

# **ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL**

**VARIABILIDAD TEMPORAL Y ESPACIAL DE LAS  
PRECIPITACIONES EN ZONAS DE MONTAÑA: CASO DEL  
VOLCÁN ANTISANA**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**ANDREA FERNANDA PAZMIÑO CUENCA**  
quissiepn@hotmail.com

**DIRECTOR: DR. ING. MARCOS JOSHUA VILLACÍS ERAZO**  
marcos.villacis@epn.edu.ec

**CODIRECTOR: ING. CIRO GALO MENÉNDEZ ALCÁZAR**  
ciro.menendez@epn.edu.ec

**Quito, octubre 2010**

## DECLARACIÓN

Yo, ANDREA FERNANDA PAZMIÑO CUENCA, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias bibliográficas que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional, puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normatividad institucional vigente.

---

**ANDREA FERNANDA PAZMIÑO CUENCA**

|

|||

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Andrea Fernanda Pazmiño Cuenca, bajo mi supervisión.

---

**DR. ING. MARCOS VILLACÍS**  
**DIRECTOR DEL PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Un agradecimiento especial al INAMHI, quien en conjunto con la EMAAP-Q y el IRD, viene trabajando desde 1994 de manera ininterrumpida, generando la información que ha hecho posible este estudio. De igual manera a la Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología (SENACYT) que en conjunto con la Escuela Politécnica Nacional (EPN) han generado las condiciones necesarias para que se desarrolle este proyecto, a través del cofinanciamiento del Proyecto de Investigación Científica “Impacto del cambio climático y de la variabilidad climática en el régimen hidrológico de cuencas hidrográficas con cobertura parcialmente glaciar. Caso de estudio: volcán Antisana”.

Mi agradecimiento además al Ing. Moreano, por facilitar el código fuente del software SIC, a través del cual se realizó este trabajo y al Tigo. Edison Romo por realizar las modificaciones de la versión 2 del mismo software.

Finalmente quisiera manifestar mi agradecimiento al IRD y a la EPN por el apoyo científico a este proyecto por parte del Joven Equipo Asociado (JEA).

## DEDICATORIA

Para todo aquel con un espíritu luchador  
Capaz de superar metas en el camino  
Y habiendo superado una, busca otra...

## CONTENIDO

DECLARACIÓN .....	II
CERTIFICACIÓN .....	III
AGRADECIMIENTOS .....	IV
DEDICATORIA.....	V
CONTENIDO.....	VI
LISTADO DE TABLAS .....	X
LISTADO DE FIGURAS .....	XI
SIMBOLOGÍA Y SIGLAS.....	XIII
RESUMEN .....	XVI
SUMMARY .....	XVII
PRESENTACIÓN .....	XVIII
<b>CAPÍTULO 1. INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.</b>
1.1 ANTECEDENTES.....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
1.2 PROBLEMÁTICA.....	3
1.3 HIPÓTESIS.....	3
1.4 OBJETIVOS.....	3
1.4.1 OBJETIVO GENERAL.....	3
1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	4
<b>CAPÍTULO 2. DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO .....</b>	<b>5</b>
2.1 DESCRIPCIÓN DEL CLIMA EN AMÉRICA DEL SUR .....	5
2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR... 7	7
2.1.2 IMPACTO DEL FENÓMENO CLIMÁTICO ENOS .....	11
2.2 DESCRIPCIÓN DEL CLIMA EN ECUADOR .....	13
2.2.1 PRECIPITACIONES EN EL ANTISANA <b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
2.3 TÉRMINOS VARIOS .....	19
2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO .....	22
<b>CAPÍTULO 3. DATOS DISPONIBLES.....</b>	<b>23</b>
3.1 PRECIPITACIÓN.....	24
3.2 VARIABLES FÍSICO-GEOGRÁFICAS.....	29
3.2.1 VIENTO .....	30

3.2.2	TEMPERATURA (T).....	31
3.2.3	HUMEDAD (H).....	32
3.2.4	ÍNDICE EL NIÑO 3.4 .....	32
3.2.5	ÍNDICE DE OCSILACIÓN DEL SUR (SOI) .....	33
<b>CAPÍTULO 4. FUNDAMENTO TEÓRICO.....</b>		<b>35</b>
4.1	INVERSO DE LA DISTANCIA (IDW).....	35
4.1.1	VALIDACIÓN DEL MÉTODO IDW .....	36
4.1.1.1	Desarrollo según Isaaks y Srivastava (1989).....	38
4.1.1.2	Desarrollo según el SIC (Versión 2).....	39
4.2	KRIGEAJE ORDINARIO (KO) .....	41
4.2.1	CONDICIÓN DE IMPARCIALIDAD .....	42
4.2.2	VARIANZA DEL ERROR.....	43
4.2.3	PARÁMETROS DE LAGRANGE.....	44
4.2.4	MINIMIZACIÓN DE LA VARIANZA DEL ERROR.....	45
4.2.5	VARIOGRAMA .....	49
4.2.5.1	Propiedades de Variograma.....	50
4.2.5.2	Parámetros de Variograma .....	51
4.2.5.3	Modelos Teóricos de Variograma .....	52
4.2.5.3.1	Modelo Esférico .....	53
4.2.5.3.2	Modelo Exponencial.....	54
4.2.5.3.3	Modelo Gaussiano .....	54
4.2.5.3.4	Modelo de Independencia (Pepita Puro).....	55
4.2.6	DEFINICIONES VARIAS .....	57
4.2.6.1	Anisotropía .....	57
4.2.6.2	Esperanza .....	57
4.2.6.3	Estacionariedad .....	58
4.2.6.3.1	Estacionariedad de Segundo Orden .....	58
4.2.6.3.2	Estacionariedad Débil o Intrínseca .....	59
4.2.6.4	Funciones Aleatorias.....	59
4.2.6.4.1	Función Aleatoria Estacionaria en sentido estricto .....	59
4.2.6.4.2	Función Aleatoria Estacionaria de segundo orden.....	60
4.2.6.4.3	Función Aleatoria No Estacionaria.....	60
4.2.6.5	Media .....	60
4.2.6.6	Métodos de Relleno de Datos y Geoestadísticos.....	60
4.2.6.6.1	Métodos de Relleno de Datos.....	60

4.2.6.6.2	Métodos Geoestadísticos .....	61
4.2.6.7	Variable Aleatoria.....	61
4.2.6.7.1	Variable Aleatoria Discreta .....	61
4.2.6.7.2	Variable Aleatoria Continua .....	62
4.2.6.8	Variable Regionalizada .....	62
4.2.6.9	Varianza y Covarianza .....	62
4.2.6.10	Variograma Omnidireccional .....	63
4.2.7	VALIDACIÓN DEL MÉTODO KO .....	64
4.2.7.1	Desarrollo según Isaaks y Srivastava (1989).....	64
4.2.7.2	Desarrollo según el SIC (Versión 2).....	67
4.3	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO .....	71
<b>CAPÍTULO 5</b>	<b>METODOLOGÍA Y RESULTADOS.....</b>	<b>72</b>
5.1	EJERCICIO 1.....	74
5.1.1	VARIABILIDAD ESPACIAL (CORRELACIÓN).....	74
5.1.2	VARIABILIDAD TEMPORAL (DOBLE MASA).....	77
5.1.3	APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS IDW Y KO .....	81
5.2	EJERCICIO 2.....	84
5.2.1	VARIABILIDAD ESPACIAL (CORRELACIÓN).....	84
5.2.2	VARIABILIDAD TEMPORAL (DOBLE MASA).....	87
5.2.3	APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS IDW Y KO .....	91
5.3	EJERCICIO 3.....	92
5.3.1	VARIABILIDAD ESPACIAL (CORRELACIÓN).....	93
5.3.2	VARIABILIDAD TEMPORAL (DOBLE MASA).....	96
5.3.3	APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS IDW Y KO .....	100
5.4	CONCLUSIONES AL APLICAR LA METODOLOGÍA.....	103
5.5	ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN P6 .....	104
5.6	CONCLUSIONES DE LA ESTIMACIÓN EN P6 .....	109
5.7	CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y VARIABLES FÍSICO- GEOGRÁFICAS .....	109
5.7.1	CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y VIENTO.....	110
5.7.2	CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA ....	111
5.7.3	CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD .....	112
5.7.4	CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y NIÑO 3.4 .....	113
5.7.5	CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y SOI.....	114
5.8	CONCLUSIONES DE LAS CORRELACIONES .....	115
5.9	CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO .....	116

<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	118
6.1 CONCLUSIONES .....	118
6.1.1 CONCLUSIONES AL APLICAR LA METODOLOGÍA .....	118
6.1.2 CONCLUSIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS	119
6.2 RECOMENDACIONES.....	120
6.2.1 RECOMENDACIONES DE LA METODOLOGÍA.....	120
6.2.2 RECOMENDACIONES DE LOS RESULTADOS .....	120
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	122
ANEXOS .....	128
ANEXO N°1. DATOS DE PRECIPITACIÓN .....	129
ANEXO N°2 DATOS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS.....	152
ANEXO N°3 DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS.....	163
ANEXO N°4 MODIFICACIONES HECHAS AL SIC .....	166
ANEXO N°5 MANUAL DE INSTALACIÓN Y USO DEL SIC (MÉTODOS IDW Y KO).....	179
ANEXO N°6 RESULTADOS DETALLADOS DE LA METODOLOGÍA.....	202
ANEXO N°7 RESULTADOS DETALLADOS DE LA ESTIMACIÓN EN P6 HUMBOLDT .....	228
ANEXO N°8 CORRELACIONES ENTRE PRECIPITACIÓN Y VARIABLES FÍSICO-GEOGRÁFICAS.....	234

## LISTADO DE TABLAS

TABLA 3.1 ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS AL VOLCÁN ANTISANA .....	24
TABLA 3.2 ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN EL VOLCÁN ANTISANA ...	25
TABLA 3.3 PLUVIÓMETROS EN EL VOLCÁN ANTISANA.....	26
TABLA 3.4 COORDENADAS DE ESTACIONES UTILIZADAS .....	27
TABLA 3.5 PRESIÓN (MB) SEGÚN LA ALTURA (M S.N.M.).....	31
TABLA 4.1 COORDENADAS Y VALORES DE MUESTRA .....	37
TABLA 4.2 PESOS CALCULADOS POR EL MÉTODO IDW.....	38
TABLA 4.3 EFECTO DEL EXPONENTE DEL MÉTODO IDW .....	39
TABLA 4.4 PRECIPITACIÓN OBTENIDA (MÉTODO IDW).....	41
TABLA 4.5 DISTANCIAS ENTRE PARES DE DATOS .....	65
TABLA 4.6 PRECIPITACIÓN OBTENIDA (MÉTODO KO).....	70
TABLA 5.1 CORRELACIONES (EJERCICIO 1).....	76
TABLA 5.2 CORRELACIÓN (EJERCICIO 1), SEGÚN DISTANCIA.....	76
TABLA 5.3 RELACIÓN DE PRECIPITACIÓN .....	80
TABLA 5.4 ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN – EJERCICIO 1 (MÉTODOS IDW Y KO) .....	82
TABLA 5.5 ERROR MEDIO DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN (MÉTODO IDW DIRECCIONADO Y KO DIRECCIONADO) .....	83
TABLA 5.6 CORRELACIONES (EJERCICIO 2).....	85
TABLA 5.7 CORRELACIÓN (EJERCICIO 2), SEGÚN DISTANCIA.....	86
TABLA 5.8 ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN- EJERCICIO 2 (MÉTODO IDW Y KO).....	92
TABLA 5.9 CORRELACIONES (EJERCICIO 3).....	94
TABLA 5.10 CORRELACIÓN (EJERCICIO 3), SEGÚN DISTANCIA.....	95
TABLA 5.11 ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN - EJERCICIO 3 (MÉTODO IDW Y KO).....	101
TABLA 5.12 ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN – EJERCICIO 3 (2) (MÉTODO IDW Y KO).....	102
TABLA 5.13 ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN - EJE DEL GLACIAR 15 (MÉTODO IDW Y KO) .....	102
TABLA 5.14 ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN P6.....	107

## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 2.1 COMPORTAMIENTO ATMOSFÉRICO GLOBAL.....	6
FIGURA 2.2 CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GENERAL .....	6
FIGURA 2.3 PRECIPITACIÓN CLIMATOLÓGICA EN AMÉRICA DEL SUR.....	8
FIGURA 2.4 SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA COSTA DEL PACÍFICO .....	9
FIGURA 2.5 FLUJO ATMOSFÉRICO DE BAJO NIVEL.....	11
FIGURA 2.6 CORRELACIÓN ESPACIAL ENTRE EL ENOS Y LA PRECIPITACIÓN, Y LA TEMPERATURA.....	12
FIGURA 2.7 REPARTICIÓN DE LOS PRINCIPALES CLIMAS EN ECUADOR .....	<b>¡Error! Marcador no definido.</b>
FIGURA 2.8 ÍNDICES PGLACIAR Y PPÁRAMO .....	18
FIGURA 2.9 RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES EN PGLACIAR Y PPÁRAMO .	19
FIGURA 2.10 ANTICICLONES Y BORRASCAS.....	20
FIGURA 2.11 FUERZA DE CORIOLIS .....	21
FIGURA 2.12 EFECTO OROGRÁFICO .....	21
FIGURA 3.1 UBICACIÓN DEL V. ANTISANA EN EL ECUADOR.....	28
FIGURA 3.2 ESTACIONES UTILIZADAS (1).....	28
FIGURA 3.3 ESTACIONES UTILIZADAS (2).....	29
FIGURA 3.4 DEFINICIÓN GRÁFICA DE LAS REGIONES EL NIÑO .....	32
FIGURA 3.5 ANOMALÍAS DE EL NIÑO 3.4 (1991 – 2010) .....	33
FIGURA 3.6 ANOMALÍAS DEL SOI.....	34
FIGURA 4.1 ESTACIONES DEL EJERCICIO.....	37
FIGURA 4.2 COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN EL SIC .....	40
FIGURA 4.3 PRECIPITACIÓN ESTIMADA EN EL PUNTO 0.....	40
FIGURA 4.4 VARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y VARIOGRAMA TEÓRICO .....	51
FIGURA 4.5 MODELO ESFÉRICO .....	53
FIGURA 4.6 MODELO EXPONENCIAL.....	54
FIGURA 4.7 MODELO GAUSSIANO .....	55
FIGURA 4.8 MODELOS EXPONENCIAL, ESFÉRICO Y GAUSSIANO.....	56
FIGURA 4.9 MODELO PEPITA PURO .....	56
FIGURA 4.10 VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL.....	63
FIGURA 4.11 COORDENADAS GEOGRÁFICAS.....	68
FIGURA 4.12 PARES DE ESTACIONES Y SEMIVARIANZAS .....	68
FIGURA 4.13 VARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y TEÓRICO .....	69
FIGURA 4.14 VALOR ESTIMADO DE LA PRECIPITACIÓN (MÉTODO KO).....	70
FIGURA 5.1 VARIABILIDAD ESPACIAL (EJERCICIO 1) .....	75

FIGURA 5.2 CORRELACIONES (EJERCICIO 1) .....	75
FIGURA 5.3 CORRELACIONES (EJERCICIO 1), SEGÚN DISTANCIAS .....	78
FIGURA 5.4 ANÁLISIS DE DOBLE MASA (PGLACIAR Y PPÁRAMO).....	79
FIGURA 5.5 ANÁL FIGURA ISIS DE DOBLE MASA (EJERCICIO 1).....	80
FIGURA 5.6 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (EJERCICIO 1) .....	81
FIGURA 5.7 APLICACIÓN DEL VARIOGRAMA DIRECCIONAL.....	82
FIGURA 5.8 VARIABILIDAD ESPACIAL (EJERCICIO 2) .....	85
FIGURA 5.9 CORRELACIONES (EJERCICIO 2) .....	86
FIGURA 5.10 CORRELACIONES (EJERCICIO 2), SEGÚN DISTANCIAS .....	88
FIGURA 5.11 ANÁLISIS DE DOBLE MASA (PGLACIAR Y PPÁRAMO).....	88
FIGURA 5.12 ANÁLISIS DE DOBLE MASA (PGLACIAR Y PPÁRAMO, Y P5 MICA) .....	89
FIGURA 5.13 ANÁLISIS DE DOBLE MASA (EJERCICIO 2) .....	90
FIGURA 5.14 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (EJERCICIO 2) .....	91
FIGURA 5.15 VARIABILIDAD ESPACIAL (EL EJERCICIO 3).....	93
FIGURA 5.16 CORRELACIONES (EJERCICIO 3) .....	94
FIGURA 5.17 CORRELACIONES (EJERCICIO 3), SEGÚN DISTANCIA.....	96
FIGURA 5.18 ANÁLISIS DE DOBLE (P3 y P6).....	97
FIGURA 5.19 ANÁLISIS DE DOBLE MASA (P3 Y P6, Y P5) .....	98
FIGURA 5.20 ANÁLISIS DE DOBLE MASA (EJERCICIO 3).....	99
FIGURA 5.21 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (EJERCICIO 3) .....	100
FIGURA 5.22 ESTACIONES UTILIZADAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN P6 HUMBOLDT .....	104
FIGURA 5.23 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (ESTACIONES M002, M024, M343, M346, P3 Y P6) .....	106
FIGURA 5.24 ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN P6.....	106
FIGURA 5.25 PRECIPITACIÓN MENSUAL EN P6 .....	108
FIGURA 5.26 RESUMEN ESTADÍSTICO DE ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN P6 .....	108
FIGURA 5.27 ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y VIENTO.....	111
FIGURA 5.28 ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA.....	112
FIGURA 5.29 ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD.....	113
FIGURA 5.30 ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y NIÑO 3.4.....	114
FIGURA 5.31 ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y SOI.....	115
FIGURA 5.32 ZONAS CON BUENA CORRELACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO .....	117

## SIMBOLOGÍA

a	alcance
$C_0$	efecto pepita
$C_1$	meseta
$Cov[ \ ]$	covarianza
$E( \ )$	esperanza
ed.	edición/editor(a)
et al	y otros (prov. del latín et alii)
$g(x)$	función de deriva
h	distancia
hPa	hectopascal(es)
$i, j = 1, 2, \dots, n$	lugares de medición
k, l	constantes
m	media
mb	milibar / milibares
mm	milímetros
m s.n.m.	metros sobre el nivel del mar
m/s	metros por segundo
p	probabilidad
R	error
s.f	sin fecha
$v$	valor de muestra
$\hat{v}$	valor a estimar
V	precipitación
$V(x)$	variable medida en el punto x
$Var[ \ ]$	varianza
w	peso (de las estaciones)
x	posición real o valor real
X, Y	variable aleatoria
Zj	precipitación (en el programa SIC, original y versión 2)
$\forall$	para todo

$\in$	pertenece a
$\subset$	subconjunto de
$\gamma_{ij} = \gamma(h)$	variograma
$\mathbb{R}$	el conjunto de números reales
$\mu$	parámetro de Lagrange
0	lugar donde no se realizó ninguna estimación
2D	dos dimensiones
3D	tres dimensiones
CDAS	Sistema de Asimilación de Datos Climáticos (Climate Data Assimilation System)
CPC	Centro de Predicción Climática (Climate Prediction Center)
DICA-EPN	Departamento de Ingeniería Civil y Ambiental de la Escuela Politécnica Nacional
EMMAP-Q	Empresa Metropolitana de Alcantarillado y Agua Potable de Quito
ENOS	El Niño Oscilación del Sur (ENSO: El Niño – Southern Oscillation)
EPN	Escuela Politécnica Nacional
ESRL	Laboratorio de Investigación del Sistema de la Tierra (Earth System Research Laboratory)
FAO	Organización de Agricultura y Alimentación de las Naciones Unidas (Food and Agriculture Organization of the United Nations)
FE	Frente Ecuatorial
GREATICE	Glaciares y recursos hídricos de los Andes Tropicales – Indicadores climáticos y ambientales (Glaciers et ressources en eau des Andes Tropicales – Indicateurs Climatiques et Environnementaux)
IDW	Inverso de la Distancia (Inverse Distance Weighted)
IRD	Instituto de Investigación para el Desarrollo (Institut de Recherche pour le Développement)
IRI	Instituto Internacional de Investigación para la predicción del Clima (International Research Institute for Climate Prediction)
INAMHI	Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología
JISAO	Instituto Conjunto para el Estudio de la Atmósfera y el Océano (Joint Institute for the Study of the Atmosphere and Ocean)
KO	Krigeaje Ordinario (Kriging Ordinary)

NCAR	Centro Nacional de Investigaciones Atmosféricas (National Center for Atmospheric Research)
NCEP	Centros Nacionales de Predicción Ambiental (National Centers for Environmental Prediction)
NOAA	Administración Nacional del Océano y la Atmósfera (National Oceanic and Atmospheric Administration)
PNUMA	Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente
SIC	Sistema de Información Climática
SST	Temperatura Superficial del Mar (Sea Surface Temperature)
UNESCO	Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura
ZCIT	Zona de Convergencia Intertropical

## RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en estimar la precipitación en la zona del volcán Antisana, mediante la aplicación de los métodos IDW y KO, para el periodo comprendido entre 1995 y 2007. Estos métodos (IDW y KO) están incorporados en el software SIC, desarrollado por Moreano (2008) y actualizado a su versión 2 por el Tlgo. Edison Romo.

Se desarrollaron tres ejercicios, para determinar el método que brinde el menor error de estimación, en los cuales se utilizan datos de precipitación de las estaciones ubicadas dentro de un radio de hasta 50 km.

El método IDW es el que brinda menor error en zonas heterogéneas, pero cuando la correlación entre estaciones es superior a 0.8, el método KO brinda los menores errores de estimación. Se rellenó la base de datos (de precipitación) de la estación P6 Humboldt (1995 – 2007) con el método KO, aplicando un variograma direccionado (Norte, con  $\Delta\theta = 45^\circ$ ) debido a que con este método se obtenían los menores errores de estimación.

