre-febrero, marzo-mayo, etc.), para luego calcular los coeficientes de correlación y regresión lineal presente entre las anomalías de TSM y el viento zonal.

En cuanto a los datos generados por el modelo SPEEDY, se tomó el valor de la velocidad zonal de las climatologías del experimento control y a esta variable se denominó velocidad zonal control ( $U_0$ ), luego se calcula la respuesta ( $R_x$ ) del viento zonal por unidad de calentamiento:

$$R_x = (U_x - U_0) / (P_r)$$

Donde,  $U_x$  es la climatología del viento zonal del experimento seleccionado y  $P_r$  es la magnitud de la perturbación de TSM del experimento seleccionado (Tabla 1).

$R_x$  es comparable con el coeficiente de regresión lineal, lo cual permitirá comparar los resultados con datos observados y las simulaciones.

## 3. RESULTADOS

La Figura 1 es una representación del comportamiento de la temperatura superficial del mar y el viento, en presencia de un fenómeno de El Niño. La Figura 1a presenta una fase ENOS positiva, característica de un Niño canónico, mientras que la Figura 1b está compuesta por dos celdas de Walker de sentido opuesto, este comportamiento es característico de un Niño Modoki.

Los resultados de los datos de Reanálisis para la regresión y correlación entre las anomalías de la temperatura superficial del mar (TSM) y el viento zonal se muestran en la Figura 2.

Los resultados del modelo SPEEDY se presentan en la figura 3, donde cada uno de los cuadros corresponde a la zona de perturbación utilizada.

El viento zonal climatológico en el Pacífico Central tiene una dirección hacia el oeste, mientras que en el norte de Australia se desplaza hacia el este. Ahora en la Figura 1 (a, b, c y d) se presenta una zona de anomalía positiva en el Pacífico Central y negativa en el norte de Australia; para el primer caso la dirección debe esta anomalía debilita al viento zonal e incluso puede llegar a cambiar su dirección de igual manera sucede en el caso del norte de Australia, la cual también presenta un debilitamiento del viento zonal.

Observamos que para cada una de las regiones de El Niño se presentan dos zonas de anomalía de viento zonal opuestas, positiva en la parte occidental del área de estudio y negativa en la zona oriental (por ejemplo para el caso de El Niño 3.4 (Figura 2), la zona de anomalía positiva está centrada en 172°W -5°S y la anomalía negativa está centrada en 130°W 5°N), esto quiere decir que para este sistema la anomalía de viento zonal tiene una dirección de oeste a este, además estas anomalías tienen una distribución similar a dos celdas de Walker, lo cual es un comportamiento característico de El Niño Modoki (Figura 1).

Considerando que el PNA es una relación entre la altura geopotencial del Pacífico y América del Norte. Entonces un PNA positivo está relacionado con la formación de un fuerte anticiclón en el Pacífico Norte y un PNA negativo está asociado con una intensa presión baja en el Pacífico.

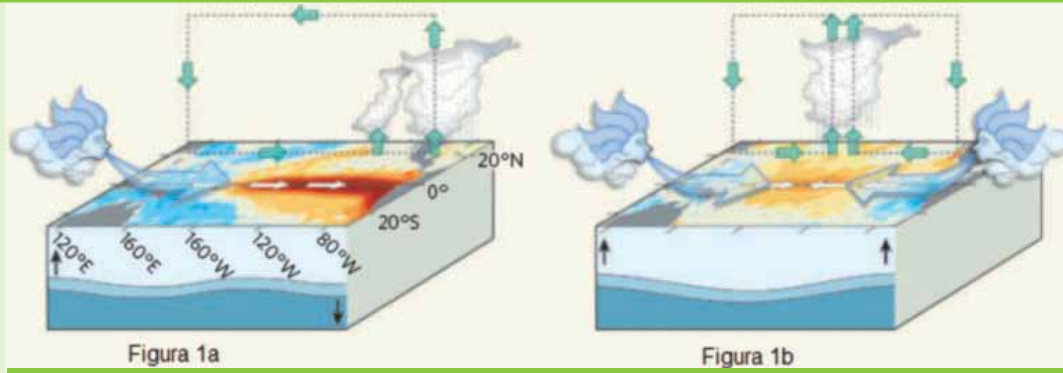


Figura 1. Diferentes comportamientos de la temperatura superficial del mar y los vientos frente a dos tipos de anomalía de TSM.

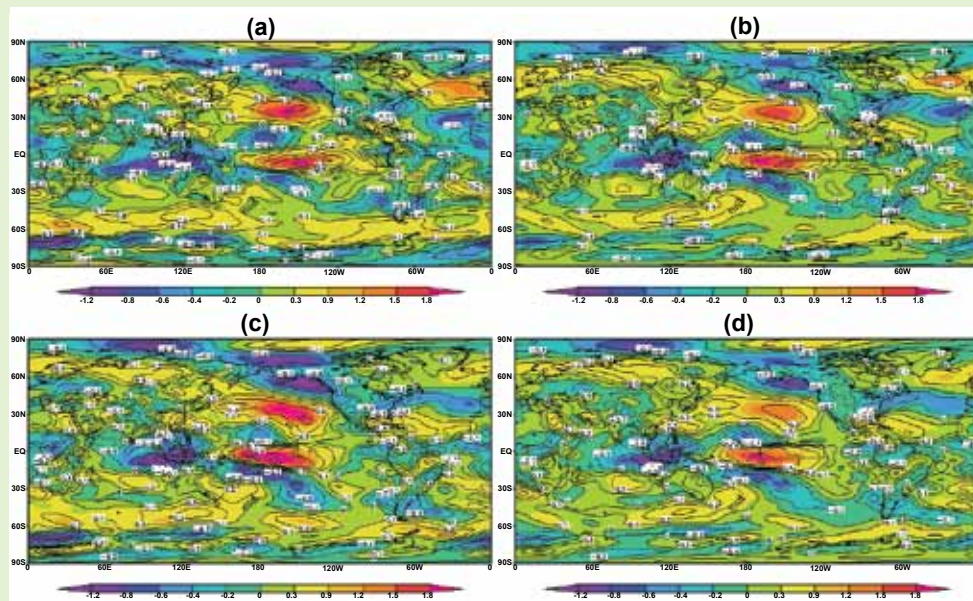


Figura 2. Regresión lineal (colores) y correlación (contornos) para la anomalía de TSM en las regiones Niño y viento zonal a 925 hPa para los meses de diciembre, enero y febrero desde 1950 al 2010. Regiones: Niño 1+2 (a), Niño 3 (b), Niño 4 (c) y Niño 3.4 (d).

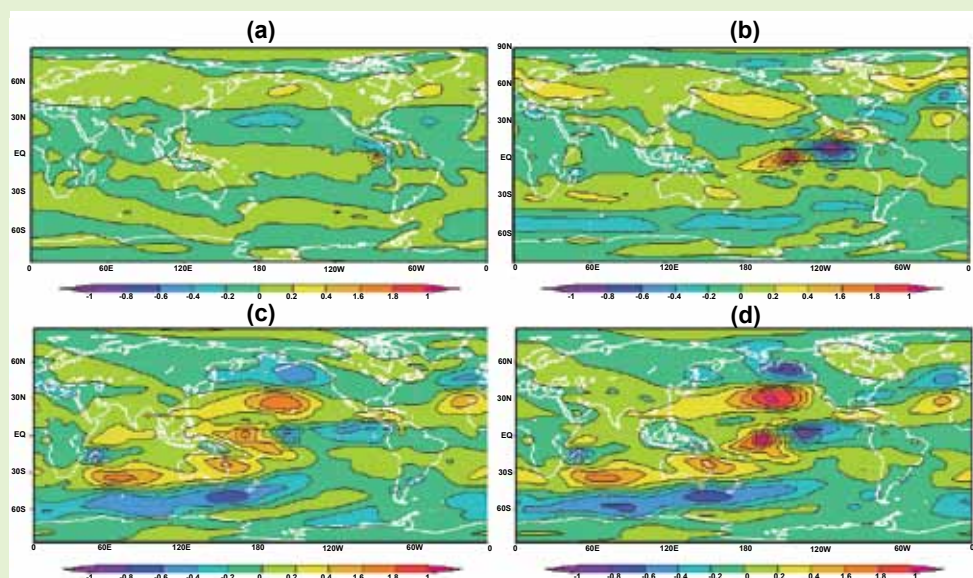


Figura 3. Diferencia normalizada entre el viento zonal del control y viento zonal de los otros 4 experimentos de forma independiente, con perturbaciones en las zonas de El Niño, para los meses de diciembre, enero y febrero. Regiones: Niño 1+2 (a), Niño 3 (b), Niño 4 (c) y Niño 3.4 (d).



## 4. CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos por el modelo SPEEDY reflejan el impacto aislado de las anomalías de TSM sobre el viento zonal, mientras que en los coeficientes de regresión lineal, debido a que estas anomalías tienden a variar en forma similar y, por lo tanto, no actúan aisladamente.

Para la región Niño 4 se presenta una anomalía de viento zonal positiva en el norte del Pacífico ecuatorial, siendo esta aún más intensa debido a la influencia de la región Niño 3.4, este comportamiento es característico de un Niño Modoki. Este fenómeno modifica el número y frecuencia de huracanes en el Atlántico.

Los resultados del modelo SPEEDY nos muestra la presencia de dos áreas de anomalía positiva y negativa de viento zonal en la zona norte del Pacífico, este comportamiento está relacionado al PNA, donde la fase positiva del patrón PNA está asociado con episodios cálidos del Pacífico (El Niño) mientras que la fase negativa tiende a asociarse son episodios fríos en el Pacífico (La Niña).

Una fase positiva del PNA está asociada al aumento de la temperatura media al oeste de Canadá y extremo occidental de EEUU. Se puede verificar en la zona Niño 3.4 las anomalías en el Pacífico norte son más intensas, como este es un comportamiento de Niño Modoki se puede decir que la presencia de éste, tiene una zona de mayor influencia sobre el Pacífico Norte.

## 5. AGRADECIMIENTOS

A mi asesor de tesis el Ph.D. Ken Takahashi Guevara por su constante apoyo y orientación en el desarrollo de este tema.

Al Mag. Kobi Mosquera quien estuvo dispuesto a ayudarme con todas mis dudas y preguntas.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Ashok, K., Swadhin K., 2007. El Niño Modoki and its posible teleconnection. *Journal of geophysical research*, vol. 112.

Ashok, K., 2009. El Niño with a difference. *Nature* 461. *Nature* 461.

Glossary of Meteorology. American Meteorological society. PNA definition. <http://amsglossary.allenpress.com/glossary/search?id=pacific-north-american-pattern1>.

Molteni, F. 2003. Atmospheric simulations using a GCM with simplified physical parametrizations. I: model climatology and variability in multi-decadal experiments. *Climate Dynamics*.

Rasmusson, E.G., and T.H. Carpenter, 1982: Variations in tropical sea surface temperature and surface wind fields associated with the Southern Oscillation/El Niño. *Mon. Wea. Rev.*, 110, 354-384.

Trenberth, K. E., 1997: The Definition of El Niño. *BAMS*, 78, 2771-2777.



## IMPLEMENTACIÓN DE LA MORFOLOGÍA DEL SUELO DE LA CUENCA DEL RÍO MANTARO AL MODELO MM5 EN ALTA RESOLUCIÓN

### IMPLEMENTATION OF SOIL MORPHOLOGY OF THE MANTARO RIVER BASIN IN THE MM5 WITH HIGH RESOLUTION

**Dalma Mercedes Mamani Gonzales**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Escuela de ingeniería Mecánica de Fluidos  
dalma\_mamani@yahoo.com

Asesora: Ph.D. Yamina Silva Vidal  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

En este estudio se presentan los resultados de la implementación de datos locales de topografía y uso del suelo en la cuenca del Mantaro al modelo MM5, el cual es corrido con 3 km de resolución espacial. El estudio se divide en dos procesos continuos: el primero es la implementación de la topografía mediante un script en GrADS el cual extrapola linealmente de una resolución de 200 m a 3 km; luego se ejecuta otro script que implementa el uso de suelo mediante un análisis de ponderación de las categorías propias del suelo, ambos procesos son previos a la

#### Abstract

This study presents the results of the implementation of local data of topography and land use of the Mantaro basin in the MM5, which is run with 3 km of resolution. The study is divided into two continuous processes: the first is the implementation of the topography using a GrADS script which linearly extrapolates from 200 m to 3 km resolution, then we run another script that implements the land use through an analysis of weighting of the categories within the soil, both processes are prior

ejecución del modelo. Los resultados de las salidas del modelo MM5, para las variables analizadas como vientos y temperaturas, muestran que éstas mejoraron notablemente con la implementación de la topografía y uso de suelo, ya que permite representar las características locales de la cuenca.

**Palabras clave:** MM5, topografía, uso del suelo, cuenca del río Mantaro.

to the execution of the model. The outputs of the MM5 model for the variables analyzed as winds, temperatures and other, show that they have significantly improved with the implementation of data of topography and land use, since it allows to represent the local characteristics of the basin.

**Keywords:** MM5, topography, land use, Mantaro basin.

## 1. INTRODUCCIÓN

La tendencia actual de los modelos meteorológicos de ir aumentando la resolución espacial, implica una mejora en la caracterización del territorio de la zona de estudio. Un tratamiento detallado de las propiedades del suelo, es cada vez más importante para capturar las circulaciones locales inducidas por los forzamientos térmicos del suelo (Chen y Dudhia, 2001, citado por Jorba, 2005).

Varios estudios se han centrado en analizar los efectos de las variaciones en las propiedades del suelo sobre la dinámica atmosférica. Éstos muestran como las variaciones de las propiedades del suelo, causadas por inhomogeneidades naturales o antropogénicas en el tipo de suelo y la cobertura vegetal, pueden producir gradientes térmicos y de humedad significativa en la atmósfera, comparable a los producidos en forzamientos de brisas marinas o vientos de montaña. Estos gradientes, a su vez, inducen circulaciones térmicas directas (Ulrickson, 1992). La idea que los contrastes térmicos en la superficie terrestre pueden provocar circulaciones similares a las brisas marinas fue sugerida ya por Anthes (1984).

## 2. ZONA DE ESTUDIO Y DATOS

### 2.1 UBICACIÓN

La cuenca del río Mantaro está ubicada en los Andes centrales de Perú, entre los paralelos 10°34'30" y 13°35'30" de latitud sur, cuenta con área de 34 550,08 km<sup>2</sup>. Política y administrativamente, la cuenca abarca parcialmente territorios de las regiones Junín, Pasco, Huancavelica y Ayacucho y cuenta con 23 subcuencas (IGP, 2005b). La gran variabilidad espacial de la topografía de la cuenca se debe a su

ubicación geográfica asociada a la cordillera de los Andes, con un rango de altitudes que va aproximadamente desde los 500 hasta los de 5 000 msnm (IGP, 2005a).

### 2.2 DATOS DE TOPOGRAFÍA

La morfología de la cuenca del río Mantaro tiene como principales unidades geomorfológicas a la Cordillera Occidental, Cordillera Oriental, Superficie Puna, Depresiones, y zona de valles interandinos, descritas con mayor detalle en (IGP, 2005).

Para la topografía se usaron las cartas geológicas nacionales (Hojas 22j, 22k, 22l, 23k, 23l, 24k, 24l, 24m, 24n, 25l, 25m, 25n, 25ñ, 26m, 26n, 26ñ, 27n, 27ñ) del Instituto Geográfico Nacional (IGN), obtenidas por el IGP en el marco del subproyecto "Vulnerabilidad y Adaptación al Cambio Climático en la Cuenca del río Mantaro" en el año 2005, con una resolución de (dx, dy) 200m.

Los datos con los que no se contaban fueron tomados del United States Geological Survey (USGS) con el producto GTOPO 30, el cual es un modelo digital de elevaciones (MDE) matricial que cubre la superficie terrestre (no marina), con un espaciamiento de grilla de 30 s de lado (1 km aproximadamente, aunque varía con la latitud). La información detallada de las características del GTOPO30 incluyendo el formato de distribución de datos, las fuentes de información originales, los métodos de construcción, precisión y sugerencias a los usuarios está disponible en la página web del USGS<sup>1</sup>.

En la Tabla 1 se presenta el resumen de las características de los datos de la topografía usadas en el presente estudio.

<sup>1</sup> [http://eros.usgs.gov/#/Find\\_Data/Products\\_and\\_Data\\_Available/gtopo30/README](http://eros.usgs.gov/#/Find_Data/Products_and_Data_Available/gtopo30/README)

**TABLA 1.** Fuente y características principales de la topografía

Fuente	Resolución	Topografía
USGS <sup>2</sup>	30 s ~ 1 km	30°N-50°S 130°W-20°W 10,5192°S - 13,5885°S
IGN	200 m	76,7183°W – 73,8704°W

### 2.3 DATOS DE USOS DE SUELO

El uso del suelo en la cuenca es altamente variable, pero se distinguen 3 tipos: particularmente la Tundra que cubre los Andes occidentales, el de tipo Pajonal Alto-Andino el cual abarca la zona norte y parte de la zona sur de la cuenca y el de tipo Actividad Agropecuaria en la zona central de la cuenca (valle del río Mantaro), IGP (2005b), Figura 1.

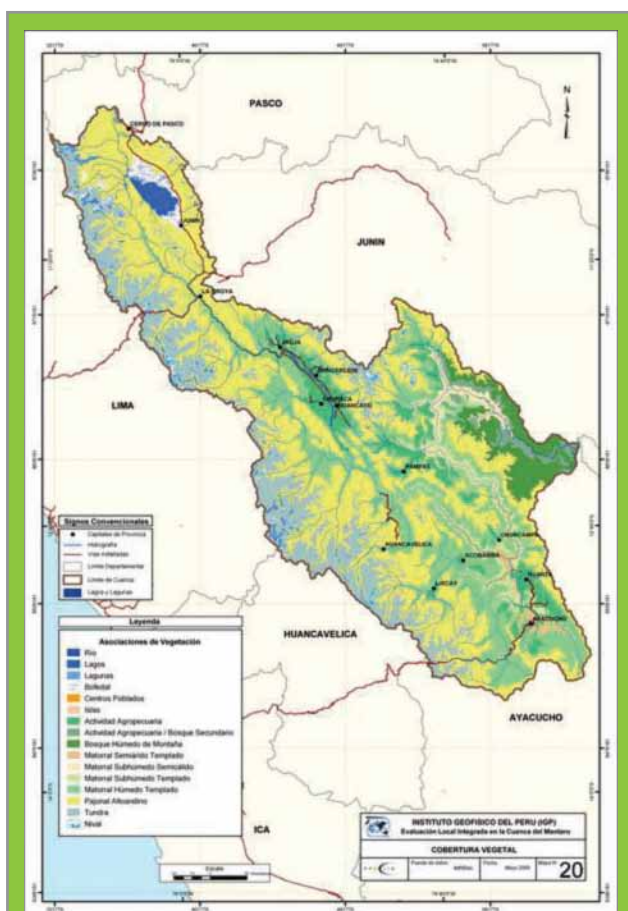


Figura 1. Mapa del uso de suelos (cobertura vegetal) de la cuenca del río Mantaro (fuente: IGP, 2005b).

Para la implementación del uso del suelo se usó el mapa de la cobertura vegetal de la cuenca del río Mantaro (INRENA, 1995) procesado por IGP en el marco del subproyecto “Vulnerabilidad y adaptación al cambio climático en la cuenca del río Mantaro” en el año 2005 con una resolución de (dx, dy) 1 km.

Entre sus principales categorías y definiciones, según la FAO (2006), se tiene:

- Ríos, lagos, lagunas.
- Centros poblados.
- Bofedal, en áreas donde se acumula una cantidad excesiva de humedad, se mantiene la vegetación tierna y verde casi todo el año.
- Actividad agropecuaria, casi la totalidad de los terrenos de mayor calidad y extensión para la agricultura en limpio, se ubican en las planicies de los valles interandinos.
- Actividad agropecuaria y bosque secundario, Comprende tanto tierras actualmente ocupadas como tierras abandonadas por la actividad agropecuaria, en proceso de regeneración natural. El bosque original, clímax ha sido talado y quemado, imaginando que el verde y magnífico bosque selvático es un buen indicador de suelos fértiles y apropiados para la agricultura y ganadería.
- Bosque húmedo de montaña, se ubica en la cima o crestas de estas montañas es característica la presencia de una cubierta casi permanente de nubes, que provoca una frecuente garúa o llovizna, por lo que son denominados “bosques de neblina”. Los bosques de montaña, que se caracterizan por su gran complejidad florística en sus diferentes formas de vida (epifitas, hierbas, lianas, arbustos y árboles), disminuyen a medida que se asciende a mayores altitudes
- Matorral húmedo, se caracteriza por la presencia de comunidades arbustivas que mantienen su follaje siempre verde durante el año, con una morfología especial que le permite contrarrestar la baja temperaturas y alta humedad del medio. Generalmente alcanzan alturas hasta de 4 m. y se encuentran en forma dispersa y formando bosquetes, especialmente en sitios inaccesibles y con escasa influencia antrópica.
- Pajonal, es una formación vegetal compuesta de comunidades de herbáceas alto andinas, que se distribuyen formando densas agrupaciones o matas mayormente de gramíneas hojas duras, en algunos casos punzantes, conocidas con el nombre de ichu o paja, de ahí el nombre de pajonal.
- Tundra, se caracteriza por su subsuelo helado, falta de vegetación arbórea, o en todo caso de árboles naturales, por lo que es debido a la poca heliofanía y al estrés del frío glacial.

Los datos con los que no se contaban fueron tomados del USGS, que tiene como producto el mapa del uso de suelo a nivel global, con una resolución espacial de 1,1 km, que

<sup>2</sup> Fuente de Topografía: [ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN\\_DATA/](ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/)

cuenta con 25 categorías distintas de usos del suelo, las cuales poseen cinco parámetros para caracterizar las propiedades geofísicas del suelo. Éstas son el albedo, la emisividad a 9 mm, la inercia térmica, la disponibilidad de humedad

y la longitud de rugosidad (Anderson et al., 1976 y Jorba, 2005), además estas características dependen de la estación del año. En la Tabla 2, se muestran las diversas categorías y las descripciones de cada una de ellas.

**TABLA 2.** Descripción de las 25 categorías del uso del suelo y parámetros físicos, para verano del hemisferio norte (15 de abril - 15 de octubre) e invierno (15 octubre - 15 abril)

ID	Descripción Vegetación	Albedo (%)		Humedad (%)		Emisividad (% a 9 $\mu$ m)		Rugosidad (cm)		Inercia térmica (cal. cm <sup>-2</sup> K <sup>-1</sup> s <sup>-1/2</sup> )	
		Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver	Inv	Ver
1	Urban	15	15	10	10	88	88	80	80	0.03	0.03
2	Drylnd Crop. Past.	17	23	30	60	98.5	92	15	5	0.04	0.04
3	Irrg. Crop. Past.	18	23	50	50	98.5	92	15	5	0.04	0.04
4	Mix. Dry/Irrg. C.P.	18	23	25	50	98.5	92	15	5	0.04	0.04
5	Crop./Grs. Mosaic	18	23	25	40	99	92	14	5	0.04	0.04
6	Crp./Wood Mosc	16	20	35	60	98.5	93	20	20	0.04	0.04
7	Grassland	19	23	15	30	98.5	92	12	10	0.03	0.04
8	Shrubland	22	25	10	20	88	88	10	10	0.03	0.04
9	Mix Shrb./Grs.	20	24	15	25	90	90	11	10	0.03	0.04
10	Savanna	20	20	15	15	92	92	15	15	0.03	0.03
11	Decids. Broadlf	16	17	30	60	93	93	50	50	0.04	0.05
12	Decids. Needlf.	14	15	30	60	94	93	50	50	0.04	0.05
13	Evergm. Braodlf.	12	12	50	50	95	95	59	59	0.05	0.05
14	Evergrn Needlf.	12	12	30	60	95	95	50	50	0.04	0.05
15	Mixed Forest.	13	14	30	60	94	94	50	50	0.04	0.06
16	Water Bodies	8	8	100	100	98	98	.01	.01	0.06	0.06
17	Herb. Wetland	14	14	60	75	95	95	20	20	0.06	0.06
18	Wooded wetland	14	14	35	70	95	95	40	40	0.05	0.06
19	Bar. Sparse Veg.	25	25	2	5	85	85	10	10	.02	0.02
20	Herb. Tundra	15	60	50	90	92	92	10	10	0.05	0.05
21	Wooden Tundra	15	50	50	90	93	93	30	30	0.05	0.05
22	Mixed Tundra	15	55	50	90	92	92	15	15	0.05	0.05
23	Bare Grnd. Tundra	25	70	2	95	85	95	10	5	0.02	0.05
24	Snow or Ice	55	70	95	95	95	5	5	0.05	0.05	
25	No data										

Fuente: <http://www.mmm.ucar.edu/mm5/documents/M>

Los datos de uso de suelo utilizados en el presente estudio para la cuenca del río Mantaro, provienen del USGS e INRENA (Tabla 3).

**TABLA 3.** Fuente y características principales de los datos de uso del suelo (cobertura vegetal)

Fuente	Resolución	Cobertura Espacial
USGS <sup>3</sup>	30 s ~ 1 km	30°N-50°S 130°W-20°W
INRENA	1 km	Delimitado por la cuenca del Mantaro

<sup>3</sup> Fuente de uso del suelo: [ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN\\_DATA/](ftp://ftp.ucar.edu/mesouser/MM5V3/TERRAIN_DATA/)

## 2.4 DATOS METEOROLÓGICOS

Para la ejecución del modelo MM5, fue necesario contar con información de condiciones iniciales y de frontera. Esta información se obtuvo a partir de los resultados del modelo de Reanálisis NCEP/NCAR (Kalnay et al., 1996). Las variables utilizadas fueron la temperatura del aire, la altura geopotencial, la humedad relativa, Presión reducida, viento zonal y viento meridional, para la región de Sudamérica (entre los 30°N a 50°S y entre los 130°W a 20°W), para el mes de febrero del 2007 con una frecuencia de 6 horas. Los datos de temperatura superficial del mar fueron tomados del Optimum Interpolation Sea Surface Temperature (OISST), a una resolución de 1 grado (aproximadamente 100 km) que cubre todo el globo y la frecuencia de 1 semana.

## 3. METODOLOGÍA

La metodología que se siguió en la implementación del modelo se explica en La Figura 2, donde se menciona que para incorporar el uso del suelo se necesita, primero hacer una equivalencia de las categorías del INRENA y del USGS (Tabla 4). Debido a que en el modelo las categorías representan a cinco parámetros que caracterizan las propiedades geofísicas del suelo (Tabla 2).

**TABLA 4.** Equivalencias entre el mapa de cobertura vegetal del INRENA con el GTOPO30

ID	Descripción Vegetación	
	USGS	INRENA
1	Urban	Centros poblados
5	Crop./Grs. Mosaic	Actividad agropecuaria
6	Crop./ Wood Mosc	Actividad agropecuaria Bosque secundaria
7	Grassland	Pajonal altoandino
8	Shrubland	Matorral semiárido templado Matorral semihúmedo semicálido Matorral sebhúmedo templado Matorral húmedo templado
15	Mixed Forest	Bosque húmedo de montaña
16	Water Bodies	Ríos. lados y lagunas
17	Herb. Wetland	Bofedal
22	Mixed Tundra	Tundra
24	Snow or Ice	Nival

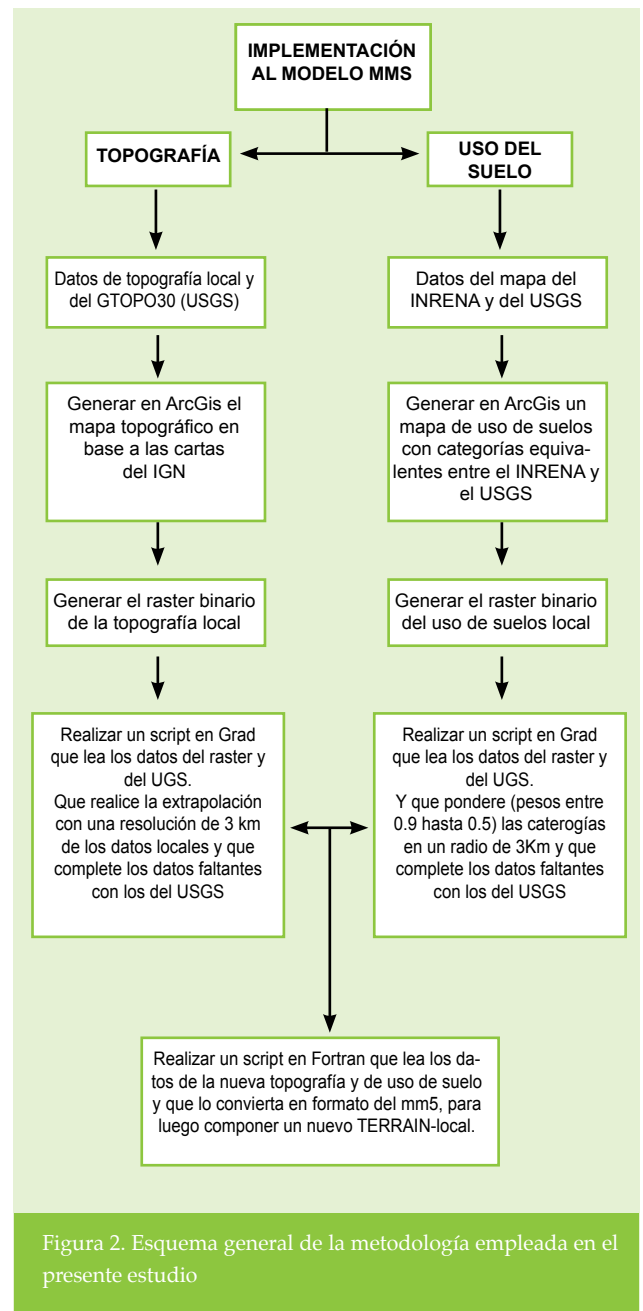


Figura 2. Esquema general de la metodología empleada en el presente estudio

Para analizar los resultado de la implementación al modelo, se configuraron tres dominios anidados; el dominio externo que engloba buena parte de América del Sur (D1) y dentro del mismo el segundo dominio que comprende el Perú (D2) y dentro de él un tercer dominio que abarca el área de la cuenca del Mantaro (D3 - zona de estudio) (Figura 3).

- D1: 95x140 celdas, resolución de 27 km
- D2: 124x124 celdas, resolución de 9 km
- D3: 124x112 celdas, resolución de 3 km

Dominios empleados en el modelo MM5

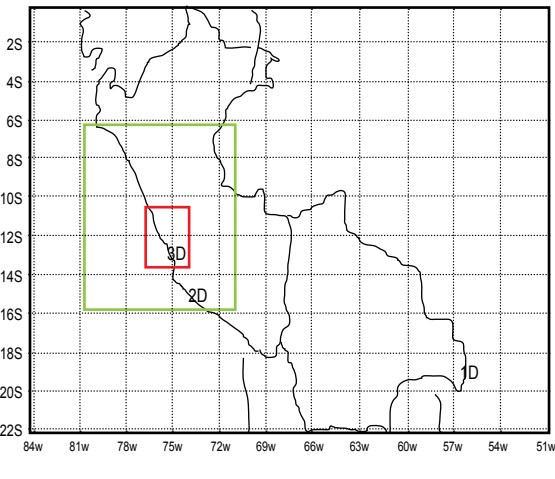


Figura 3. Esquema espacial de los 3 dominios anidados empleados en el modelo.

Las parametrizaciones usadas fueron las que se sugerían en la bibliografía estudiada donde se mencionaba principalmente las siguientes: Dudhia (1989), desarrollo un esquema de humedad explícita (IMPHYS) para un sistema más complejo que incluye la física del cambio de fase entre agua y hielo; Grell (1993) y Kain y Fritsch (1990, 1993), desarrollaron esquemas de convección (ICUPA) para resoluciones más finas que incluyen los movimientos descendientes, y son más aconsejables para simular el desarrollo de mesoaltas, mesobajas y las tormentas asociadas; Hernández, menciona que para una alta resolución en la capa límite planetaria, la mejor opción es MRF también conocido como Hong y Pan PBL (IBLTYP = 5).

El resumen de la configuración se muestra en Tabla 5, donde se observan los dominios y sus respectivas parametrizaciones a simular.

**TABLA 5.** Configuración preliminar del modelo MM5 utilizadas en las simulaciones

DOMINIOS		PARAMETRIZACIONES FÍSICAS					
		Esquema convectivo (ICUPA)	Esquema de capa límite (IBKTUP)	Esquema de humedad explícita (IMPHYS)	Esquema de radiación (IFRAD)	Esquema de superficie (ISOIL)	
D1	27 km (95 x 140)	23 niveles sigma	(6) Kain Fritsch	(5) MRF	(4) Simple Ice (Dudhia)	(4) RRTM	(1)
D2	09 km (124 x 124)		(6) Kain Fritsch	(5) MRF	(4) Simple Ice (Dudhia)	(4) RRTM	(1)
D3	03 km (124 x 112)		(1) None	(5) MRF	(4) Simple Ice (Dudhia)	(4) RRTM	(1)

## 4. RESULTADOS

### 4.1 IMPLEMENTACIÓN DE LA TOPOGRAFÍA

La Figura 4a representanta la topografía obtenida por el modelo MM5 por defecto, usando los datos del USGS-GTOPO30, mientras que la Figura 4b, es la obtenida con el modelo usando los datos de topografía del IGN. Comparando ambas imágenes, se puede observar claramente que la obtenida con datos del IGN presenta mayor concordancia con la geomorfología de la cuenca (descrita en la sección 2.2). Se puede identificar las cadenas de montañas pertenecientes a la cordillera de los Andes occidentales con picos que sobrepasan los 4 500 msnm, los sistemas montañosos de cumbres nevadas que sobrepasan los 5 500 msnm, como los nevados del Huaytapallana y Marairazo (lado oriental), así también el valle, en la parte central de la cuenca donde se ubican las principales ciudades Huancayo y Jauja.

La principal diferencia es la capacidad de identificación del valle del Mantaro, ya que la Figura 4a muestra una elevación de 4 000 msnm al centro del mismo (circulo azul), mientras que en la Figura 4b el valle está en un rango que va de 3 000-3 500 msnm; siendo esta última la que más se aproxima a lo real.

### 4.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MAPA DE USOS DE SUELO

Los resultados de la implementación del mapa de usos de suelos se presentan en la Figura 6. Comparando ambos mapas, del USGS y el INRENA (descritos en la Tabla 4), se observan grandes diferencias entre ambas fuentes. Para el USGS (Figura 5a) no existen las zonas de tundra (22 - achurado de plomo), bosque húmedo de montaña o selva baja (15 - achurado de verde oscuro) ni bofedales (17 - achurado de azul), donde deberían existir (según el mapa original) en cambio lo identifica como zonas de pajonal

altoandino (7 - achurado de amarillo) y de actividad agropecuaria - bosque secundario (6 - achurado de verde claro). El mapa de uso de suelos generado (Figura 5b) se muestra más acorde con la imagen real (Figura 1), caracterizando en su totalidad la cobertura vegetal de la cuenca.

### 4.3 EVALUACIÓN DE LA TEMPERATURA DEL SUELO

El hecho de que la topografía o el uso del suelo no esté correctamente descrito en el modelo, puede traer como consecuencia que los resultados no sean realistas. A manera de ejemplo, se presenta la evaluación de la temperatura del suelo usando datos de uso del suelo de datos globales y los del INRENA. En la Figura 6 se presentan los resultados obtenidos para la temperatura del suelo usando ambas fuentes.