Se correlaciona la precipitación con variables climáticas, tales como: Temperatura, humedad, El Niño 3.4 y SOI. Mediante estas correlaciones se puede llegar a determinar hasta el 46% del comportamiento de la precipitación, esto se logra en la correlación entre precipitación (P6-9) y SOI (tiempo de desfase de 12 meses), en la cual se obtiene un valor de  $R = 0.67$ .

## SUMMARY

This project focuses on estimating rainfall in the area of the volcano Antisana, by applying the methods IDW and KO, for the period between 1995 and 2007. These methods (IDW and KO) are incorporated in the SIC software, developed by Moreano (2008) and upgraded to version 2 by Technologist Edison Romo.

Three exercises were developed to determine which method provides the smaller error of estimation, which are used rainfall data from the stations located within a radius of 50 km.

IDW method is what gives a lower error in heterogeneous areas, but when the correlation between stations is greater than 0.8, the KO method provides the lower estimation errors. Database (of precipitation) of the station P6 Humboldt (1995-2007) was filled with method KO applying a variogram directed (North, with  $\Delta\theta = 45^\circ$ ) because with this method were obtained the lowest estimation errors.

Precipitation is correlated with climatic variables such as temperature, humidity, El Niño 3.4 and SOI. Through these correlations can reach up to 46% to determine the behavior of precipitation, this is done on the correlation between precipitation (P6-9) and SOI (lag time of 12 months), which yields a value  $R = 0.67$ .

## PRESENTACIÓN

El objetivo de esta investigación es analizar la variabilidad temporal y espacial de la precipitación en la zona páramo del volcán Antisana, y en sus alrededores.

La estimación de datos de precipitación faltantes es realizada en el software SIC (versión 2), el mismo que incluye los métodos de estimación IDW y KO.

El capítulo 1 muestra los antecedentes de esta investigación, la problemática que se tiene al realizar estudios hidrológicos, y los objetivos planteados para esta tesis.

En el capítulo 2, se describen los principales factores determinantes del clima, abarcando desde el comportamiento general del mismo en América del Sur, hasta llegar a una descripción más detallada en la zona de estudio.

En el capítulo 3, se especifican los datos de precipitación utilizados en este estudio, así como también los datos de viento, humedad, temperatura, Niño 3.4 y SOI, que sirvieron para tratar de estimar el comportamiento de la precipitación en la zona de interés.

En el capítulo 4, se detalla el fundamento teórico de los métodos de estimación utilizados.

En el capítulo 5, se presenta la metodología seguida en el desarrollo del presente estudio, la variabilidad espacial y temporal de la zona de estudio, los errores presentes al estimar la precipitación, y las correlaciones obtenidas entre la precipitación y otros factores climáticos.

Finalmente, en el capítulo 6, se exponen las conclusiones y recomendaciones, producto de esta investigación.

# CAPÍTULO 1

## INTRODUCCIÓN

### 1.1 ANTECEDENTES

El agua es uno de los factores más importantes para el desarrollo de la vida en el planeta, y pese a que ocupa las dos terceras partes de la superficie del planeta, la cantidad de agua apta para consumo humano es realmente baja, es por esto que su disponibilidad en el presente y futuro, es una de las principales preocupaciones a nivel mundial (Pourrut, 1995; UNESCO, 2008; Martínez et al., 2010).

Una de las mayores fuentes de agua apta para el consumo, es la proveniente de los ríos, varios de los cuales dan inicio gracias al escurrimiento, ya sea glacial o proveniente de precipitaciones, especialmente en las cuencas de altura (COMUNIDAD ANDINA, 2008).

Debido al cambio climático y al calentamiento global, los glaciares han acelerado su derretimiento, uno de los fenómenos más claros de estos cambios es el retroceso de los glaciares, cuyo derretimiento está directamente relacionado con el clima (COMUNIDAD ANDINA, 2008; PNUMA, 2007).

Particularmente se sabe que los glaciares de los Andes centrales han acelerado su retroceso desde mediados de los años setenta. El escurrimiento proveniente de estos glaciares constituye un recurso primordial en la región, son fuente de agua para los ecosistemas de altitud y además ayudan a la dotación de agua potable a ciudades cercanas (EPN, 2008).

Según varios estudios (Cadier et al., 2007; Shea and Marshall, 2007; Cadier et al. 2008), uno de los principales factores reguladores del balance de masa glacial es la precipitación; debido a esto, es muy importante conocer la distribución de la

precipitación, particularmente en la zona del volcán Antisana, del cual escurre el agua que se recoge en la laguna la Mica, para luego ser transportada hacia el sur de la ciudad de Quito, dentro del marco del proyecto La Mica-Quito Sur.

La presente investigación es parte del proyecto “Impacto del cambio climático y de la variabilidad climática en el régimen hidrológico de cuencas hidrográficas con cobertura parcialmente glaciar. Caso de estudio: volcán Antisana”, el cual entre otras cosas, busca entender el retroceso de los nevados del Antisana, para, en lo posible, poder prever la cantidad de agua que generará el escurrimiento originado en los glaciares y la capacidad para transformar la precipitación en escurrimiento de la zona páramo de las cuencas de estudio.

El proyecto mencionado se apoya en la cooperación que lleva a cabo el IRD (Instituto Francés de Investigación para el Desarrollo), representado por las unidades de investigación GREATICE (Glaciares y Recursos Agua de Altura Indicadores de Cambio Climático) y GEAU (Gestión del Agua, Gestores y Usos), con el INAMHI (Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología), y a su vez a través de la cooperación que el IRD y el INAMHI realizan con la EMAAP-Q (Empresa Pública Metropolitana de Agua Potable y Saneamiento).

Actualmente en el Ecuador es grande la preocupación por el recurso agua, y por ello, se busca entender de mejor manera la cantidad de la cual se dispone, y concientizar a la gente sobre su uso, así como las prevenciones que se deben tomar para poder disponer de este recurso por más tiempo.

En este estudio se realizará un análisis comparativo de dos metodologías de interpolación espacial, las cuales se ha visto que presentan buenos resultados (Buytaert et al., 2006), para estimar la precipitación, las cuales son: el Inverso de la Distancia (IDW) y el Kriging Ordinario (KO). La primera se aplica ya que, a pesar de su relativa sencillez, presenta resultados bastante cercanos a la realidad, y la segunda, siendo más elaborado matemáticamente, presenta además el error involucrado en la estimación.

## **1.2 PROBLEMÁTICA**

El principal problema que se presenta al hacer un estudio hidrológico, en América Latina, particularmente en Ecuador, es la falta de datos que se tiene, y sumado a ello la confiabilidad de esos datos.

Por ello desde 1995, el IRD, el INAMHI y la EMAAP-Q se han encargado de instrumentar las cuencas (parcialmente glaciares) del Antisana: 15, Los Crespos y Humboldt; gracias a lo que actualmente es posible contar con datos meteorológicos e hidrológicos de esta zona.

Además, para poder generar una idea más clara de la distribución de la precipitación en la zona, en este estudio, se han incluido en este trabajo, 9 estaciones ubicadas en las cercanías del volcán Antisana.

## **1.3 HIPÓTESIS**

Las grandes diferencias que pueden llegar a presentarse (aproximadamente 50%) entre estaciones relativamente cercanas (<10 km), puede deberse a la irregularidad presente en la topografía, o a factores climáticos, como por ejemplo la circulación atmosférica.

## **1.4 OBJETIVOS**

### **1.4.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar la variabilidad temporal y espacial de la precipitación en las cuencas con cobertura parcialmente glaciar del volcán Antisana.

#### **1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Crear una base de datos pluviométricos de la zona de estudio, desde 1995.
- Realizar un análisis comparativo de dos técnicas de interpolación espacial en zonas de montaña a diferentes escalas espaciales.
- Analizar la variabilidad espacial y temporal de las precipitaciones en las zonas con cobertura no glaciaria del volcán Antisana en relación con las variaciones del clima.

## **CAPÍTULO 2**

### **DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO**

#### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL CLIMA EN AMÉRICA DEL SUR**

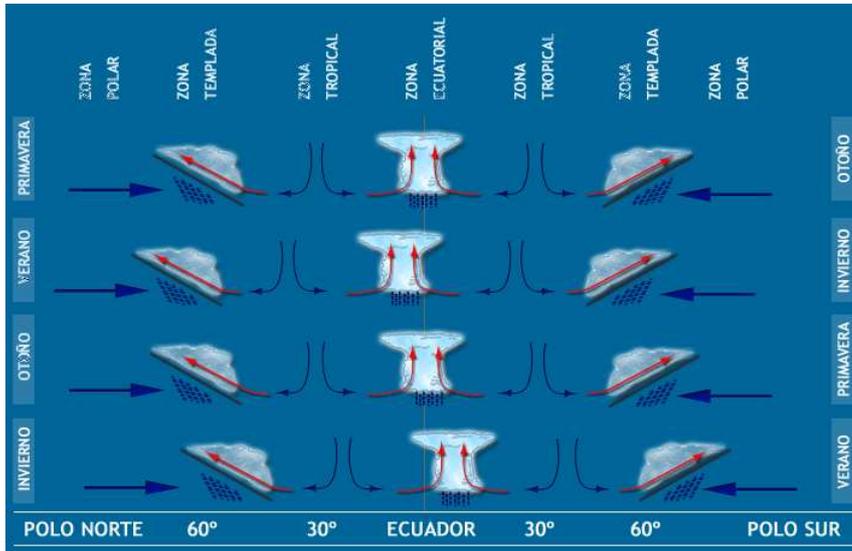
América del Sur se extiende desde la zona ecuatorial hasta las latitudes medias australes, alcanza su máxima extensión este-oeste en la zona ecuatorial, la misma que disminuye notablemente hacia el lado polar, terminando abruptamente en el Cabo de Hornos, de norte a sur se encuentra atravesada por la cordillera de los Andes, que la recorre próxima a la costa occidental desde el istmo de Panamá hasta el sur de Chile; por lo anterior descrito, la posición geográfica y las condiciones oceánicas, presenta una gran diversidad de climas (Barreiro, 2008a); a continuación se describirán a breves rasgos varios de estos factores condicionantes del clima.

Los vientos alisios, que actúan cerca de la línea ecuatorial, tienen un movimiento ascendente, de noreste a suroeste en el hemisferio norte y de sureste a noroeste en el hemisferio sur, son cálidos y secos en origen pero al atravesar las extensiones oceánicas se cargan de humedad y se enfrían, llegando de forma oblicua al ecuador, por lo que se conoce como la fuerza de Coriolis (Fondear, 2010; García, 2010). La Zona de convergencia intertropical (ZCIT) es la zona de choque entre los alisios del norte y los alisios del sur, también se le llama zona de calmas ecuatoriales, esta zona sufre desplazamientos hacia el norte o hacia el sur principalmente de carácter estacional o condicionados por los monzones locales (El yelmo, 2007).

En las Figuras 2.1 y 2.2 se puede observar el comportamiento atmosférico de manera más generalizada.