En la Figura 6a, se observa la diferencia de más de 10 °C en los alrededores de la laguna de Junín, esto debido a la diferente categorización de uso de suelos en Las fuentes (INRENA y USGS) y por ende a la existencia de diferencias entre parámetros físicos del suelo. Para el USGS esta área es Tundra con un albedo de 55%, en cambio para INRENA el mismo área es Bofedal con un albedo de 14%. Esta última categoría tendría más coherencia con la realidad. Otra diferencia importante se identifica en la zona aledaña a la ciudad de La Oroya. Con los datos del INRENA, esta zona es más cálida con incremento de temperatura de 2°C con respecto al USGS. Esto también se explica a la diferente categorización del área, de modo que para USGS esta zona es categorizada como "Wooden Tundra" (albedo de 50%), mientras que para INRENA la misma zona es mixed tundra (albedo de 55%).

La Figura 6b presenta los resultados para el valle del Mantaro. Se obtuvo una diferencia de -0.5°C hasta +2°C, el valor positivo se le asocia al cambio de categorías de Grassland (USGS) con un albedo de 23% y humedad de 30% a uno de Crop./Wood Mosc (INRENA) con un albedo de 20% y humedad de 60%; el valor negativo (presente en el valle) se le asocia al cambio de Grassland (USGS) a uno de Crop./Grs. Mosaic (INRENA) con un albedo de 23% y humedad de 40%.

En Figura 6c se presenta los resultados obtenidos para la zona sur de la cuenca del Mantaro, que comprende las ciudades de Salcabamba y Lircay. La diferencia en la temperatura del suelo es de -3°C hasta +2°C, el valor negativo asociado al cambio de Tundra (USGS) con un albedo de 55% a uno de Crop./Wood Mosc (INRENA) con un albedo de 20%; el valor positivo que más espacio ocupa asociado a un cambio de una categorización de Grassland (USGS) con un albedo de 23% y humedad de 30% a uno de Crop./Wood Mosc (INRENA) con un albedo de 20% y humedad de 60%.

De este modo, se identificó que el parámetro físico que más influye en la temperatura del suelo, es el albedo y el porcentaje de humedad característico de cada categoría.

### 4.4 EVALUACIÓN DE LOS VIENTOS SUPERFICIALES

El impacto de la mala definición del uso del suelo o topografía, puede influenciar también en los vientos cerca a la superficie. La figura 7, presenta los resultados de las diferencias de la velocidad y dirección del viento usando ambas fuentes. En la figura 7a, para el norte de la cuenca, se observa que el viento se incrementó *tanto* en su magnitud (Figura 7a) como en dirección Nor-Este (Figura 7b). Similarmente, se observan también en las otras regiones (Figuras no mostradas).

## 5. CONCLUSIONES

Las modificaciones hechas para la cuenca pudieron representar las características (topografía y usos de suelos) del terreno de estudio. Sin embargo, los 3 km usados sigue siendo baja resolución para la escala de la cuenca. Por lo que es recomendable correr el modelo a mayor resolución espacial.

Se obtuvo grandes diferencias en las salidas del modelo al simular la cuenca del Mantaro usando los datos locales y globales, como por ejemplo en las variables del viento superficial, la temperatura del suelo, entre otros.

## 6. RECOMENDACIONES

Para futuros estudios en zonas de alta complejidad morfológica, se debería considerar la resolución de los dominios dependiendo del requerimiento del estudio. Si la investigación se orienta a procesos locales, como los vientos de brisa de valle-montaña por ejemplo, se debe usar alta resolución (1 km). Además, se debe emplear un campo espacial de datos superior a la zona del dominio del modelo para evitar problemas en las fronteras.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Anthes, R. y Warner, T., 1978. Development of hydrodynamic models suitable for air pollution and other meteorological studies. *Monthly Weather Review*, 106, 1045-1078.

Anthes, R. A., 1984. Enhancement of convective precipitation by mesoscale variations in vegetative covering in semiarid regions. *J. Climate Appl. Meteor.*, 23, 541-554.



Anderson, J.R., Hardy, E., Roach, J. y Witmer R., 1976. A land use and land cover classification system for use with remote sensor data. U.S. Geological Survey Professional, P. 964.

Chen, F., y Dudhia J., 2001. Coupling an Advanced land surface-hydrology model with the Penn State-NCAR MM5 modelling system. Part I: Model implementation and sensitivity. *Monthly Weather Review*, 129, 569-585.

Dudhia, J., 1989. Numerical study of convection observed during the Winter Monsoon Experiment using a mesoscale two-dimensional model. *Journal Atmosphere Scientist*, 46, 3077-3107.

Grell, G., 1993. Prognostic evaluation of assumptions used by cumulus parameterizations. *Monthly Weather Review* 121, 764-787.

Instituto Geofísico del Perú-IGP, 2005a. Atlas Climático de precipitación y temperatura del aire en la cuenca del río Mantaro. Volumen I. Fondo Editorial del CONAM.

INRENA, 1995. Dirección General Forestal Guía Explicativa del Mapa Forestal 1995. MINAG.

Instituto Geofísico Del Perú (2005b). Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro. Volumen II. Fondo Editorial del CONAM.

Jorba, O., 2005. Simulación de los campos de viento de la Península Ibérica y el área geográfica de Catalunya con alta resolución espacial para distintas situaciones

meteorológicas típicas. Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Catalunya, España.

[Http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0317105-174201/index.html](http://www.tesisenxarxa.net/TDX-0317105-174201/index.html), agosto 2009

Kain, J. S., y Fritsch J. M., 1990. A one-dimensional entraining/detraining plume model and its application in convective parameterization. *Journal Atmosphere Scientist*, 47, 2784-2802.

Kain, J. S., y Fritsch J. M., 1993. Convective parameterization for mesoscale models: The Kain-Fritsch scheme. The representation of cumulus convection in numerical models, K. A. Emanuel and D. J. Raymond, Eds., American Meteorological Society, 246.

Kalnay, E. et al., 1996. The NCEP-NCAR 40-year reanalysis project. American Meteorological Society, 77, 437-471.

Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación – FAO, 2006. Evaluación de los recursos forestales mundiales 2005. ISBN 92-5-305481-6. Roma. Versión digital consultado en julio de 2011. <http://www.fao.org/docrep/009/a0400s/a0400s00.htm>

Ulrickson, B.L., 1992. Effects of surface property variations on simulated daytime airflow over coastal southern California. *Monthly Weather Review*, 120, 2264-2279.

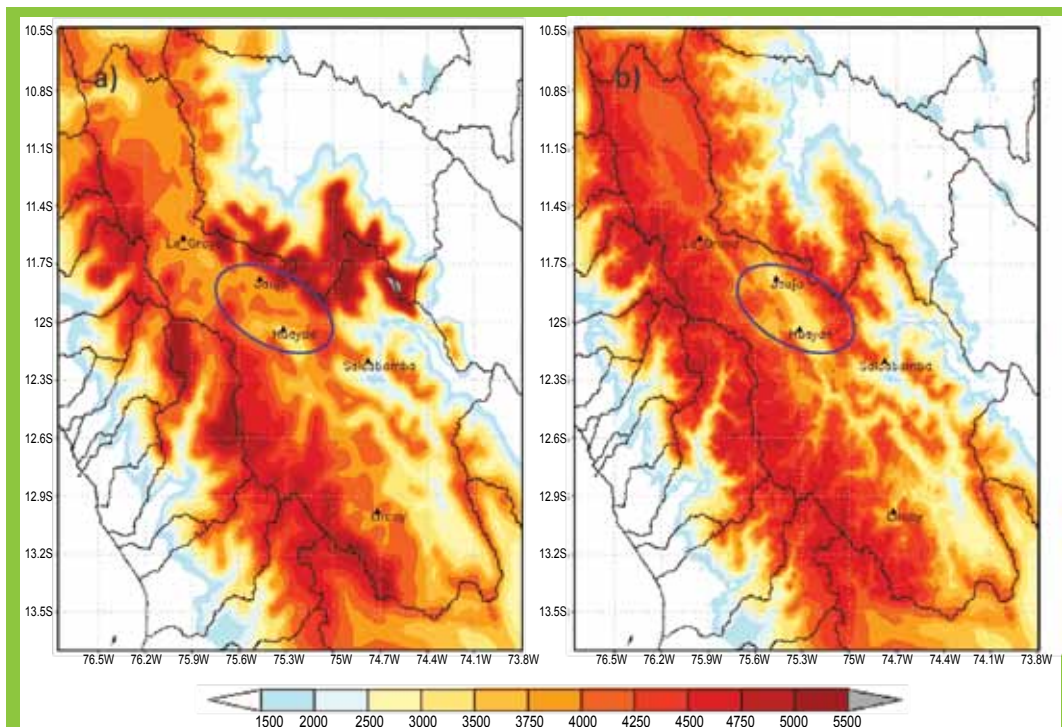


Figura 4. Comparación de topografía de la cuenca del río Mantaro (Dominio 3) según: a) USGS (TOPO30) y b) mapa generado con datos del IGN. El valle del Mantaro está marcado en círculo azul.

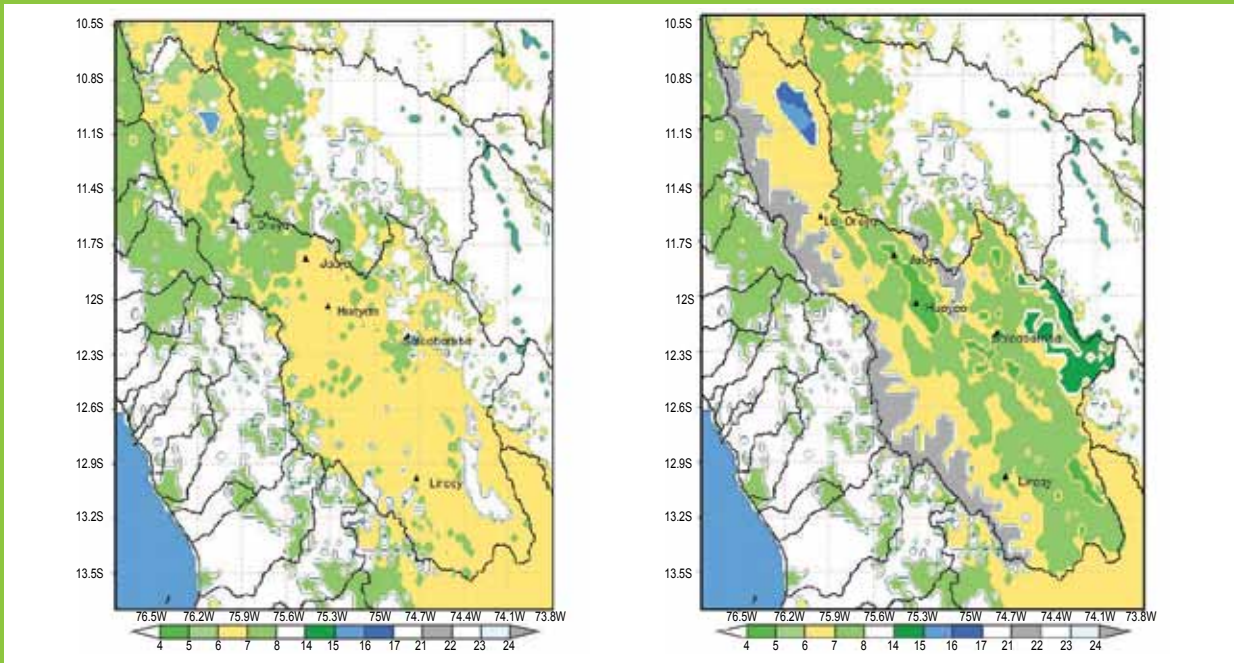


Figura 5. Comparación de los mapas de uso de suelos de la cuenca del río Mantaro (Dominio 3) según: a) USGS y b) mapa generado en el presente estudio.

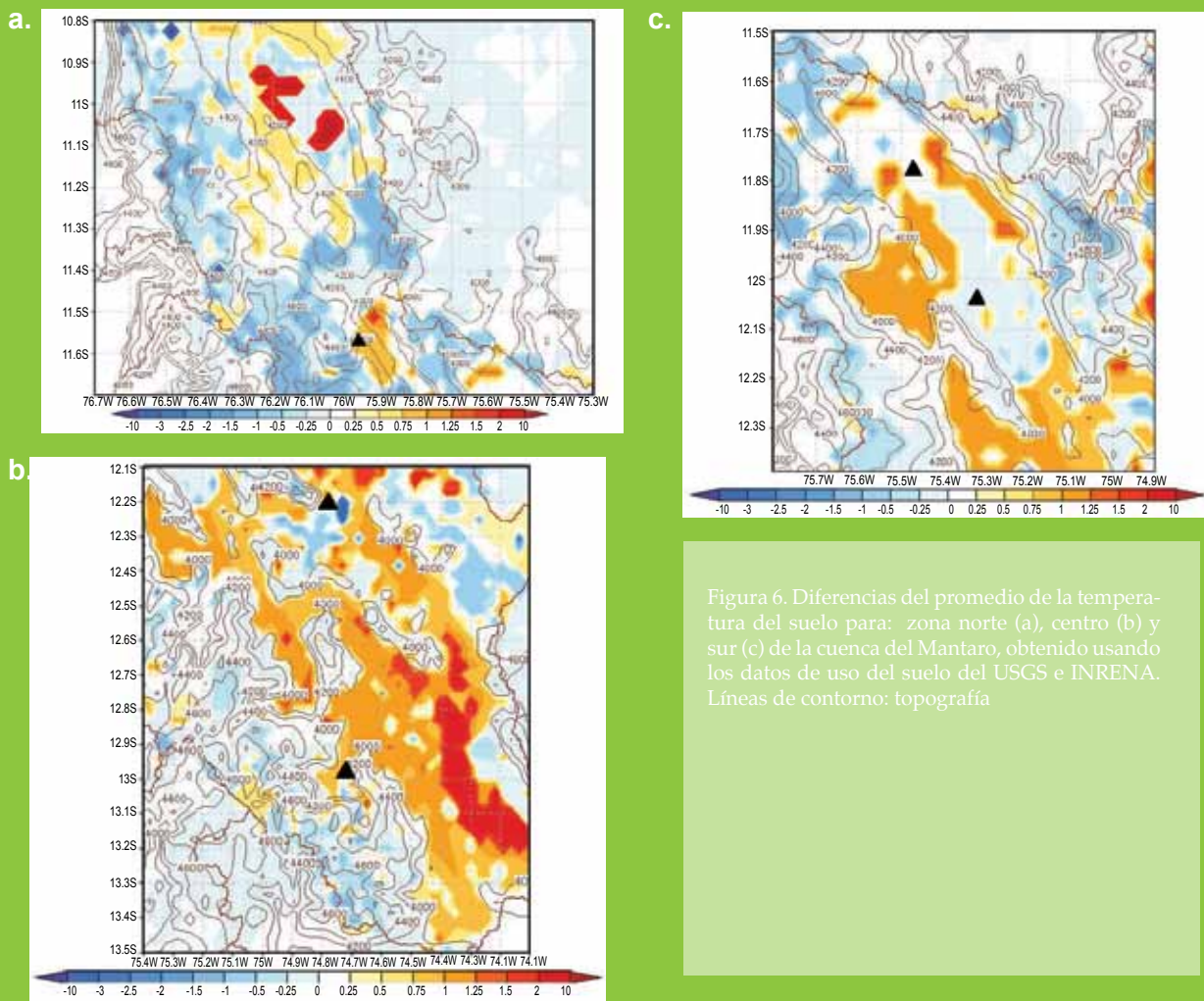
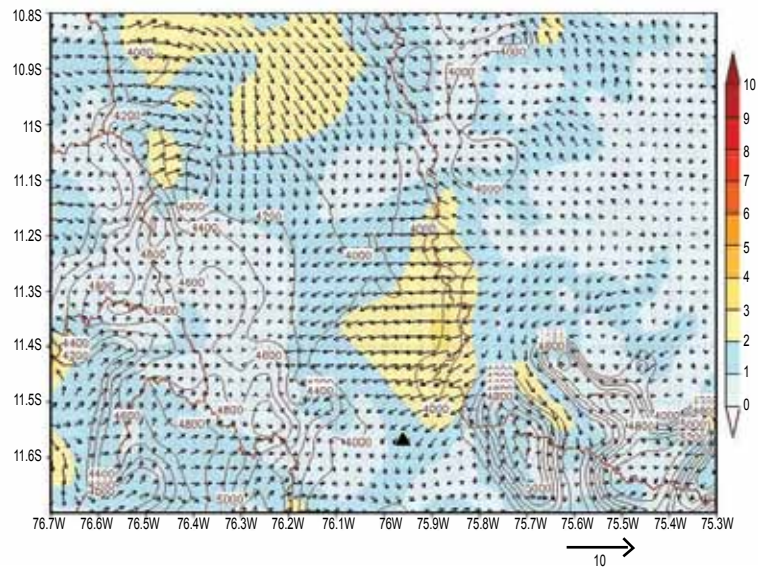


Figura 6. Diferencias del promedio de la temperatura del suelo para: zona norte (a), centro (b) y sur (c) de la cuenca del Mantaro, obtenido usando los datos de uso del suelo del USGS e INRENA. Líneas de contorno: topografía

Diferencia entre Velocidades y direcciones del viento  
( $\Delta Ve$ ) **IGN - GTOPO30**



Velocidad y dirección del viento  
**IGN**

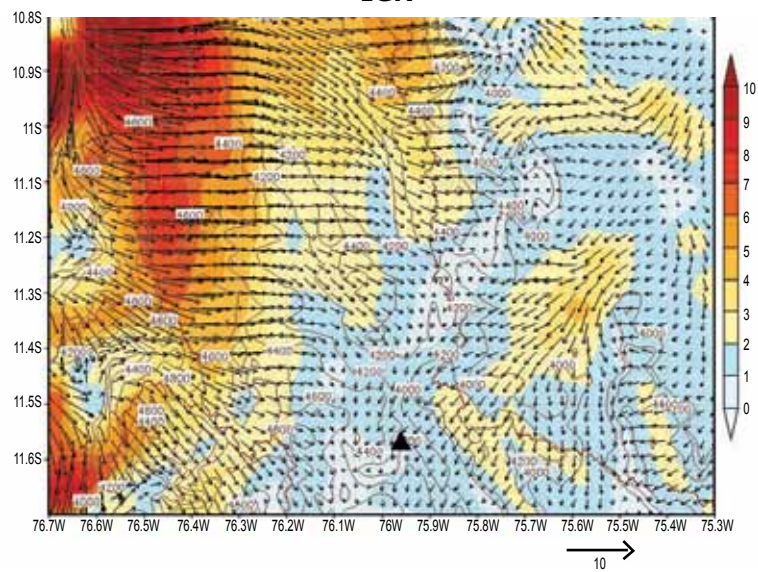


Figura 7. Campo de viento superficial promedio obtenido usando datos del IGN (b) y campo promedio diferencial del viento superficial entre las bases de datos del GTOPO30 y del IGN; líneas de contorno: topografía



## MODELADO DE LOS PROCESOS FÍSICOS ASOCIADOS A LLUVIAS INTENSAS EN LA COSTA NORTE DURANTE EL NIÑO

### MODELING OF PHYSICAL PROCESSES ASSOCIATED WITH HEAVY RAINS IN THE NORTH COAST DURING EL NIÑO

**Jeffers Palacios Espinoza**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Facultad de Ciencias Físicas-EAP Ingeniería Mecánica de Fluidos  
jeffers.palacios@igp.gob.pe

Asesor: Ph.D. Ken Takahashi Guevara  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

Se busca identificar los procesos físicos que determinan las lluvias intensas en la costa norte del Perú. De acuerdo a ello se define la temperatura crítica ( $T_{crit}$ ), como un valor característico de temperatura superficial del mar (TSM) que al ser excedido deriva la ocurrencia de este evento. Se efectúan experimentos para probar que la  $T_{crit}$  es la requerida para que el aire superficial pueda vencer la inversión térmica y que ésta es función de la temperatura encima de la capa límite. Además se debe probar que el cambio en la  $T_{crit}$  está determinado por el calentamiento superficial en las regiones tropicales convectivas. Resultados previos indican que las variaciones de

#### Abstract

We seek to identify the physical processes that determine the heavy rains on the northern coast of Peru. The critical temperature ( $T_{crit}$ ) is defined as a characteristic value of sea surface temperature (SST) that, when exceeded, results in the occurrence of this event. Experiments are conducted to prove that the  $T_{crit}$  is required for the surface air temperature inversion can overcome, that this is a function of temperature above the boundary layer and to prove that the change in  $T_{crit}$  is determined by the surface warming in the tropical convective regions. Previous results indicate that

temperatura por encima de la inversión térmica están mayormente influenciados por anomalías ocurridas en la región Niño 4 ( $r=0,62$ ) y no por efectos cercanos (Niño 1+2,  $r=0,45$ ), contrariamente a lo que sucede con la temperatura a nivel superficial (Niño 1+2,  $r=0,85$ ). Finalmente, se encuentra que el calentamiento de la región Niño 4 muestra una relación inversa con respecto a las lluvias en la costa norte, lo cual refuerza la hipótesis planteada.

**Palabras clave:** Costa norte, inversión térmica, temperatura crítica, lluvias intensas.

variations in temperature above the inversion is largely influenced by abnormalities occurred in the Niño 4 region ( $r = 0.62$ ) and not by effects near (Niño 1 +2,  $r = 0.45$ ), contrary to what happens to the temperature at the surface (Niño 1 +2,  $r = 0.85$ ). It is found that warming in the Niño 4 region shows an inverse relationship to rains in the north coast, which supports the hypothesis.

**Keywords:** North Coast, thermal inversion, critical temperature, heavy rain.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las condiciones climáticas de la costa norte indican que mantiene un clima cálido y muy seco (Piura 60 mm/año y Chulucanas 215 mm/año; Takahashi, 2004), esto es debido a que la atmósfera en nuestras costas es estable y no deja que el aire superficial ascienda, lo cual es requisito para la condensación del vapor de agua, por expansión y enfriamiento, que lleva a la formación de nubes asociadas a precipitación, típicamente de profundidades de hasta 10-15 km de altura. La existencia de la estabilidad atmosférica está asociada a una fuerte “inversión de temperatura”, que consiste en un inusual incremento de la temperatura del aire con la altura, teniendo en cuenta que normalmente en la tropósfera esta temperatura desciende conforme aumenta la altura. Sin embargo cuando se presenta el fenómeno El Niño (FEN), se observa un calentamiento anómalo de la TSM en la costa norte, con lo cual la inversión de temperatura prácticamente deja de existir, la atmósfera se inestabiliza y se presentan fuertes lluvias (Piura 2147 mm y Chulucanas >4000 mm, FEN 1982-83; Piura 1802 mm y Chulucanas 3735 mm FEN 1997-98; Takahashi, 2004), trayendo como consecuencia inundaciones que causan serios daños a la infraestructura socioeconómica de esta parte del país.

Conforme a eso en el presente artículo se pretende investigar, mediante la experimentación numérica, los procesos físicos que derivan a la ocurrencia de lluvias intensas en

la costa norte del Perú. Esto complementa con los resultados presentados en (Palacios, 2009).

## 2. DESARROLLO

### 2.1 HIPÓTESIS

- La temperatura crítica es la requerida para que el aire superficial pueda vencer la inversión térmica y es función de la temperatura encima de la capa límite.
- El cambio en la temperatura crítica está determinado por el calentamiento superficial en las regiones tropicales convectivas (similar al caso de huracanes: Vecchi y Soden, 2007), el cual se propaga eficientemente a la región de interés como ondas de gravedad.

### 2.2 CÁLCULOS PREVIOS

En referencia a los cálculos anteriormente realizados (Palacios, 2009) con datos observados para encontrar el mejor indicador de estabilidad, que determine los procesos físicos que condicionan la ocurrencia de lluvias intensas, se tomó como criterio el modelo estadístico con el menor error RMS, mediante lo cual se eligió como indicador al índice de estabilidad de Klein y Hartmann (1993) ( $RMS = 34,98$ ), que consiste en la diferencia de la TSM menos la temperatura potencial a 700hPa<sup>1</sup> (Ver Figura 1).

<sup>1</sup> En el trabajo de Ken Takahashi (2004), se precisa que los datos de radiosondeo en Piura durante diciembre 1997-enero 1998 muestran una capa de inversión térmica en el nivel de 760hPa.

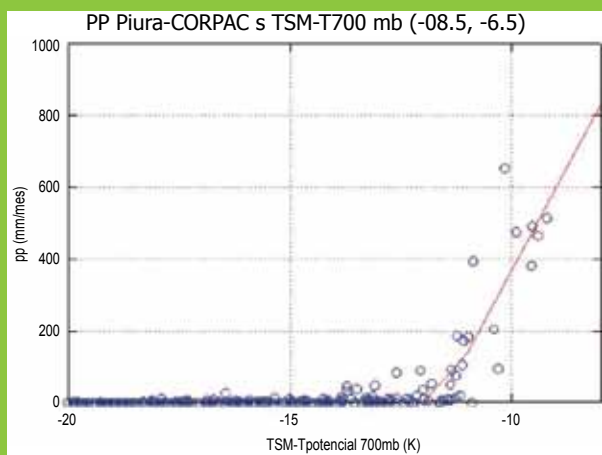


Figura 1. Gráfico de dispersión que presentó menor RMSE=34,98 [TSM-Temp. potencial a 700hPa= Índice de estabilidad, Klein & Hartmann, 1993 (ver comentario abajo)].

Los modelos estadísticos para la precipitación (PP) considerados tuvieron la forma:

$$P = \begin{cases} 0, & TSM < T_{crit} \\ a \cdot (TSM - T_{crit}) & TSM \geq T_{crit} \end{cases} \dots(1)$$

De esta relación se requiere encontrar los parámetros “a” (coeficiente de regresión entre la PP y la TSM) y “Tcrit”, realizando un ajuste, minimizando el error cuadrático medio o RMSE (igual que en una regresión lineal de mínimos cuadrados).

Al hacer los cálculos considerados en la ecuación (1), en el punto 6,5°S, 80,5°W (sur de Piura) se halló una Tcrit= 26,7°C con un RMSE=38,489. Sin embargo al ajustar un modelo similar usando el índice de estabilidad de Klein y Hartmann (1993) en lugar de TSM, se tiene que:

$$P \approx a \cdot (TSM - T_{crit}) \dots\dots\dots(2)$$

Cuando:  $TSM \geq T_{crit} \dots\dots\dots(3)$

Reemplazando TSM - Potencial<sub>700hpa</sub> en (3) en lugar de TSM:

$$TSM - T_{potencial\ 700hpa} \geq T_{crit}' = -1.6$$

El valor de -11,6 se obtiene de la Figura 1.

$$TSM \geq T_{potencial\ 700hpa} - 1.6 \dots\dots(4)$$

De (3) y (4) se puede deducir que se tendrá una temperatura Tcrit = Tpotencial<sub>700hpa</sub> - 1.6 determinada por la temperatura potencial menos una constante.

Posteriormente se analizó el impacto de las anomalías de TSM en las regiones Niño con respecto a la temperatura

del aire sobre Piura, para lo cual se calculó la correlación entre ambas variables.

En la Figura 2, se observa que la región Niño 4 presenta una mayor influencia en el aire sobre Piura (r=0,62) considerando un nivel por encima de la capa límite. Mientras que el aire a nivel superficial es netamente impactado por las anomalías en la región Niño 1+2 (r=0,85).

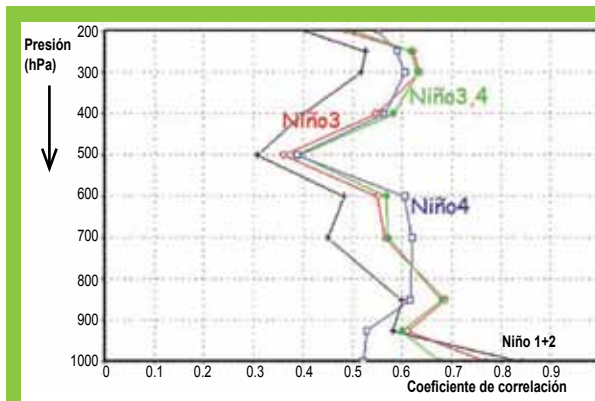


Figura 2. Coeficientes de correlación de anomalías de la temperatura del aire en Piura y la TSM en las regiones Niño.

### 2.3 EXPERIMENTACIÓN NUMÉRICA

Los resultados anteriores presentan evidencia a favor de la hipótesis. Sin embargo, se intentará verificar las interpretaciones físicas y complementar estas conclusiones mediante la experimentación numérica.

#### 2.3.1. Experimentos con el modelo MM5

Inicialmente se utilizó el modelo numérico PSU/ NCAR Mesoscale Model versión 5 (MM5). Pero antes del inicio de los experimentos se debía analizar la mejor representación de las lluvias para ello se realizaron pruebas de sensibilidad con diferentes esquemas de parametrización de cúmulos: Grell, Fritsch-Chappell, Kain-Fritsch y Kain-Fritsch 2 (esquema de capa límite MRF). Posteriormente se realizaron simulaciones con diferentes esquemas de parametrización de capa límite planetaria: Gayno Seaman, Burk Thompson y Pleim Chang (esquema de cúmulos Kaint-Fritsch). De este análisis se concluyó que los resultados de la simulación de las lluvias para enero de 1998 son aparentemente más sensibles a los esquemas de parametrización de capa límite que al esquema de convección.

En consecuencia, de lo anterior se eligieron las parametrizaciones presentadas en la Tabla 1, considerando un dominio con resolución Δx=135km, 23 niveles sigma y uso de suelo de USGS (25 categorías).

**TABLA 1. Parametrizaciones físicas usadas en el MM5.**

Fuente	Esquema	Referencia
Parametrización de cúmulus	Kain-Fritsch	Kain and Fritsch (1993)
Capa límite	Burk-Thompson	Burk and Thompson (1989)
Humedad	Simple ice	Dudhia (1989)
Radiación	Cloud-radiation	Benjamin and Carlson (1986)
Temperatura de superficie	Force-restore	Blackadar (1976)

Se modelaron las condiciones meteorológicas de los meses de enero-febrero 1994, periodo definido previamente en el cual las anomalías de TSM fueron mínimas en las regiones que afectan directamente a la zona de estudio: región Niño 1+2 y región Niño 4. Además este año tuvo que coincidir con un tiempo normalmente seco en Piura. Los experimentos realizados consistían en perturbar la TSM en las regiones Niño 1+2 y Niño 4. La elección de estas regiones se sustenta con resultados previos en el cual se encontraron altas correlaciones (Figura 2). Un esquema de la ubicación de las perturbaciones se presenta en la Figura 3. Los datos empleados se detallan en la Tabla 2.

**TABLA 2. Datos utilizados en el MM5**

Variable	Zona	Fuente	Periodo
Temp. aire, alt. geo., viento zon., v. merid., hum. rel., pres. y temp. superf.	Lat. 30°S-38°S; Lon. 55°W-115°W	Reanálisis: NOAA NCEP/NCAR	Nov. 1997-may. 1998 (c/6h)
TSM	Global	NOAA Optimun Interpolation Sea Surface Temperature (OISST) V2	Oct. 1997-may. 1998 (c/semana <sup>2</sup> )

<sup>2</sup> Los datos del OISST son producidos semanalmente pero para ser utilizados en el MM5 se tuvo que realizar una interpolación a cada 6 horas.

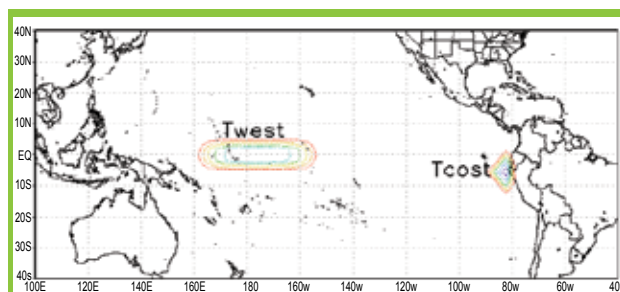


Figura 3. Perturbación de la TSM en las regiones Niño4=Twest y Niño1+2=Tcost.

El resumen de las perturbaciones consideradas en los experimentos se detalla en la Tabla 3.

**TABLA 3. Perturbaciones en los experimentos con el modelo MM5**

TCOST		TWEST	
0		0	
-8	-	0	-
0	-5	-	-
0	-5	-	-
4	-5	0	5
8	-5	0	5

### 2.3.2. Experimentos con el modelo SPEEDY

Debido a que los cálculos realizados con el modelo MM5 tenían la limitación de un dominio regional que no permitía representar adecuadamente la propagación global de señales de El Niño, lo cual podría perjudicar la simulación en la costa norte (ver sección de resultados, Figura 4), se utilizó además un modelo global que no tiene problemas asociado con las fronteras. El modelo utilizado es el Simplified Parameterizations, primitive-Equation DYNAMICS (SPEEDY, Molteni, 2003), este modelo trabaja con 7 niveles sigma pero los datos de salida son post procesados en niveles de presión (hPa): 925, 850, 700, 500, 300, 200, 100, la resolución del modelo es de  $\Delta x=4^\circ$ . Además genera 34 variables: viento zonal (U), viento meridional (V), humedad específica (Q), humedad relativa (RH), temperatura superficial (ST), precipitación convectiva (PRECNV), precipitación a larga escala (PRECLS), evaporación (EVAP), entre otros.

En la experimentación se siguió el mismo procedimiento del MM5, en el sentido a que inicialmente se modeló un período sin perturbaciones y posteriormente se hicieron experimentos con diferentes anomalías en las

regiones Niño 1+2 y Niño 4, pero debido a la velocidad en su ejecución se tomó un período de 16 años y se hicieron una mayor cantidad experimentos. El resumen de las perturbaciones consideradas en los experimentos se detalla en la siguiente tabla:

**TABLA 4.** Perturbaciones en los experimentos con el modelo SPEEDY

	TCOST		TWEST	
0			0	
2	-3	-1,5	1,5	3
3	-3	-1,5	1,5	3
3,5	-3	-1,5	1,5	3
4	-3	-1,5	1,5	3
4,5	-3	-1,5	1,5	3
6	-3	-	-	3
9	-3	-	-	3

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

De los resultados obtenidos con el modelo MM5 se analizaron los cambios en las lluvias de la costa norte (producto de las perturbaciones) y en especial de la zona de Piura en donde se observa que el modelo no representa bien en forma cuantitativa las lluvias y sólo para perturbaciones extremas (Tcost=8) presenta resultados considerables y comparables con febrero 1998 (511,7 mm/mes, CORPAC: Niño 97/98). Además de eso se observa una extraña coincidencia en resultados con experimentos que poseen características muy distintas (ver Figura 4). Esto se explicaría debido a que el MM5 tiene fronteras laterales que afectan la propagación de las ondas troposféricas y las podrían canalizar artificialmente dentro de los trópicos, lo que a su vez podría afectar las precipitaciones en Piura.

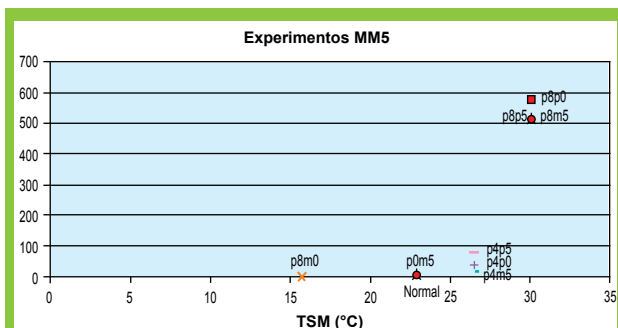


Figura 4. Resumen de los resultados del modelo MM5. La notación indica  $T_{cost} = T_{Niño1+2}$  y  $T_{west} = T_{Niño4}$  (ie p8p5,  $T_{Niño1+2}=8$  y  $T_{Niño4}=5$ ).

Con los resultados del modelo SPEEDY se realizaron algunos cálculos para confirmar los resultados encontrados inicialmente (sección 2.2). Por tanto en la figura 5 (a) se muestran lluvias y vectores de viento modelados para una climatología de marzo, en donde se observa la influencia de 1°C de anomalía de la región Niño1+2, el cual da como resultado incrementos positivos en las lluvias de la costa norte (ejemplo anomalía de 1,5mm/día en las lluvias en Piura), mostrando además una anomalía de 0,6m/s en vientos con una dirección NW. Por el contrario en la Figura 5 (b) se observa que 1°C de anomalía de la región Niño 4 da como resultado anomalías negativas en la costa norte (anomalía de -0,5mm/día en las lluvias en Piura) y además se observa que los vientos presentan una anomalía de 0,28m/s con una dirección SE.

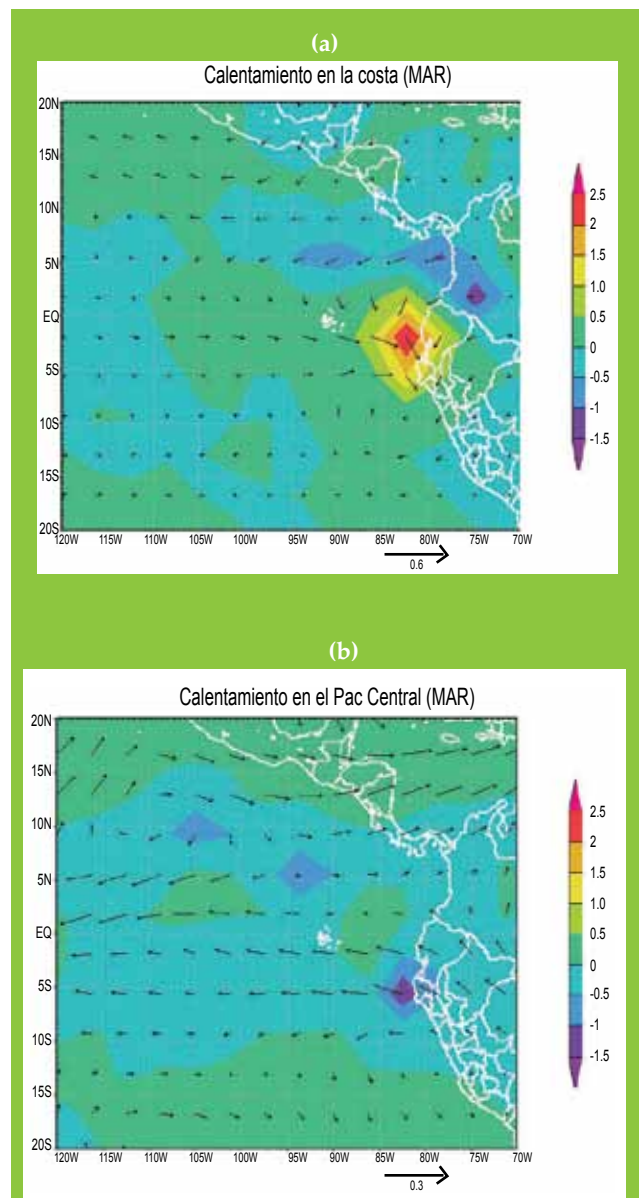


Figura 5. Lluvias modeladas para Marzo (mm/mes) y viento superficial (m/s), diferencias escaladas por 1° de calentamiento. a) Anom. Niño1+2:  $[(T_{cost}=4^{\circ}C, T_{west}=3^{\circ}C) - (T_{cost}=-4^{\circ}C, T_{west}=3^{\circ}C)]/8$  y b) Anom. Niño4:  $[(T_{cost}=4^{\circ}C, T_{west}=3^{\circ}C) - (T_{cost}=4^{\circ}C, T_{west}=-3^{\circ}C)]/6$ .



Posteriormente se hicieron gráficos de dispersión entre los 26 experimentos: PP vs. TSM y de PP vs. TSM-Temp. potencial a 700hPa ( $T_{pot700}$ ), presentando una  $T_{crit} = T_{potencial_{700hpa}} - 1.3$  (figura 6(a) y (b)), similar a lo hallado con los datos observados.

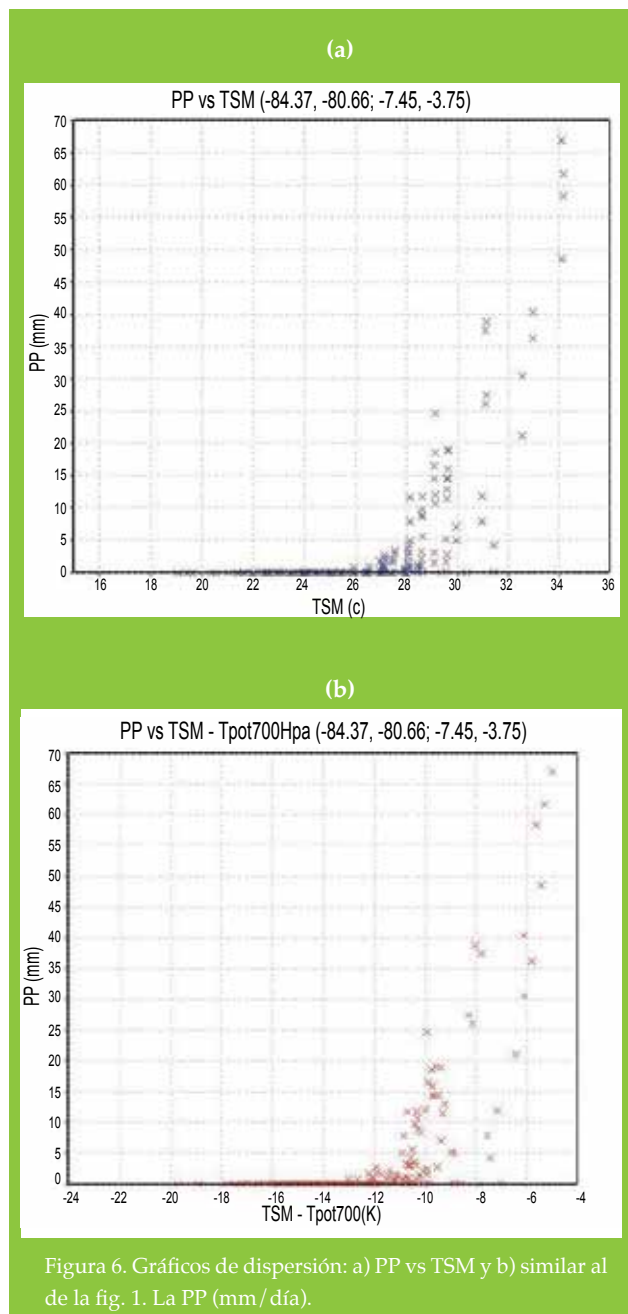


Figura 6. Gráficos de dispersión: a) PP vs TSM y b) similar al de la fig. 1. La PP (mm/día).

Se analizaron la temperatura del aire a diferentes niveles de presión y las lluvias en un promedio temporal para enero, febrero y marzo, promediando los experimentos que tenían la misma perturbación:  $T_{west}=3^{\circ}C$ ,  $T_{west}=-3^{\circ}C$ ,  $T_{cost}=2^{\circ}C$  y  $T_{cost}=4^{\circ}C$ .

En los resultados se presentan las diferencias de estos promedios:  $T_{west}=3$  menos  $T_{west}=-3$  y  $T_{cost}=2$  menos  $T_{cost}=4$ . Según el panel superior de la Figura 7, se puede

observar que el promedio de los experimentos que presentaban anomalías de  $3^{\circ}C$  ( $T_{westp3}$ ) en la reg. Niño4 presenta mayor efecto en el aire a 700hPa sobre Piura, es decir lo calienta más a comparación del promedio de los experimentos con anomalías de  $-3^{\circ}C$  ( $T_{westm3}$ ) en la misma región. Del mismo modo en el panel inferior, se puede observar que el promedio de los experimentos con anomalías de  $2^{\circ}C$  ( $T_{costp2}$ ) en la región Niño1+2 presenta un ligero mayor efecto en el aire comparándolo con el promedio de los experimentos con anomalías de  $4^{\circ}C$  ( $T_{costp4}$ ).

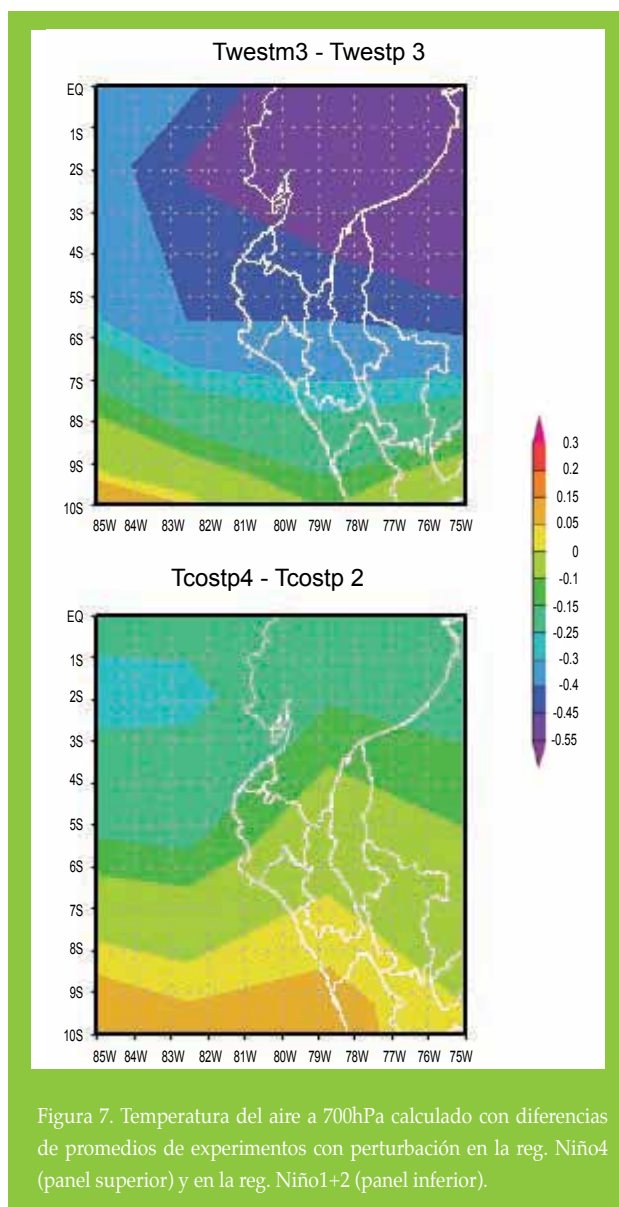
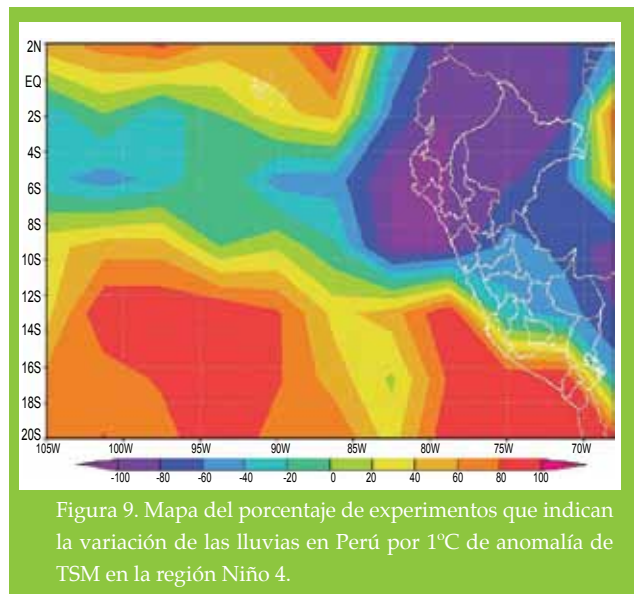
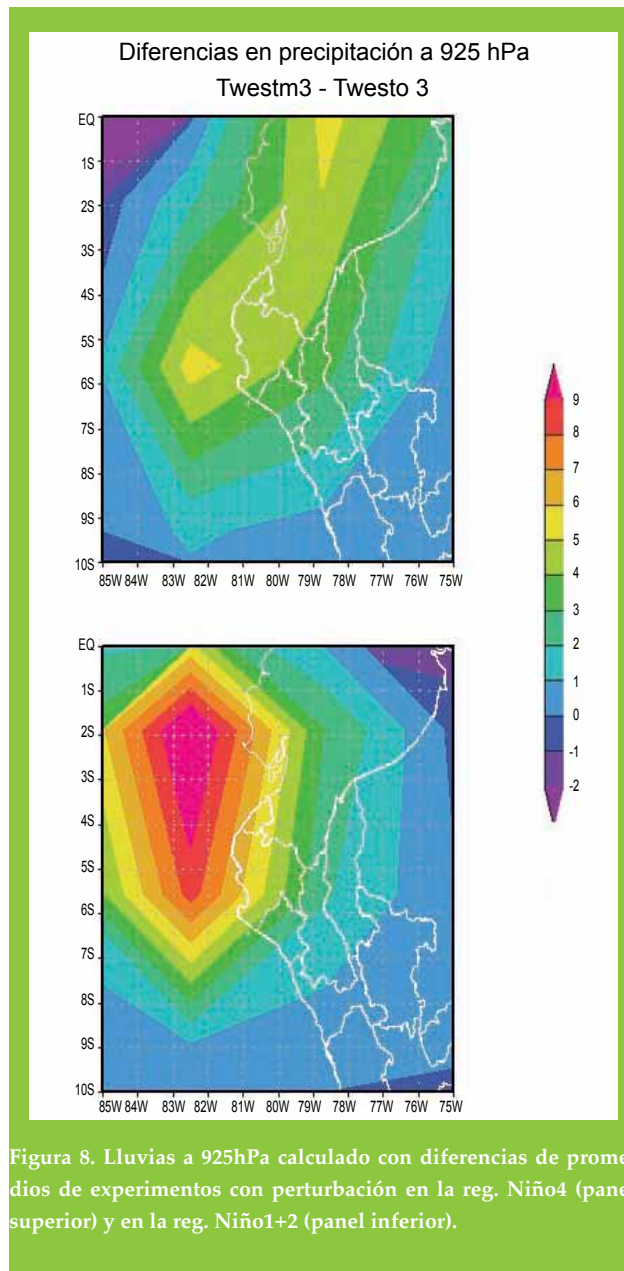


Figura 7. Temperatura del aire a 700hPa calculado con diferencias de promedios de experimentos con perturbación en la reg. Niño4 (panel superior) y en la reg. Niño1+2 (panel inferior).

El mismo cálculo se hizo con las lluvias, en donde el panel superior de la Figura 8 indica que el promedio de los experimentos con anomalías de  $-3^{\circ}C$  ( $T_{westm3}$ ) en la región Niño4 da como resultado más lluvia sobre Piura a comparación del promedio de los experimentos con anomalías de  $3^{\circ}C$  ( $T_{westp3}$ ) en la misma región. Análogamente en el panel inferior, se puede observar que el promedio de los experimentos con anomalías de  $4^{\circ}C$  ( $T_{costp4}$ ) en la región Niño1+2 presenta un aporte considerable en las lluvias

comparándolo con el promedio de los experimentos con anomalías de 2°C (Tcostp2).

Finalmente tomando en cuenta todos los experimentos realizados como conjunto, se hizo un análisis de los efectos de las anomalías de TSM en la región Niño4 sobre las lluvias, para ello en la Figura 9 se muestra un mapa en donde los colores nos dan información sobre el porcentaje de los experimentos realizados que indican más o menos lluvia en la región. De este resultado se advierte que en la costa norte el 100%<sup>3</sup> de los experimentos realizados indican una disminución en las lluvias.



#### 4. CONCLUSIONES

- Al comparar cuantitativamente los resultados de la Figura 5(a) con los datos de PP de CORPAC y de anomalías de TSM de la NCEP-NOAA, se tiene que con una anomalía de 2,63°C<sup>4</sup> para Marzo de 1998 en la región Niño1+2 se debería presentar una anomalía de PP≈11,5mm/día, esto es mucho mayor a lo hallado con el modelo SPEEDY. Esta limitación era de suponerse debido a la resolución del modelo, lo cual advierte que los resultados deberán ser considerados con mayor detalle en su forma cualitativa, pues el modelo si muestra que un calentamiento en la reg. Niño1+2 da como resultado mayor lluvia especialmente en Tumbes y Piura, mientras que un calentamiento en la reg. Niño4 da menos lluvia en la costa norte.
- De los gráficos de dispersión de PP vs. TSM y PP vs. TSM-Tpot700 se encuentra que ambos presentan correlación lineal positiva similar, lo cual no permite escoger el mejor predictor, como en el caso con datos observados.
- A pesar de las limitaciones con respecto a la resolución del modelo SPEEDY se calculó una Tcrit de:  
 $T_{crit} = T_{potencial_{700hpa}} - 1.3$ , el mismo que no difiere mucho del calculado con los datos observados que fue  
 $T_{crit} = T_{potencial_{700hpa}} - 1.6$ .
- Analizando Temperatura del aire a 700hPa (Figura 7), bajo las consideraciones detalladas anteriormente se encuentra que en el primer nivel presentado por el

<sup>3</sup> El resultado indica -100% (color morado claro), el signo menos indica disminución.

<sup>4</sup> Fuente: <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices>

modelo (925 hPa) las diferencias entre los promedios con perturbaciones en la región Niño 4 ( $T_{west}=+3$  y  $T_{west}=-3$ ) son ínfimas, lo cual indica que casi no influye en la temperatura del aire a ese nivel, por otro lado se encuentra que a 700 hPa la perturbación de  $3^{\circ}\text{C}$  si muestra mayor aporte en calentamiento de la temperatura del aire sobre Piura.

- Después de haber realizado los experimentos con diferentes perturbaciones se encuentra que todos dan como resultado una disminución de lluvias en el norte del Perú: Tumbes, Piura, Lambayeque y la zona norte de la Libertad.
- Finalmente se tiene que de acuerdo a los resultados encontrados se comprueba la hipótesis planteada en el sentido a que se confirma la relación de las lluvias con respecto a la TSM y a la temperatura a 700hPa, de modo que se halla la existencia de un efecto positivo del calentamiento superficial en las regiones tropicales convectivas en la temperatura del aire a 700hPa sobre la costa norte y en particular sobre Piura (Figuras 2 y 7). Además se pudo encontrar que un calentamiento local de la TSM (región Niño1+2) da como resultado más lluvia en Piura (Figuras 5(a) y 8) y que contrariamente un calentamiento de la TSM en la región Niño4 da como resultado menos lluvia en Piura (Figuras 5(b), 8 y 9).

## 5. RECOMENDACIONES

Realizar los experimentos anteriores con un modelo de mayor resolución, para obtener mejores resultados y cuantitativos.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por proporcionarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

A mi familia, al Ph.D. Ken Takahashi, al Mg. Kobi Mosquera y amigos sinceros en general por brindarme los métodos, el apoyo, los consejos y el incentivo necesario para culminar mi investigación.

---

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Klein, S., Hartmann, D., 1993. The seasonal cycle of low stratiform clouds. *J. Climate*. Vol. 6, 1587-1606.

Molteni, F., 2003. Atmospheric simulations using a GCM with simplified physical parametrizations. I: model climatology and variability in multi-decadal experiments. 175–191.

Palacios, J., 2009. Procesos físicos asociados a lluvias intensa en la costa norte durante El Niño y efectos del cambio climático. Compendio de trabajos de investigación realizados por estudiantes el año 2009. Vol. 11, 63-69.

Schweigger, E., 1964. El litoral peruano. 1ra. Ed., Lima, Perú.

Takahashi, K., 2004. The atmospheric circulation associated with extreme rainfall events in Piura, Peru, during the 1997—1998 and 2002 El Niño events. *A. Geophysicae*. Vol. 22, 3917–3926.

Vecchi, G. y Soden, B., 2007. Effect of remote sea surface temperature change on tropical cyclone potential intensity, Vol. 450, 1066-1071.



## DETECCION DE SEÑALES SISMICAS USANDO LA TRANSFORMADA WAVELET

### SEISMIC SIGNAL DETECTION USING WAVELET TRANSFORM

**José Carlos Tacza Anaya**  
Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Facultad de Ciencias Físicas  
josect1986@gmail.com

Asesor: Ph.D. Edmundo Norabuena Ortíz  
Área de Geodesia Espacial y Peligros Geofísicos

#### Resumen

En los últimos años, se han desarrollado sistemas de detección automática de eventos y algoritmos de identificación de fases. El presente trabajo se enfoca a reducir las desventajas existentes en los métodos de detección conocidos a la fecha, mediante la aplicación de la transformada wavelet. El algoritmo desarrollado (algoritmo wavedetect), se aplicó a señales sísmicas de eventos locales con relación señal / ruido (SNR) variables. En la fase de detección automática se ejecuta un filtrado pasa-banda de 1-20 Hz (rango de frecuencias para eventos locales), luego se procede a la eliminación de ruido de la

#### Abstract

In recent years an increasing number of systems for automatic event detection and phase identification algorithms have been developed. This work focuses on overcoming the difficulties or disadvantages existing in the detection methods known until today, by applying the wavelet transform. This algorithm (wavedetect algorithm) was applied to seismic signals of local events with signal to noise ratio (SNR) variables. In the detection phase a band-pass filter of 1-20 Hz (frequency range for local events) is executed automatically, then the signal is denoised using a Discrete Wavelet Transform as a prelude to using the algorithm STA / LTA, in order to avoid false detections (noise) and loss of information

señal utilizando la Transformada Wavelet discreta como paso previo a utilizar el algoritmo STA/LTA, con el propósito de evitar las falsas detecciones (ruido) y pérdida de información (eventos pequeños). Una vez detectada la señal se procede a la identificación de la fase P con ayuda del algoritmo de Criterio de Información de Akaike (AIC).

**Palabras clave:** Transformada Wavelet, Algoritmo STA/LTA, Algoritmo AIC

(small events). Once detected the signal proceeds to the P phase identification algorithm using the Akaike Information Criterion (AIC).

**Keywords:** Wavelet Transform, STA/LTA algorithm, AIC algorithm.

## 1. INTRODUCCIÓN

Las ondas sísmicas son perturbaciones que se propagan a través del interior de la Tierra y se producen por la falla o fractura de la corteza terrestre que se encuentra sometido a esfuerzos tectónicos continuos; por explosiones volcánicas, impacto de meteoritos, explosiones químicas, explosiones nucleares, deslizamientos etc. (Stein & Wysession, 2003; Shearer, 2009).

Las ondas sísmicas de interés para el presente trabajo son las ondas de cuerpo. Estas se clasifican en ondas P (primaria) que por tener velocidad de propagación mayor a las ondas S (secundarias) y son las primeras en llegar a la estación de registro. Otra característica de las ondas P es que el movimiento ocasionado sigue la misma dirección de propagación de la onda, motivo por el cual también se denominan ondas longitudinales. En cambio, en las ondas S, el movimiento es transversalmente a la dirección de propagación de las ondas, por lo que son denominadas ondas transversales o de corte (Stein & Wysession, 2003; Shearer, 2009).

Las señales sísmicas son continuas en el tiempo (dominio de los números reales), sin embargo al registrarse de manera digital su representación equivale a una señal discreta (muestras a intervalos constantes). Por este motivo es común utilizar la Transformada Discreta de Fourier para su análisis. Esta transformada es una técnica matemática para transformar nuestra visión de la señal de una base temporal a una base de frecuencias, sin embargo en este proceso se pierde el contenido temporal (es decir, es imposible decir cuándo ocurrió un evento particular). Este problema, se soluciona parcialmente mediante la introducción de la Transformada Corta de Fourier (TCF). El análisis de Wavelet soluciona este problema, ya que consiste en descomponer una señal en versiones escaladas móviles de la Wavelet original ("Wavelet madre"). El uso de la Transformada Wavelet permite eliminar el ruido de fondo presente en la señal sísmica, permitiendo mejorar la detección de las señales sísmicas.

## 2. FUNDAMENTO TEÓRICO

### 2.1 LA TRANSFORMADA WAVELET

A pesar de la existencia de problemas de resolución en el tiempo y la frecuencia, es posible analizar cualquier tipo de señal usando un enfoque distinto mediante la aplicación de la denominada Transformada Wavelet (WT). Esta transformada analiza la señal a diferentes frecuencias con diferentes resoluciones. Al contrario de la Transformada Corta de Fourier, cada componente espectral no es analizada con la misma resolución.

La Transformada Wavelet ofrece buena resolución temporal y baja resolución en frecuencia para señales de altas frecuencias, pero en contraste, ofrece buena resolución en frecuencia y baja resolución temporal para señales de bajas frecuencias. Este modo de funcionamiento tiene sentido cuando la señal a analizar tiene componentes de alta frecuencia de corta duración y componentes de baja frecuencia de larga duración (Daubechies, 1992; Cortés et al., 2007).

Existen dos diferencias principales entre la WT y la STFT:

- ❖ La Transformada de Fourier de las señales no es calculada.
- ❖ La anchura de la ventana se cambia conforme la transformada wavelet se calcula para cada componente espectral.

El objetivo de la Transformada Wavelet es descomponer cierta señal en componentes denominadas Wavelets, las cuales forman una base del espacio de funciones, con ciertas propiedades como ortogonalidad, tamaño, suavidad, duración, etc. (Daubechies, 1992; Burrus et al., 1999). Así, este método sería una ampliación del método de Fourier, en el que la señal se descompone en funciones sinusoidales. En este caso, la descomposición se realiza a partir de funciones más complejas, en las cuales no se varía su frecuencia, sino su posición y su escala temporal.

La transformada wavelet continua (CWT) se define como:

$$C_{(a,b)} = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)\Psi_{a,b}(t)dt \quad (1)$$

donde:

$$\Psi_{a,b}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}}\Psi\left(\frac{t-b}{a}\right) \quad (2)$$

es una función de enmarcada(acotada) denominada *Wavelet madre*, siendo  $a$  un parámetro de escala y  $b$  de traslación.  $C_{(a,b)}$  son los coeficientes de  $f(t)$  en el espacio de funciones definido por  $(t)$ , Cortés et al, 2007.

La Transformada Wavelet Discreta (Burrus et al, 1999) (TWD) viene dada por:

$$C[j,k] = \sum_{n \in Z} f[t]\Psi_{j,k}[t] \quad (3)$$

Donde  $f(t)$  es la señal a analizar y  $\Psi_{j,k}$  es una wavelet discreta definida como:

$$\Psi_{j,k}(t) = 2^{\frac{j}{2}}\psi(2^j t - k) \quad j, k \in Z \quad (4)$$

Los parámetros  $a$ ,  $b$  están definidos, ahora, según la escala diádica, de manera que  $a = 2^j$  y  $b = k2^j$  (donde  $j, k$  son los parámetros de escala y traslación, respectivamente). La transformada wavelet discreta inversa se define de forma similar como:

$$f(t) = \sum_{j \in Z} \sum_{k \in Z} C[j,k]\Psi_{j,k}(t) \quad (5)$$

## 2.2 ALGORITMO STA/LTA

El algoritmo STA/LTA se basa en el seguimiento de las variaciones de energía de una señal en un período corto de tiempo con respecto al nivel mantenido en un período un poco más largo de tiempo (Guada, 2000). Si se define  $\gamma(t)$  como el cociente del promedio de la señal en corto período ( $\alpha(t)$ ) entre el promedio en el largo período a un tiempo  $t$  ( $\beta(t)$ ), es decir:

$$\gamma(t) = \frac{\alpha(t)}{\beta(t)} \quad (6)$$

Se dice que se detectó un evento cuando:

$$\gamma(t) > \gamma_a \quad (7)$$

donde  $\gamma_a$  es el nivel de umbral para la detección de eventos sísmicos.

## 2.3 ALGORITMO AIC

El Criterio de Información de Akaike (AIC) es un algoritmo matemático que calcula la variación de energía entre dos intervalos cuyo valor óptimo (mayor variación de energía) es el mínimo valor de AIC y ésta es la característica por la cual es altamente explotado de muchas formas en varias aplicaciones (Ahmed et al., 2007).

Para nuestro caso en particular, en el análisis de señales sísmicas, se calcula el AIC directamente del sismograma, el tiempo de arribo de la fase P es el punto donde el AIC tiene el mínimo valor (mayor variación de energía). Para el sismograma de longitud  $N$ , el valor AIC es definido como:

$$AIC(k) = k \cdot \log\{var(x_{(1,k)})\} + (N - (k + 1)) \cdot \log\{var(x_{(k+1,N)})\} \quad (8)$$

Donde,  $k$  varía a través de todas las muestras del sismograma.

## 3. METODOLOGÍA

La señal original es filtrada con un filtro simple pasa-banda de 1-20 Hz (para trabajar con sismos locales), luego se realiza el procedimiento de reducción de ruido utilizando la Transformada Wavelet para mejorar la relación señal/ruido (SNR). A continuación, se procede a utilizar el algoritmo STA/LTA para la detección de las señales sísmicas y posteriormente se utiliza el algoritmo AIC para determinar el tiempo de arribo de la fase P.

La metodología a utilizar en el presente trabajo sigue el procedimiento mostrado en la Figura 1.

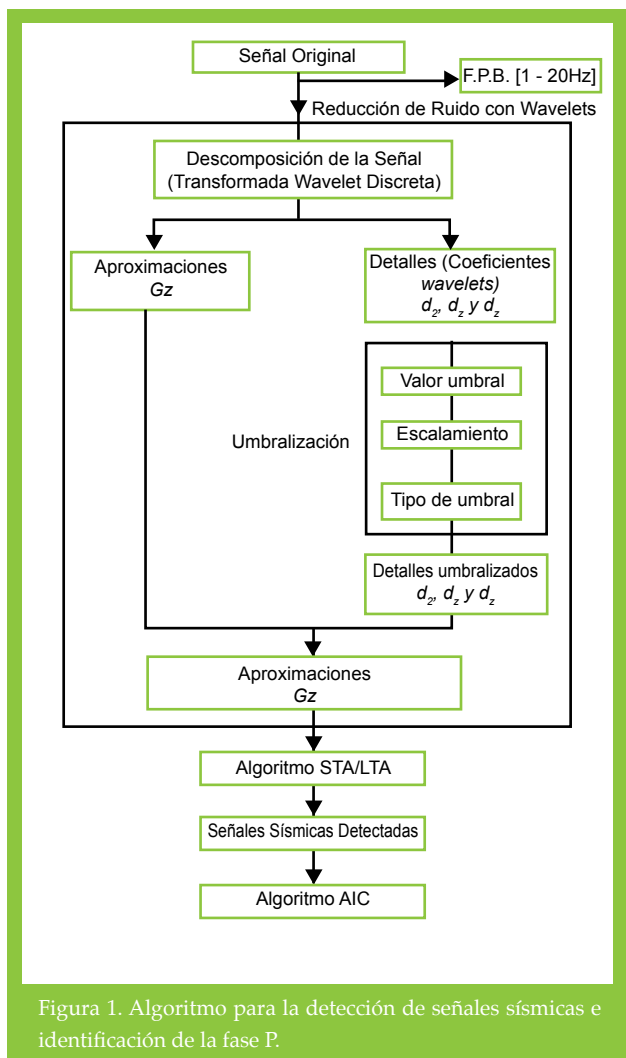


Figura 1. Algoritmo para la detección de señales sísmicas e identificación de la fase P.

## 4. RESULTADOS

El algoritmo **wavedetect** es aplicado a sismogramas provenientes de tres estaciones sísmicas instaladas por el IGP en la región de Lima (Paracas=PAR, Ancón=ANC y Lachay=LAC). Tabla 1.

**TABLA 1.** Datos Analizados

Estación	N° Señales	Periodo
PAR	32	Enero 2008
ANC	51	Marzo – Junio 2009
LAC	66	Enero 2010

### 4.1 REDUCCIÓN DE RUIDO CON WAVELETS (DENOISING)

La señal original es descompuesta en 3 niveles de descomposición, luego se aplica el proceso de umbralización (el cual elimina en gran cantidad el ruido de fondo en la señal) y por último se reconstruye la señal (Figura 2).

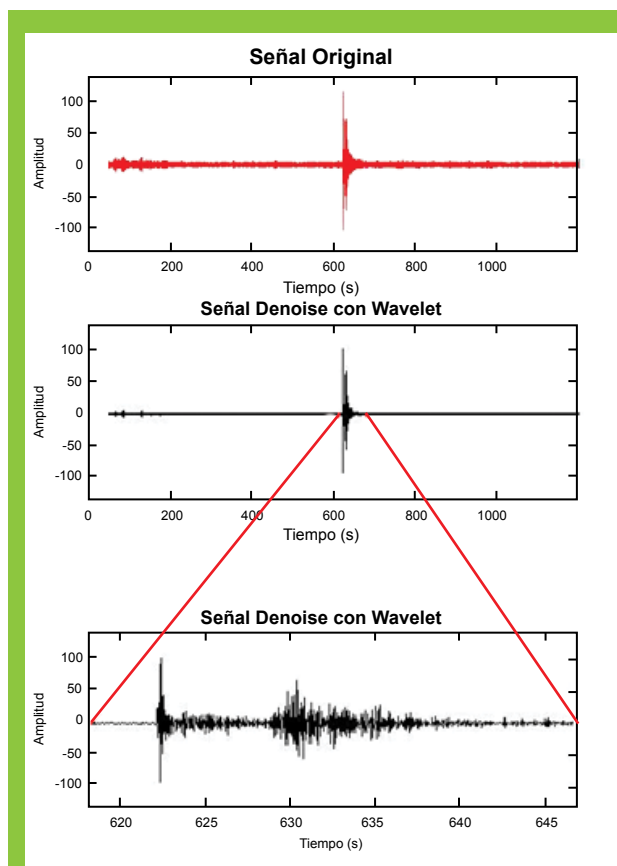


Figura 2. Reconstrucción de la señal. Se puede observar la cantidad de ruido removido.

### 4.2 ALGORITMO STA/LTA

Luego del proceso de reducción de ruido de la señal (Denoising), se aplica el algoritmo STA/LTA (siguiendo lo descrito en la sección 2.2), con la finalidad de discriminar la ocurrencia de un evento sísmico. Tabla 2.

**TABLA 2.** Parámetros utilizados en el algoritmo STA/LTA

Estación	Tiempo (s)	N° puntos
VENTANA STA	3	300
VENTANA LTA	60	6000
PRE-EVENTO	25	2500
POST-EVENTO	70	7000
UMBRAL ( $\gamma_\alpha$ )	3	

Las señales analizadas fueron distribuidas según su SNR para observar cómo el algoritmo Wavedetect funcionaba para distintos niveles de ruido. Los resultados obtenidos al emplear el algoritmo wavedetect y un filtro pasa banda se muestran en la tabla 3, 4 y 5.

**TABLA 3.** Resultados de la detección de señales sísmicas para las cuales su SNR está comprendida en el rango de 20 dB a más.