FIGURA 2.1

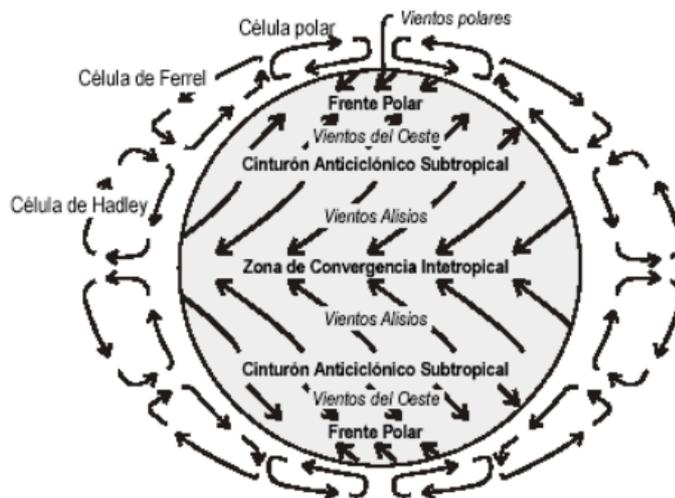
## COMPORTAMIENTO ATMOSFÉRICO GLOBAL



Fuente: El yelmo, 2007

FIGURA 2.2

## CIRCULACIÓN ATMOSFÉRICA GENERAL



Fuente: Pintos, 2009.

Por el extremo austral del continente pasa la corriente marina circumpolar antártica (en sentido oeste a este), situada aproximadamente entre los 50° y 60° de latitud sur, debido al estrechamiento entre los continentes antártico y sudamericano, la mayor parte de este enorme río oceánico pasa por el Pasaje de Drake, y un flujo mucho menor es desviado hacia el norte, esta derivación es la llamada corriente de Humboldt (Barreiro, 2008a), la corriente de Humboldt es una corriente fría (15 y 19°C) que frente a las costas sur-ecuatorianas y peruanas toma un rumbo noroeste, poco a poco se mezcla con la corriente ecuatorial sur (temperatura superior a 25°C). La franja de transición entre la corriente de Humboldt y la corriente Ecuatorial Sur se llama Frente Ecuatorial (FE), generalmente se sitúa entre la costa norte de Perú y las Islas Galápagos (Ecuador), y habitualmente se desplaza hacia el norte en julio-agosto-septiembre y hacia el sur en enero-febrero-marzo (Pourrut, 1995).

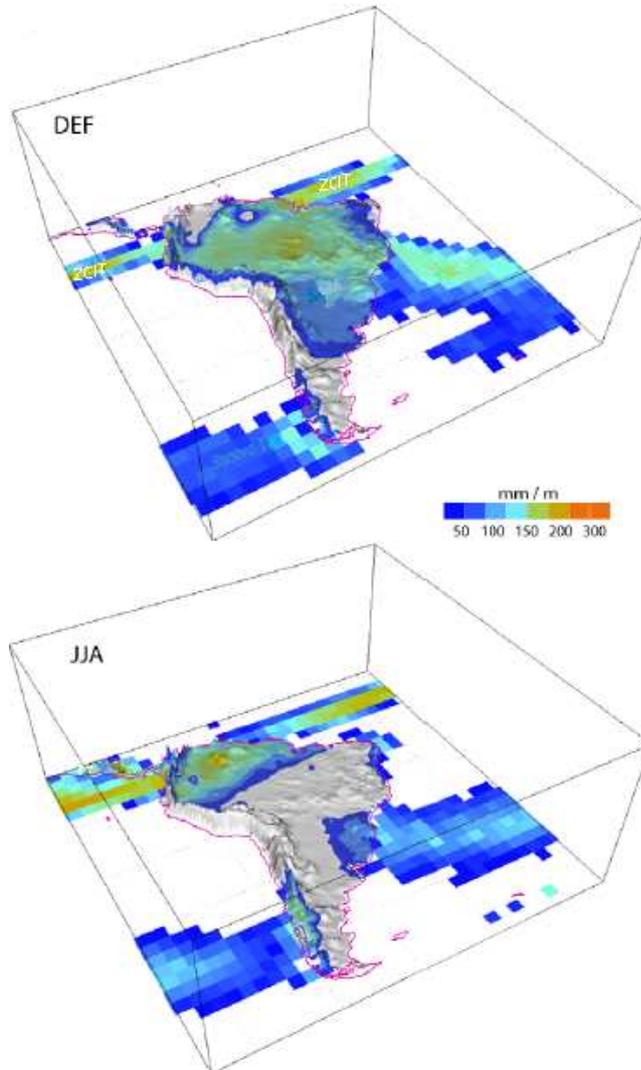
### **2.1.1 DESCRIPCIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN AMÉRICA DEL SUR**

En términos generales, los Andes tropicales reciben la precipitación de las tormentas de convección profunda que se desarrollan en la cordillera, mientras que al sur de 25°S, la precipitación es más estable, producida por el paso de sistemas frontales extra tropicales (Figura 2.3) (Garreaud, 2009).

Las laderas oriental y occidental de los Andes ecuatoriales (Ecuador y Colombia) experimentan precipitaciones alimentadas por el aire húmedo proveniente tanto de la cuenca del Amazonas como del Golfo de Panamá. La precipitación en los Andes colombianos tiene una compleja distribución debido a la presencia de los valles del Cauca y Magdalena. La precipitación sobre la vertiente oriental de los Andes ecuatorianos es muy alta debido a los vientos alisios que transportan gran cantidad de vapor de agua desde la cuenca Amazónica, llegando a un máximo de aproximadamente 6000 mm/año en la cima de los Andes ecuatorianos, esta gran precipitación se debe a las lluvias orográficas (Garreaud, 2009).

Al norte de 2°S, los Andes experimentan dos temporadas de lluvia, cerca de finales de otoño y primavera, en relación con el desplazamiento meridional de la

**FIGURA 2.3**  
**PRECIPITACIÓN CLIMATOLÓGICA EN AMÉRICA DEL SUR**



La precipitación climatológica (de medio a largo plazo) en América del Sur se muestra sobre la elevación del terreno para el verano austral (Diciembre-Enero-Febrero, arriba) y el invierno (Junio-Julio-Agosto, abajo)

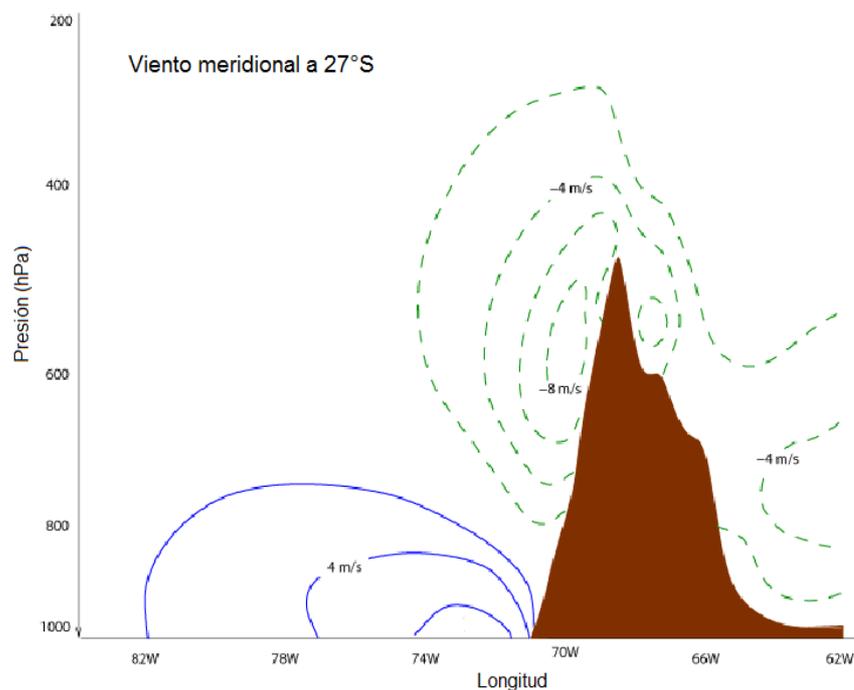
Fuente: Garreaud, 2009.

Modificación: Andrea Pazmiño

ZCIT sobre el Pacífico oriental, el ciclo semi-anual de lluvias se esfuma rápidamente hacia el sur, en los Andes del Ecuador y norte del Perú, la precipitación es mayor durante el otoño austral (de marzo a mayo), cuando la ZCIT alcanza su posición más al sur (Garreaud, 2009).

**FIGURA 2.4**

**SECCIÓN TRANSVERSAL DE LA COSTA DEL PACÍFICO**



Se observa la distribución de la presión durante la primavera austral (Septiembre-Octubre-Noviembre), en una sección transversal representativa de la costa del Pacífico (aproximadamente entre los 35°S y 10°S); el intervalo de contorno del viento meridional es de 2 m/s, la línea cero se omite, los valores negativos están en las líneas verdes punteadas y los valores positivos están en las líneas azules continuas. El área de color café representa el perfil de los andes en la latitud 27°S

Fuente: Garreaud, 2009.

Modificación: Andrea Pazmiño

El suave descenso que mantiene el anticiclón (ver definición en la sección 2.3)

subtropical sobre el Pacífico SE es la principal causa de las zonas áridas, condiciones que son estables a lo largo de la costa norte de Chile y sur de Perú, esto se debe a que el viento del sur en la superficie del mar promueve que las aguas frías surjan a lo largo de la costa, lo que obliga a un mayor hundimiento del anticiclón con el fin de mantener el equilibrio térmico, y por tanto, ésta región se mantiene mucho más seca, dicho hundimiento también mantiene una capa de inversión sobre los 1000 m s.n.m., que, en conjunto con la aguda topografía costera, impide la penetración tierra adentro del aire húmedo en contacto con el océano (Figura 2.4) (Garreaud, 2009).

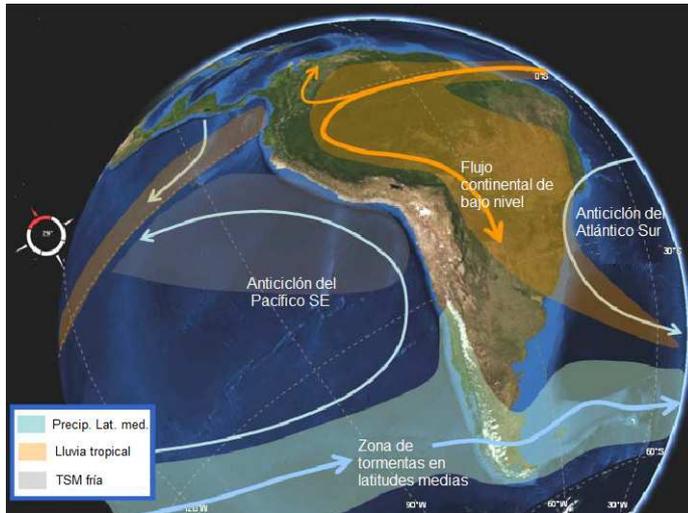
Al este de los Andes subtropicales (aproximadamente a 22°S, y a unos 200 km al este de las estribaciones andinas) existe un flujo que transporta grandes cantidades de vapor de agua de la cuenca del Amazonas hacia las llanuras tropicales del continente alimentando las tormentas de convección que se desarrollan durante el verano (diciembre-enero-febrero) en el sur de Brasil, Bolivia y el norte de Argentina, en lo que se conoce como el Monzón de América del Sur (Garreaud, 2009).