SNR (20 dB a más)		
Eventos	WAVEDETECT	F.P.B.[1-20 Hz]
Detectados	14	14
No Detectados	0	0

**TABLA 4.** Resultados de la detección de señales sísmicas para las cuales su SNR está comprendida en el rango de 9 a 19 dB.

SNR (9 – 19 dB)		
Eventos	WAVEDETECT	F.P.B.[1-20 Hz]
Detectados	35	34
No Detectados	0	1

**TABLA 5.** Resultados de la detección de señales sísmicas para las cuales su SNR está comprendida en el rango de 0 a 8 dB.

SNR (0 – 8 dB)		
Eventos	WAVEDETECT	F.P.B.[1-20 Hz]
Detectados	93	74
No Detectados	7	26

Se puede observar de las tablas 3, 4 y 5, que el algoritmo wavedetect y el filtro pasa banda presentan buenos resultados para las señales cuyo valor de SNR están comprendidas en el rango de 9 dB a más. Sin embargo, para aquellas señales cuyo valor de SNR está comprendido en el rango de 0 – 8 dB, es fácil observar que el algoritmo wavedetect presenta mejores resultados comparado con un simple filtro pasa banda.

### 4.3 ALGORITMO AIC

Una vez detectado el evento, el algoritmo wavedetect realiza la identificación automática del tiempo de arribo de la fase P utilizando el algoritmo AIC, para esto se eligió una ventana adecuada de 2100 muestras (21 segundos) antes del punto de detección del umbral (ecuación 6). En la Tabla 6 se muestra el porcentaje de picos correctos y picos incorrectos. En la tabla 7 se muestra los resultados de las diferencias entre el tiempo calculado por el analista y el algoritmo wavedetect.

**TABLA 6.** Porcentaje de picos correctos y picos incorrectos al utilizar el algoritmo AIC.

Picos correctos %	Picos incorrectos %
76.76	23.24

**TABLA 7.** Diferencias en el tiempo de arribo de la fase P entre un analista y el algoritmo wavedetect.

Picos correctos %			
0.0 – 0.19 segundos	0.2 – 0.39 segundos	0.4 – 0.69 segundos	0.7 – 1 segundo
59.16	7.04	8.45	2.11

En el caso de las diferencias de tiempo mayores a 1 segundo, esto se debe a que la ventana elegida no es la adecuada. Es posible elegir la ventana manualmente, pero el proceso de identificación ya no sería automático.

## 5. CONCLUSIONES

- ❖ La técnica de reducción de ruido (denoising), sirve para mejorar la SNR de aquellas señales con pobre relación señal a ruido. Como resultado se obtuvo señales más limpias, mejorando la tasa de detección de eventos sísmicos.
- ❖ Se puede observar de la Tabla 3, 4 y 5, que el algoritmo wavedetect presenta un nivel de detección igual comparado con un simple filtro pasa banda de 1 – 20 Hz para señales cuyo SNR está comprendido en el rango de 9 dB a más. Pero cuando la SNR disminuye a un rango de 0 – 8 dB, se puede observar que el algoritmo wavedetect presenta una mejor tasa de detección (93 % de eventos detectados), debido al denoising, comparado con el filtro pasa banda (74 % de eventos detectados).
- ❖ De igual manera se puede observar de las Tablas 6 y 7 que el algoritmo wavedetect obtuvo un 76,76 % de buenos resultados al momento de determinar el tiempo de



arribo de la fase P, de los cuales el 59,16 % corresponde a una diferencia de tiempo (0 – 0,19 segundos) entre el calculado por un analista experimentado y el algoritmo wavedetect.

## 6. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

Al Dr. Edmundo Norabuena por guiarme en esta investigación, agradecerle por su paciencia y apoyo brindado. Por compartir sus conocimientos y por permitir mi permanencia en el Instituto Geofísico del Perú.

Un agradecimiento especial a Wendy Quiroz, por brindarme su amistad y sus conocimientos sobre el uso de la transformada wavelet y programación, y a Rocío Parillo, por la amistad brindada, sus conocimientos y apoyo en el análisis de las señales sísmicos.

A Jhon, Gabriel y Juan Carlos, del área de Geodesia Espacial, Sensoramiento Remoto y Peligros Geofísicos, por la amistad brindada.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

Ahmed, A., Sharma, M., Sharma, A., 2007. Wavelet Based Automatic Phase Picking Algorithm for 3 Component Broadband Seismological Data. JSEE: Spring and Summer. Vol. 9, N°1, 2, pp.15-23.

Burrus S., Ramesh A., Guo H., 1999. Introduction to Wavelets and Wavelet Transform. Electrical and Computer Engineering Department, Rice University. Prentice Hall.

Cortés J., Cano H., Chaves J., 2007. Del Análisis de Fourier a las Wavelets – Transformada Continua Wavelet (CWT). Scientia et Technica, Año XIII, N°37, Universidad Tecnológica de Pereira, ISSN 0122-1701.

Daubechies, I, 1992. Ten Lectures on wavelets. Society for Industrial and Applied Mathematics, Philadelphia, Pennsylvania.

Guada, C., 2000. Detector de eventos sísmicos en Tiempo Real utilizando Redes Neuronales. Interciencia, Vol. 25 N°06, pp. 292-298.

Shearer P., 2009. Introduction to Seismology. Cambridge University Press, Second Edition.

Stein S., Wysession M., 2003. An Introduction to Seismology, Earthquakes, and Earth Structure. Blackwell Publishing.



## INFERENCIAS SOBRE LA SUPERFICIE DE CONTACTO ENTRE LAS PLACAS DE NAZCA Y SUDAMERICANA: PERÚ

### INFERENCES ON THE SURFACE OF CONTACT BETWEEN NAZCA AND SOUTH AMERICAN PLATES: PERU

**Patricia Guardia**

Universidad Nacional San Agustín de Arequipa  
Facultad de Ingeniería de Geología, Geofísica y Minas  
Pattyale84@hotmail.com

Asesor: Ph.D. Hernando Tavera  
Área de Sismología

#### Resumen

En el presente estudio, se analiza la distribución de la sismicidad en profundidad a fin de estimar la geometría de la superficie de contacto sismogénico entre las placas de Nazca y Sudamericana. Para ello se utilizan datos del catálogo sísmico del Instituto Geofísico del Perú y el NEIC para un periodo de 27 años (1982 - 2009). Se plantea la hipótesis de que al estar altamente acopladas las placas, sobre dicha superficie se produciría un mayor número de sismos en relación con superficies donde no hay acoplamiento. Las curvas de distribución del número de eventos sísmicos en función de profundidad de los focos muestran que el mayor número de eventos, se producen a profundidades entre 5 a 60 Km., para la zona norte; de 5 a 70 km., zona centro y de 5 a 75 km., en la zona sur del Perú. Estos resultados sugieren las dimensiones de la superficie de acoplamiento en todo el borde occidental del Perú.

**Palabras clave:** acoplamiento sísmico, contacto sismogénico.

#### Abstract

In this study, we analyze the distribution of deep seismicity to estimate the geometry of the seismogenic contact surface between the Nazca and South American plates. The seismic catalog data from the Geophysical Institute of Peru and NEIC for a period of 27 years (1982 - 2009) were used. The hypothesis is, if the plates are highly coupled on these surface would be a greater number of earthquakes respect of areas where there are not coupled. The distribution curves of the number of seismic events in terms of depth of outbreaks show that the largest number of events occurs at depths between 5 and 60 km for the northern zone; from 5 to 70 km for the central zone and from 5 to 75 km in southern Peru. These results suggest the dimensions of coupled surface along occidental border of Peru.

**Keywords:** coupling seismic, seismogenic contact.

## 1. INTRODUCCIÓN

Se sabe que el borde occidental de Sudamérica, desde el punto de vista sismológico, es el de mayor potencial sísmico de la Tierra. En esta región, la actividad sísmica está asociada al proceso de subducción de la placa de Nazca (litósfera oceánica) bajo la Sudamericana (litósfera continental) originando sismos a diferentes niveles de profundidad, con magnitudes muy elevadas, que llegan a producir cuantiosos daños materiales y pérdidas de vidas humanas. Dentro del proceso de subducción, la placa de Nazca se encuentra sometida a diversos esfuerzos producto de su convergencia con la placa Sudamericana, así como por la deformación de esta (Tavera y Buforn, 1998).

El estado de los esfuerzos en la placa subducente es el resultado del balance de diversas fuerzas que actúan en el proceso tales como la flotabilidad de la placa durante la subducción, la fuerza de resistencia del manto que esta siendo desplazado por la placa subducente y la diferencia de densidades. Asimismo, estas fuerzas dependen de la viscosidad de los medios, la fase de transformación de los compuestos de la placa, la razón de velocidad del proceso subducción, la edad de la zona de subducción y la profundidad de penetración que alcanza la placa. Las características de la sismicidad en Perú, han sido ampliamente analizadas y descritas por diversos autores, ya sea para configurar el proceso de subducción o definir zonas sismogénicas (Stauder, 1975; Suarez et al, 1982; Schneider y Sacks, 1987; Cahill y Isacks, 1992; Tavera y Buforn, 2001); sin embargo, estos estudios han sido realizados en su mayoría utilizando datos telesísmicos para áreas o regiones específicas y ningún de ellos indican o definen con detalle las dimensiones de la superficie de acoplamiento de placas.

Con el objetivo de conocer la geometría de la superficie sobre la cual actúan los esfuerzos dominantes y la forma que adopta la corteza al estar sometida a estos esfuerzos, se ha realizado el análisis de la distribución en superficie de los eventos sísmicos ocurridos en el Perú (borde occidental) durante un periodo de 27 años. Los resultados a obtenerse en este estudio son preliminares y serán completados con otros procedimientos que permitan tener mayor detalle sobre la geometría de las placas.

## 2. DATOS

Los datos utilizados en el presente estudio considera el catalogo sísmico del Instituto Geofísico del Perú (IGP) para el periodo de 1982 – 2009 con un total de 56 mil eventos.

Asimismo, se utiliza el catalogo sísmico del National Earthquake Information Center (NEIC) para el mismo período con una base de datos de 6 mil eventos. Básicamente se ha considerado los sismos con epicentros ubicados entre la línea de fosa hasta una distancia de 300 km. en dirección Este sobre el continente. De esta manera se considera el total de la sismicidad asociada al proceso de la fricción de la placa (Figura 1).

Según el procedimiento establecido por Cahill e Isacks (1992) y a fin de homogeneizar la base de datos de ambos catálogos, se procede a construir curvas de frecuencia sísmica para la región norte, centro y sur Perú. En el caso del catalogo del IGP, el umbral mínimo de magnitud para las zonas norte, centro y sur es de 3,75 ML (Figura 1), para el catalogo del NEIC, los umbrales de magnitud se incrementan a 4,25 Mb para todas las regiones.

Con este procedimiento se ha seleccionado una base de datos de 11 400 sismos del catalogo del IGP y de 1 767 del catalogo del NEIC. En ambos casos no se han eliminado las réplicas asociadas a los terremotos de 1996, 2001, 2007, en razón que están asociadas a la superficie de fricción; por lo tanto, permitirán evaluar mejor la geometría de la superficie en estas regiones.

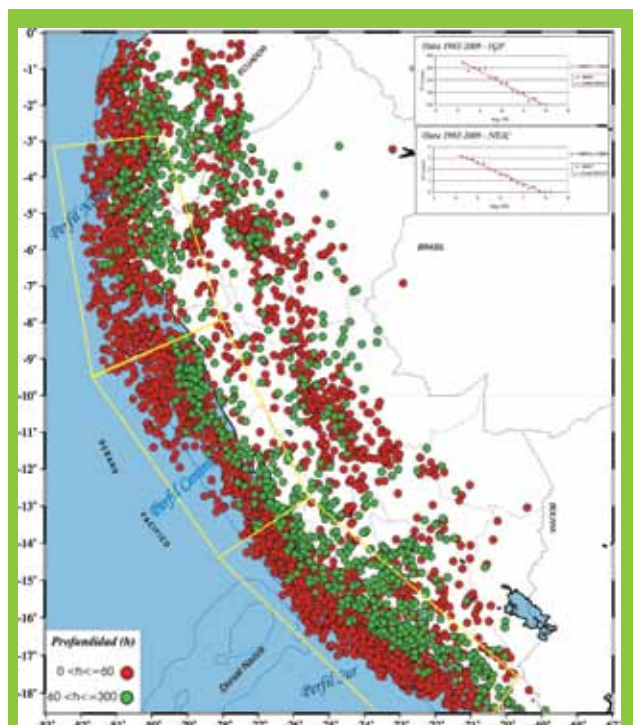


Figura 1. Mapa de sismicidad del Perú para el periodo de 1990 – 2000. Los recuadros indican las regiones norte, centro y sur. A la derecha se presenta las curvas de recurrencia sísmica para cada región.

### 3. HIPÓTESIS

En la Figura 2, se muestra un esquema que describe el proceso de subducción típico para el borde occidental del Perú. Según la figura, en la zona 1 se inicia el contacto de placas y la formación de una estructura llamada prisma de acreción, lugar donde el número de sismos es menor debido a la fragilidad de la corteza continental (menor acoplamiento). En la zona 2, indicada con una línea de color rojo, es la superficie donde se produce la fricción de las placas (superficie de acoplamiento máximo), y por ende es el lugar donde ocurre el mayor número de sismos. En la zona 3, similar a la zona 1, el número de sismos disminuye porque a ese nivel de profundidad el acoplamiento de placas es menor.



Figura 2. Esquema que muestra el proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la sudamericana y las superficies de acoplamiento.

### 4. SUPERFICIE DE CONTACTO SISMOGÉNICO

En la Figura 3, se presenta los gráficos de frecuencia sísmica en función de la profundidad de los focos sísmicos usando la base de datos del IGP y NEIC.

La comparación entre ambos catálogos, permite considerar lo siguiente:

- El catálogo del IGP tiene mayor número de eventos.
- El parámetro de profundidad del foco es mejor resuel-

to en el catálogo del IGP, debido a que la red sísmica utilizada permite tener mayor cobertura azimutal sobre todo el área de estudio.

- El catálogo del IGP permite realizar mejor el análisis sobre las características de la sismicidad en el Perú.

La base de datos del IGP permite observar que el mayor número de eventos ocurren a profundidades entre 5 y 60 km en la zona norte, entre 5 y 70 en la zona centro y entre 5 y 75 km en la zona sur, valores que definen los niveles de profundidad de la superficie de máximo acoplamiento sísmico. Estos valores permiten observar que la superficie de acoplamiento sísmico para el Perú se incrementa en profundidad de NO a SE, siendo más profundo en la región sur del Perú donde existe una cadena volcánica activa. Estos valores se encuentran dentro de las estimaciones medias realizadas en las zonas norte y centro de Chile (Comte et al., 1994), así como también para la zona centro del Perú (Rodríguez & Tavera, 1991).

Utilizando la base de datos del NEIC no es posible definir la profundidad de la superficie de acoplamiento sísmico, debido a que en más del 80% de los datos utilizados, los sismos habrían ocurrido a 33 km de profundidad.

### 5. CONCLUSIONES

- La base de datos del IGP contiene mayor número de eventos y mayor resolución en sus parámetros hipocentrales en comparación con los datos obtenidos del NEIC.
- La zona de acoplamiento en el borde occidental de Perú alcanza profundidades de hasta 60 km en la región norte, 70 km en la región centro y de 75 km en la región sur; lo que indicaría que hay un fuerte acoplamiento en estas zonas en comparación con sus bordes donde existe un débil acoplamiento.
- En la Figura 4 se muestra la geometría de la placa de Nazca (Bernal & Tavera, 2002), y en ella se indica con una malla la superficie de acoplamiento sísmogénico según los resultados obtenidos en este estudio.

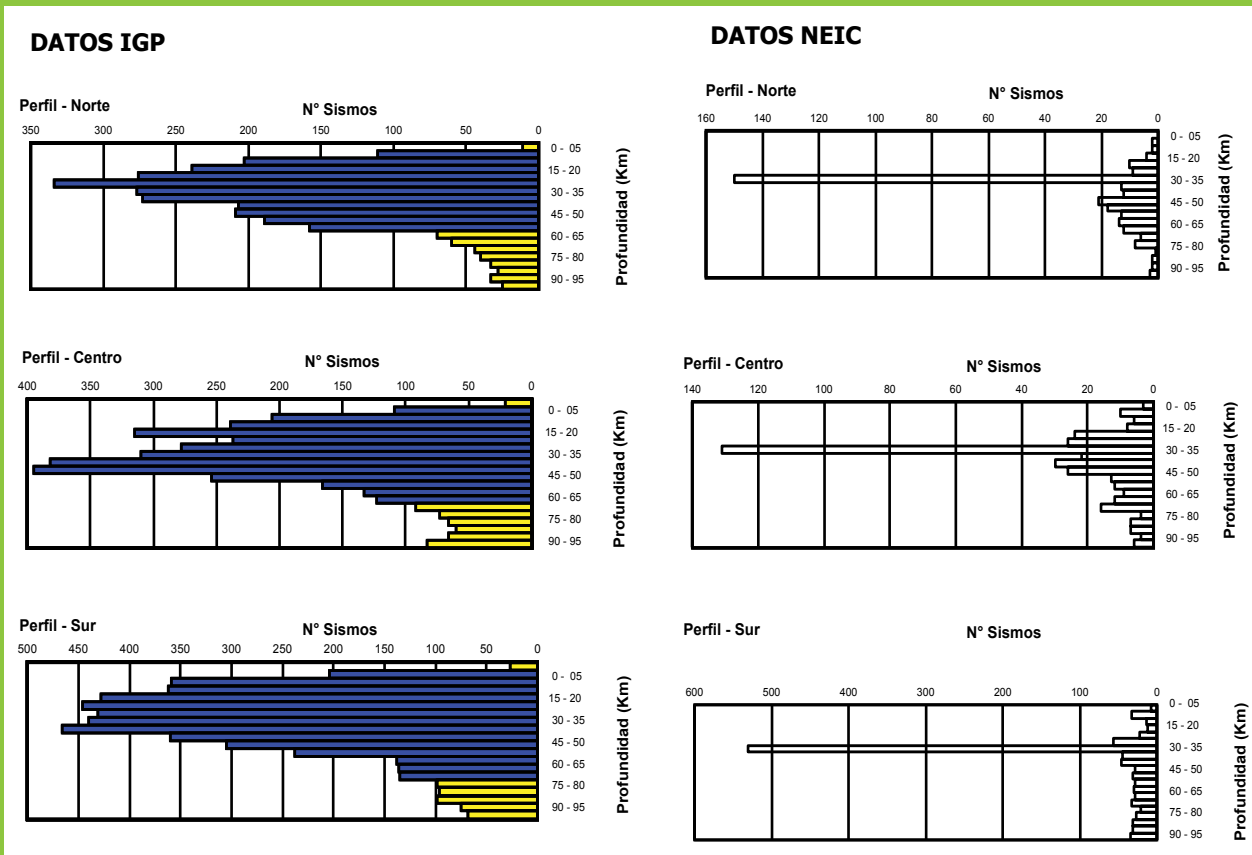


Figura 3. Comparación de gráfico de frecuencia sísmica vs profundidad de foco.

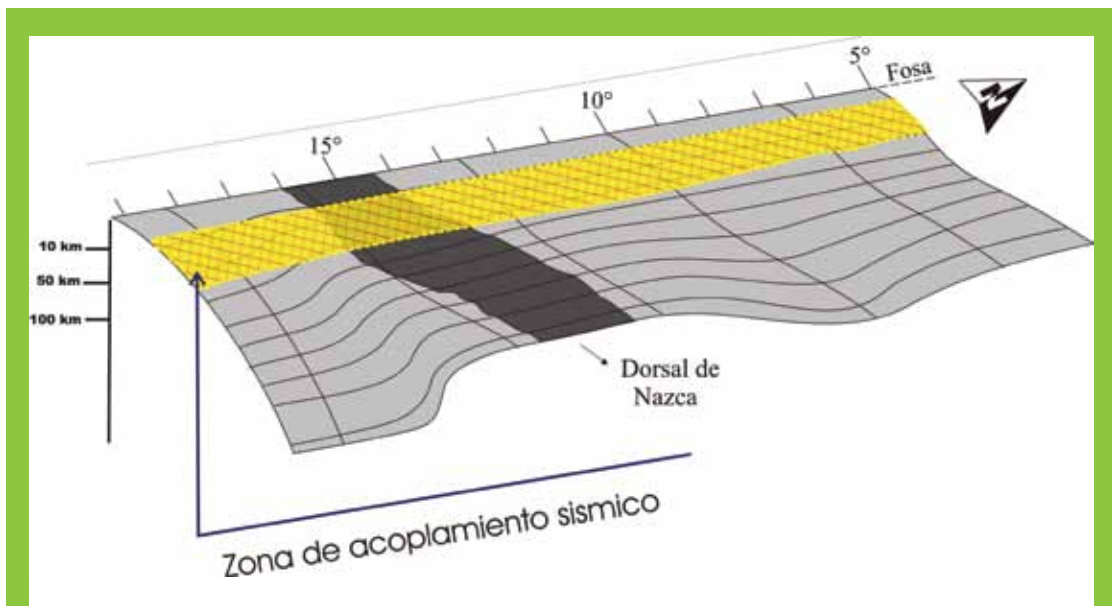


Figura 4. Zona de acoplamiento sísmico a lo largo de la zona de subducción

## 6. PERSPECTIVAS

Los resultados obtenidos a la fecha serán complementados con el análisis de la distribución de esfuerzos asociados a sismos de gran magnitud, cuya base de datos será proporcionada por la Universidad de Harvard (CMT). Se construirán secciones verticales en las cuales se espera definir, en base a la Figura 2, las zonas donde prevalece la heterogeneidad de esfuerzos, las zonas con esfuerzos de compresión y extensión. Asimismo, se va a considerar las características de ruptura de grandes sismos junto a sus principales replicas. En conjunto, toda la superficie obtenida permitirá definir con mayor precisión la geometría de la superficie de acoplamiento sísmico en el borde occidental del Perú.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar la presente investigación. De manera muy especial, al Dr. Hernando Tavera por su orientación y apoyo en todo momento durante el desarrollo de la presente investigación.

---

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Bernal, I., Tavera, H., 2002. Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú. Monografía, IGP.
- Cahill, T. e Isacks, B., 1992. Seismicity and shape of the subducted Nazca plate. *J. Geophys. Res.*, 97, 17.503-17.529.
- Comte, D. et al., 1992. Crustal seismicity and subduction morphology around Antofagasta, Chile: preliminary results from a microearthquakes survey. *Tectonophysics*, 205, 13-22.
- Comte, D. et al., 1994. Determination of seismogenic interplate contact zone and crustal seismicity around Antofagasta, northern Chile using local data. *J. Geophys. Res.*, 116, 553-561.
- Stauder, W., 1975. Subduction of the Nazca plate under Peru as evidenced by focal mechanism and by seismicity. *J. Geophys. Res.* 80. 053-1064.
- Schneider, J., Sacks, B., 1987. Stress in the contorted Nazca plate beneath Southern Peru from Local earthquakes. *Jour. Geophys. Res.*, 92 pp 13887 – 13902.
- Tavera, H., Buforn, E., 2001. Source mechanism of earthquakes in Peru. *Journal of Seismology* 5:519-539.
- Tavera, H. y Buforn E., 1998. Sismicidad y sismotectónica del Perú. En A. Udias y E. Buforn (ed.) *Sismicidad y Sismotectónica de Centro y Sudamérica. Física de la Tierra*, UCM., N° 10, 187-219.
- Rodríguez L. y Tavera H., 1991. Determinación con alta resolución de la geometría de Wadati-Benioff en el Perú central. *Revista Brasileira de Geofísica*: 1991, Vol. 9 (2). 141-159.



## ANÁLISIS Y LOCALIZACIÓN DE PROBABLES ÁREAS DE RUPTURA POR SISMOS EN EL BORDE OCCIDENTAL DE PERÚ: DISTRIBUCIÓN DE VALORES DE “b”

### ANALYSIS AND LOCATION OF LIKELY AREAS OF RUPTURE BY EARTHQUAKES IN WESTERN PERU: DISTRIBUTION OF b-VALUES

**Cristobal Condori Quispe**

Universidad Nacional San Agustín de Arequipa  
Facultad de Geología Geofísica y Minas  
gfcristobalcq@gmail.com

Asesor: Ph.D. Hernando Tavera  
Dirección de Sismología

#### Resumen

En el presente estudio se pretende identificar la existencia de probables áreas propensas a generar en el futuro sismos de gran magnitud en el borde occidental de Perú. Para tal fin, se aplica la metodología propuesta por Wiemer y Wyss (1997), la misma que considera la variación espacio-tiempo del parámetro “b”. Se utilizan los catálogos sísmicos del IGP y NEIC, para el periodo de 1963 a 2009 con una magnitud de completitud de 3,8 Ms. Los resultados infieren la presencia de al menos 6 áreas de acumulación de energía ubicadas entre los departamentos de Arequipa, Moquegua, hacia el norte del departamento de Arequipa, frente a la costa de Lima, entre los departamentos de Piura y Lambayeque y dos asperezas frente a las costas de Ecuador. Estas áreas y/o asperezas tienen valores máximos para periodos de retorno de 50 años y para sismos con magnitud 7Ms.

**Palabras clave:** Asperezas, valores de b

#### Abstract

In this study we identify areas most likely to generate future big earthquakes in western of Peru. We use the Wiemer and Wyss (1997) methodology which considers the space-time variation of the “b” parameter. We use the IGP and NEIC catalogs for the period from 1963 to 2009 with a completeness magnitude of 3.8 Ms. Our results infer the presence of at least 6 areas with a high concentration of stress located between the departments of Arequipa and Moquegua, to the north of Arequipa, off the coast of Lima, between the departments of Piura and Lambayeque and two asperities near the coast of Ecuador. These asperities have maximum values for return periods of 50 years, and for earthquakes with magnitude 7Ms.

**Keywords:** Asperities; b-values

## 1. INTRODUCCIÓN

El Perú forma parte de la región sísmica más activa del mundo, debido a que se encuentra ubicado dentro del denominado cinturón de Fuego del Pacífico, donde se libera más del 80% de la energía sísmica a nivel mundial. En Perú la actividad sísmica está directamente asociado al proceso de subducción de la placa de Nazca bajo la Sudamericana, el cual se da a una velocidad promedio de 8cm/año en dirección N80° (Misnter y Jordan, 1978). Este proceso dio origen a los terremotos más grandes ocurridos en el Perú, como los del 17 de octubre de 1966 (7,7 Mw.), 31 de mayo de 1970 (8,0 Mw), 3 de octubre de 1974 (7,9 Mw), 12 noviembre de 1996 (7,7Mw), 23 de junio de 2001 (8,2 Mw), y 15 agosto de 2007 (8,2 Mw). En la actualidad se tiene conocimiento amplio acerca de este peligro, más no se sabe cómo prevenirlo. Es por eso que durante los últimos años varios investigadores han desarrollado diversos métodos de predicción, sin lograr el objetivo de conocer la fecha de su recurrencia (Tavera, 2003). Sin embargo, la sismología ha logrado caracterizar y localizar las áreas probables donde podría generarse en el futuro un terremoto de magnitud elevada.

Uno de los métodos propuestos para identificar estas áreas corresponde al propuesto por Wiemer y Wyss (1997), el cual se basa en la distribución frecuencia-magnitud de los sismos ( $\log N = a - bM$ ). Estas áreas, llamadas "zonas de silencio sísmico" definen a un segmento del límite entre placas en el cual no ha ocurrido un sismo fuerte desde hace tiempo, lo que ocasiona que se acumule la energía elástica suficiente para producir otro gran sismo. El método propuesto por Wiemer y Wyss (1997), ha sido aplicado a diversos estudios para el análisis de asperezas y cambios en el índice de sismicidad de una determinada región sísmica (Wiemer y Wyss, 1994; Wyss y Wiemer, 1996; Wyss, et al., 1996). En 1996 dicho método se aplicó para el estudio de la variación de los valores de "b" en la zona de subducción de Alaska y Nueva Zelanda (Wiemer y Benoit, 1996). Zúñiga y Wyss (2000), también analizaron la distribución de los valores de "b" a lo largo de la zona de subducción de México para sismos ocurridos hasta una profundidad de 60 km, a fin de identificar las asperezas o áreas con mayor probabilidad de ocurrencia de sismos de magnitud  $M_s=7,2$  en el futuro. En el Perú este método fue aplicado por Heras y Tavera (2002) en todo el borde oeste de Perú, y en donde se identificó los gap sísmicos de Ica y Arequipa, afectado por los terremotos del 2001 y 2007. En el presente estudio se emplea el método de Wiemer y Wyss (1997), para analizar el valor de la distribución espacial de "b" en el borde occidental del Perú y a partir de esto identificar los probables gaps sísmicos.

## 2. DATOS

La base de datos utilizada en este estudio fue extraída de los catálogos del IGP (1963-1972) y NEIC (1973-2009) y comprende un total de 1901 eventos, los cuales se distribuyen en el borde occidental del Perú entre la fosa Perú-Chile y la línea de costa hasta una distancia de 100 km hacia el interior del continente con hipocentros ubicados hasta los 60 km de profundidad (ver Figura 1).

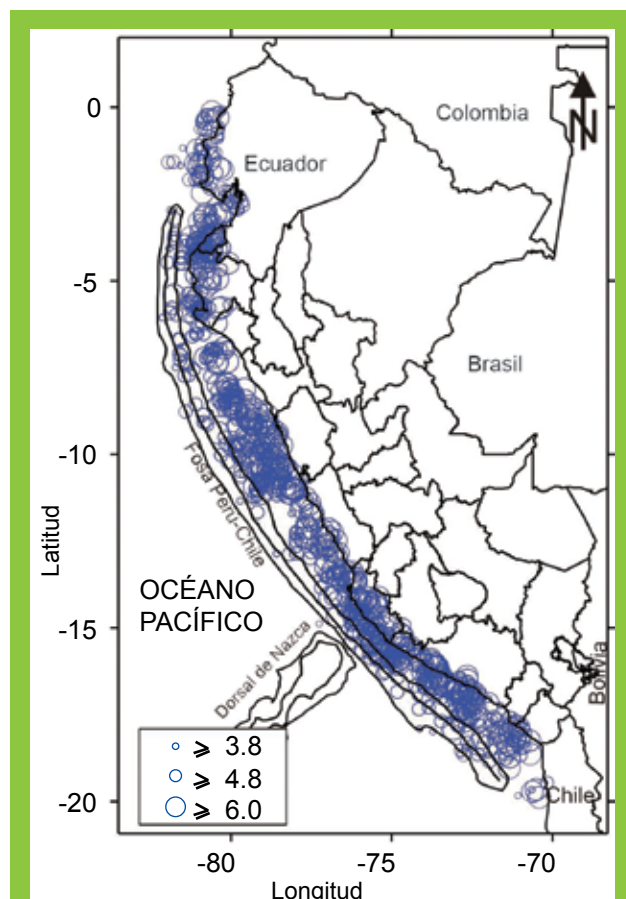


Figura 1. Mapa de sismicidad del Perú para el periodo 1963-2009 ( $h \leq 60$  km), ( $M_s \geq 3,8$ ). Estos eventos serán utilizados para el cálculo de los valores de "b" y Pr (periodo de retorno).

## 3. MÉTODO DE ANÁLISIS

Para el análisis de datos se utilizó el programa Zmap (Wiemer y Zúñiga, 1994, Wyss, et al., 2001), el mismo que permitió eliminar las réplicas correspondientes a los terremotos de 1963, 1970, 1974, 1996, 2001 y 2007, obteniendo como datos finales 1901 eventos sísmicos (Figura 2a). Por tanto a partir de la distribución frecuencia-magnitud de los sismos (Gutenberg y Richter, 1944) (Figura 2b), se determinó la completitud del catálogo en 3,8Ms



(Figura 2c). Finalmente, se presenta una curva acumulativa de forma lineal (Figura 2d), la cual define la homogeneidad de la base de datos a utilizar en este estudio.

El cálculo de los valores de "a" y "b", se obtiene a partir de la relación frecuencia-magnitud (Ec. 1), y empleando el método de máxima verosimilitud ya que presenta mejores límites de confianza (Aki, 1965).

$$\text{Log } N = a - b M \quad (1)$$

Donde, N es el número acumulado de sismos con magnitud mayor o igual a M. Luego, en base a esta ecuación se estima el periodo de retorno de un sismo con magnitud Mmax utilizando la siguiente ecuación:

$$Pr = T^L (M_{\max}) = \Delta T / 10 (a - b M_{\max}) \quad (2)$$

Donde  $\Delta T$  es el periodo de datos considerados en el estudio,  $P_r$  o  $T_L$  es el periodo de recurrencia y  $M_{\max}$  la magnitud del sismo para el cual se desea conocer su periodo de recurrencia. Para la elaboración de los mapas de valores de "b" y  $p_r$ , se utilizó la técnica de grillado (Wiemer, 1996), codificada en el programa ZMAP (Wiemer y Zúñiga, 1994). El espaciado de nodos en el área de estudio fue de  $0,1^\circ$  con un radio constante de 150 km alrededor de cada nodo. El radio constante es un valor promedio asumido a partir de la longitud de ruptura de los principales terremotos ocurridos en el periodo de 1963 a 2009.

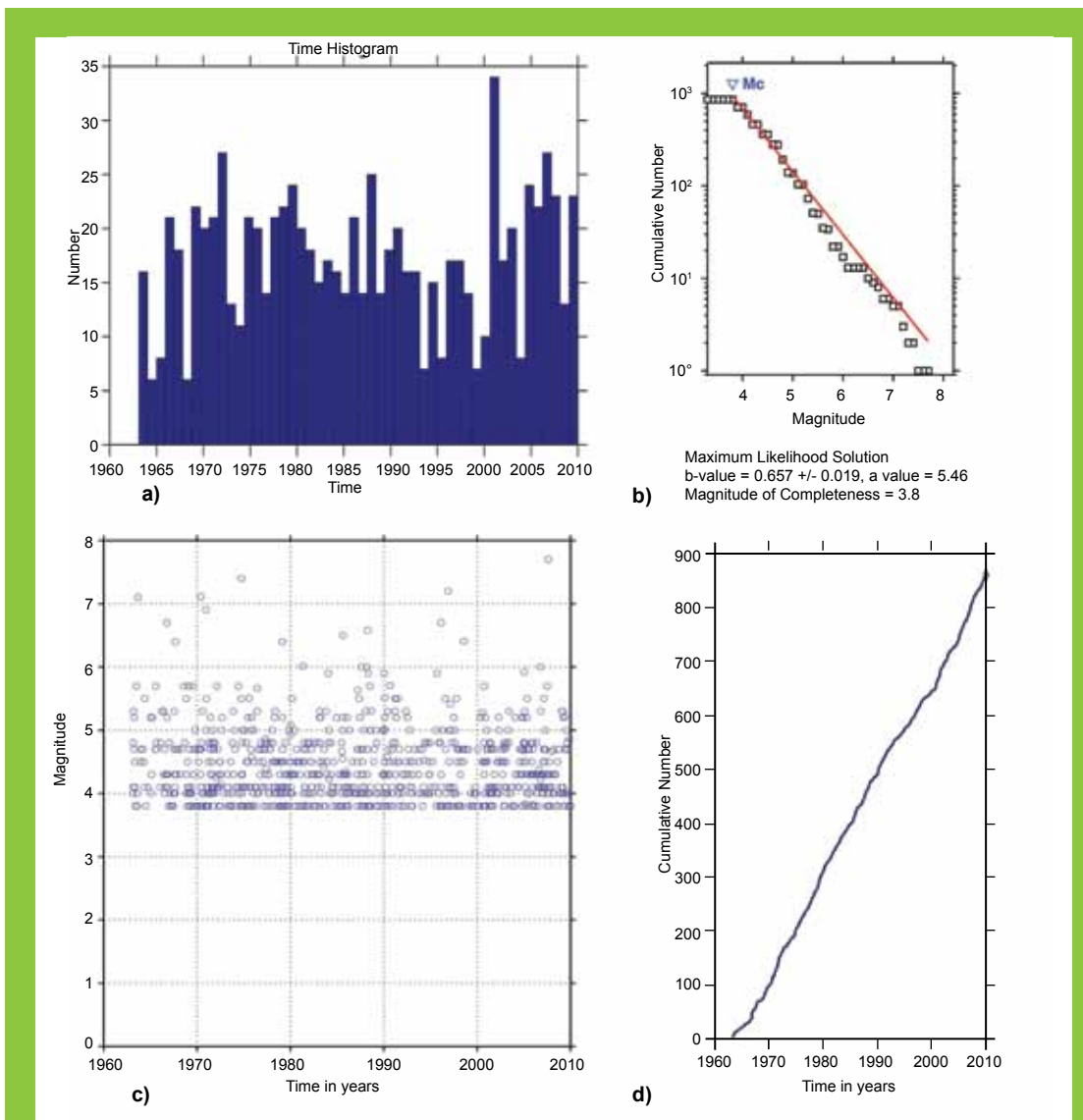


Figura 2. Resultados del análisis de datos de los catálogos IGP (1963-1972) y NEIC (1973-2009), para todo el borde occidental del Perú. a) Histograma de sismos sin réplicas. b) Distribución frecuencia-magnitud. c) Base de datos final con  $M_c \geq 3.8$ . d) Curva acumulativa de sismos.

## 4. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en este estudio para el borde occidental de Perú, son presentados en la Figura 3, asimismo se muestran los epicentros (estrellas) de los últimos sismos notables ocurridos desde 1963 al 2009. Según la Figura 3a los valores de "b" varían entre 0,5 y 1,1; siendo los valores menores a 0,6 los que presentan áreas con valores anómalos de "b" y en donde se estaría acumulando mayor energía y por lo tanto, tiene mayor probabilidad de generar un sismo en el futuro. Estas áreas, a las cuales se les denomina asperezas, se encuentran distribuidas en forma heterogénea a lo largo del borde occidental de Perú y son:

- **Aspereza 1 y 2.** Se localizan entre los departamentos de Arequipa y Moquegua (16°S a 18°S).
- **Aspereza 3 y 4.** Ubicadas frente a las costas, centro, norte de Lima (12,4°S a 13,5°S).
- **Aspereza 5 y 6.** Ubicadas entre los departamentos de Piura y Lambayeque (5,5°S a 7°S).
- **Asperezas 7 y 8.** Ubicadas frente a la costa de Ecuador (entre 2,8°-1°S y 0,5°-1,5°S).

El mapa de periodo de retorno ilustrado en la Figura 3b fue calculado a partir de la ecuación (2) considerando los valores de a y b, de la ecuación (1) para un sismo con magnitud  $M_s \geq 7,0$ . Este mapa muestra características

similares al mapa de valores de b, y los periodos de recurrencia para un sismo con una magnitud  $M_s \geq 7,0$  oscilan entre 50 y 150 años. Las zonas que presentan periodos de retorno de 50 años se localizan sobre los valores anómalos de "b". Las áreas que presentan periodos de recurrencia de 100 años se localizan en las costas de los departamentos de la Libertad (8°-10°S) y Ancash (10°-11°S).

En el mapa de probabilidad (Figura 3b), con periodos de 50 años y al sur del departamento de Ica, se define un área de acumulación de energía que estaría bordeado por las áreas de los terremotos de 1996 y 2007. Esta área podría corresponder a un nuevo gap sísmico (Aspereza 2).

## 5. DISCUSIÓN

Los avances de los diversos métodos de estudio que pretenden buscar una solución para la predicción de los terremotos hasta la actualidad, han permitido caracterizar la geometría e identificar geográficamente zonas conocidas como asperezas, mediante la aplicación de métodos probabilísticos. Uno de los métodos que mejor se adopta al estudio de predicción es el propuesto por Wiemer y Wyss (1997), que permite identificar las asperezas con alta probabilidad a generar sismos de gran magnitud, mediante la distribución de los valores mínimos de b y periodos de retorno de la distribución frecuencia magnitud de los sismos (Gutenberg y Richter, 1944).

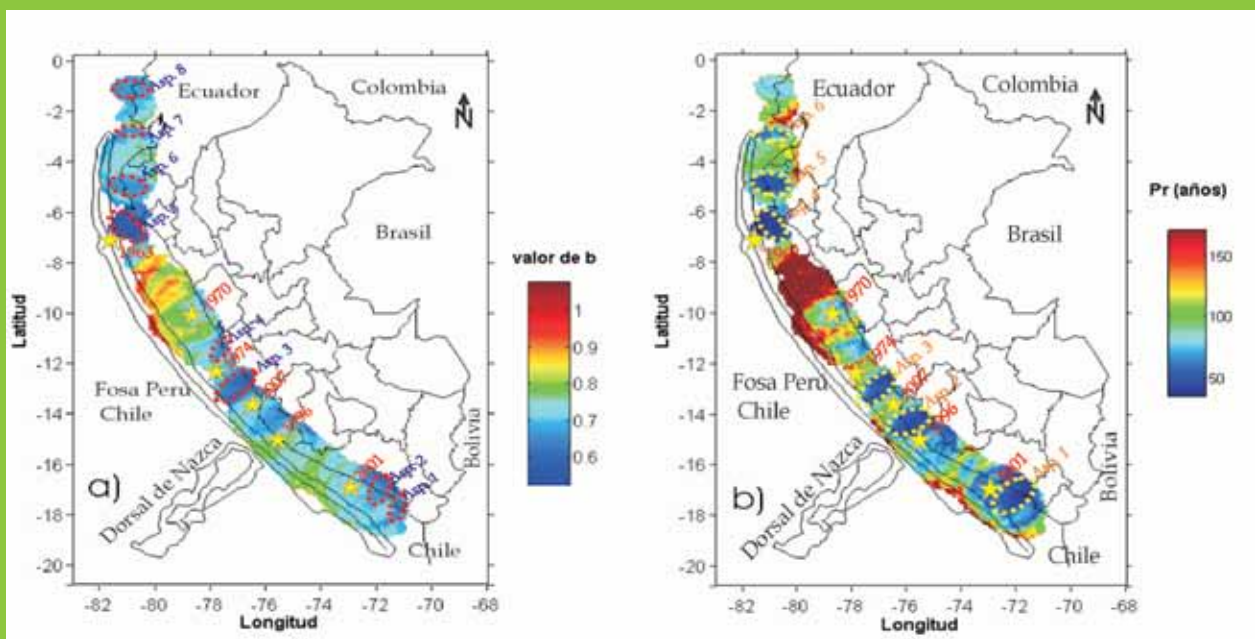


Figura 3. a) Mapa de valores de "b", las elipses indican áreas o zonas de silencio sísmico. b) Mapa de periodo de recurrencia estimado para un sismo con magnitud 7Ms en el borde occidental de Perú. Las estrellas amarillas indican el epicentro de los principales terremotos ocurridos en el periodo 1963-2009. Las elipses indican áreas con periodos de retorno de 50 años.

## 6. CONCLUSIONES

La aplicación de la metodología propuesta por Wiemer y Wyss (1997), en el borde occidental del Perú, permite llegar a las siguientes conclusiones:

1. Los valores de "b" a lo largo del borde occidental del Perú varían entre 0,5 a 1,1.
2. Los mapas de distribución de los valores de "b" y periodos de recurrencia han proporcionado una importante información para la identificación de asperezas o zonas de silencio sísmico.
3. Las asperezas identificadas presentan geometrías y extensiones variables, las cuales estarían relacionadas con el área y tamaño de las zonas en las que se podría producir terremotos.
4. Las zonas que podrían constituir la fuente más probable de sismos fuertes se ubican frente a las costas del departamento de Lima (12°-14°S), entre los departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna (17°-19°S), y entre los departamentos de Piura y Lambayeque (5,5°-7°S).

## 7. RECOMENDACIONES

Es necesario aplicar esta metodología al estudio de los sistemas de fallas activas del Perú para ver los niveles de esfuerzos acumulados e identificar la posible existencia de asperezas. Asimismo, al estudio de los volcanes activos presentes del Sur del Perú.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Mis agradecimientos al Instituto Geofísico del Perú, por brindarme las facilidades para la elaboración de esta investigación. Asimismo, mi eterna gratitud a mi asesor Dr. Hernando Tavera.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Aki K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula  $\log N = a - bM$  and its confidence limits, *Bulletin of the Earthquake Research Institute*. Vol. 43 pp.237 – 239.
- Gutenberg R. y Richter C.F., 1944. Frequency of earthquakes in California. *Bull. Seism. Soc. Am.* 34, 185-188.
- Heras H. y Tavera H., 2002. Localización de áreas probables a ser afectadas por grandes sismos en el borde oeste de Perú: Estimación a partir de periodos de retorno local basado en distribución de valores de "b". Centro Nacional de Datos Geofísicos, boletín de la S.G.P. pp. 7-16.
- Minster J. y Jordan T., 1978. Present-day plate motions. *Tour. Geophys. Res.* 83, 5331\_8334.
- Tavera, H., 2003. La Predicción Tectónica. *Centro Nacional de Datos Geofísicos. (CNDG) p. 23 - 25.*
- Wiemer S. y Wyss M., 1997. Mapping the frequency-magnitude distribution in asperities: an improved technique to calculate recurrence times? *Jour. Geophys. Res.* 102, 15115-15128.
- Wiemer S. y Wyss M., 1994. Seismic quiescence before the 1993 M=7.5 Landers and M=6.5 Big Bear (California) earthquake. *Bull. Seism. Soc. Am.* 84, 3, 900-916.
- Wiemer S. y Zuñiga R., 1994. ZMAP a software package to analyze seismicity, *EOS, Transactions, Fall Meeting, AGU*, 75, 456.
- Wiemer S. y Beniot J., 1996. Mapping the b-value anomaly at 100 km depth in the Alaska and New Zealand subduction zones, *Geophys. Res. Lett*, 23, 1557-1560.
- Wyss M, Wiemer S, y Zuñiga R., 2001. A tool for Analyses of Seismicity Patterns. *Tutorial de Zmap. P 3 – 63.*
- Zuñiga R. y Wyss M., 2000. Most and least likely locations of large to great earthquakes along the pacific coast of Mexico, estimate from local recurrence times based on b-values, *Geophys. Jour. Intern.* 90. in press, 2000.



## ANÁLISIS Y CLASIFICACIÓN DE LA SISMICIDAD ASOCIADA A LA ERUPCIÓN DEL VOLCÁN UBINAS 2006 -2009

### ANALYSIS AND CLASSIFICATION OF THE SEISMICITY ASSOCIATED TO THE 2006-2009 UBINAS VOLCANO ERUPTION

**Juan Luis Anca Cabrera**

Escuela Profesional de Ingeniería Geofísica  
Universidad Nacional de San Agustín, Arequipa  
Juananca7@gmail.com

Asesor: PhD Dr. Orlando Macedo S.  
Observatorio Vulcanológico del Sur, Arequipa

#### Resumen

Se ha analizado y clasificado 118 657 sismos volcánicos registrados por la red sísmica - telemétrica del volcán Ubinas entre 2006-2009. La sismicidad volcánica la dominan los sismos de periodo largo (LP) y sismos tremor (TRE), en especial los subtipos LP1 (LP), TR1 (TRE) y TR2 (TRE) con 94 956, 4 666 y 11 763 eventos respectivamente y representan el 93,87% del total. La mayoría de los sismos volcánicos no contienen frecuencias mayores a los 4 Hz, salvo algunos como los sismos VT1, PIS y HIB. Este proceso eruptivo ha presentado 162 explosiones de los cuales 46 presentaron enjambre LP1 y 6 TRE como precursor. Se

#### Abstract

We analyzed and classified 118 657 seismic events registered by the seismic network on the Ubinas volcano during 2006-2009. The main volcanic seismicity is dominated by long period (LP) events and volcanic tremor (TRE), especially subtypes LP1 (LP), TR1 (TRE) and TR2 (TRE) with 94 956, 4 666 and 11 763 events respectively. They represent the 93.87% of the total. Most of the events do not contain frequencies greater than 4 Hz, except for earthquakes of VT1, PIS and HIB types. During this eruptive process 162 explosions occurred. For 46 explosions we observed precursory LP events as swarm arriving some 2-3 hours before. For 6

ha tomado 2 explosiones que presentan enjambre de LP1 precursores, a fin de estudiarlas. Se ha observado que estos LP1 presentan características particulares como aumento en sus amplitudes, disminución de sus duraciones y estabilización de sus frecuencias hacia los 4 Hz cuando se aproxima la explosión.

**Palabras clave:** erupción volcánica, sismos LP, tremor volcánico.

explosions we observed TRE events as precursors. We choose 2 explosions with precursory LP1 swarm and we studied them. We observed that these LP1 events show particularly characteristics like increasing of amplitudes, decreasing of durations and frequencies tending to the value of 4 Hz, when the time explosion is approaching.

**Keywords:** volcanic eruption, long period events LP, tremor.

## 1. INTRODUCCIÓN

El 25 de marzo del 2006, pobladores del valle situado al sureste del volcán Ubinas (16° 22' S, 70° 54' W; 5672 m.s.n.m.) alertan sobre ruidos provenientes del volcán y de caída de cenizas sobre sus sembríos. Este volcán, considerado como el más activo del Perú en los últimos 500 años, había entrado nuevamente en erupción, amenazando a más de 3 500 pobladores que habitan el valle del río Ubinas.

El Instituto Geofísico del Perú (IGP) en cooperación con el Institut de Recheeche pour le Developpement (IRD - France) ha efectuado el monitoreo y la vigilancia de la actividad sísmica asociada al proceso eruptivo, primero mediante 2 estaciones digitales de banda ancha y posteriormente mediante una red de hasta cuatro estaciones sísmicas digitales (3 de 1 Hz y una de banda ancha), las cuales transmiten los datos hasta el observatorio Volcanológico de Cayma en Arequipa.

## 2. LA RED SÍSMICA DEL VOLCÁN UBINAS

La Red Telemétrica del volcán Ubinas empezó a funcionar el 23 de mayo del 2006 primero con una estación (UB1), posteriormente se instalaron otras tres estaciones

sísmicas (UB2, UB3 y UB4) con las cuales se completó la Red Telemétrica del volcán Ubinas (Tabla 1).

Esta Red funcionó casi ininterrumpidamente hasta el 13 de agosto del 2007, fecha en que se inició la instalación de la nueva red sísmica digital del Ubinas (Figura 1).

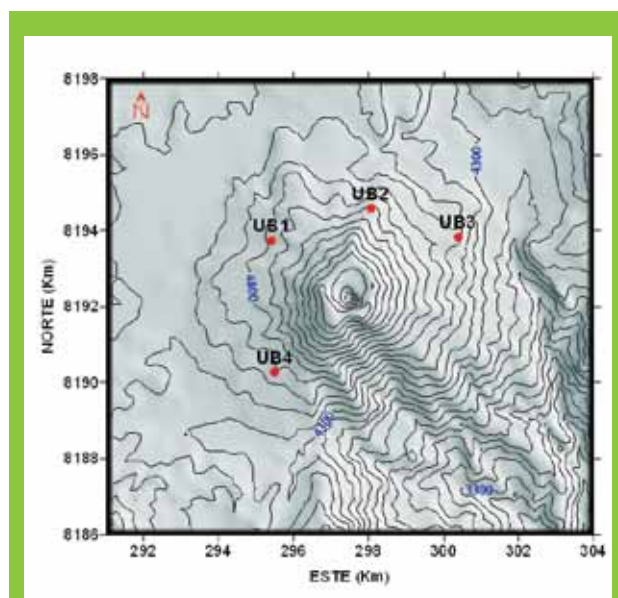


Figura 1. Distribución de las estaciones sísmicas de la red sísmica del volcán Ubinas (Datum S.A. 1956)

**TABLA 1.** Características de las estaciones sísmicas del volcán Ubinas, coordenadas tomadas con Datum WGS84 (O. Macedo).

Estación	Latitud	Longitud	Altitud	Sensor
UB1	295.215	8193.375	4840	3 SS1 KIN de 1Hz (200605-200708); LE-3D, Periodo Corto Triaxial (200708-200912)
UB2	297.859	8194.221	4990	Banda Ancha Uniaxial (0.033-50 Hz) + inclinómetros, longitudinal y trasversal
UB3	300.181	8193.466	4668	LE-3D, Periodo Corto Triaxial
UB4	295.305	8189.916	4724	LE-1D, Periodo Corto Uniaxial + 2 inclinómetros, longitudinal y trasversal

### 3. CLASIFICACIÓN DE SEÑALES VOLCÁNICAS

Los sismos volcánicos han sido clasificados de acuerdo a la forma característica de la señal y su contenido espectral.

A estas señales se les ha separado en dos grupos.

#### 3.1. SISMOS DE BAJA FRECUENCIA (DINÁMICA DE FLUIDOS)

En este grupo tenemos los siguientes subtipos:

**LP1**, tiene la forma clásica de los eventos tipo LP, arribo emergente, baja frecuencia (que va entre 1-5 Hz), con un espectro que muestra generalmente una frecuencia dominante. La forma de la envolvente es muy parecida a la del huso de tejer (Figura 2).

**LP2**, es un evento LP caracterizado por su arribo impulsivo, y un espectro que muestra generalmente una frecuencia dominante.

**LPP**, es un LP que le antecede un evento precursor de menor amplitud y de frecuencia variable (mayor o menor que el LP).

**PIS**, (pistón), es un evento tipo LP, su envolvente tiene la forma de huso, casi perfecto, pero con una banda espectral más amplia y generalmente presenta altas frecuencias (mayor a 5 Hz), y con duración mayor que los LP.

**HIB**, es una mezcla de dos señales en la que la primera señal tiene altas frecuencias, y muchas veces se puede diferenciar las fases P y S. La segunda señal es un LP de muy baja frecuencia. Tanto el primer evento como el segundo son de amplitud parecida.

**EXP**, se caracterizan principalmente por su gran amplitud (que fácilmente en el volcán Ubinas supera la 20 000 cuentas), de arribo impulsivo, con espectro limitado entre 1 y 5 Hz, la duración de estos esta entre 25 a 60s, en ocasiones a estas señales les precede un enjambre de LP, pero inmediatamente después les sucede un tremor (Figura 3).

**TR1**, es un tipo de tremor caracterizado por tener una larga duración mayor de 30 min, pudiendo fácilmente llegar a varias horas o días. Su contenido espectral llega por lo general hasta los 10 Hz, presenta gran variedad de frecuencias (Figura 4).

**TR2**, es un tremor, pero con una duración que oscila entre 1 y 30 min.

**TRA**, se caracteriza por ser armónico, y su espectro presenta un solo pico dominante.

#### 3.2. EVENTOS DE ALTA FRECUENCIA (PROCESOS ELÁSTICOS PUROS)

Este tipo de sismo volcánico presenta un arribo impulsivo, generalmente se pueden distinguir las fases P y S (aunque en realidad en Ubinas en la mayoría de los casos solo se llega a identificar la fase P). Su contenido espectral es amplio, y generalmente supera los 10 Hz.

**VT1**, es un representante clásico de los eventos VT. La diferencia entre S-P es  $<1$  s. Presenta frecuencias variables, por lo general mayores a los 5 Hz (Figura 5).

**VTP**, es un VT antecedido por evento precursor de menor amplitud; sus características espectrales son similares pero nunca idénticas.

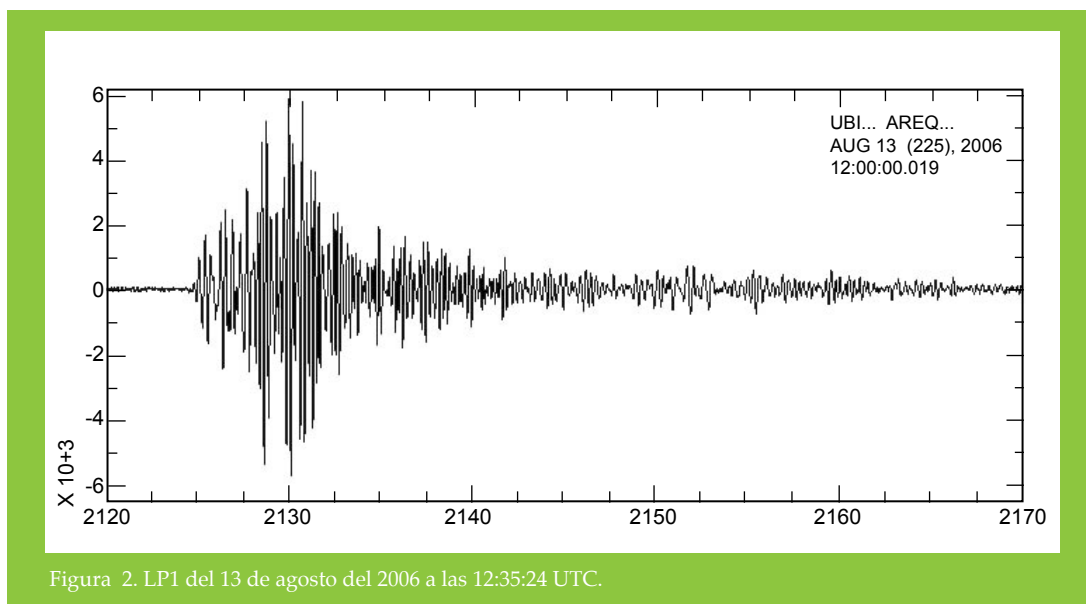


Figura 2. LP1 del 13 de agosto del 2006 a las 12:35:24 UTC.

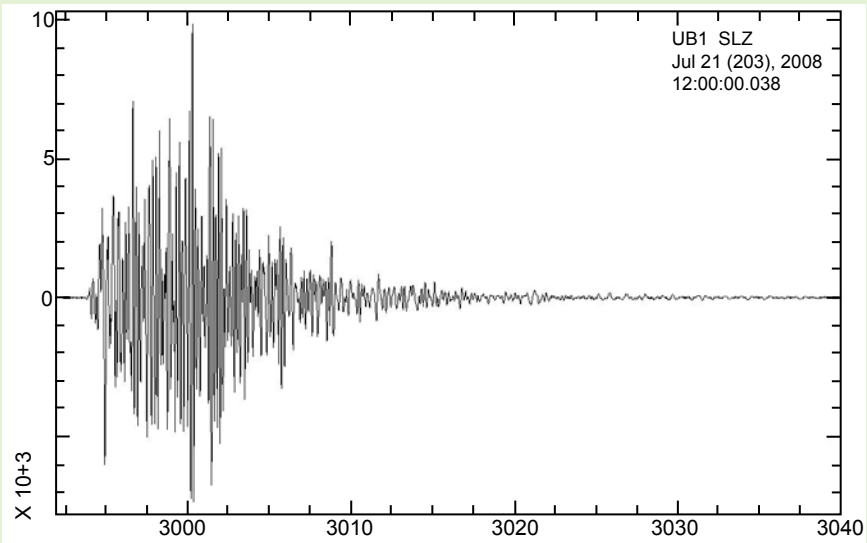


Figura 3. EXP del 21 de julio del 2008 a las 12:49:53.75 UTC.

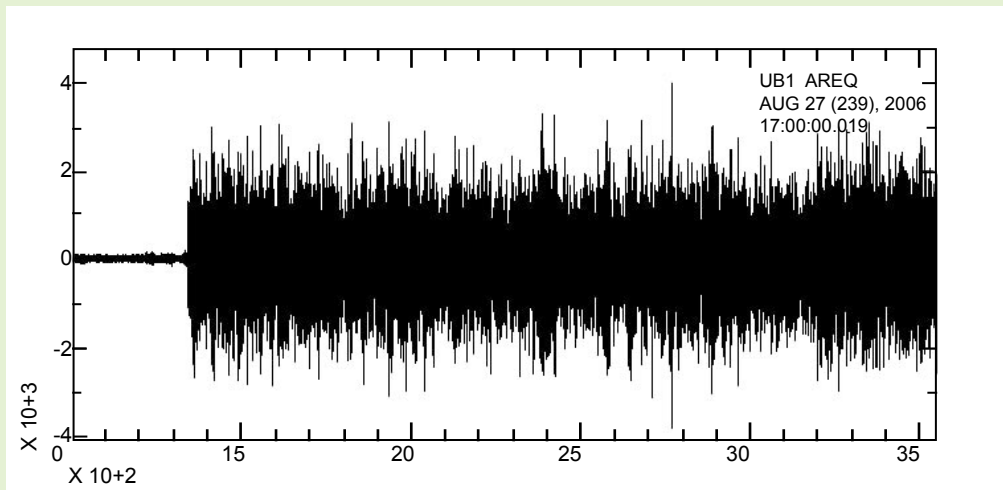


Figura 4. TR1 del 27 de agosto del 2006 a las 17:22:15 UTC.

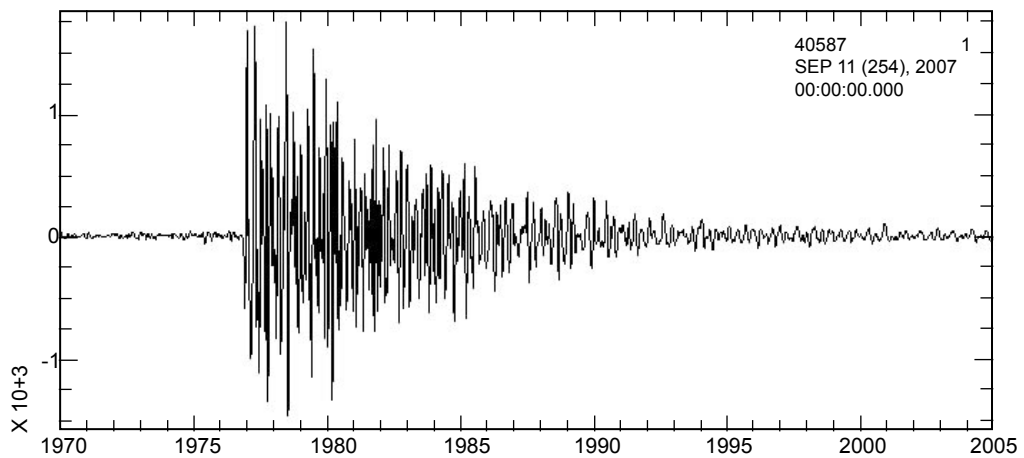


Figura 5. VT1 del 11 de septiembre del 2007 a las 00:32:56 UTC.

## 4. ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA DEL VOLCÁN UBINAS

Se han analizado y clasificado 90 645 sismos volcánicos, estos están representados en la Figura 6 por la línea de color anaranjada, el resto de sismos que están representados por la línea de color verde son 28 012, estos han sido extraídos del catálogo Ubinas.

En total el número de sismos para el periodo 2006 a 2009 es de 118 657.

La sismicidad predominante para el periodo de estudio, está representada por los sismos LP

Las barras de color rojo representan a las explosiones que han sido 162 para este proceso eruptivo y las barras de color gris representan los periodos de interrupción.

La sismicidad volcánica la dominan los sismos LP1, TR1 y TR2 con 94 956, 4 666 y 11 763 eventos respectivamente y que representan el 93,87% de total.

Los demás sismos volcánicos hacen un total de 7 272 que es el 6,13% del total.

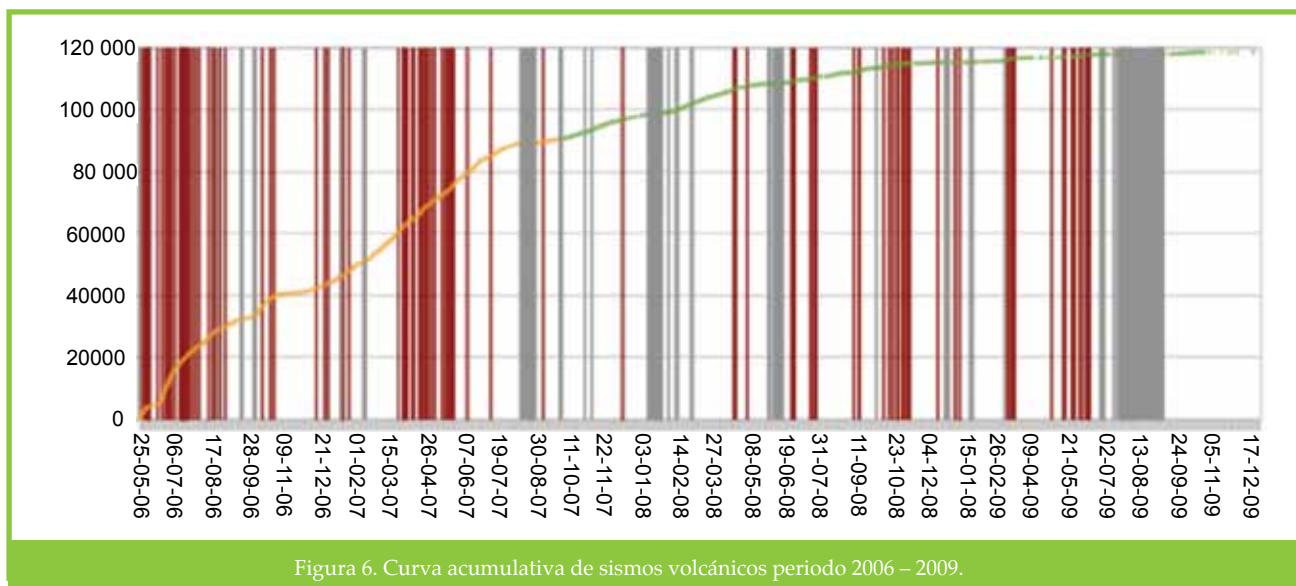


Figura 6. Curva acumulativa de sismos volcánicos periodo 2006 – 2009.

## 5. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEÑALES SÍSMICAS DEL VOLCÁN UBINAS

### 5.1. SISMOS LP

Con respecto a las frecuencias de los sismos LP (LP1, LP2, LPP, PIS, HIB y EXP), estas en su mayoría no pasan los 4 Hz y salvo los sismos PIS junto con los HIB que tienen las frecuencias más altas, alcanzando los 5,6 y 7,89 Hz respectivamente, esto en el año 2009 y los sismos LP1 su frecuencia se mantiene alrededor de los 3,4 Hz, y los sismos que tienen las frecuencias más bajas son los HIB que llegan a 2,02 Hz, pero esta se incrementa al pasar los años hasta el 2009.

Con respecto a la duración de los sismos LP se observa que los sismos EXP tienen la duración más alta llegando a los 87s como promedio en el año 2009, la duración de las EXP de 2006 a 2008 disminuye pero en el año 2009 se incrementa y los sismos LP1 su duración se mantiene alrededor de los 30s como promedio.

Los sismos que tienen las duraciones más bajas son los LP2 que tienen como duración alrededor de los 25s.

### 5.2. SISMOS VT

Las frecuencias de los sismos VT (VT1 y VTP) no superan los 5 Hz en los años 2006 – 2007 pero para los años 2008 a 2009 las frecuencias superan los 5 Hz.

En cuanto a la duración de estos eventos el sismo que presenta mayor duración es el VTP, debido a que presenta evento precursor.

### 5.3. SISMOS TRE

Las frecuencias de los sismos TRE (TR1, TR2 y TRA) no superan los 4 Hz.

Las duraciones son de acuerdo al subtipo de sismo tremorico, por ejemplo para los sismos TR1 su duración es mayor a los 1800s y para los sismos TR2 su duración es menor a los 1800s, en cambio a los sismos TRA no aplican estos criterios que para este proceso eruptivo tienen como duración promedio 389,25s, lo cual se resume en la Figura 7.

## 6. EXPLOSIONES

Las explosiones acaecidas en este periodo de erupción 2006 -2009 han tenido niveles de energía bajos (Taipe, 2008),



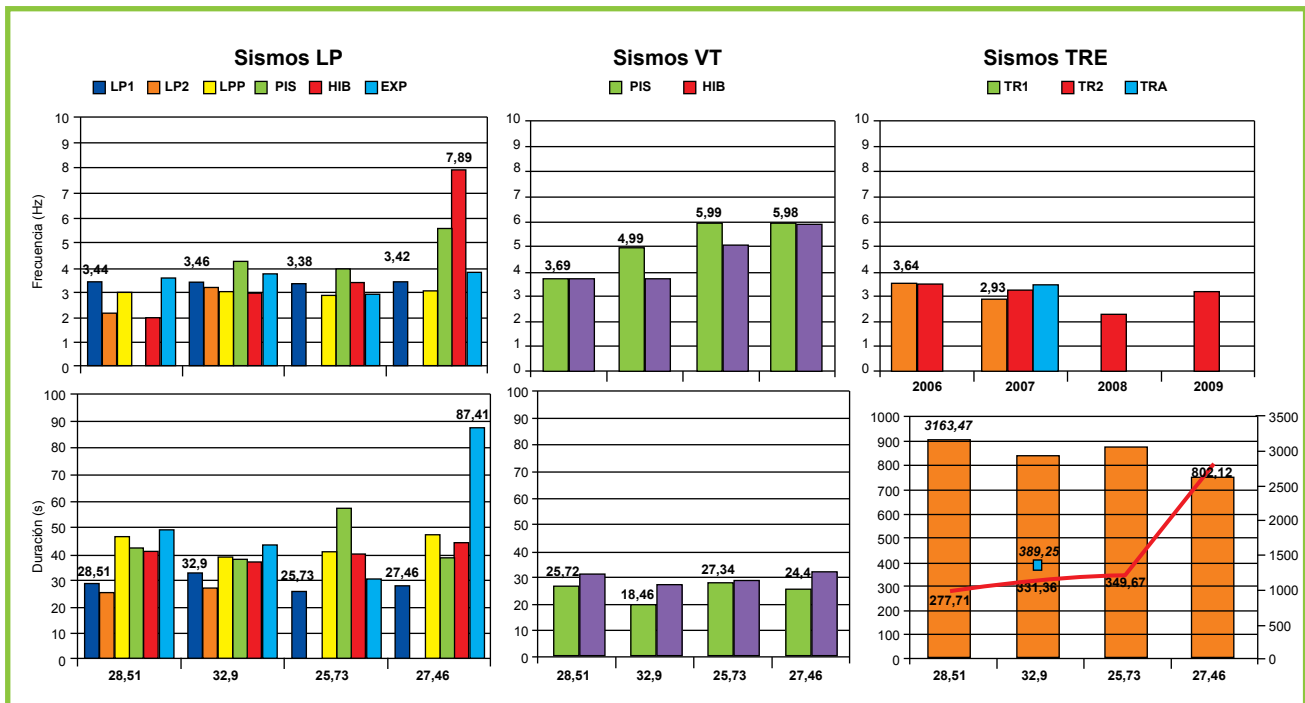


Figura 7. Frecuencia y duración promedio de los sismos LP, VT y TRE.

en este proceso han habido 162 explosiones de las cuales 46 presentaron enjambres de LP1 como precursor y 6 TRE como precursor.