Al sur de 35°S, la zona de baja precipitación se desplaza hacia el este de los Andes; en las latitudes medias (aproximadamente entre 30 y 60°S), la costa oeste del continente (sur de Chile) recibe abundantes precipitaciones, asociadas al paso de sistemas frontales que se mueven hacia el este del Pacífico.

Las precipitaciones tienden a aumentar hacia el interior del continente, debido a que el aire húmedo se ve obligado a subir por la ladera occidental de los Andes, hasta un máximo de aguas arriba, es decir, hacia el oeste de la cordillera andina, esta mejora de la precipitación orográfica produce los totales anuales de hasta 6000 mm a 45°S; después de que las masas de aire cruzan los Andes hacia el sur de Argentina, queda sólo un poco de humedad (en las masas de aire), y la precipitación media anual disminuye a menos de 100 mm en sólo 100 km al este de la cordillera andina (Figura 2.5) (Garreaud, 2009).

FIGURA 2.5

## FLUJO ATMOSFÉRICO DE BAJO NIVEL



Esquematación del flujo atmosférico de bajo nivel (desde la superficie hasta aproximadamente 1500 m s.n.m.) alrededor de la cordillera de los andes, se muestran también las características importantes del clima en América del Sur

Fuente: Garreaud, 2009.

Modificación: Andrea Pazmiño

### 2.1.2 IMPACTO DEL FENÓMENO CLIMÁTICO ENOS

El Niño - Oscilación Sur (ENOS) es un fenómeno acoplado entre el océano y la atmósfera, caracterizado por fluctuaciones irregulares, con periodicidad de entre 2 y 7 años, entre condiciones cálidas durante El Niño y frías durante La Niña, sobre el Pacífico ecuatorial. Alternando El Niño y La Niña son la principal fuente de variabilidad interanual en la mayor parte de América del Sur. El patrón general es que los episodios de El Niño se asocian con (Figura 2.6):

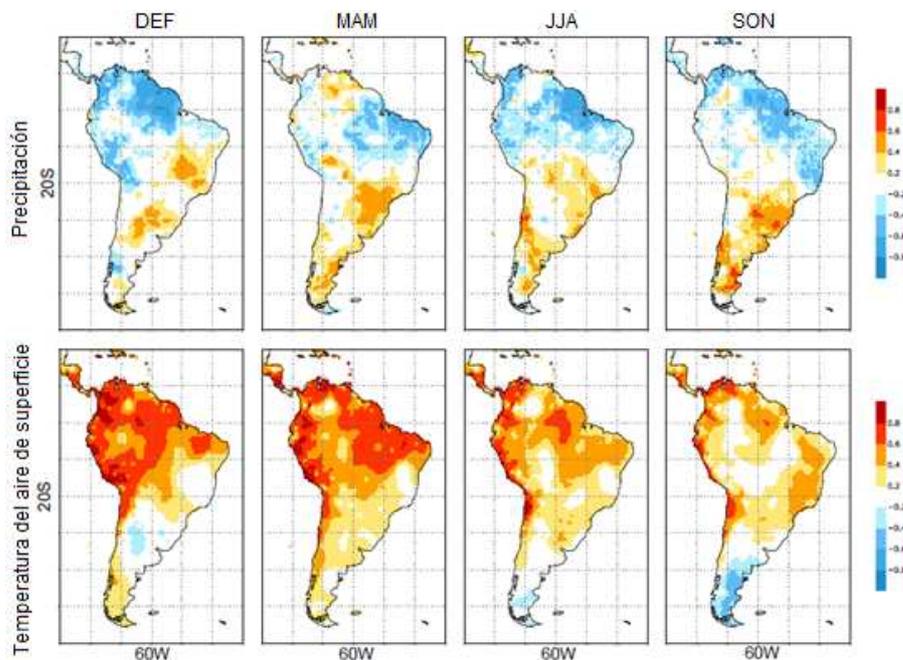
- precipitación por debajo de la media en la zona tropical de la cuenca amazónica y de los Andes (a pesar de que suceda lo contrario en la costa, ej. Ecuador)
- precipitación sobre la media en las latitudes subtropicales de América del Sur

- temperatura más caliente que la temperatura normal del aire en las latitudes tropicales y subtropicales

Durante los episodios La Niña, generalmente, prevalecen las condiciones opuestas (Garreaud, 2009).

**FIGURA 2.6**

**CORRELACIÓN ESPACIAL ENTRE EL ENOS Y LA PRECIPITACIÓN, Y LA TEMPERATURA**



Se muestra la correlación espacial entre el Índice ENOS y la precipitación (arriba), y la temperatura del aire de superficie (abajo).

Fuente: Garreaud, 2009.

Modificación: Andrea Pazmiño

Se ha atribuido la disminución de la precipitación sobre el norte de América del Sur durante los años de El Niño, a un contraste térmico entre la tierra y el mar y a una mayor subsidencia forzada sobre la ZCIT del Pacífico oriental. En los Andes colombianos, se nota un claro aumento (disminución) del caudal normal, en los

ríos Cauca y Magdalena, durante los años de La Niña (El Niño); los Andes ecuatoriales también experimentan precipitaciones inferiores a lo normal durante los episodios de El Niño (Francou et al., 2004; Garreaud, 2009).

Existen estaciones de baja altitud en la zona central de Chile (27 – 35 °S) que muestran registros de lluvia sobre (bajo) la precipitación normal durante los años El Niño (La Niña). Hacia el sur, en los Andes australes, no se evidencia ninguna señal clara del ENOS en la precipitación ni en la temperatura (Garreaud, 2009).

## **2.2 DESCRIPCIÓN DEL CLIMA EN ECUADOR**

El Ecuador se ubica entre aproximadamente 1°N y 5°S , está situado en el noroeste de América del Sur, limitando al norte con Colombia, al sur y al este con Perú, y al oeste con el Océano Pacífico, atravesado por la cordillera de los Andes, la cual divide al Ecuador continental en tres zonas climáticas bien diferenciadas: costa, sierra y oriente.

Debido a su posición geográfica (en la zona ecuatorial, atravesada por la cordillera, etc.) las condiciones climáticas, especialmente la precipitación, la nubosidad y el viento, pueden ser muy variadas en distancias cortas, esto es especialmente cierto en las zonas de montaña, las cuales, suman a lo anterior su accidentada topografía (Pourrut, 1995; Cadier et al., 2008).

Pourrut (1995) da una clasificación de los climas del Ecuador (Figura 2.7), que principalmente se basa en caracterizar las precipitaciones (totales anuales y regímenes) y las temperaturas (medias anuales).

Según el número anual de máximos pluviométricos, el clima se clasifica en:

- Ecuatorial, cuando se observan dos picos pluviométricos más o menos ligados al movimiento aparente del sol; es el régimen general del planeta en la proximidad del ecuador geográfico: dos estaciones lluviosas que se presentan generalmente luego de los equinoccios (fines de marzo y de septiembre), una

estación relativamente seca luego del solsticio de verano (fines de junio) y una corta estación poco lluviosa que se sitúa en la época del solsticio de invierno (fines de diciembre).

- Tropical, cuando se registra un máximo lluvioso y una sola estación seca muy marcada.
- Uniforme, cuando las lluvias se distribuyen relativamente bien a lo largo de todo el año.

Según la altura anual de las precipitaciones, se presentan los siguientes límites y definiciones:

- Árido a semi-árido, para totales inferiores a 500 mm.
- Seco a semi-húmedo, entre 500 y 1000 mm.
- Húmedo, entre 1000 y 2000 mm.
- Muy húmedo, para totales superiores a 2000 mm.

Según las temperaturas anuales, se presentan tres clases:

- Megatérmico, para temperaturas medias superiores a 22 °C.
- Mesotérmico, para temperaturas entre 12 y 22 °C.
- Frío, para temperaturas inferiores a 12 °C.

El cruce de los criterios mencionados, permite la clasificación del clima en 9 tipos para el Ecuador (Pourrut,1995):

- En la región costanera, se distinguen tres tipos de climas (en sentido oeste-este)
  - ✓ Clima tropical megatérmico árido a semiárido, presenta temperaturas anuales de aproximadamente 24 °C (máximas de ~32 °C y mínimas de ~16 °C), y precipitaciones anuales inferiores a 500 mm, concentradas en una sola estación lluviosa (enero a abril).
  - ✓ Clima tropical megatérmico seco a semi-húmedo, presenta temperaturas medias superiores a 24 °C; la precipitación anual está comprendida entre 500 y 1000 mm (diciembre a mayo).
  - ✓ Clima tropical megatérmico húmedo, presenta temperaturas medias que

fluctúan alrededor de los 24 °C; la precipitación anual varía entre 1000 y 2000 mm (diciembre a mayo), pudiendo llegar a superar ese valor en las estribaciones bajas de la cordillera.

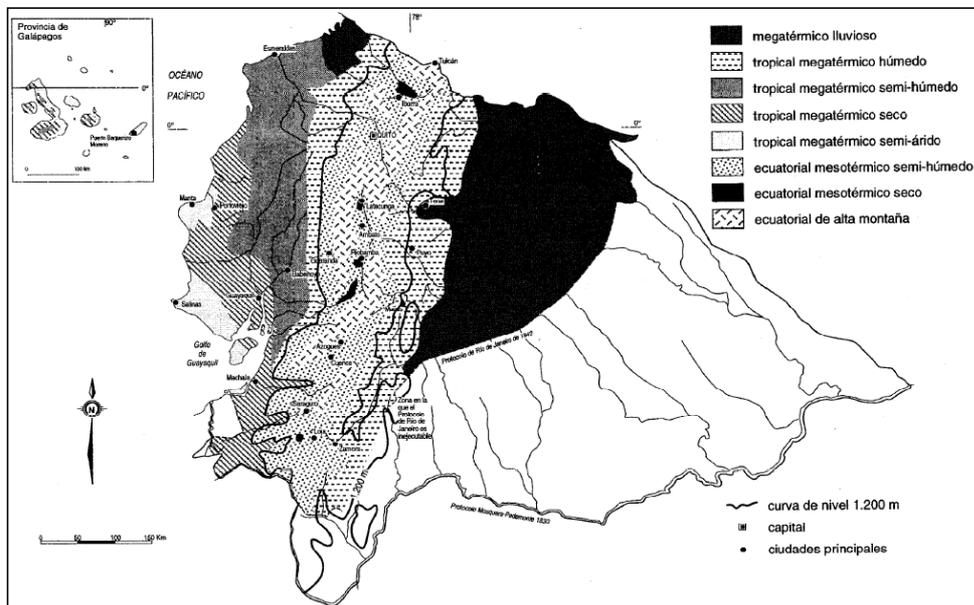
- En la región andina, se pueden describir cuatro tipos de clima
  - ✓ Clima tropical megatérmico muy húmedo, es un clima de transición entre los de la región andina y los de las zonas litoral y amazónica (~500 y 1500 m s.n.m.), las temperaturas medias anuales son elevadas, variando con la altura; las precipitaciones anuales son superiores a 2000 mm, pudiendo alcanzar 4000 mm, que caen durante una sola estación lluviosa.
  - ✓ Clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo, es el clima más característico de la zona interandina, las temperaturas medias anuales varían entre 12 y 20 °C, pudiendo ser menores en las vertientes menos expuestas al sol; las precipitaciones anuales fluctúan entre 500 y 2000 mm, repartidas en dos estaciones lluviosas (de febrero a mayo, y en octubre-noviembre), la estación seca principal (de junio a septiembre) es generalmente muy marcada, pero la segunda es bastante aleatoria (tanto en duración como en localización en el tiempo), aunque generalmente se sitúa a fines de diciembre.
  - ✓ Clima ecuatorial mesotérmico seco, asociado a los valles interandinos abrigados, las temperaturas medias anuales fluctúan entre 12 y 20 °C; la precipitación anual es inferior a 500 mm, cuya distribución en el tiempo es similar al clima ecuatorial mesotérmico semi-húmedo a húmedo.
  - ✓ Clima ecuatorial frío de alta montaña, se sitúa siempre por encima de los 3000 m s.n.m., las temperaturas medias anuales son muy variables, pero generalmente fluctúan entre los 4 y 8 °C; las precipitaciones anuales son de 800 a 2000 mm, presentando generalmente lluvias de larga duración pero de baja intensidad.
  