Considerando intervalos de 5 min, se ha podido descubrir que 03 horas antes de las 2 explosiones estudiadas se ha observado que los sismos volcánicos LP1 presentan características particulares como son el aumento gradual de su amplitud, la disminución gradual de su duración y tendencia a estabilización en su frecuencia dominante alrededor de 4 Hz (Figura 8 y 9).

## 7. CONCLUSIONES

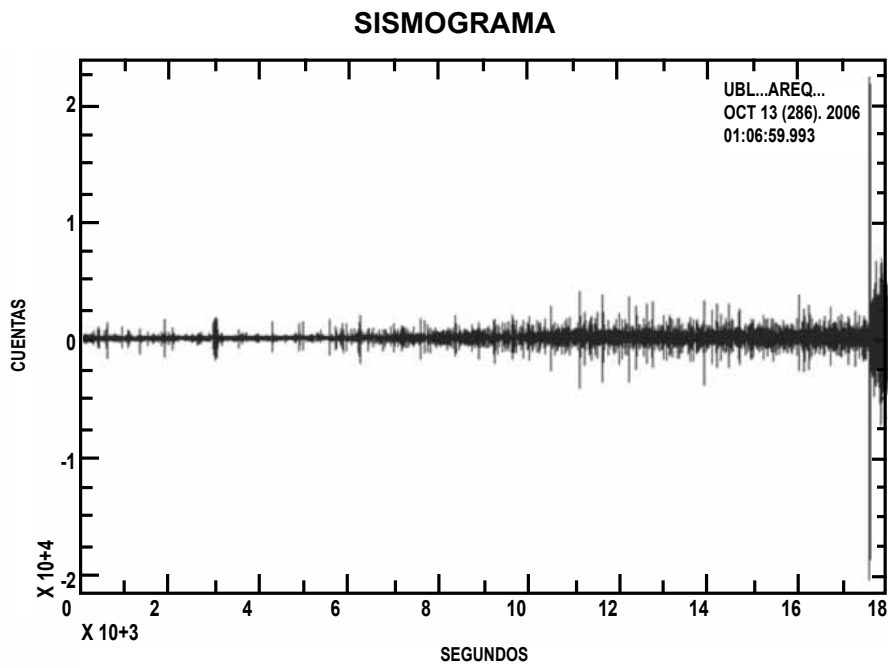
- Para el periodo 2006 – 2009 el número total de sismos volcánicos ha sido de 118 657 y los LP1, TR1 y TR2 hacen el 93,87% y los demás sismos volcánicos el 6,13%.
- La mayoría de los sismos volcánicos no pasan los 4 Hz salvo algunos como los sismos VT1, PIS y HIB.
- La duración de los sismos LP se mantiene entre los 20 y 60s y la duración de los sismos VT se mantiene entre los 20 y 35 s como promedio.
- En este proceso eruptivo el volcán Ubinas ha presentado 162 explosiones de las cuales 46 presentaron enjambres de LP1 como precursor y 6 TRE como precursor.
- Los enjambres de LP1 presentan características especiales, su amplitud aumenta, su duración disminuye y su frecuencia tiende a estabilizarse alrededor de los 4 Hz.

## 8. AGRADECIMIENTOS

Agradezco al Instituto Geofísico del Perú por haberme recibido como tesista, particularmente al Observatorio Vulcanológico del Sur del IGP por haberme apoyado en mi proyecto de tesis. Agradezco personalmente al Dr. Orlando Macedo S. por la confianza y apoyo en todo el proceso.

## 9. BIBLIOGRAFÍA

- Macedo, O., Métaixian J-Ph, Taipe E, Ramos D. 2008. Actividad Sismo-volcánica asociada a la erupción del volcán Ubinas en 2006-2008. XIII Congreso Latinoamericano de Geología; XIV Congreso Peruano de Geología, 7p.
- Taipe, E., 2008. Análisis de la actividad sísmica del volcán Ubinas para el periodo Marzo – Abril de 1998. Tesis para optar el título de Ingeniero. Universidad Nacional San Agustín de Arequipa, 157 p.



### Explosión 13-10-2006 05 (UTC)

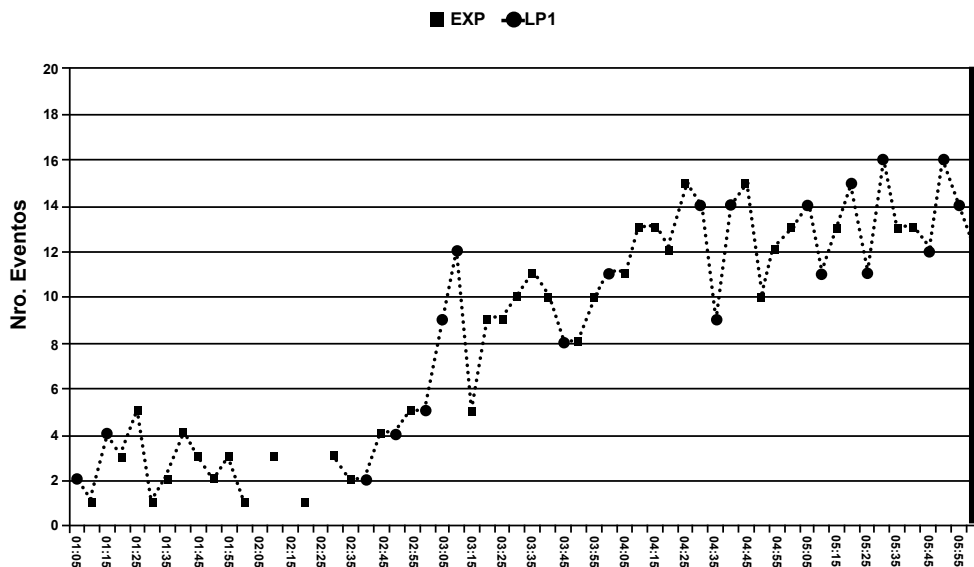


Figura 8. Sismograma de las horas precedentes (5 horas antes) a la explosión de 13-10-2006 a las 05 (UTC) y su gráfica estadística cada 5 min del cambio temporal del número de LP1 antes de que ocurra la explosión.

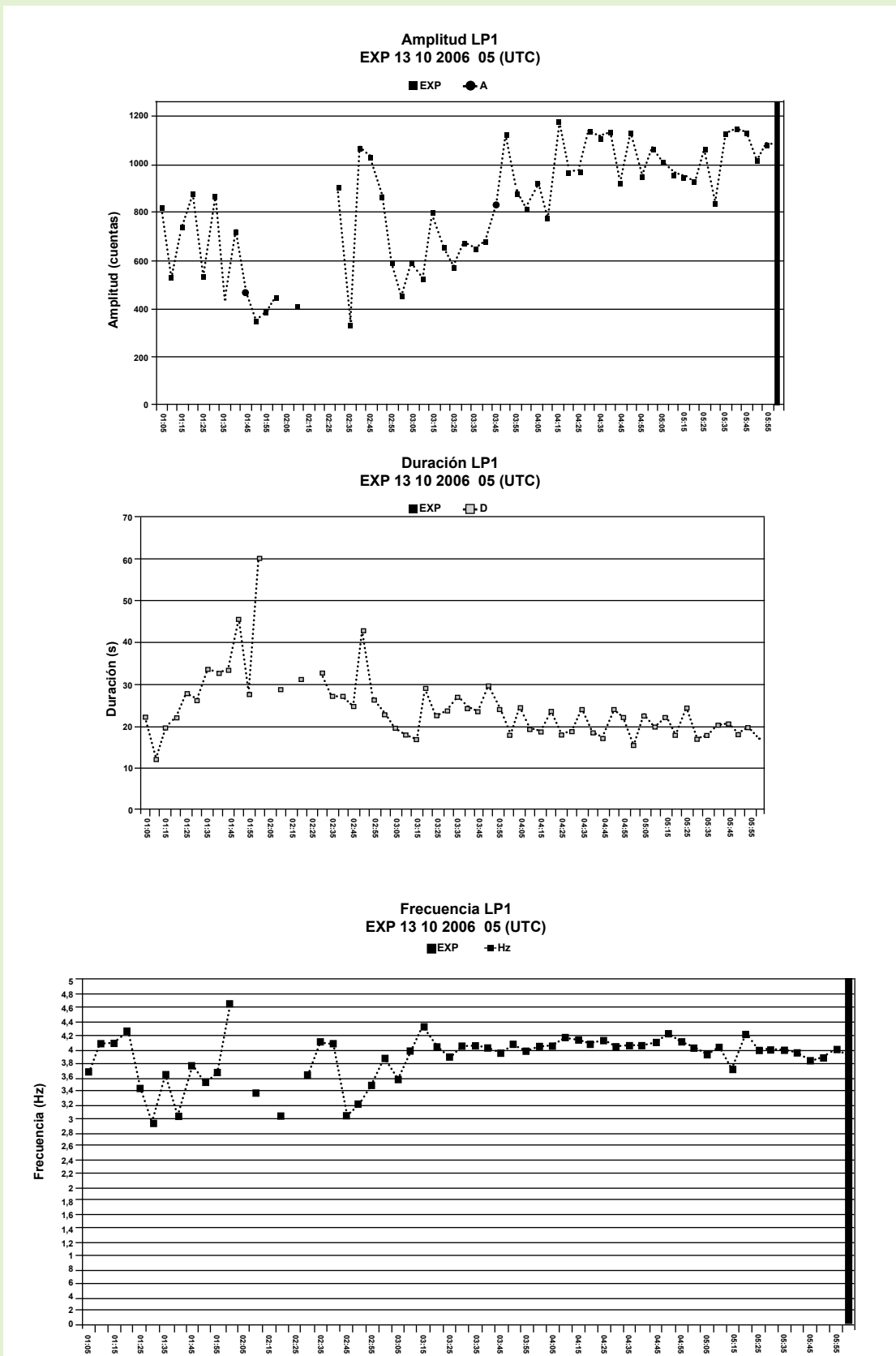


Figura 9. Comportamiento de la amplitud, duración y frecuencia cada 5min, para los sismos LP1 antes de la explosión.



## ESTUDIO PRELIMINAR DE LA DETERMINACIÓN DE UMBRALES DE PRECIPITACIÓN COMO DETONANTES DE DESLIZAMIENTOS Y FLUJOS TORRENCIALES

### PRELIMINARY STUDY OF THE DETERMINATION OF RAINFALL THRESHOLDS THAT TRIGGER LANDSLIDES AND TORRENTIAL FLOWS

**Marco Andrés Moreno Tapia**

Universidad Nacional Federico Villarreal  
Escuela Académico Profesional de Ingeniería Geográfica  
Mmoreno.grd@gmail.com

Asesores: Mag. Juan Carlos Gómez Ávalos  
Área de Geodesia Espacial y Peligro Geofísico

Ph.D. Yamina Silva Vidal  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

El presente trabajo se desarrolla en el marco del proyecto "Manejo de Riesgos ante eventos meteorológicos extremos" (MAREMEX – Mantaro) del Instituto Geofísico del Perú; cuyo objetivo es determinar los umbrales de precipitación asociados a eventos de flujos torrenciales en el centro poblado de Jarpa y a dos deslizamientos en los centros poblados de Rangra y Chamisería, de donde se han obtenido parámetros geotécnicos mediante ensayos de campo y parámetros hidrometeorológicos obtenidos de los registros de las estaciones

#### Abstract

This work is developed under the project "Risk Management for extreme climatic events" (MAREMEX - Mantaro) Geophysical Institute of Peru, which objective is to determine the thresholds of precipitation events associated with torrential flow in the with town of Jarpa and two landslides in the towns of Rangra and Chamisería, where geotechnical parameters have been obtained through field trials and hydrometeorological parameters obtained from records of weather stations near to the place where each event occurred. Tests are being developed with

meteorológicas cercanas a cada evento. Se están elaborando pruebas con métodos de análisis de activación de movimientos en masa, como por ejemplo, la evaluación del factor de seguridad de las laderas de dichas zonas y también, el comportamiento de dichos análisis de factor de seguridad en condiciones saturadas.

**Palabras clave:** Umbrales de precipitación, deslizamientos, flujos torrenciales, geotecnia

methods of activation analysis of mass movements, such as the evaluation of the safety factor of the slopes of these areas and also the behavior of such analysis of safety factor in saturated conditions.

**Keywords:** thresholds precipitation, landslides, torrential flows, geotechnical.

## 1. INTRODUCCIÓN

Debido al crecimiento acelerado y desordenado de la población, esta se ve forzada a establecerse en lugares sin ningún tipo de ordenamiento o zonificación de los peligros existentes que son necesarios conocer, para reducir la vulnerabilidad de la población.

El Proyecto “Manejo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) como medida de adaptación al cambio climático en el valle del Mantaro (MAREMEX – Mantaro), tiene como principal objetivo el fortalecer la capacidad de manejo del riesgo ante eventos meteorológicos extremos, a fin de disminuir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación de la población urbana y rural en el valle del Mantaro y pueblos aledaños (IGP, 2010). Bajo este enfoque, se realiza el estudio de los umbrales de precipitación asociados a la activación de los procesos de remoción en masa: deslizamientos y flujos torrenciales.

Según Aristizábal (2010) menciona que los procesos de remoción en masa tienen múltiples causas, debido a las condiciones geológicas, geomorfológicas y la intervención antrópica; la precipitación como agente detonante de estos procesos de remoción en masa, puede generar una respuesta casi inmediata de movilizar los materiales que conforman la vertiente de la ladera, sea por el rápido incremento de los esfuerzos, o la reducción de la resistencia.

Los umbrales de precipitación<sup>1</sup> asociados a los deslizamientos y flujos torrenciales son definidos como el valor crítico de la precipitación que se necesita para que un evento ocurra.

Gostelow (1991) considera que la lluvia puede actuar de dos formas diferentes en la estabilidad de las laderas: 1)

eventos de lluvia muy intensos que causen una reducción de la resistencia al cortante por reducción de la cohesión aparente, generando movimientos inicialmente superficiales; y 2) eventos de lluvia de larga duración que causen el incremento en la presión de poros sobre una superficie de falla potencial generando movimientos en masa mucho más profundos, frecuentes a lo largo de superficies de cizalla pre-existentes.

Los umbrales de precipitación se determinan con la relación entre intensidad de lluvia, volumen de agua en la superficie y la cantidad de humedad en el suelo; estos factores más las condiciones intrínsecas del terreno como la pendiente, genera un sobrepeso que conlleva a la ocurrencia del deslizamiento.

## 2. ZONAS DE ESTUDIO

Para este estudio, se han seleccionado 3 centros poblados en la Región Junín (Figura 1):

- Centro Poblado de Jarpa (Microcuenca Puquio), es la más cercana a la zona urbana de Jarpa, donde ocurrió un evento de flujos torrenciales en la temporada de lluvias del año 2010.
- Centro Poblado de Rangra, se encuentra asentado sobre un deslizamiento activo.
- Centro Poblado de Chamisería, donde existe un deslizamiento activo cuya reactivación ocasionaría interrupción del paso del tránsito de la carretera desde el Centro Poblado de Acopalca hacia el valle del Mantaro, y ocasionaría un desborde del río Shullcas por el material de relleno que se deposite en el canal.

<sup>1</sup> Un mm de lluvia = 1 l/m<sup>2</sup>

## 2.1 CENTRO POBLADO DE JARPA

### Aspectos Geodinámicos

#### Localización

Se encuentra localizado en el distrito de San Juan de Jarpa, Provincia de Chupaca, Subcuenca del río Cunas (margen derecha del río Cunas), ver Figura 1.

El Centro Poblado de Jarpa está expuesto a eventos de flujos torrenciales (comúnmente llamados Huaycos). El 18 de marzo del 2010 en la microcuenca de Puquio, ocurrió un evento que generó pérdidas de vías de comunicación y deterioro en las viviendas, según información del PRONAA y diario El Correo Huancayo.

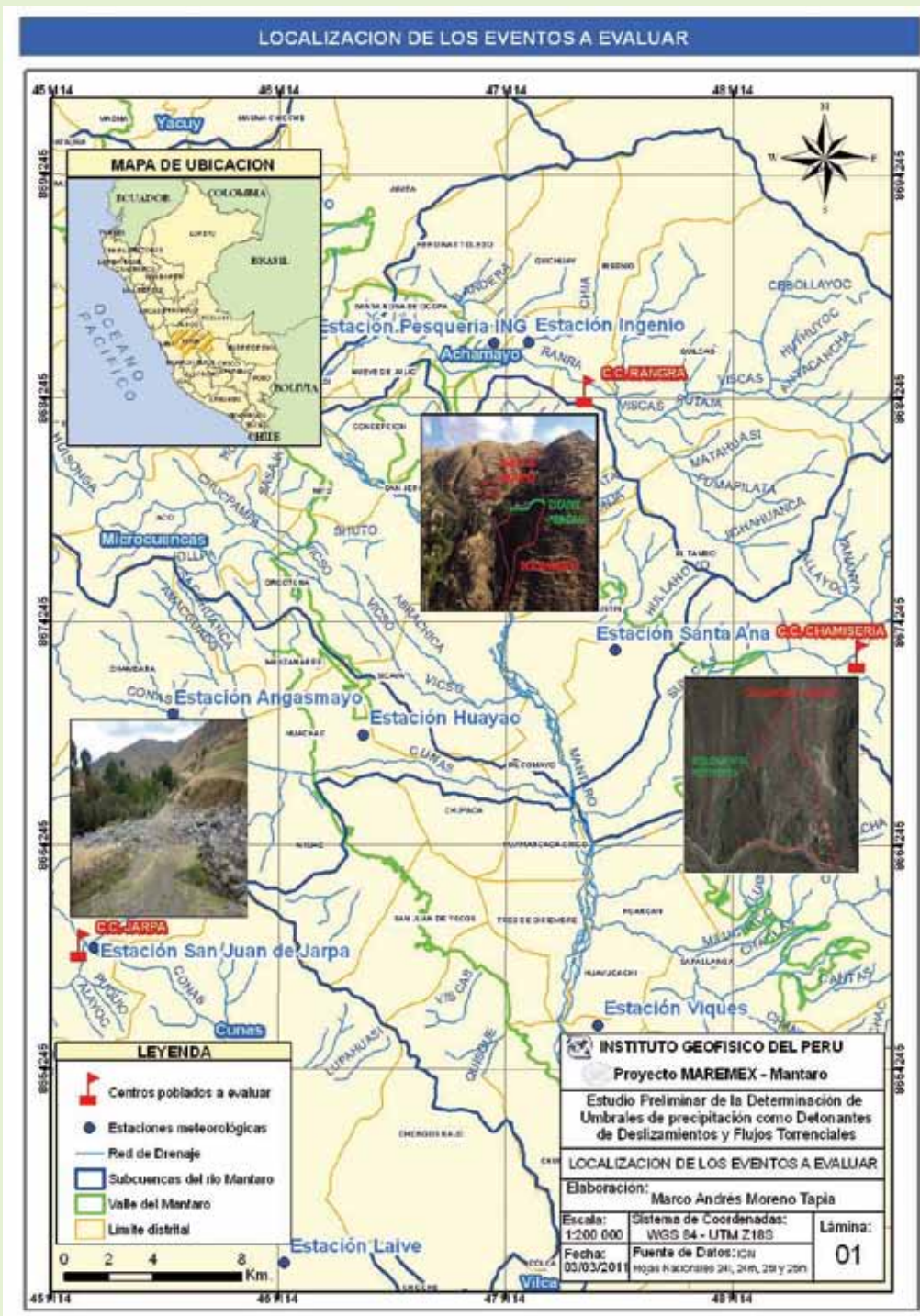


Figura 1. Localización de la zona de estudio.

La quebrada Puquio es intermitente; cuando este se seca, el canal se rellena con materiales residuales. Esto genera flujos torrenciales cuando la quebrada vuelve a transportar agua.

## 2.2 CENTRO POBLADO DE RANGRA

### Localización

Se encuentra localizado en el Distrito de Quilcas, provincia de Huancayo, subcuenca de Achamayo (margen izquierda del río Achamayo) (Figura 1).

### Aspectos Geodinámicos

Esta comunidad, está asentado sobre un deslizamiento ocurrido el 08 de febrero de 1974 (Fuente: diario El Comercio, pobladores de la zona).

Por estar situado en un suelo de tipo arcillo-limoso (poco permeable), hace que las lluvias intensas acaecidas en el lugar saturan el suelo generando la probabilidad de recurrencia del evento.

## 2.3 CENTRO POBLADO DE CHAMISERÍA

### Localización

Se encuentra localizado en el distrito de Huancayo, Provincia de Huancayo, subcuenca de Shullcas (margen izquierda del río Shullcas) (Figura 1).

Este centro poblado se encuentra a lo largo del río Shullcas, entre los centros poblados Vilcacoto y Acopalca.

### Aspectos Geodinámicos

El 24 de enero del 1991 producto de las lluvias intensas se generó un deslizamiento en el barrio de Ñuñungayoc (DesInventar, 2010).

## 3. METODOLOGÍA Y ANÁLISIS

La determinación de los umbrales de precipitación asociados a deslizamientos y flujos torrenciales, son estimados con el método determinístico, ya que los valores de los parámetros a evaluar se obtienen de campo y los parámetros de lluvia, se obtienen de los registros de las estaciones meteorológicas ubicadas cerca a la zona de estudio.

Como parte de la metodología, se hace un análisis estadístico de las precipitaciones que han sido registrados por las estaciones meteorológicas ubicadas cerca a las zonas donde ocurrieron los eventos a evaluar.

## 3.1 MÉTODO DETERMINÍSTICO

Para la evaluación de los flujos torrenciales: el método se basa en la asociación los parámetros hidrológicos como escorrentía, tiempo de concentración, volumen máximo de carga del canal, entre otros, con los parámetros hidrometeorológicos (Tabla 1)

TABLA 1. Índices representativos de la microcuenca Puquio

Índices Representativos	Valor	Unidades
Escorrentía	0,04	mm/día
Tiempo de Concentración	0,33	Hr
Área de la microcuenca	4,69	km <sup>2</sup>
Pendiente media del cauce	19,27	%

Fuente de datos: Carta Nacional digital 25m – del Instituto Geográfico Nacional (IGN) Elaboración: Marco Moreno

Para la evaluación de los deslizamientos: el método se basa en la asociación de los parámetros geotécnicos como cohesión, ángulo de fricción interna, permeabilidad, presión de poros, entre otros, con parámetros hidrometeorológicos como la intensidad de lluvia y duración de la misma (Figura 2).

Ángulo de fricción interna del suelo	:	24.01°
Cohesión Aparente del suelo	:	0.06 kg/cm <sup>2</sup>
Densidad Seca Promedio (Yd < N° 4)	:	1.39 gr/cm <sup>3</sup>
Humedad Natural (%)	:	17.15%
Resultados: ASTM - D 2487 / D3282		
<b>Coficiente de:</b>		
- Uniformidad		183.98
- Curvatura		18.12
<b>Material:</b>		
- Grava	%	67
- Arena	%	23
- Finos	%	10
<b>Clasificación:</b>		
- AASHTO		
- SUCS		GP-GC con arena
<b>Nombre de grupo:</b>		
<b>CONTENIDO DE HUMEDAD ASTM - D 2216</b>		
Humedad natural	(%)	7.05

Figura 2. Muestra de los parámetros obtenidos del laboratorio. Fuente de datos: ensayo de laboratorio. Elaboración: Marco Moreno

### 3.2 ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Este análisis es aplicado a los 3 centros poblados a evaluar, donde considera las noticias, reportes periodísticos e informes, referidos a los eventos tales como deslizamientos, huaycos, aluviones e inundaciones, considerando como fuente de noticias al diario Correo de Huancayo, El Comercio, las bases de datos del Programa Nacional de Asistencia Alimentaria (PRONAA), de emergencias del Instituto de Defensa Civil (INDECI) y DesInventar.

**TABLA 2.** Lista de emergencias y precipitaciones

Fecha	Hora	Emergencia	Intensidad de lluvia
14/01/2010	19:30	Inundación por desborde de río Rangra en Ingenio	16,1 m/día
17/02/2010	08:30	Deslizamiento del cerro Chaupimarca en Rangra Quilcas	22,4 m/día
06/03/2010	20:30	Derrumbe de viviendas en anexos y barrios de Quilcas	6 mm/día
07/04/2010	20:30	Derrumbe de viviendas en Rangra del distrito de Quilcas	15,5 m/día
08/02/1974	-	Deslizamiento en Rangra	26 mm/día

*Fuente de datos: Des Inventar (2010); INDECI; SENAMHI –  
Elaboración: Marco Moreno*

En la Tabla 2 se listan las emergencias ocurridas en el Centro Poblado de Rangra y los valores de intensidad de lluvia para el día del evento. Para este centro poblado se evalúa la precipitación de la estación meteorológica de Ingenio que pertenece al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI).

Guzzetti (2005), menciona que con este análisis y con el registro histórico de precipitaciones de las estaciones a evaluar, se pueden crear sistemas de alerta con los umbrales de precipitación considerando:

- Intensidad de lluvia
- La relación entre la duración e intensidad
- La duración sobre un nivel de intensidad predefinido
- La lluvia acumulada en un cierto periodo
- La relación entre la lluvia antecedente y la lluvia diaria
- La relación entre la lluvia durante el evento y la lluvia anual promedio
- La relación entre la lluvia diaria y la lluvia de exceso antecedente.

Considerando que IGP (2005), se menciona que los meses de máxima precipitación son enero, febrero y marzo, y que en abril la precipitación disminuye bruscamente. El 83% de la precipitación anual ocurre entre los meses de octubre a abril; se pueden proponer 2 umbrales de precipitación como sistema de alerta adicional, a los propuestos por Guzzetti (2005) considerando:

- La relación entre la lluvia diaria y la lluvia total durante el periodo octubre-abril.
- La relación entre la lluvia diaria y la lluvia total de los meses de máximas lluvias (enero, febrero y marzo).

Para el cálculo de la cantidad de lluvia que se necesita para la ocurrencia de los deslizamientos, se evalúa la estabilidad de taludes, estando este en función del factor de seguridad. Este proceso, implica diferentes análisis que están en función a los parámetros que se den al modelo de estabilidad de taludes.

El factor de seguridad se define como la relación entre la resistencia cortante promedio del suelo y el esfuerzo cortante promedio desarrollado a lo largo de la superficie potencial de falla. Cuando el factor de seguridad es igual a 1, el talud está en estado de falla incipiente. Generalmente, un valor de 1,5 para el factor de seguridad con respecto a la resistencia es aceptable para el diseño de un talud estable (Braja, 1999).

El factor de seguridad disminuirá cuando al modelo se le asigne los parámetros de humedad (saturación) y presión de poros (parámetro que está asociado a las lluvias) Gostelow (1991).



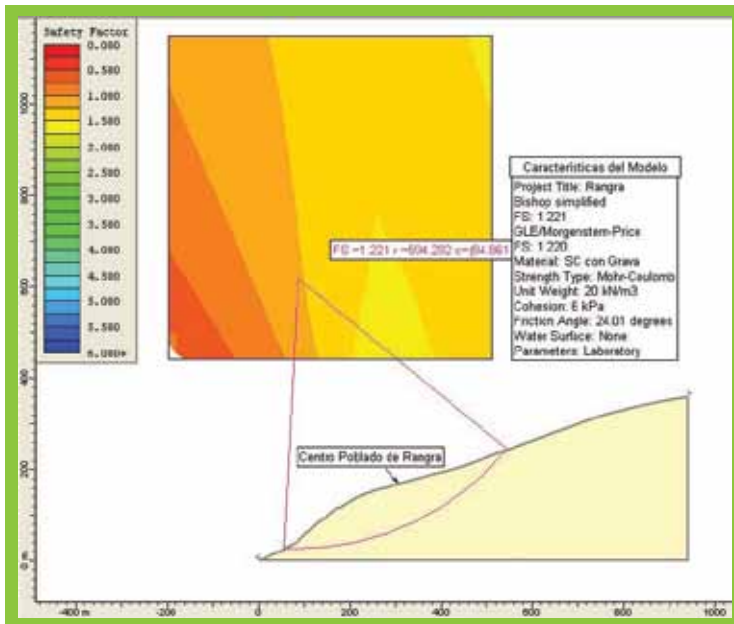


Figura 3. Cálculo del factor de seguridad de un supuesto plano de falla en el centro poblado de Rangra. Fuente de datos: Resultados de las calicatas hechos en campo, obtenidos del laboratorio. Elaboración: Marco Moreno

#### 4. CONCLUSIONES PRELIMINARES

- Se eligió el método determinístico ya que es necesario establecer con cuánta cantidad de lluvia se producirán eventos de deslizamientos y flujos torrenciales, además porque se cuentan con datos meteorológicos. Los datos faltantes como los geotécnicos, se obtienen en campo.
- Es necesario el análisis de las lluvias antecedentes para los eventos de deslizamientos, debido a que los resultados de laboratorio indican que los tipos de suelo, por ejemplo para el Centro Poblado de Rangra, varían entre limoso y arcilloso, siendo estos materiales poco permeables, impidiendo que la lluvia infiltre con facilidad.

#### 5. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis.

A la Dra. Yamina Silva Vidal y al Msc. Juan Carlos Gómez Ávalos, quienes me apoyaron con su asesoría en todo momento.

A la Msc. Alejandra Martínez Grimaldo y a todo el personal del área de variabilidad y cambio climático por brindarme sus observaciones, sugerencias y comentarios enriquecedores sobre el presente trabajo.

#### 6. BIBLIOGRAFÍA

Aristizábal et al., 2010. Una revisión sobre el estudio de movimientos en masa detonados por lluvias. Rev. Acad. Colomb. Cienc.: Volumen XXXIV, N° 131. 209 – 227.

Braja, M., 1999. Fundamentos de Ingeniería geotécnica. International Thomson Editores. México. 339 – 343.

Gostelow, P., 1991. Rainfall and landslides in Prevention and Control of landslides and other mass movements, editado por Almeida-Teixeira, M.; Fantechi, R., Oliveira, R., Gomez Coelho, A. Commis. European Communities, Bruselas. Pág. 139-161.

Guzzetti et al., 2005. Definition of critical threshold for different escenarios. Risk Aware – Action 1.16. IRPI CNR. Italy. 5 – 32.

Instituto Geofísico del Perú – IGP, 2010. Cambio Climático en la cuenca del río Mantaro. Lima – Perú. Pág. 241 – 248.

Instituto Geofísico del Perú – IGP, 2005. Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro. Vol. 1. Lima – Perú, Pág. 27-34.

#### 7. FUENTE DE INFORMACIÓN SOBRE EVENTOS

DesInventar, 2010. Perú - Inventario histórico de desastres. <http://online.desinventar.org/>

INDECI, [www.indeci.gob.pe](http://www.indeci.gob.pe)

PRONAA, [www.pronaa.gob.pe](http://www.pronaa.gob.pe)



## PRIMER ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD FÍSICA DE LOS PRINCIPALES CENTROS POBLADOS DEL ÁREA DEL PROYECTO MAREMEX-MANTARO, REGIÓN JUNÍN

### FIRST PHYSICAL VULNERABILITY ANALYSIS OF THE PRINCIPAL TOWN CENTERS OF THE PROJECT MAREMEX-MANTARO, JUNIN REGION

**Luis A. Céspedes Reyes**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Geográfica  
lcespedesre@gmail.com

Asesores: Mag. Juan Carlos Gómez Avalos  
Área de Geodesia Espacial y Peligro Geofísico

Mag. Alejandra G. Martínez Grimaldo  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

El proyecto Manejo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantaro (MAREMEX-Mantaro) tiene como principal objetivo fortalecer la capacidad de manejo de riesgos; en esta temática el presente estudio busca determinar el nivel de vulnerabilidad física de los centros poblados pilotos del proyecto: Acopalca, San Juan de Jarpa y Concepción; para la cual se adoptó la metodología

#### Abstract

The project "Manejo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantaro (MAREMEX-Mantaro)" which principal objective is strengthen the capacity for risk management; in this issue this study seeks to determine the level of physical vulnerability of the pilot population centers: Acopalca, San Juan de Jarpa and Concepción, to which it was adopted the methodology of the Basic Manual for the estimation of risks (INDECI) and the methodology of

del Manual básico para la estimación del riesgos (INDECI) y la metodología del Programa de Ciudades Sostenibles (INDECI y PNUD), trabajando primordialmente con 4 variables (infraestructura física, características geotécnicas del suelo, condición física del centro poblado y las leyes existentes en la localidad). Se presenta un breve análisis inicial de evaluación de cada centro poblado y algunos avances trabajados en gabinete.

**Palabras clave:** MAREMEX-Mantaro, Vulnerabilidad física, Geotecnia, Centros poblados

the Sustainable Cities Programme (INDECI and PNUD), working basically with 4 variables (physical infrastructure, geotechnical soil characteristics, physical condition of the population centers and the existing laws of the locality). A brief preliminary analysis of research and fieldwork is presented.

**Keywords:** MAREMEX-Mantaro, Physical vulnerability, Geotechnics, Population centers

## 1. INTRODUCCIÓN

El proyecto Manejo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantaro (MAREMEX-Mantaro) tiene como área de estudio las subcuencas de Achamayo, Shullcas y Cunas. Adicionalmente, el proyecto identificó a Concepción, Acopalca y San Juan de Jarpa ubicados correspondientemente en las subcuencas mencionadas, como centros poblados focales de mayor interés en el marco de la investigación que se realiza.

El principal objetivo del proyecto es el de fortalecer la capacidad de manejo del riesgo a eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas), a fin de disminuir la vulnerabilidad y mejorar la capacidad de adaptación de la población urbana y rural del valle del Mantaro frente a cambios del clima (IGP, 2010). Siendo el manejo de riesgo parte fundamental del proyecto, es necesario determinar el nivel de vulnerabilidad de la zona de estudio.

Según el manual básico para la estimación de riesgos del INDECI (2006), existen diferentes tipos de vulnerabilidad (ambiental y ecológica, física, social, económica, educativa, institucional, etc.); sin embargo, en la presente investigación trabajaremos únicamente con la determinación de la vulnerabilidad física considerando variables sociales y económicas.

La vulnerabilidad física está referida al tipo de material utilizado y construcción de las viviendas, establecimientos

económicos y de servicio (salud, educación, sede de instituciones públicas), e infraestructura socioeconómica (centrales hidroeléctricas, carreteras, puentes y canales de riego) para asimilar los efectos del peligro. Otro aspecto a considerarse, es la calidad del suelo y el lugar donde se asienta el centro poblado, cerca de fallas geológicas, ladera de los cerros, riberas del río, etc., que son situaciones que incrementa significativamente el nivel de vulnerabilidad (INDECI, 2006).

La condición física y social de los centros poblados en estudio, hace referencia a condiciones de vulnerabilidad de la población, de sus medios de vida e infraestructura física frente a eventos naturales peligrosos, la cual se asocia directamente a la ocupación, crecimiento y desarrollo desordenado de las propias comunidades y urbanizaciones sobre zonas altamente peligrosas (zonas susceptibles a deslizamientos, flujo de lodos, inundaciones, etc.) incrementando el nivel de riesgo de la población ante desastres por eventos naturales.

## 2. UBICACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

Los centros poblados de Acopalca, San Juan de Jarpa y Concepción, se localizan políticamente en la región de Junín; provincia de Huancayo, Chupaca y Concepción; y en los distritos de Huancayo, San Juan de Jarpa y Concepción correspondientemente.