- En la región amazónica se presenta un tipo de clima, que abarca también parte de la región septentrional de la provincia costanera de Esmeraldas
  - ✓ Clima uniforme megatérmico muy húmedo, presenta temperaturas medias cercanas a 25 °C, y totales pluviométricos casi siempre superiores a 3000

mm, pudiendo superar los 6000 mm (ej. Volcán Reventador), a pesar de la existencia de un máximo lluvioso (julio-agosto) y una baja relativa (entre diciembre y febrero), la distribución de las lluvias es notoriamente regular en lo largo del año.

✓

**FIGURA 2.7**

**REPARTICIÓN DE LOS PRINCIPALES CLIMAS EN ECUADOR**



Fuente: Pourrut, 1995.

- En la región insular, debido al número limitado de estaciones climatológicas existentes, se describe un tipo de clima
  - ✓ Clima insular, es de tipo ecuatorial, pero se caracteriza por una gran diversidad que depende de la altura y de la exposición de las vertientes con relación a los vientos dominantes, en los bordes litorales, hasta los 100 m s.n.m., las temperaturas medias fluctúan alrededor de los 23 °C y el clima varía de árido a muy seco, pasando poco a poco a semi-húmedo y luego a húmedo a medida que aumenta la altura; la precipitación en las zonas bajas, presenta dos estaciones más húmedas de alrededor de tres meses

de duración cada una, centradas en febrero y entre junio y septiembre, mientras que, en las zonas altas, se forman garúas o neblinas entre noviembre y febrero; cabe recalcar, en este caso, que esta descripción es provisional y se basa en datos a menudo discutibles.

### **2.1.3 PRECIPITACIONES EN EL ANTISANA**

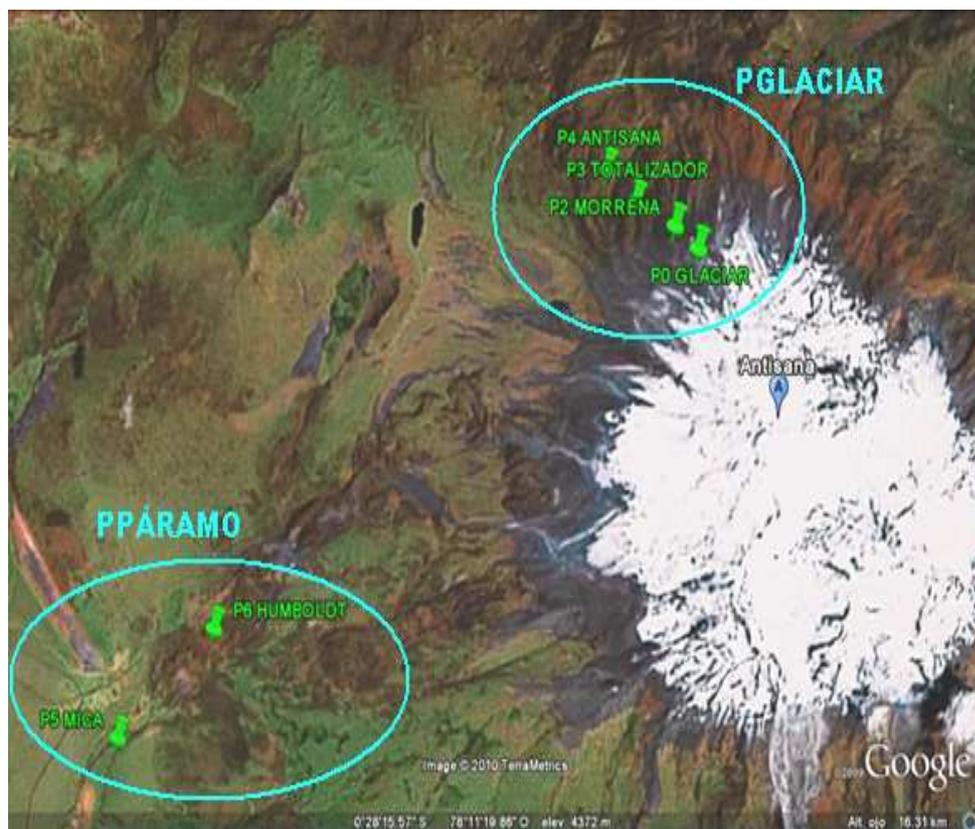
Basándose en el trabajo realizado por Villacís (2008), se presentan los regímenes de precipitación de Pglaciar, representativo de la zona cercana al glaciar, a una altitud de aproximadamente 4700 m s.n.m., y Ppáramo, representativo de la zona páramo, a una altitud de aproximadamente 4000 m s.n.m. Acorde con las zonas de comportamiento pluviométrico homogéneo, identificadas en Lhuissier (2005), Pglaciar es el promedio de los pluviómetros P0, P2, P3 y P4; y Ppáramo es el promedio de los pluviómetros P5 y P6 (Figura 2.8).

Como puede verse en la Figura 2.9, la zona glaciar tiene mayor cantidad de precipitación anual que la zona páramo, lo cual se explica en Villacís (2008), que se debe a que la zona glaciar está más expuesta al flujo de humedad proveniente de la Amazonía (principalmente en la dirección este-oeste), en cambio la zona páramo está protegida por el macizo del Antisana, formándose así un efecto de pantalla.

El máximo que se presenta en el Antisana, entre marzo y mayo, es típico del régimen de precipitación de noroeste de Brasil, lo cual está en correspondencia con el flujo este-oeste de humedad reciclado en la cuenca del Amazonas, a través del bosque, mismo que originalmente proviene del aumento de la evaporación en el Océano Atlántico tropical; el segundo pico máximo que se observa, especialmente en la zona páramo, en junio, corresponde al máximo de precipitaciones de la parte norte de la cuenca Amazónica, mismo que es provocado por la ocasional extensión hacia el sur de los centros de convección, que durante ésta época del año normalmente se sitúan en el Caribe (Villacís, 2008).

FIGURA 2.8

## ÍNDICES PGLACIAR Y PPÁRAMO



Se muestran los pluviómetros que conforman los Índices Pglaciar y Ppáramo.

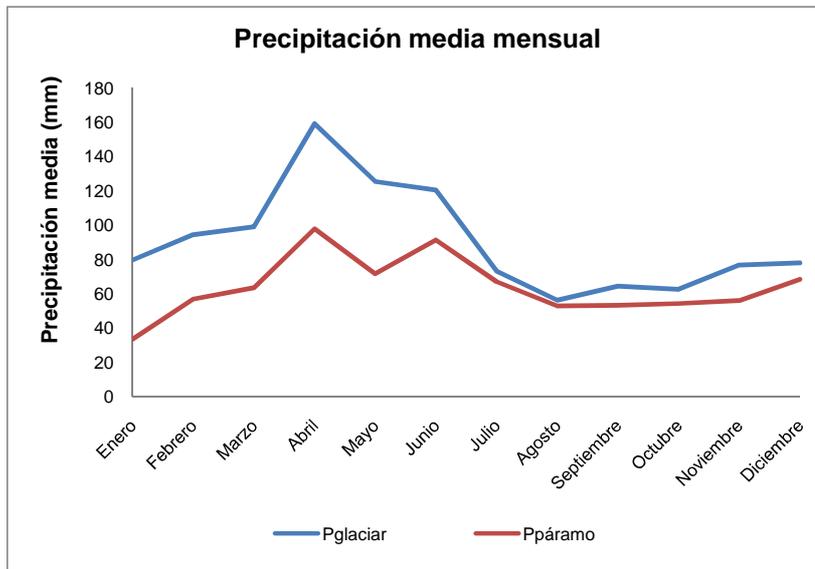
Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

El mínimo es diferente para ambas zonas, lo cual, coincidiendo con Villacís (2008), hace difícil definir el inicio de la temporada de lluvias.

FIGURA 2.9

## RÉGIMEN DE PRECIPITACIONES EN PGLACIAR Y PPÁRAMO



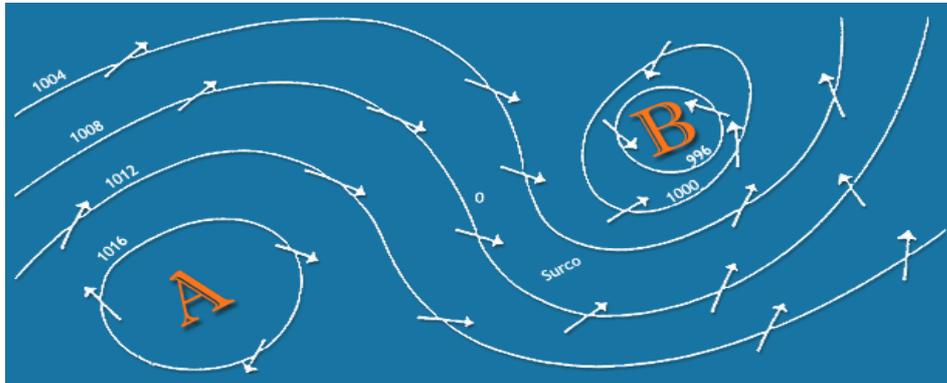
Se muestra el régimen de precipitaciones medias mensuales al pie del Glaciar 15 (Pglaciar) y en la zona páramo (Ppáramo), durante el periodo 1995 – 2007.

Elaboración: Andrea Pazmiño

## 2.3 TÉRMINOS VARIOS

### Anticiclones y Borrascas

Los anticiclones son zonas de presiones elevadas, y las borrascas (o ciclones) son zonas de presiones bajas. El gradiente de presión hace que el aire atmosférico (el viento) se desplace desde los anticiclones hacia las borrascas, dicho viento será más intenso cuanto mayor sea la diferencia de presiones entre anticiclones y borrascas (Figura 2.10) (Singh, 1992; El yelmo, 2007). En el hemisferio norte el movimiento ciclónico es antihorario y hace una espiral hacia el centro de baja presión, y el movimiento anticiclónico es en sentido horario y hace una espiral hacia afuera del centro de alta presión; mientras que en el hemisferio sur las direcciones son opuestas (Barreiro, 2008b).