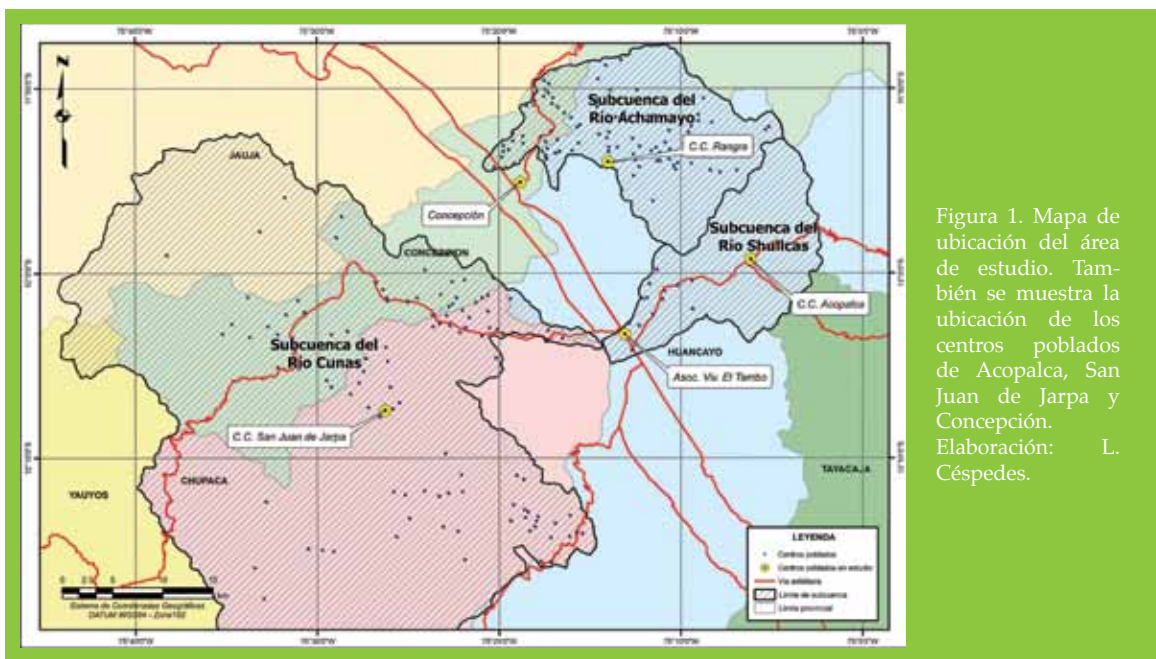


Figura 1. Mapa de ubicación del área de estudio. También se muestra la ubicación de los centros poblados de Acopulca, San Juan de Jarpa y Concepción. Elaboración: L. Céspedes.

### 3. METODOLOGÍA

Revisando diferentes metodologías como el AVC (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2006), HAZUS (FEMA, 2011), el Manual básico para la Estimación del Riesgo (INDECI, 2006) y del PCS-1E (INDECI, 2008); se decidió por adaptar el diseño metodológico del Manual básico para la Estimación del Riesgo desarrollado por el INDECI complementando su enfoque con el “desarrollo urbano sostenible” del Programa de Ciudades Sostenible desarrollado por INDECI y PNUD. Se abarca tres grandes etapas: inicialmente en una primera etapa recopilamos la información necesaria y existente sobre el área de estudio tanto a nivel local como regional y se hace un reconocimiento del área de estudio para un primer diagnóstico actual; posteriormente en la etapa siguiente se elabora un diagnóstico situacional (caracterización del contexto regional y local; y evaluación de la vulnerabilidad física) de cada centro poblado a través de salidas de campo; y por último se realiza un análisis, síntesis y clasificación de la información recopilada en campo culminando con la presentación de los resultados obtenidos.

#### 3.1 VULNERABILIDAD FÍSICA

Los niveles de vulnerabilidad se adoptaron de la propuesta de INDECI (2006) que establece elaborar un cuadro de doble entrada (Tabla 1 y 2), en la cual se ingresa las variables del estudio identificando el nivel de vulnerabilidad de cada una de ellas acorde al diagnóstico que se realiza en campo y del análisis de procesamiento de información que se realiza en gabinete. De esta manera

el nivel de vulnerabilidad final se expresa en valores porcentuales, obteniendo un resultado cuantitativo a partir de información cualitativa analizada.

TABLA 1. Cuadro aplicativo para la evaluación de la vulnerabilidad

Variable	Nivel de Vulnerabilidad			
	VB < 25%	VM 26 a 50%	VA 51 a 75%	VMA 76 a 100 %
1				
2				
3				
4				
.				
.				
.				
.				
.				
.				
.				
N				

Con respecto a la evaluación de la vulnerabilidad física, el INDECI propone evaluar principalmente cuatro variables (ver Tabla 3), las cuales:

- **Infraestructura física** (material de construcción utilizada en las viviendas).

En esta variable se considera principalmente las características de la infraestructura de construcción: material de estructura predominante, altura de edificación, estado de construcción, estado de conservación y el tipo de uso actual (vivienda, comercio, colegio, fábrica, etc.). Para el levantamiento de información de las características

físicas de las edificaciones y líneas vitales de los centros poblados en estudio se preparan fichas de campo (Figura 2) para la evaluación a través de observación directa en el terreno. También se puede trabajar desde gabinete siempre y cuando se tenga información de un catastro urbano/rural actualizado.

**TABLA 2.** Cuadro de nivel y descripción de la evaluación de la Vulnerabilidad.  
Fuente: Adaptación INDECI (2006)

Nivel	Descripción General
VB Vulnerabilidad baja	Viviendas asentadas en terrenos seguros, con material noble o sismo resistente, en buen estado de conservación. Cuando el daño es mínimo.
VM Vulnerabilidad media	Viviendas asentadas en suelo de calidad intermedia, problemas eventuales de deslizamientos, inundaciones, etc. Con material noble, en regular y buen estado de conservación. La magnitud del daño es leve y recuperable.
VA Vulnerabilidad alta	Viviendas asentadas en zonas con malas características geotécnicas, con material precario, en mal y regular estado de construcción. La magnitud del daño al menos el 50% de los elementos vulnerables.
VMA Vulnerabilidad muy alta	Viviendas asentadas en zonas de suelos con problemas geotécnicos o suelos colapsables en grandes proporciones, de materiales precarios en mal estado de construcción. Cuando la magnitud del daño es grave.

**TABLA 2.** Cuadro aplicativo para la evaluación de la Vulnerabilidad física.  
Fuente: INDECI (2006)

	NIVEL DE VULNERABILIDAD			
	Vulnerabilidad Baja < 25 %	Vulnerabilidad Media 26 a 50 %	Vulnerabilidad Alta 51 a 75 %	Vulnerabilidad Muy Alta 76 a 100 %
Material de construcción utilizada en viviendas	Estructuras sismorresistente con adecuada técnica constructiva (de concreto o acero).	Estructuras de concreto, acero o madera, sin adecuada técnica constructiva.	Estructuras de adobe, piedra o madera, sin refuerzos estructurales.	Estructuras de adobe, caña y otros de menor resistencia, en estado precario.
Localización de viviendas	Muy alejada > 5 Km	Medianamente cerca 1 – 5 Km	Cercana 0.2 – 1 Km	Muy cercana 0.2 – 0 Km
Características geológicas, calidad y tipo de suelo	Zonas sin fallas ni fracturas, suelos con buenas características geotécnicas	Zona ligeramente fracturada, suelos de mediana capacidad portante	Zona medianamente fracturada, suelos con baja capacidad portante	Zona muy fracturada, fallada, suelos colapsables (relleno, napa freática alta con turba, material inorgánico, etc.)
Leyes existentes	Con leyes estrictamente cumplidas	Con leyes medianamente cumplidas	Con leyes sin cumplimiento	Sin ley

Proyecto manejo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantaro (MAREMEX-Mantaro)

**FICHA INDIVIDUAL DE CAMPO**  
(EVALUACIÓN DEL LOTE A TRAVÉS DE OBSERVACIÓN DIRECTA EN EL TERRENO)

**UBICACIÓN**

REGION O DEP.	PROVINCIA	DISTRITO	CENTRO POBLADO (Anexo, barrio, sector, etc) Manzana - Lote	
SERV. BASICOS SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	AGUA SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	DESAGUE SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	ENERGIA SI <input type="checkbox"/> NO <input type="checkbox"/>	OTROS

**CARACTERÍSTICAS DEL TERRENO**

**PENDIENTE:**  
Muy alta:  <25%    Alta:  <25%    Media:  <25%    Baja:  <25%    Plana:

**TIPO DE SUELO:**    Limoso:     Arcillos:     Arenoso-limoso:   
                           Arenoso:     Limo-arenoso:     Arenoso-arcilloso:   
 Otro:.....

**CARACTERÍSTICAS DE LA INFRAESTRUCTURA DE CONSTRUCCIÓN**

Material Estructura Predominante:  
 Altura de Edificación:  
 Área:  
 Estado de Conservación:  
 Uso:  
 Otras observaciones:

**OBSERVACIÓN DE LÍNEAS VITALES**

Agua potable y alcantarillado:  
 Energía:  
 Infraestructura vial:  
 Infraestructura de drenaje:

Figura 2. Modelo de Ficha preliminar individual de campo. Elaboración: L. Céspedes.

cerros, en las terrazas del cauce del río, cerca de fallas geológicas, sobre suelos con malas características geotécnicas, etc., haciendo que el nivel de vulnerabilidad se incremente en forma directamente proporcional a la distancia sobre la cual se ubican. Por ejemplo, según INDECI (Tabla 3), si existen viviendas en las riberas de los ríos (Figura 6) esta zona tendría una vulnerabilidad física muy alta ante posibles desbordes del río inundando viviendas y pequeñas áreas de cultivo.

▪ **Características geotécnicas** (características geológicas, calidad y tipo de suelo)

Las características geotécnicas del suelo sirven como variable inicial para la evaluación de la vulnerabilidad física. Conocer la procedencia geológica de los suelos, para identificar los diferentes tipos de depósitos y medir la capacidad portante del suelo sobre el cual se asienta el centro poblado es vital para saber cual es el comportamiento geotécnico ante la presencia de agentes detonantes (sismos y lluvias). Con esta información se puede reducir las pérdidas de materiales en infraestructura pública o privada. Sin embargo, para conocer tales condiciones es necesaria la realización de ensayos de suelos por lo que en la investigación en curso se excavaron calicatas<sup>1</sup> en cada uno de los centros poblados. Esto permitió la toma de muestras de suelo y descripción física de la matriz, grado de redondez de los clastos, nivel de compacidad/consistencia, nivel de humedad y ambientes de formación. Las muestras de suelos se enviaron a laboratorio especializado para obtener valores de granulometría, límites de consistencia, corte directo, permeabilidad y clasificación SUCS.

▪ **Normatividad existente** (leyes existentes)

La existencia de reglamentos y leyes referentes a la construcción de edificaciones y uso del suelo, se evalúa considerando la normatividad existente actual del gobierno local y si estos reglamentos se cumple o no. También se analiza cuales serían los factores que conllevan al incumplimiento de tales reglamentos. Por ejemplo de existir un reglamento en la zona de estudio que restrinja el uso del suelo para urbanizar sobre áreas ubicadas en zonas de peligro alto por inundaciones o deslizamiento, y observamos en campo que la población se asienta sobre estas zonas, entonces se debe identificar cuáles son los factores que motivan que la población construya sus viviendas en dicho lugar y porque no se movilizan fuera del área de peligro.

▪ **Condición física** (localización de las viviendas).

La condición física hace referencia a la ubicación en la cual la población se encuentra asentada, en las laderas de los

<sup>1</sup> Calicata: Excavación pequeña sobre los terrenos meteorizados para investigar el subsuelo. (Dávila, 1999.)

Proyecto manejo de desastres ante eventos meteorológicos extremos (sequías, heladas y lluvias intensas) como medida de adaptación ante el cambio climático en el valle del Mantaro (MAREMEX-Mantaro)



LAMINA N° 01

### PERFIL ESTRATÉGICO Y ENSAYOS DE LABORATORIOS DE SUELOS

CALICATA N°	: C-01	PROFUNDIDAD EXCAVADA	: 2.80 m.
ESTUDIO	: VULNERABILIDAD FISICA. PROYECTO MAREMEX - Mantaro	NIVEL FREÁTICO	: 0.00 m.
UBICACIÓN	: COMUNIDAD CAMPESINA DE JARPA	REALIZADO POR	: F.B.R., L.C.R.
COORDENADAS N	: 8,660,804 M.	SUPERVISADO POR	: J.G.A.
COORDENADAS E	: 0451,690 m.		
ELEVACIÓN	:		
FECHA	: 17 Nov. 2010		

CLASIFICACION SUCS		PROFUNDIDAD				DESCRIPCION DEL MATERIAL
SÍMBOLO	GRÁFICO	METROS (m.)	ESTRATO	DENSIDAD HUMEDA (GR./CC)	HUMEDAD (%)	
		0.00	E1			Material de arcillas con limos color gris amarillenta, moderada humedad, con presencia de raíces y moderada consistencia.
		0.70				
		0.70	E2			Material compuesto por arcillas, limón (-) de color gris oscura, con moderada humedad, con poca presencia de raíces y alta consistencia. Posibles zonas de inundaciones.
		2.80				

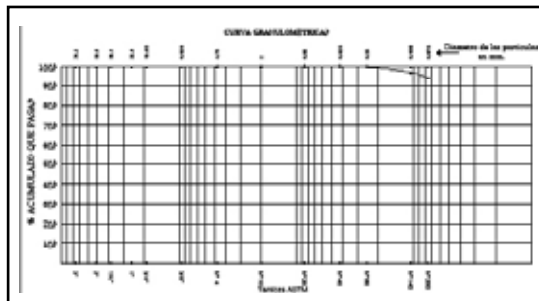
**OBSERVACIONES:**

E1 y E2. Posible ambiente aluvial, zona de inundación. El material predominante es fino

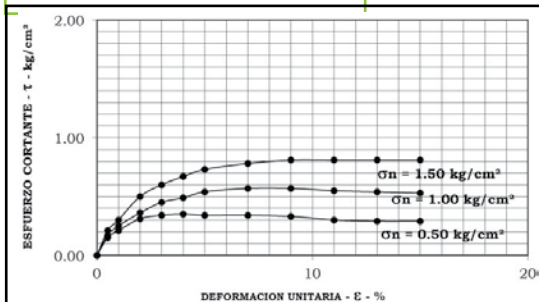
**IMAGEN**



**ANALISIS GRANULOMETRICO**



**CORTE DIRECTO**



**ANALISIS GEOTECNICO**

clasificacion sucs: ML  
 L.L. 27.93%  
 L.P.: 20.48%  
**CORTE DIRECTO:** 0.00 Kg./cm2

**PERMEABILIDAD**

--

Figura 3. Modelo de Ficha de perfil estratigráfico del suelo. En esta ficha también se presentará los resultado de ensayos de suelos. Elaboración: L. Céspedes.

## 4. PRIMERA EVALUACIÓN DEL ÁREA DE ESTUDIO

En una primera salida de campo se realizó el reconocimiento del área de estudio e identificación de los eventos potencialmente peligrosos a los cuales son vulnerables cada uno de los centros poblados.

### 4.1 COMUNIDAD CAMPESINA DE ACOPALCA

En la comunidad campesina de Acopalca se identificó que en los últimos 5 años aproximadamente algunos pobladores empezaron a construir sus viviendas en las riberas del río Shullcas. De subir el nivel de las aguas del caudal del río, estas viviendas serían las primeras en sufrir daños (Figura 4).



Figura 4. La condición física de la C.C. de Acopalca está referida a la localización de un número determinado de viviendas asentadas a escasos metros del cauce del río Shullcas.

En la ladera de los cerros del barrio El Salvador y del barrio Centro de la comunidad, se forman esporádicamente pequeños flujos de lodo en épocas de lluvias, afectando levemente a las viviendas aledañas. Sin embargo la población gestionó la elaboración de pequeños andenes para mitigar la ocurrencia de este evento.

También se evaluará el nivel de vulnerabilidad física ante la probabilidad de ocurrencia de un aluvión en la subcuenca del río Shullcas como los registrados en el año 1969 y 1990 que afectó las viviendas del barrio de Chamisería de la comunidad de Acopalca según fuentes periodísticas.



Figura 5. La reforestación de laderas con pinos, la elaboración de andenes y zanjas de infiltración son medidas de mitigación ante la presencia de flujos de lodo.

### 4.2 COMUNIDAD CAMPESINA DE SAN JUAN DE JARPA

En la comunidad campesina de San Juan de Jarpa se identificó que la población está asentada sobre las terrazas y en las riberas del río Negro, tratando de cambiar inclusive el curso natural del cauce del río. En épocas de lluvias intensas, como el caso registrado en marzo 2010, se incrementa el nivel del agua del río originándose inundaciones que afectan la infraestructura de las viviendas aledañas y pequeñas áreas de cultivo (Figura 6).



Figura 6. En la imagen se aprecia el cauce del río Negro sobre el cual discurrió el flujo de lodo acontecido en el mes de marzo del 2010 que afectó alrededor de 15 viviendas.

La comunidad conecta sus barrios a través de dos puentes que cruzan el río Cunus y se encuentran separados aproximadamente 1.5 km. de distancia; sin embargo años atrás uno de los puentes colapsó al ceder una de las bases



del puente por la crecida del caudal del río Cunas (ver imagen 7). Actualmente este puente ha sido restaurado con materiales propios del lugar; sin embargo, la nueva base ha sido construida en lo que aun forma el cauce natural del río, lo cual con el tiempo se va erosionando por el mismo río y no podrá soportar una crecida del caudal de la misma magnitud que ocasionó su colapso.

Una inspección en toda la comunidad permitió verificar que en algunas zonas, los canales de riego no tiene el mantenimiento adecuado de limpieza y conservación, lo que dificulta el paso natural del agua, con la posibilidad de reboso.



Figura 7. Una de las bases del puente que conecta los barrios de la C. C. de Jarpa, se derrumbó años atrás ante la crecida de las aguas del cauce del río Cunas.



Figura 8. En la imagen se observa claramente la acumulación de barro y la presencia de residuos sólidos de botellas y plásticos, lo que demuestra la falta de mantenimiento en la limpieza de los canales del sistema de drenaje pluvial.

También se apreció que muchas de las viviendas son antiguas y de material de adobe. Para el manejo de esta información las fichas de campo de evaluación de infraestructura física (ver Figura 2) ayudará a identificar cuáles son las viviendas que presentan malas condiciones de infraestructura ya sea por antigüedad o falta de mantenimiento. Luego esta información puede ser utilizada por las autoridades locales para tomar medidas de prevención, mitigación y realizar una estimación de riesgo de colapso de estas viviendas, no solo por la antigüedad o falta de mantenimiento de la infraestructura, sino también, ante la probabilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud.

### 4.3 CONCEPCIÓN

La zona urbana de Concepción, si bien no presenta problemas de eventos naturales potencialmente peligrosos, tiene problemas con el drenaje pluvial en épocas de lluvias intensas, que inundan las calles y avenidas del distrito. Una de las razones de este problema es que el sistema de drenaje que posee actualmente fue creado años atrás para una población y área urbana determinada, sin embargo ante el crecimiento de la población y el desarrollo del distrito este sistema antiguo colapsa al sobrepasar el nivel máximo de agua para el cual fue creado inicialmente. Otro factor a considerar es la falta de mantenimiento en la limpieza de los canales de agua de las calles.



Figura 9. La zona urbana del distrito de Concepción tiene viviendas que podrían encontrarse en riesgo de colapso por la antigüedad de sus infraestructuras.

## 5. DISCUSIÓN

Se decidió adoptar la metodología del Manual básico para la estimación del riesgo y del Programa de Ciudades Sostenibles por su enfoque local y que se adaptan a la realidad de cada uno de los centros poblados en estudio. En cambio la metodología del HAZUS (FEMA, 2011) prioriza evaluar huracanes, inundaciones y terremotos con un enfoque regional y no local; y la metodología del AVC (Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2006) a pesar de tener un enfoque local e integral prioriza el aspecto social y mejorar la capacidad deficiente identificada, evaluando un nivel de vulnerabilidad sin considerar en algunos casos el análisis del entorno físico.

A la fecha, aun se tiene pendiente la evaluación de la infraestructura física de cada centro poblado; sin embargo, se discute la escala de trabajo para el levantamiento de información, si se realiza a nivel de lote o manzana. La escasez de información cartográfica de las zonas rurales limita la investigación a considerar el análisis a nivel de manzana.

## 6. CONCLUSIONES PRELIMINARES

Lo referido a la primera evaluación del estudio se determina básicamente que la vulnerabilidad física de los centros poblados evaluados está relacionado al lugar donde la población se encuentra asentada (en las riberas del río) lo que aumenta el nivel de vulnerabilidad ante inundaciones y/o desborde del río para aquellas viviendas que se encuentran aledañas al río ocasionando daños materiales e inclusive pérdidas de pequeñas áreas de cultivo.

Las principales variables en el desarrollo de la investigación es la infraestructura física y las características geotécnicas del suelo sobre el cual la población se encuentra asentada. Sin embargo, la evaluación del entorno físico es un factor importante a considerar puesto que el proceso geológico se expresa en las geoformas y su caracterización es vital para obtener una adecuada caracterización morfológica de la zona de estudio.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú en convenio con el International Development Research Centre por brindarme la oportunidad de desarrollar mi tesis de investigación.

Al Mag. Juan Gómez y Mag. Alejandra Martínez, por estar a cargo de mi capacitación y desarrollo profesional.

A Franklin Blanco por el apoyo en la parte de geotecnia de la investigación y a Luis Ocampo y Marco Moreno por el apoyo en la elaboración de calicatas y a todos aquellos que de alguna manera colaboran con el desarrollo de la investigación en curso.

---

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- Dávila Burga, J., 1999. Diccionario Geológico. Tercera Edición. INGEMMET. Lima-Perú.
- Federación Internacional de Sociedades de la Cruz Roja y de la Media Luna Roja, 2006. Introducción al Análisis de vulnerabilidad y capacidad. Ginebra-Suiza.
- Federal Emergency Management Agency – FEMA. 2011. HAZUS. FEMA's Methodology for Estimating Potential Losses from Disasters [en línea]. [Fecha de consulta: 21 enero 2011]. Disponible en: <http://www.fema.gov/plan/prevent/hazus/index.shtm>
- Instituto Geofísico del Perú - IGP, 2010. Cambio Climático en la Cuenca del Río Mantaro. Lima-Perú. pág. 241-248.
- Instituto Geofísico del Perú, 2005. Vulnerabilidad actual y futura ante el cambio climático y medidas de adaptación en la cuenca del Río Mantaro. Tomo III. Evaluación Local Integrada de Cambio Climático para la Cuenca del Río Mantaro. Editorial CONAM. Lima-Perú.
- Instituto Nacional de Defensa Civil - INDECI, 2006. Manual básico para la estimación del riesgo. Lima - Perú. 75 pág.
- Instituto Nacional de Defensa Civil, INDECI, 2008 . Programa de Ciudades Sostenibles – Primera Etapa (PCS-1E). Lima-Perú.



## CARACTERIZACIÓN DEL EFECTO DEL INCREMENTO DE LAS PRECIPITACIONES PLUVIALES SOBRE LA PRESENCIA DE *YERSINIA RUCKERI* EN UNA PISCIGRANJA DEL VALLE DEL MANTARO

### CHARACTERIZATION OF THE EFFECT OF INCREASED RAINFALL ON THE PREVALENCE OF *YERSINIA RUCKERI* IN A FISH FARM IN THE MANTARO VALLEY

**Jahir Anicama Díaz**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Facultad de Medicina Veterinaria  
jahir.anicama@gmail.com

**Asesores: M.Sc. M.V. Nieves Sandoval Chaupe**  
Facultad de Medicina Veterinaria, UNMSM

**Ph.D. Yamina Silva Vidal**  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

En el presente trabajo se hace una descripción sobre la presencia de la bacteria *Yersinia ruckeri* en truchas arcoiris. El estudio se realizó en una piscigranja ubicada en el valle del Mantaro, Junín. El valle del Mantaro presenta una fuerte estacionalidad del clima con dos épocas bien marcadas: época seca y época de lluvias. La evaluación se realizó en los meses de agosto y setiembre del 2010 que marca el inicio de la temporada de lluvias y a fines de octubre cuando las lluvias están mejor establecidas. Para el diagnóstico se utilizaron tres metodologías: análisis histopatológicos, bacteriológico y molecular. Para el caso

#### Abstract

This paper is a description of the presence of the bacterium *Yersinia ruckeri* in rainbow trout. The study was performed on a fish farm located in the Mantaro Valley, Junín. The Mantaro Valley has a strong seasonal climate with two well defined seasons: dry season and rainy season. The evaluation was conducted in August and September 2010 that marked the beginning of the rainy season and in late October when the rains are better established. For diagnosis using three methodologies: histopathology, and molecular bacteriology. In the case of the

de las lesiones histopatológicas, se han encontrado lesiones por procesos adaptativos o degenerativos que refleja la ausencia de un proceso septicémico de *Yersinia ruckeri*. El diagnóstico bacteriológico no refleja un aumento de *Yersinia ruckeri*; pero, si se observó un aumento de la población de bacterias GRAM-negativas en el intestino delgado. La técnica de PCR (Reacción en Cadena de la Polimerasa, por sus siglas en inglés) ofreció una confirmación de las colonias aisladas sugerentes a la familia *Yersinia*.

**Palabras clave:** Variabilidad climática, peces, truchas, enfermedades, *Yersinia ruckeri*.

histopathological lesions, lesions have been found for adaptive or degenerative processes reflecting the absence of a septic process of *Yersinia ruckeri*. The bacteriological diagnosis does not reflect an increase of *Yersinia ruckeri*, but if there was an increase of the population of Gram-negative bacteria in the small intestine. The PCR reaction offered a confirmation of the isolated colonies that suggest a *Yersinia* family.

**Keywords:** climate variability, fish, diseases, *Yersinia ruckeri*.

## 1. INTRODUCCIÓN

La frecuencia y la severidad de las enfermedades acuícolas dependen de los factores ambientales. Además se debe considerar los factores biológicos como causante de las enfermedades; factores tales como la edad, la genética, la nutrición y el estrés (Rakocy, 2005). Los principales elementos del cambio climático que pueden impactar potencialmente a la acuicultura son el nivel del mar y de la temperatura, cambios en el comportamiento de las lluvias, los eventos climáticos extremos y el estrés hídrico (De Silva y Soto, 2009). Además se ha identificado que los ecosistemas más vulnerables al cambio climático para la acuicultura son los pequeños ríos y lagos, zonas de alta temperatura y cambios frecuentes en las precipitaciones (Sharp, 2003).

Las precipitaciones en el valle del Mantaro tienen un ciclo anual caracterizado por una temporada lluviosa bien marcada durante los meses de enero-marzo, una temporada seca marcada entre mayo y agosto y un inicio de la temporada de lluvias gradual, lenta y variable, que ocurre entre los meses de setiembre y diciembre (IGP, 2005). El ciclo lluvioso se divide en tres partes: La temporada seca de mediados de abril a agosto; la temporada de inicio de las lluvias de setiembre a diciembre y la temporada de lluvias de enero a marzo (IGP, 2005).

El estado de salud de los peces se establece una fuerte relación con la geomorfología, limnología e hidrología del medio acuático en donde se encuentran los animales (Hedrick, 1998).

Yersiniosis o la enfermedad de la boca roja entérica, es una seria enfermedad infecciosa en el cultivo de truchas, la cual causa muchos problemas económicos (Coquet et al., 2002; Avci & Serap, 2005; Rakocy, 2005). *Yersinia ruckeri* es

el patógeno que se manifiesta de una manera más patente a partir de variaciones de factores ambientales. Si ya se ha manifestado la enfermedad en el lugar de estudio y acontece un factor de estrés ambiental, la sintomatología o la mortalidad de los peces aparece a los 3-5 días post-infección (Avci & Serap, 2005). El agente bacteriano de nuestro estudio tiene la capacidad de generar biofilms para su supervivencia en medios agrestes. Se llegó a determinar que los biofilms de *Yersinia ruckeri* presentaban alguna variabilidad estacionalidad en el número de células de *Yersinia ruckeri* en muestras de sedimento y agua (Coquet et al, 2002).

## 2. DESARROLLO

### 2.1 METODOLOGÍA DE TRABAJO

#### 2.1.1. Lugar de muestreo

La zona de estudio del trabajo fue la piscigranja "El Edén", ubicada en el departamento de Junín, provincia de Huancayo, distrito de Ingenio, subcuena del río Achamayo. Esta piscigranja pertenece a la Asociación de Piscicultores de la Región del Centro (APIREC).

#### 2.1.2. Tamaño de muestra

Para el caso de *Yersinia ruckeri* puede presentar animales portadores que actúan como diseminadores de forma latente, pero lenta la enfermedad (Coquet et al., 2002; Avci & Serap, 2005; Rakocy, 2005). Según la OIE (2009) una enfermedad de transmisión lenta presenta una prevalencia entre 1-5% colectándose

sesenta (60) animales por muestreo. Para el caso de la piscigranja de estudio se ha determinado la presencia de *Yersinia ruckeri* (N. Sandoval, comunicación personal). Para el estudio se tomaron un total de 180 animales divididos equitativamente para cada uno de los tres días muestreados. El esquema de la periodicidad del muestreo fue el siguiente:

- Primer muestreo: último día del mes de agosto.
- Segundo muestreo: último día del mes de setiembre.
- Tercer muestreo: siete (07) días después de iniciado la época de lluvias. Este muestreo fue regido a partir de la alerta meteorológica emitida por el SENAMHI el 28 de octubre del 2010.

### 2.1.3. Parámetros de inclusión

Muestra biológica

Cada pez recolectado cumplió con las características establecidas en la Tabla 1.

**TABLA 1.** Principales características de los peces para la toma de muestras.

Parámetros biométricos	El pez debe encontrarse dentro de su ciclo de vida en el estadio juvenil (10-18 cm y 20-80 gr).
Procedencia de los individuos	Todas las muestras deben de provenir de una misma población de un estanque.
Recolección de los individuos	Se aplicará un muestreo aleatorio simple de uno de los estanques de truchas juveniles. Dentro de la población del estanque

Periodo de muestreo

- Temporada de seca: se tomó el último día del mes para la fecha de muestreo.
- Temporada de inicio de lluvias – I: tomó el último día del mes para la fecha de muestreo
- Temporada de inicio de lluvias – II: El día de muestreo se realizó siete (07) días después de iniciada la primera lluvia de la temporada, concordando con las observaciones en relación a la *Y. Ruckeri* expuestos (Avci y Serap, 2005).

- Para la evaluación de los datos de precipitación se tomaron tres periodos previos al día del muestreo, que se detallan en la Tabla 2.

**TABLA 2.** Periodos de evaluación de de la precipitación.

Periodos de evaluación de la precipitación
Cuatro (04) días antes del día del muestreo de cada periodo de muestreo.
Siete (07) días antes del día del muestreo de cada periodo de muestreo.
Quince (15) días antes del muestreo de cada periodo de muestreo.

## 2.2 METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN Y ANÁLISIS DE LOS DATOS

### a) Datos biológicos

Todas las muestras fueron evaluadas por medio de un diagnóstico histopatológico, cultivo bacteriano y PCR. Además se realizará una evaluación Físico-Química del agua. A continuación, pasaremos a explicar cada uno de ellos:

**Diagnóstico histopatológico:** Se tomaron 60 animales por día de muestreo en donde se recolectaron muestras de branquias, parte posterior de intestino delgado, riñón para determinar la presencia de una bacteria Gram-negativa en la muestra. Además, se verificaron que si las lesiones son compatibles por una infección de *Yersinia Ruckeri* (Avci y Serap, 2005)

**Diagnóstico bacteriológico:** Se tomaron 60 animales por día de muestreo donde se recolectaron muestras de la parte posterior de intestino, bazo, riñón, agua y sedimento. El medio de cultivo fue utilizado medio Triptacasa Soya - TSA (Coquet *et al.*, 2002). Las muestras cultivadas positivas tenían que presentar una colonia de apariencia cremosa, circular de color blanquecina. Luego estas colonias fueron evaluadas por medio de una batería de pruebas bioquímicas que comprenden: Agar LIA, Agar SIM, Rojo de metilo, Oxidasa, Catalasa, Indol, Ornitina (Ewing *et al.*, 1978)

Los dos diagnósticos anteriores fueron ejecutados por la Sección de Ictiopatología del Laboratorio de Histología, Patología y Embriología de la FMV-UNMSM.

**Diagnóstico molecular:** A partir de las muestras positivas encontradas en los cultivos bacterianos, se tomaron las colonias y/o tejidos para determinar la

presencia de ADN de *Yersinia ruckeri* por medio de la prueba de PCR en tiempo real estandarizada por el Laboratorio de Microbiología y Parasitología de la FMV-UNMSM.

**Evaluación físico-química del agua:** Se tomó una muestra de agua del estanque en donde se encuentra la población de truchas evaluadas el día en que se realizaron los muestreos. Esta prueba fue realizada por el Laboratorio de Servicios Analíticos Generales (SAG). En ella se evaluaron parámetros como pH, amoníaco, oxígeno disuelto, nitritos, nitratos, nitrógeno amoniacal y sólidos suspendidos totales.

#### b) Datos meteorológicos

Los datos meteorológicos fueron obtenidos de la estación de Ingenio perteneciente al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI).

En primer lugar se determinó la variación de las colonias bacterianas Gram-negativas en el intestino delgado, bazo y riñón de *Yersinia ruckeri*, las cuales son las que causan la mayoría de enfermedades en animales acuáticos. La variación en la presencia de este tipo de bacterias se muestra en la Figura 1.

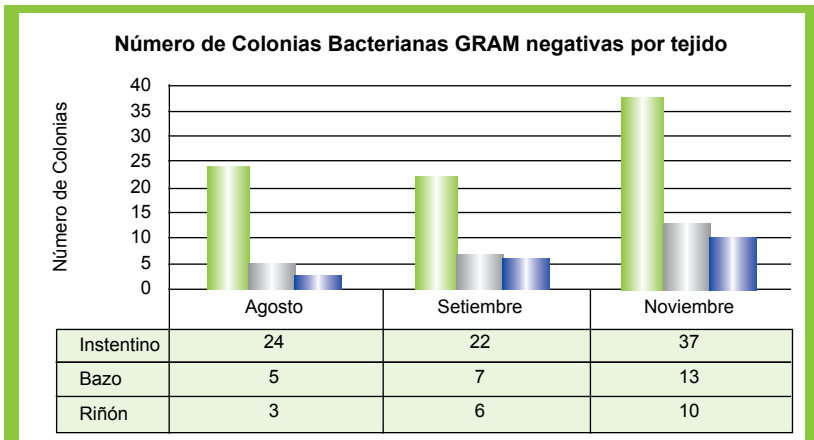


Figura 1. Número de colonias bacterianas Gram negativos por tejido

### 3. RESULTADOS

#### 3.1 DIAGNÓSTICO HISTOPATOLÓGICO

a) Riñón: Se ha encontrado una elevación del número de procesos degenerativos en el mes de noviembre en comparación de los meses de setiembre y agosto.

Procesos de crecimiento adaptativo también se manifestaron de una manera mucho más patente en el mes de noviembre.