**FIGURA 2.10****ANTICICLONES Y BORRASCAS**

Se muestran los anticiclones (núcleos de alta presión) y las borrascas (núcleos de baja presión).

Fuente: El yelmo, 2007.

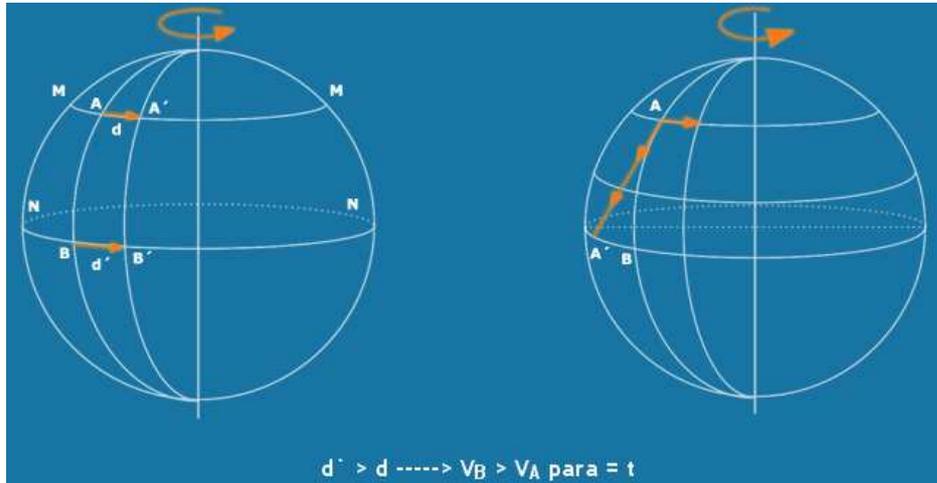
**Fuerza de Coriolis**

Observemos el punto A (Figura 2.11 izquierda), situado en un paralelo (M) de la corteza terrestre, que en un tiempo (t) dado recorrerá una distancia (d), ahora, observemos el punto B, situado en el paralelo (N), que en el mismo tiempo (t) recorre una distancia (d') mayor que la anterior; entonces, la velocidad del punto B debe ser mayor que la de A (El yelmo, 2007).

Ahora supongamos una masa de aire situada sobre A (Figura 2.11 derecha), se moverá hacia el este con la misma velocidad que el punto A, si se desplaza hacia el sur, su velocidad será la misma, pero progresivamente menor que la de los puntos más cercanos a la línea ecuatorial (que giran solidarios con el movimiento de la Tierra); por este motivo la masa de aire situada sobre A, desplazándose de norte a sur, nunca alcanzará el punto B, sino que se desviará hacia su derecha (hacia el oeste) hasta el punto A'. En el hemisferio sur la desviación será hacia la izquierda, al desplazarse desde el polo sur hacia el ecuador (El yelmo, 2007).

FIGURA 2.11

## FUERZA DE CORIOLIS



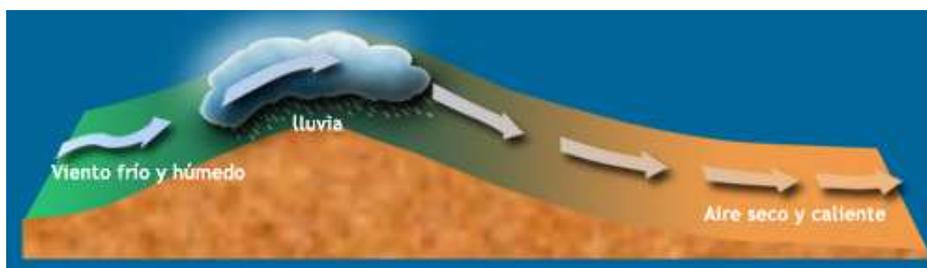
Fuente: El yelmo, 2007.

Lluvia Orográfica

Se produce cuando el aire caliente y húmedo remonta una cadena montañosa, se enfría y da lugar a precipitación en la ladera de barlovento, llegando a la ladera de sotavento el viento seco (Figura 2.12) (Singh, 1992; El yelmo, 2007).

FIGURA 2.12

## EFECTO OROGRÁFICO



Fuente: El yelmo, 2007.

## 2.4 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

América del sur, se extiende desde la zona ecuatorial hasta las latitudes medias australes, está atravesada por la cordillera de los Andes, por esto presenta gran variedad de climas, entre las principales afectaciones de la atmósfera que soporta se encuentran la ZCIT formada por la confrontación de los vientos alisios del norte y del sur, y la zona de anticiclones subtropicales formadas por la confrontación de los vientos alisios y los vientos del oeste; entre las principales corrientes marinas que influyen el clima en la parte oeste del continente, podemos citar la corriente de Humboldt, la cual, frente a las costas de Ecuador y Perú, se mezcla con la corriente ecuatorial, formando el FE que se desplaza hacia el norte o el sur dependiendo de la época del año; y uno de los fenómenos climáticos que más afecta a la parte norte del continente es el ENSO, causando variaciones extremas del clima (precipitación, temperatura).

Particularmente en el Ecuador, el clima puede variar en gran magnitud, en distancias relativamente cortas, estas variaciones se deben primordialmente a la presencia de la cordillera de los Andes y a la influencia de las corrientes provenientes de la Amazonía (la cual proviene del océano Atlántico) y del océano Pacífico; también se ve afectado en gran magnitud por el ENSO, el mismo que suele causar aumento de precipitaciones en la zona costera y disminución en la zona andina y amazónica.

## CAPÍTULO 3

### DATOS DISPONIBLES

Antes de enlistar los datos disponibles para este trabajo, se desea describir brevemente cuatro elementos importantes para que una base de datos sea considerada buena; estos elementos son: continuidad, representatividad, extensión y homogeneidad espacial.

Continuidad: la continuidad es un elemento clave en cualquier base de datos para entender el comportamiento de una variable en menor escala temporal (ej. mensual); en el Ecuador la mayoría de estaciones no cuenta con datos continuos, por ello con el programa Sistema de Información Climática (SIC) elaborado por Moreano (2008) se busca poder rellenar y/o generar datos para cualquier punto de interés (tomando en cuenta similitudes climáticas con estaciones cercanas), para que, en trabajos posteriores, sea posible utilizar esa información de manera eficaz.

Representatividad: para tener una buena representatividad con el volcán Antisana, se escogieron inicialmente las estaciones que se encuentran a una distancia de hasta 50 km de distancia del volcán. Cabe recalcar que en el programa SIC se cuenta con una opción para discriminar estaciones por su altura y/o por su cercanía.

Extensión: es importante contar con una serie extensa para tener la capacidad de evaluar algún cambio en la variabilidad temporal en mayor escala (ej. estacional); el en Antisana se tienen datos representativos de la parte glaciar y páramo desde el año 1995, por ello el periodo en el cual se desarrolla el presente trabajo comienza en Enero de ese año.

Homogeneidad espacial: uno de los atributos más deseables en un registro de datos, es sin duda, la homogeneidad espacial, ya que con esto se evitan errores

en el análisis. La forma más simple y confiable de evaluar esta homogeneidad es comparando los datos con las estaciones vecinas, asumiendo que todas las estaciones analizadas se encuentran bajo influencias climáticas similares y que el efecto de cambios en la observación puede ser diagnosticado para cada sitio (Villacís, 2001), estos análisis, para los datos de precipitación, se realizan en el capítulo 5.

A continuación se muestran los datos con los que se desarrolla el presente trabajo.

### 3.1 PRECIPITACIÓN

Inicialmente el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) proporcionó datos de precipitación (mm) de 19 estaciones cercanas al volcán Antisana (en un radio de 50 Km), y 3 estaciones sobre el mismo.

Los datos de precipitación mensual que inicialmente se recolectaron se presentan a continuación en las Tablas 3.1 y 3.2.

**TABLA 3.1**

#### **ESTACIONES METEOROLÓGICAS CERCANAS AL VOLCÁN ANTISANA**

Estación	Nombre	Datos de precipitación
M002	La Tola	Mar 1980 - Dic 2008
M003	Izobamba	Feb 1962 - Dic 2008
M024	Quito INAMHI	Ene 1975 - Dic 2008
M054	Quito - Observatorio	Ene 1970 - Dic 1989
M113	Uyumbicho	Ene 1931 - Dic 2008
M114	Tumbaco	Ene 1931 - Mar 2003
M188	Papallacta	Mar 2003 - Dic 2008
M215	Baeza	Feb 1974 - Ago 1993
M343	El Quinche - Pichincha	Mar 1963 - Dic 2008

**TABLA 3.1****CONTINUACIÓN**

Estación	Nombre	Datos de precipitación
M346	Yaruquí INAMHI	Mar 1963 - Dic 2008
M347	Puembo	Abr 1963 - Feb 1996
M353	Rumipamba	Jul 1964 - Dic 2008
M364	Loreto Pedregal	Abr 1963 - Dic 2008
M436	Cuyuja	Ene 1982 - Dic 1990
M490	Sardinas	Ago 1972 - Dic 2008
M533	Chalupas	May 1973 - Dic 1985
M545	Oyacachi	Jun 1974 - Dic 1990
M546	Cosanga	Ene 1982 - Dic 1985
M699	Borja Superior	Ene 1982 - Sep 1988

Listado de estaciones meteorológicas cercanas al volcán Antisana (radio aproximado de 50 km), con su respectivo periodo de datos de precipitación (mm).

Elaboración: Andrea Pazmiño

**TABLA 3.2****ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN EL VOLCÁN ANTISANA**

Estación	Nombre	Datos de precipitación
Pg	Pglaciar	Ene 1995 – Dic 2007
Pp	Ppáramo	Ene 1995 – Dic 2007
P5	Mica	Ene 1984 – Sep 1998

Listado de estaciones meteorológicas ubicadas en el volcán Antisana, con su respectivo periodo de datos de precipitación (mm).

Elaboración: Andrea Pazmiño

A inicios del año 2010 se pudo obtener la información de los pluviómetros ubicados en el Antisana (base de datos conjunta del INAMHI, EMAAP-Q e IRD), los cuales se listan en la Tabla 3.3.

De las estaciones mencionadas anteriormente, se escogieron: M002 La Tola, M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M113 Uyumbicho, M188 Papallacta, M343 El Quinche – Pichincha, M346, Yaruquí INAMHI, M364 Loreto Pedregal, M490 Sardinas, P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica, P6 Humboldt, P7 Crespos, P8 Crespos Morrena, P9 Páramo, P10 Camino Crespos, P11 Desaguaderos, además de los índices Ppáramo y Pglaciar.

Los datos de las estaciones seleccionadas para el presente trabajo (1995 – 2007) constan en el Anexo No1.

La ubicación geográfica de las estaciones utilizadas en el presente trabajo, se muestra en la Tabla 3.4.