Los cuerpos melanomacrófagos se presentan en mayor presencia en los casos de crónicos. Para el mes de noviembre se ha manifestado un mayor número de este tipo de células en el tejido renal.

b) Branquias: Los procesos inflamatorios se manifiesta con un mayor grado en el mes de noviembre.

c) Intestino delgado: La presencia de células granulo eosinofílicas (CGE) ha aumentado en el mes de noviembre en comparación a los meses de agosto y setiembre. Los procesos degenerativos han aumentado de una forma progresiva desde el mes de agosto hasta noviembre

#### 3.2 DIAGNÓSTICO BACTERIOLÓGICO

Para el caso del diagnóstico de las colonias bacterianas se han determinado los siguientes puntos:

De las colonias aisladas se determinó, por medio de la batería de las pruebas bioquímicas, qué colonias eran sugerentes para el caso del género de *Yersinia*.

#### 3.3 DIAGNÓSTICO MOLECULAR

Para el caso del diagnóstico molecular no se ha encontrado un aumento significativo de la presencia de *Yersinia ruckeri* en relación con los meses de mayores y menores precipitaciones.

#### 3.4 CARACTERIZACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS DEL AGUA

La población de peces evaluada en un inicio se encontraba en el estanque n°18, a medida que avanzaba el tiempo, esta población consecutivamente era trasladada a otros estanques. Por lo que se evaluaron las características del agua en los respectivos estanques de donde se obtuvieron los peces. Las características del agua obtenidos se presentan en la Tabla 3.

**TABLA 3.** Características del agua evaluados entre los meses de estudio (agosto, setiembre y noviembre).

Valores evaluados	Ago.	Set.1	Set.2	Nov.1	Nov.2
Fosfatos	<0.03	<0.03	<0.03	0.44	0.44
Nitratos	0.2	<0.002	<0.002	0.0005	<0.0002
Nitritos	<0.002	0.16	0.18	0.16	0.15
Nitrógeno Amoniacal	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0	<1.0
Oxígeno Disuelto	6.9	7.16	6.34	6.54	7.93
pH	7.01	7.54	7.3	8	8.68
Sólidos suspendidos	14.9	<3.00	<3.00	19	12.2

### 3.5 CARACTERIZACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES

En nuestro estudio tomamos los datos meteorológicos de la estación Ingenio.

Para el caso de las precipitaciones no se ha observado diferencia entre los meses de la colección de datos.

## 4. DISCUSIÓN

En relación a las lesiones histopatológicas, se obtuvo para el caso del hígado una mayor presencia de lesiones degenerativas y adaptativas. Este tipo de reacción del tejido se puede deber ante una exposición de un medio acuático de mayores condiciones para el estrés.

En el tejido branquial se denota un aumento sustancial para lesiones de tipo inflamatorias, en paralelo con las lesiones adaptativas, el cual se presenta de una manera constante en los tres muestreos. El aumento de los procesos inflamatorios se debe a la diseminación de la presencia latente de *Yersinia ruckeri* en los peces.

Para el caso del hígado no se ha encontrado una lesión relacionada a un tipo de padecimiento infeccioso. Los tipos de lesiones encontrados están más relacionadas con alteraciones ante el manejo en relación a la nutrición de la piscigranja, la cual debe tener una alta cantidad de proteínas. En el estómago el mayor aumento de tipo lesión fue caracterizado por el aumento de las células granulares eosinofílicas.

La presencia de este tipo de células que forman parte del sistema inmune de los peces, se relacionan con un aumento de la presencia de agentes parasitológicos. En el presente

trabajo, no se contempló el análisis; pero, tal vez la patencia de este tipo de organismos se debe al aumento de un medio acuático con mayores parámetros que condicionen el aumento de los parásitos. Para el intestino delgado los procesos degenerativos y de presencia de células granulares eosinofílicas (CGE) mancomunaron las lesiones en el tejido. Como el caso del estómago, el aumento de CGE se debe al aumento de parásitos; en cambio, con los procesos degenerativos tengo una correlación tanto con la presencia de los parásitos sino también de la manifestación de la bacteria *Yersinia ruckeri*.

Para el caso del diagnóstico se ha encontrado una presencia constante de *Yersinia ruckeri*. Las colonias confirmadas mediante la prueba de molecular, presentan los mismos resultados que las colonias sugerentes a *Yersinia ruckeri*.

## 5. CONCLUSIONES

Para las lesiones encontradas en los resultados histopatológicos, bacteriológicos y molecular se pueden mencionar que el proceso de infección para el caso de *Yersinia ruckeri* se encuentra de forma latente evidenciando cuadros crónicos o sub-agudos.

## 6. RECOMENDACIONES

Para el trabajo presentado se debería realizar un análisis mediante un programa estadístico para determinar los tipos de diagnóstico que se utilizaron para determinar la presencia de *Yersinia ruckeri* y las variables meteorológicas obtenidas de la estación de Ingenio: precipitaciones, temperatura mínima, temperatura máxima y rango térmico.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme las facilidades para desarrollar mi tema de tesis. A la Dra. Yamina Silva y a la Dra. Nieves Sandoval, por estar siempre pendientes de nuestra labor. Al grupo de Sección de Ictiopatología de la FMV-UNMSM: MV Randolph Baca, MV Gina Castro y MV Jefferson Yunis, como así también a la alumnas de pregrado Andrea Calderón e Isabel Guzmán.

climático. Fondo editorial del CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

1. Coquet L, Cossette L, Petit F, Junter G, Jounenne T, 2002. Occurrence and phenotypic characterization of *Yersinia ruckeri* strains with biofilm-forming rapacity in a rainbow trout farm. Appl. Environ. Microbiol. Vol. 68, No. 2 p. 470-475.
2. De Silva S, Soto D, 2009. Climate change and aquaculture: potential impacts, adaptation and mitigation. FAO Fisheries and Aquaculture Technical Paper, 530:151-212.
3. Ewing W, Ross A, Brenner J, Fanning G., 1978. *Yersinia ruckeri* sp. nov., the Redmouth (RM) Bacterium. Int. J. Syst. Bactehol 28: 37-44.
4. Avci H, Serap S, 2005. Pathological Findings in Rainbow Trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum, 1792) Experimentally Infected with *Yersinia ruckeri*. Turk J Vet Anim Sci 29: 1321-1328.
5. Hedrick P., 1998. Relationships of the host, pathogen, and environment: implications for diseases of cultured and wild fish populations. J Aqua Anim Health 10:107-111.
6. [IGP] Instituto Geofísico del Perú, 2005. Diagnóstico de la Cuenca del Mantaro bajo la visión del cambio climático. Fondo editorial del CONAM - Consejo Nacional del Ambiente.
7. [OIE] Organización Mundial de Sanidad Animal. Código Sanitario para los Animales Acuáticos (2009). Título 1. Capítulo 1.4 Vigilancia de sanidad de los animales acuáticos.
8. [OIE] Organización Mundial de Sanidad Animal. Collaborating Centre for Information on Aquatic Diseases (2009). <http://www.collabcen.net/> ; <http://www.collabcen.net/idaad/species.aspx?id=272>
9. [OIE] Organización Mundial de Sanidad Animal. Manual de Pruebas de Diagnóstico para los Animales Acuáticos, 2006. Sección 2.1. Enfermedades de los peces. Capítulo I.1. (Información general traducción en español de la 5ª edición). Pag 73-87.
10. Rakocy, J. E., 2005. Programa de información de especies acuáticas. Text by In: FAO Fisheries and Aquaculture Department [online]. Rome. Updated 18 February 2005. [http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus\\_mykiss/es](http://www.fao.org/fishery/culturedspecies/Oncorhynchus_mykiss/es)
11. Rubio M, Cabrera A, Coffigny R, Aguilera Y. Bacterial variability in during the rainy and dry seasons cultured in freshwater environment in different regions of Cuba. 2010. Revista electrónica de Veterinaria. Volumen 11:1695-7504 [Internet], [Julio, 2010]. Disponible en: <http://www.veterinaria.org/revistas/redvet/n070710/071019.pdf>
12. [SENAMHI] Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. Alertas Meteorológicas. Lima: [Internet], [15 diciembre 2010]. Disponible en: <http://www.senamhi.gob.pe>
13. Sharp, G.D. 2003. Future climatic change and regional fisheries: a collaborative analysis. Rome. FAO. FAO Fisheries Technical Paper, N°. 452: 75 pp.





## PELIGRO DE BAJAS TEMPERATURAS Y SU IMPACTO EN LA SALUD INFANTIL DE LA SUBCUENCA DEL RÍO ACHAMAYO

### LOW AIR TEMPERATURES AND ITS IMPACTS ON CHILDREN'S HEALTH IN THE ACHAMAYO RIVER SUB-BASIN

**Lidia Enciso Condorcuya**

Universidad Nacional Mayor de San Marcos  
Facultad de Ciencias Sociales  
geografia\_lidia@yahoo.es

Asesora: Mg. Grace L. Trasmonte Soto  
Área de Variabilidad y Cambio Climático

#### Resumen

El presente trabajo se enfoca en el análisis del peligro térmico (bajas temperaturas y rangos térmicos) que influye en la ocurrencia de las infecciones respiratorias agudas (IRAs), que afectan a los niños menores de cinco años en los distritos de Quilcas, Quichuay, Matahuasi, Nueve de Julio e Ingenio ubicados en la subcuenca del río Achamayo. Al realizar el análisis se obtuvo que los rangos térmicos y las temperaturas mínimas son importantes factores de riesgo en el desarrollo de las infecciones respiratorias agudas sobre todo en invierno, a inicios del mes de junio (semana epidemiológica N°23) hasta el mes de agosto (semana epidemiológica N°33), donde las temperaturas mínimas presentan valores muy bajos entre 1°C y 0°C.

#### Abstract

This study focuses on the analysis on thermal hazard analysis (low temperatures and thermal ranges) that influences the occurrence of the Acute respiratory infections (ARIs), which affect to the five-year-old minor children in Quilcas, Quichuay, Matahuasi, Nueve de Julio and Ingenio districts located in the subbasin of the river Achamayo. Realizing this analysis there was obtained that the thermal ranges and minimal temperatures are important factors of risk in the development of the Acute respiratory infections, especially in winter from the beginning of June (epidemiological week N°23) until August (epidemiological week N°33) where the minimal temperatures present very low values between 1°C

Así mismo, los rangos térmicos presentan valores amplios de 18°C a 20°C en este periodo del año, registrándose casos de IRAs entre 8 y 9 casos en promedio por semana epidemiológica. También se realiza el análisis de la vulnerabilidad social como: la pobreza, la desnutrición y la tasa de analfabetismo en mujeres, siendo todas ellas importantes por la influencia que tienen en el bienestar del niño. En función del análisis de todas las variables antes mencionadas se realizara la estimación del riesgo en la salud de los infantes debido a las bajas temperaturas.

**Palabras claves:** [Infecciones Respiratorias Agudas -IRAs, rangos térmicos, temperaturas bajas, IRAs en niños]

and 0°C, while thermal ranges present wide values from 18°C to 20°C in this period of the year, being registered between 8 and 9 cases in average of ARIs for epidemiological week. Also was performed the analysis of the social vulnerability such as: poverty, malnutrition and the rate of illiteracy among women, which are all important for the influence they have in the welfare of children. Depending on the analysis of all the variables before mentioned, will be estimated the risk assessment on the health of the infants due to low temperatures.

**Keywords:** [Acute respiratory infections, thermal ranges, low temperatures, ARIs in children]

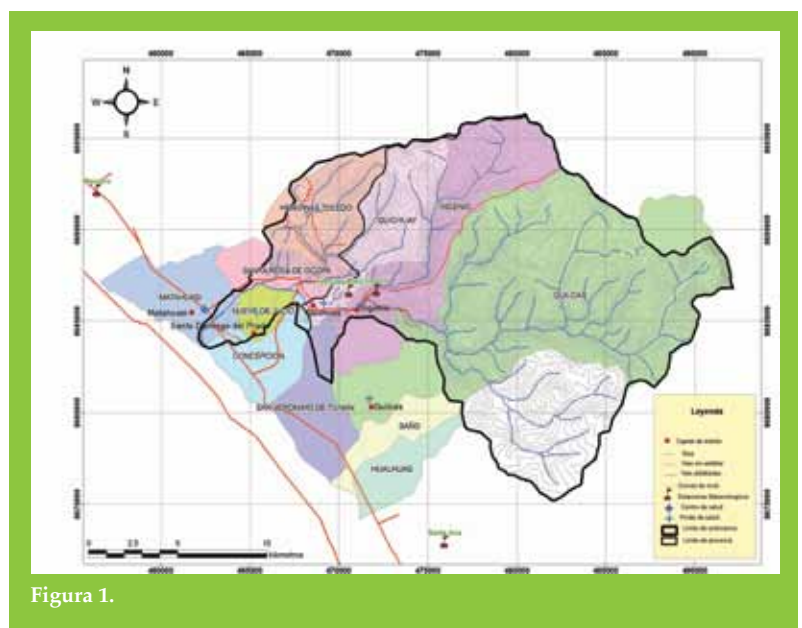
## 1. INTRODUCCIÓN

Según la percepción de la población en la cuenca del río Mantaro (IGP, 2005) los cambios en la temperatura del aire inciden en la presencia de IRAs, siendo los grupos vulnerables niños y ancianos. Las bajas temperaturas o heladas, son fenómenos recurrentes en las zonas andinas del departamento de Junín, todos los años en la época de frío (invierno) las temperaturas comienzan a descender a nivel cerca a cero grados afectando las actividades agrícolas, pecuarias y la salud de la población sobre todo de los infantes, presentando una estacionalidad marcada entre los meses de abril a septiembre, por ello el presente estudio tiene como finalidad el establecer la influencia de los factores ambientales térmicos (temperaturas mínimas y rangos térmicos) y sociales (pobreza, tasa de analfabetismo, desnutrición), en el desarrollo de las infecciones respiratorias agudas, el cual se esta desarrollando como parte del tema de tesis sobre estimación de riesgos a la salud debido a bajas temperaturas. Trabajo realizado en el marco del 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" (Maremex-Mantaro).

## 2. UBICACIÓN

El valle del río Mantaro se encuentra ubicado en la sierra central del Perú. La subcuenca del río Achamayo (Figura 1) se encuentra entre los paralelos

11°59'2,6" y 11°47'35" de latitud sur y los meridianos 75°4'20,3" y 75°20'52,3" longitud oeste. La subcuenca comprende un área de 306 052 km<sup>2</sup>, teniendo como ámbito geográfico las provincias de Huancayo y Concepción, donde se ubican los distritos evaluados en tres zonas de la subcuenca, según su altitud: zona alta correspondiente al distrito de Quilcas con altitudes que abarcan desde 3 300 a 4 000 msnm, zona media los distritos de Ingenio (3 478 msnm) y Quichuay (3 432 msnm), y por último en la zona baja distritos de Nueve de Julio (3 226 msnm) y Matahuasi (3 262 msnm).



### 3. METODOLOGÍA

Según el manual básico para la estimación del riesgo del INDECI (2006), para cuantificar el riesgo dentro de un ámbito geográfico se debe considerar la identificación de los peligros (naturales y/o tecnológicos) que impactan en la zona y el análisis de las vulnerabilidades de la población, que en este caso abarcará la subcuenca del río Achamayo. En el presente análisis se realizó:

- Identificación y caracterización del peligro o amenaza de temperaturas bajas y cambios bruscos de temperaturas, que afectan a la salud infantil en el área de estudio.
- Análisis y evaluación de la vulnerabilidad social y sanitaria (según metodología dada por el MINSA), tomando en cuenta variables sociales como tasa de desnutrición, condición de pobreza (porcentaje de población sin servicios básicos), tasa de analfabetismo en mujeres así como la tasa de infecciones respiratorias agudas, mediante criterios de priorización.

### 4. DATOS

Se contó con:

- Datos meteorológicos diarios de temperaturas mínimas y rangos térmicos de las estaciones de Huayao, Santa Ana e Ingenio para el periodo 2001-2009.
- Datos de salud obtenidos de la Dirección Regional de Salud-Junín, sobre Infecciones respiratorias agudas en niños menores de cinco años, para el periodo 2001-2009 por semana epidemiológica.

- Datos sobre la vulnerabilidad social, como: condición de pobreza para los distritos evaluados, obtenidos del mapa de pobreza provincial y distrital del 2007 realizado por el INEI. Tasa de analfabetismo en mujeres, desnutrición crónica en niños y población menor de cinco años, estos últimos datos obtenidos del Censo de población y vivienda del 2005 del INEI y mapa de vulnerabilidad a la desnutrición crónica infantil en el Perú realizado por el PMA (2007).

### 5. RESULTADOS PRELIMINARES

#### Análisis del peligro en la subcuenca del Achamayo y su impacto en la salud de la población infantil

##### • Temperaturas y rangos térmicos

Existe una relación inversa entre los rangos térmicos y las temperaturas mínimas semanales en el valle del río Mantaro (Figura 2), observándose durante el año tres periodos: El primero cálido, que se presenta en los primeros meses del año entre enero (desde la semana epidemiológica N°1) hasta mediados de abril en la semana N°15, caracterizado por temperaturas mínimas semanales entre 6°C a 7°C y rango térmico en 12,8°C en promedio. El segundo periodo, que podemos llamar frío, se ubica entre los meses de abril (mediados) desde la semana N°15 hasta mediados de septiembre, en la semana N°37, caracterizado por temperaturas mínimas entre 1°C y 0°C y el rango térmico de 19°C en promedio y el tercer periodo de incremento de temperaturas entre la quincena de septiembre hasta fines de año (desde la semana N°37 hasta la semana N°52), caracterizado por temperaturas mínimas entre 4°C y 7°C y rango térmico de 15°C en promedio. Véase Figura 2.

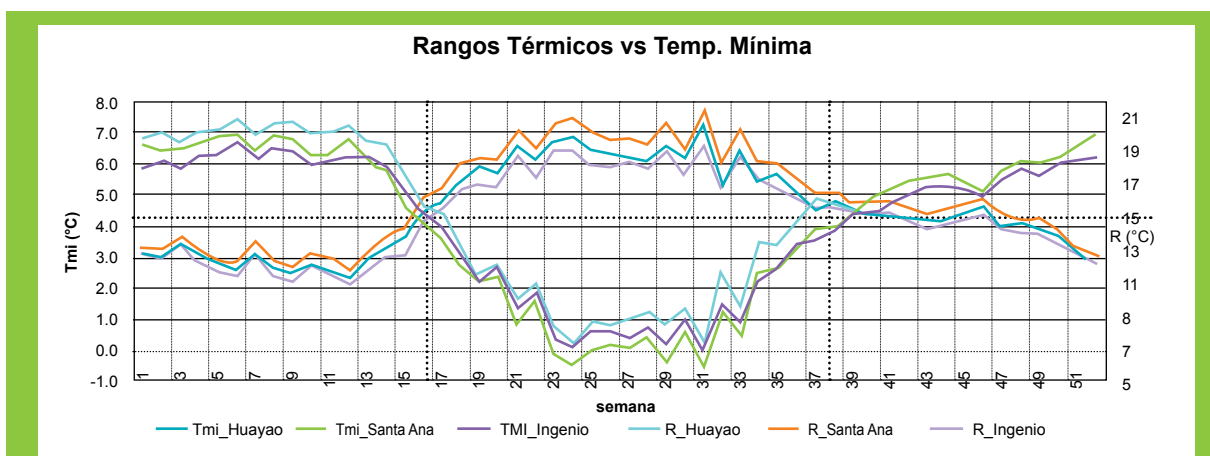


Figura 2. Relación entre los rangos térmicos y las temperaturas mínimas de las estaciones meteorológicas de Huayao, Santa Ana e Ingenio. Periodo: 2001- 2009

• **Relación entre temperaturas mínimas y casos de IRAs**

La Figura 3 muestra una clara relación inversa entre el número promedio de casos de IRAs en los cinco distritos evaluados y las temperaturas mínimas de las estaciones de Huayao, Santa Ana e Ingenio. Se observa que el número de casos de IRAs registrados desde enero hasta abril (semanas epidemiológicas del 1 al 15), se dan entre 4 y 5 casos de IRAs en promedio cuando las temperaturas están entre 6°C y 7°C, mientras que cuando las temperaturas bajan hasta 1°C ó 0°C el número de casos aumenta significativamente casi a 8 casos en promedio por semana epidemiológica, desde la semana N°19 (10 al 13 de mayo) hasta la semana N°37 (10 al 16 de septiembre). En los últimos meses del año desde la semana epidemiológica N°37 (10 al 16 de septiembre) hasta la semana N°51 (17 al 23 de diciembre), se presenta mayormente entre 6 y 7 casos de IRAs por semana epidemiológica. (Figura 3).

• **Relación entre rangos térmicos y casos de IRAs**

La Figura 4 muestra una relación directa entre los casos de IRAs y los rangos térmicos de las estaciones de Huayao, Santa Ana e Ingenio, presentando también tres periodos diferenciados, el primero a inicios del año desde la semana epidemiológica N°1 (1 al 7 enero) hasta la semana N°17 (23 al 29 de abril) donde los rangos térmicos son bajos con valores de 11,5°C hasta 13,5°C aproximadamente presentándose en este periodo de 4 a 5 casos de IRAs, mientras que cuando los rangos térmicos se incrementan con valores de 18°C a 20°C el número de casos de IRAs aumenta llegando entre 7 y 9 casos por semana, esto desde la semana epidemiológica N°21 (21 al 27 de mayo) hasta la semana N°33 (13 al 19 de agosto), después de la semana 37 desciende con rangos térmicos entre 16°C y 12°C a fines del año cuando el número de casos disminuye a 6 y 7 casos en promedio desde la semana epidemiológica N°37 (10 al 16 septiembre) hasta la semana N°51 (17 al 23 de diciembre), figura 4).

**Análisis y caracterización de la vulnerabilidad social en los distritos evaluados**

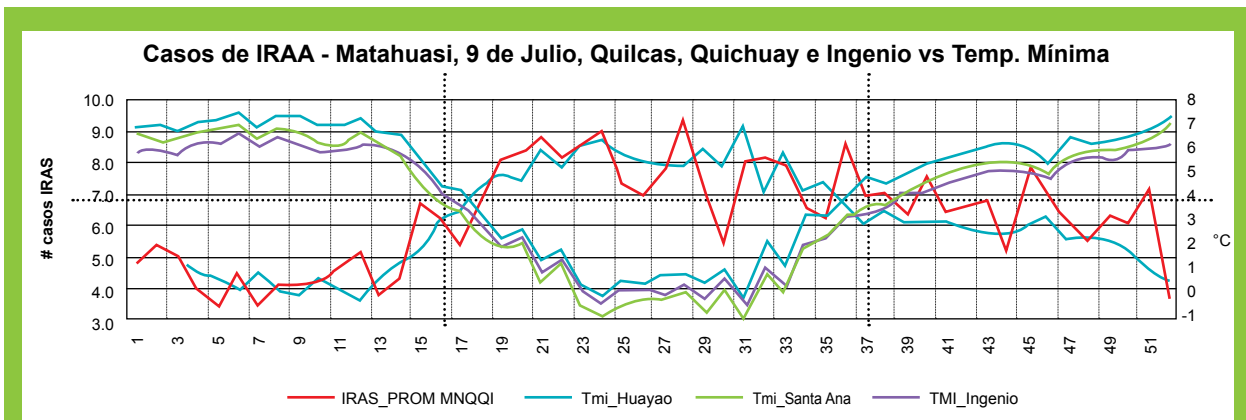


Figura 3. Relación entre el número promedio de casos de IRAs (línea en color rojo) en niños menores a 5 años, y las temperaturas mínimas en el valle del Mantaro por semana epidemiológica. Periodo: 2001- 2009.

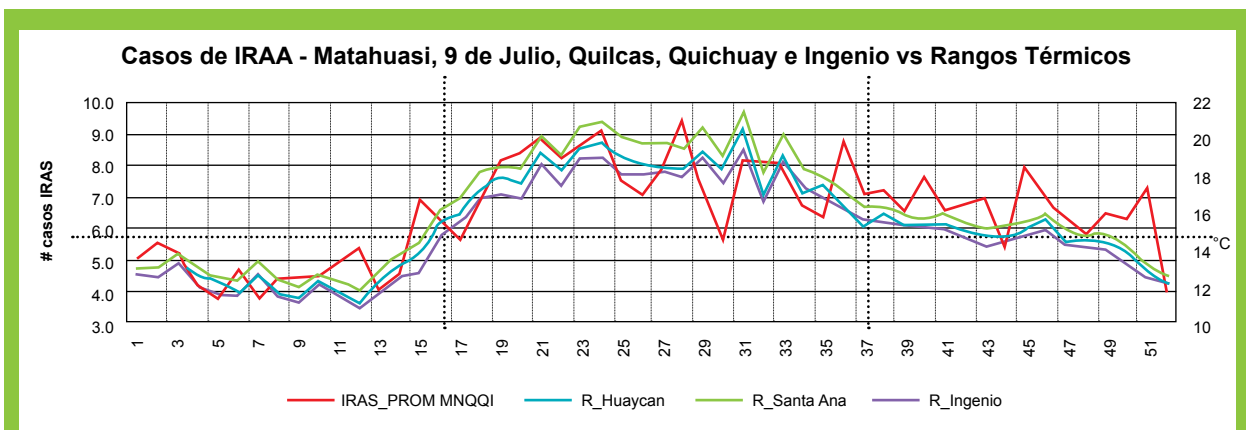


Figura 4. Relación entre casos de IRAs (línea en color rojo) en niños menores a 5 años y rangos térmicos en el valle del Mantaro por semana epidemiológica. Periodo: 2001- 2009.

• **Condición de pobreza**

En el caso del distrito de Quilcas del total de su población 4 057 habitantes el 60% es pobre, de los cuales el 17,6% se encuentra dentro de la condición de extrema pobreza, el 42,4% se encuentran en pobreza no extrema, el 40% no son pobres y dentro del ranking de los distritos más pobres se encuentra en el puesto 949 a nivel nacional.

Mientras que para el distrito de Quichuay de un total de 1949 hab. el 53,2% son pobres. De dicho total el 19,9% son de extrema pobreza mientras que 33,3% son de pobreza no extrema, la población no pobre representa el 46,8% y dentro del ranking de distritos más pobres se ubica en el puesto 1 111. En el distrito de Ingenio el 54,5% de su población son pobres, representando el 22,0% de pobres extremos y 32,6% con pobreza no extrema, el 45,5% no son pobres, todo ello de un total de 2 600 personas, ubicándose dentro del ranking de los distritos pobres en el puesto 1 081.

En el distrito de Matahuasi el 51,3% de la población es pobre de los cuales 15,7% se encuentran en extrema pobreza y el 35,7% son pobres no extremos, mientras que el 48,7% de la población no son pobres esto de un total de población de 5 543 y se ubica en el puesto número 1 146 dentro del ranking.

Dentro de todos los distritos evaluados, el distrito de Nueve de Julio representa una población pobre de 38,4% de los cuales el 10,6% son pobres extremos y el 27,8% son pobres no extremos y el 61,6% de su población no es pobre, mientras que en la mayoría de los distritos antes mencionados, más del 50% de su población es pobre. Véase tabla N°1.

• **Analfabetismo en mujeres**

Siendo las mujeres/madres quienes asumen directamente el cuidado de la salud de los niños, un

factor importante es la educación, pues muchas veces al no tener educación o preparación se traduce en inadecuados cuidados al niño como falta de higiene en la preparación de alimentos, higiene en general como el lavado de manos, atención adecuada, entre otros, lo que se traduce en la ocurrencia de enfermedades respiratorias agudas así como diversos tipos de enfermedades que aquejan al menor. Esto se refuerza con las visitas de campo realizados a la zona de estudio, donde se observó a madres de familia de niños pequeños, que al tener varios hijos descuidan a los niños que ya pueden caminar, al tener que trabajar o dedicarse a las labores del hogar, además de cuidar al hijo más pequeño.

Para los distritos evaluados se muestra en el cuadro que el distrito de Ingenio presenta el 26% de su población femenina analfabeta seguido por Quilcas con 21%, ambos distritos son los que mayor porcentaje de población analfabeta femenina en comparación con los distritos de Matahuasi y Nueve de Julio, que presentan 11% y 12% respectivamente. Véase Tabla.2.

• **Desnutrición en niños menores de 5 años.**

La disminución del sistema inmunológico trae por consecuencia en el caso de los niños, que sean susceptibles a las alteraciones en su medio externo, por ejemplo a las alteraciones climáticas por cambios bruscos de temperaturas, generando en ellos condiciones para la formación de infección o preinfecciones por bacterias, virus, parásitos y otros, que provocan un daño al sistema respiratorio debido a la disminución de las defensas, sobre todo en un niño mal nutrido, por ello es importante el factor nutricional. En el caso de los distritos evaluados, en el distrito de Ingenio el 61% de su población menor se encuentra en condiciones de desnutrición crónica, seguido por Quichuay con 51% y el distrito de Quilcas que presenta el 44% de sus niños desnutridos, siendo estos los distritos que mayor porcentaje de niños desnutridos presentan. En el caso

**TABLA 1.** Población y condición de pobreza para los distritos evaluados

Distrito	Habs	Total (%)	POBRE %			Ranking de pobreza
			Extremo	No extremo	No pobre	
Quilcas	4057	60,0	17,6%	42,4%	40,0%	949
Quichuay	1949	53,2	19,9%	33,3%	46,8%	1111
Ingenio	2680	54,5	22,0%	32,6%	45,5%	1081
Matahuasi	5543	51,3	15,7%	35,7%	48,7%	1146
Nueve de Julio	1905	38,4	10,6%	27,8%	61,6%	1392

Fuente: Mapa de pobreza provincial y distrital 2007 (Fuente: INEI)

de Matahuasi y Nueve de Julio presentan 26% y 23% respectivamente. Véase Tabla.2.

**TABLA 2.** Tasa de analfabetismo en mujeres, desnutrición crónica en niños y población menor de cinco años

Fuente: Censo de población y vivienda del 2005-INEL, censo de talla escolar de 1999-MINEDU. Elaboración: FONCODES/UPR, PMA Mapa de Vulnerabilidad a la desnutrición crónica Infantil en el Perú.

Districtos	Tasa de analfabetismo en mujeres.	Tasa de desnutrición crónica en niños	Población menor < de 5
Ingenio	26%	61%	342
Quichuay	19%	51%	250
Quilcas	21%	44%	463
Matahuasi	11%	26%	521
Nueve de Julio	12%	23%	186

## 6. CONCLUSIONES PRELIMINARES

- Según el análisis de los factores ambientales para la ocurrencia de las IRAs se obtuvo como resultado que las temperaturas mínimas como los rangos térmicos, influyen en la ocurrencia de las enfermedades respiratorias agudas en niños menores de cinco años. Las temperaturas mínimas afectan a lo largo de todo el año presentando una marcada estacionalidad de mayor afectación en el invierno, sobre todo desde la semana N°23 (del 04 al 10 de junio) hasta la semana N°31 (del 30 al 05 de agosto) donde se han registrado casos de IRAs entre 8 y 9 casos en promedio. En el caso de los rangos térmicos cuando son mucho más amplios con valores de 18°C a 20°C, sobre todo desde la semana epidemiológica N°21 (21 al 27 de mayo) hasta la semana N°33 (13 al 19 de agosto), cuando el número de casos en este periodo aumenta significativamente llegando a registrarse de 8 a 9 casos en promedio.
- Las enfermedades respiratorias agudas afectan a la población en general durante todo el periodo del año, siendo el grupo etareo más afectado los niños menores de cinco años. En el caso de los recién nacidos y lactantes debido a que su sistema de respuesta

neurovascular todavía no está bien desarrollado como el de un niño mayor o un adulto para luchar contra el frío, es más vulnerable, pero están mejor cuidados por la madre. En el caso de los niños que ya pueden caminar generalmente están más expuestos al frío, puesto que las madres de familia los llevan con ellas cuando salen a trabajar a la “chacra o cuidar sus animales” así mismo se suma el problema de la mala nutrición del niño y el nivel educativo de la madre.

- En el análisis de la vulnerabilidad social, se considera una de las variables más importantes a la desnutrición en los niños. Este factor influye de manera significativa en el mecanismo de defensa del menor, ya que en un niño bien nutrido su mecanismo de defensa actuará de manera rápida ante el frío, pero cuando los niños se encuentran desnutridos este mecanismo de defensa baja. Así mismo, la educación de la madre es importante puesto que las madres con educación suelen estar más preparadas en el cuidado en general del menor, por ejemplo en la elección y manipulación de los alimentos, atención de enfermedades, etc. Se ha encontrado que el distrito de Ingenio sería el más vulnerable socialmente ya que el 26% de su población femenina es analfabeta y el 61% de su población infantil presenta desnutrición crónica. Similarmente, en cuanto a la condición de pobreza, el 54% de su población es pobre, esto en comparación con los otros distritos evaluados.

## 7. AGRADECIMIENTOS

Al Instituto Geofísico del Perú por brindarme la oportunidad de realizar mi tesis y al proyecto Maremex por el financiamiento de la tesis. A la Mg. Grace L. Trasmonte Soto por todo su apoyo como mi asesora y su valioso aporte en la investigación, así mismo al Dr. Fidel R. Villena Lara por su constante y paciente colaboración en el desarrollo del tema. A la Mg. Alejandra Martínez Grimaldo por facilitar el desarrollo del tema. También mencionar a la Dra. Yamina Silva de Millones por su colaboración constante y finalmente a cada uno de las personas quienes me han brindado un apoyo incondicional.

## 8. BIBLIOGRAFÍA

- IGP, 2005. Vulnerabilidad Actual y Futura ante el Cambio Climático y Medidas de Adaptación en la

- Cuenca del Río Mantaro. Fondo editorial del Concejo Nacional del Ambiente. Lima- Perú, ISBN 9972-824-15-2.
- Programa Mundial de Alimentación (PMA), 2007. Resultado de Estudio" Mapa de Vulnerabilidad a la Desnutrición Crónica Infantil" Lima-Perú.
  - Dirección Regional de Salud Arequipa, 2004. Oficina de Epidemiología Capitulo II. Morbilidad y mortalidad. Pág.163.
  - Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), 2008. Análisis del impacto de los eventos fríos (friaje) en la agricultura y ganadería alto andina en el Perú.
  - Organismo Panamericano de Salud, 1999. Infecciones Respiratorias Agudas en Niños. Los Factores de Riesgo en las IRAS Bajas, Capitulo3.
  - INDECI, 2006. Manual Básico para la Estimación del Riesgo/Dirección Nacional de Prevención Lima-Perú. Pag.73.
  - INEI, Dirección Técnica de Demografías, 2009. Mapa de Pobreza Provincial y Distrital 2007, (Enfoque de la pobreza monetaria). Lima Perú.





Foto con tesistas y asesores del año 2010, tomada durante el Seminario de Tesistas 2010.



En la foto, de izquierda a derecha:

Ken Takahashi (Director del área de Variabilidad y Cambio Climático), María Victoria Gutiérrez (UNSLG, Ica), Ángel Huamán (UNI), Juan Carlos Sulca (UNMSM), Jorge Reupo (UNMSM), Marco Moreno (UNFV), Melissa Medina (UNMSM), Yamina Silva (investigadora del área Variabilidad y Cambio Climático, Directora de Asuntos Académicos), Arturo Sánchez (UNMSM), Lidia Enciso (UNMSM), Miguel Saavedra (UNMSM), Juan Anca (UNSA, Arequipa), Denis Cabezas (UNSLG, Ica), Cristóbal Condor (UNSA, Arequipa), Julio Quijano (UNMSM), Dalma Mamani (UNMSM), Luis Céspedes (UNMSM), Steven Chávez (PUCP), Jahir Anicama (UNMSM), Juan Carlos Gómez (investigador del área Geodesia Espacial y Peligro Geofísico) y Franklin Blanco (UNI).