Esta ubicación también se muestra gráficamente en las Figuras 3.1, 3.2 y 3.3.

**TABLA 3.3**

**PLUVIÓMETROS EN EL VOLCÁN ANTISANA**

<b>Estación</b>	<b>Nombre</b>	<b>Datos de precipitación</b>
P0	Glaciar	Abr 2001 – Jul 2007
P2	Morrena	Oct 1994 - Sep 2007
P3	Totalizador	Sep 1994 - Sep 2007
P4	Antisana	Ene 1997 - Sep 2007
P5	Mica	Ene 2001 - Sep 2007
P6	Humboldt	Ene 1995 - Sep 2007
P7	Crespos	Dic 2002 - Sep 2007
P8	Crespos Morrena	Jun 2006 - Sep 2007
P9	Páramo	Nov 2005 - Sep 2007
P10	Camino Crespos	Ene 2006 - Sep 2007
P11	Desaguadero	Mar 2006 - Sep 2007

Listado de pluviómetros ubicados en el volcán Antisana, con su respectivo periodo de datos de precipitación (mm), adquirido en el 2010.

Elaboración: Andrea Pazmiño

TABLA 3.4

## COORDENADAS DE ESTACIONES UTILIZADAS

Estación	Nombre	Latitud				Longitud				Altura (m s.n.m.)
		°	'	''		°	'	''		
M002	La Tola	0	13	46	Sur	78	22	0	Oeste	2480
M003	Izobamba	0	21	45	Sur	78	33	11	Oeste	3058
M024	Quito INAMHI – Iñaquito	0	10	0	Sur	78	29	0	Oeste	2789
M113	Uyumbicho	0	23	18	Sur	78	31	31	Oeste	2740
M188	Papallacta	0	21	54	Sur	78	8	41	Oeste	3150
M343	El Quinche - Pichincha	0	6	8	Sur	78	18	12	Oeste	2605
M346	Yaruquí INAMHI	0	9	35	Sur	78	18	55	Oeste	2600
M364	Loreto Pedregal	0	33	41	Sur	78	25	35	Oeste	3620
M490	Sardinas	0	22	16	Sur	77	48	6	Oeste	1615
P0	Glaciar	0	28	1	Sur	78	8	57	Oeste	4850
P2	Morrena	0	27	53	Sur	78	9	7	Oeste	4785
P3	Totalizador	0	27	44	Sur	78	9	24	Oeste	4555
P4	Antisana	0	27	32	Sur	78	9	37	Oeste	4455
P5	Mica	0	31	2	Sur	78	13	17	Oeste	3930
P6	Humboldt	0	30	21	Sur	78	12	33	Oeste	4059
P7	Crespos	0	29	14	Sur	78	10	3	Oeste	4450
P8	Crespos Morrena	0	29	17	Sur	78	9	38	Oeste	4730
P9	Páramo	0	28	54	Sur	78	11	31	Oeste	4269
P10	Camino Crespos	0	29	31	Sur	78	11	4	Oeste	4264
P11	Desaguadero	0	30	12	Sur	78	10	38	Oeste	4264
Pg	Pglaciar	0	27	44	Sur	78	9	24	Oeste	4555
Pp	Ppáramo	0	30	21	Sur	78	12	33	Oeste	4059

Se muestran las coordenadas geográficas de las estaciones seleccionadas para el presente trabajo<sup>1</sup>.

Elaboración: Andrea Pazmiño

<sup>1</sup> Las coordenadas de los pluviómetros están publicados (en el sistema WGS84) en el Informe del año 2007 "Glaciares del Ecuador: Antisana y Carihuayrazo" (Maisincho et al., 2009); y fueron transformadas a coordenadas geográficas gracias al programa gratuito Geotrans.

**FIGURA 3.1****UBICACIÓN DEL VOLCÁN ANTISANA EN EL ECUADOR**

Se muestra la imagen satelital del Ecuador, con la ubicación del volcán Antisana (flecha verde).

Fuente: Google maps.

**FIGURA 3.2****ESTACIONES UTILIZADAS (1)**

Imagen satelital de las estaciones seleccionadas para el presente trabajo de investigación, se pueden ubicar las estaciones en las cercanías del volcán Antisana, Pglaciar y Ppáramo.

Fuente: Google Earth

Modificación: Andrea Pazmiño

**FIGURA 3.3**

**ESTACIONES UTILIZADAS (2)**

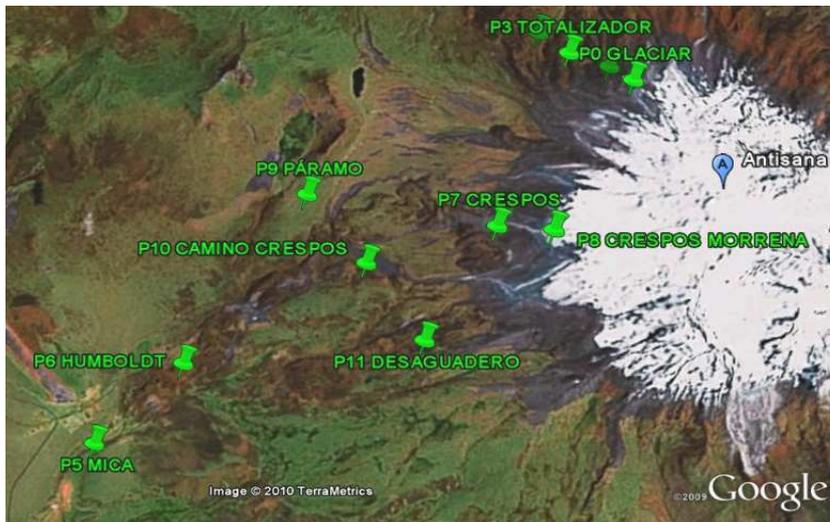


Imagen satelital de las estaciones seleccionadas para el presente trabajo de investigación, se pueden ubicar las estaciones en el volcán Antisana.

Fuente: Google Earth

Modificación: Andrea Pazmiño

### 3.2 VARIABLES FÍSICO-GEOGRÁFICAS

El clima (y por ende la precipitación) es el resultado de la interacción de varios componentes atmosféricos, oceánicos, etc., por ello se cree que lo que suceda en una parte del planeta tendrá una repercusión sobre otra parte, lo que se busca en el presente trabajo es diagnosticar posibles similitudes (ya sean correlaciones positivas o negativas) entre la precipitación sobre la zona del volcán Antisana y variables características del clima, para continuar con el trabajo realizado por Cadier et al (2007 y 2008) se han escogido las variables que se describen a continuación.

En el Anexo No2 constan los pasos a seguir para obtener estos datos, así como

los datos utilizados en el presente trabajo (para el periodo 1995 – 2007).

### 3.2.1 VIENTO

El viento es el responsable del traslado de la humedad de una zona a otra, por ello se piensa que la precipitación se ve influenciada por éste; por este motivo se desea encontrar una relación (ya sea positiva o negativa) entre el viento y la precipitación.

En el presente estudio se utilizan los datos de viento meridional, zonal y su módulo, para el periodo comprendido entre 1995 y 2007.

El viento meridional se mide en dirección norte-sur, el viento zonal en dirección este-oeste, y el módulo se puede obtener con la siguiente ecuación (Shea y Marshall, 2007):

$$F = \sqrt{u^2 + v^2} \quad (3.1)$$

Donde:

$\mu$ : velocidad del viento zonal (m/s)

$v$ : velocidad del viento meridional (m/s)

$F$ : flujo total o módulo del viento (m/s)

Los datos de viento obtenidos son de Reanálisis<sup>2</sup>, en las coordenadas 77°30'0"W, 0°0'0"N, que corresponden al centro de la grilla ubicada sobre el volcán Antisana<sup>3</sup>, para las presiones de 500 y 600 mb, esto debido a que únicamente se pueden obtener estos datos cada 100 mb de presión, y ya que, las alturas de ubicación de las estaciones P3 y P6 (que serán correlacionadas con el viento) están comprendidas entre 4000 y 4600 m s.n.m., se puede ver en Tabla 3.5 que esas presiones son las más cercanas a las alturas de interés. Se utilizan datos de Reanálisis principalmente debido a su facilidad para adquirirlos, y a sus

<sup>2</sup> [Los datos de Reanálisis se obtienen de la combinación de datos de observación, el análisis en control de calidad de estos datos y un ajuste de mayor resolución vertical en la estratósfera \(Fernández, 2010\).](#)

<sup>3</sup> [Las coordenadas 77°30'0"W, 0°0'0"N corresponden al centro de la grilla que abarca desde 76°15'0"W hasta 78°45'0"W de este a oeste; y desde 1°15'0"S hasta 1°15'0"N de sur a norte \(Fernández, 2010\).](#)

extensos periodos de datos.

**TABLA 3.5**

**PRESIÓN (MB) SEGÚN LA ALTURA (M S.N.M.)**

Altura (m s.n.m.)	Presión (mb)
111	1000
772	925
1479	850
3059	700
4272	600
5662	500
7299	400
9310	300
10529	250
11964	200
13726	150
16052	100
17955	70
19635	50
21990	30
23703	20
26342	10

Fuente: Allen et al. (1998).

Elaboración: Andrea Pazmiño

### 3.2.2 TEMPERATURA (T)

La temperatura, junto con la humedad y la presión son los factores climáticos fundamentales en el estudio y predicción del tiempo. La temperatura está sometida a numerosas oscilaciones, pero principalmente se halla condicionada por la altitud y por la altura sobre el nivel del mar (INAMHI, 2010a).

Los datos de temperatura obtenidos son de Reanálisis (77.5 °W, 0 °N), para las presiones de 500 y 600 mb, por los motivos explicados en el apartado 3.2.1.

### 3.2.3 HUMEDAD (H)

Como ya se dijo, la humedad es uno de los factores climáticos fundamentales en el estudio y predicción del tiempo. Se entiende como humedad al vapor de agua contenido en la atmósfera, y como humedad específica a la relación entre la masa de vapor de agua y la masa del aire húmedo (INAMHI, 2010a y 2010b).

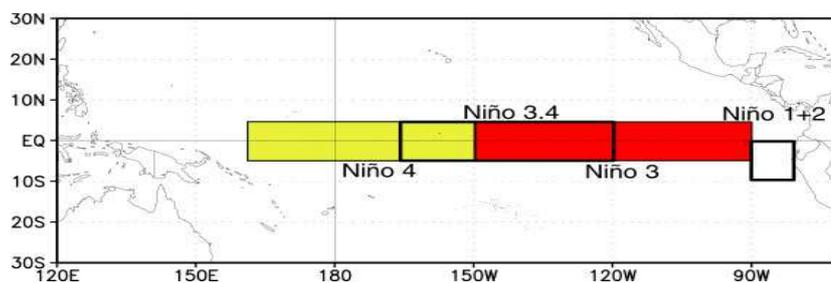
Los datos de humedad obtenidos son de Reanálisis (77.5 °W, 0 °N), para las presiones de 500 y 600 mb, por los motivos explicados en el apartado 3.2.1.

### 3.2.4 ÍNDICE EL NIÑO 3.4

Es el valor de la temperatura superficial del mar<sup>4</sup>, en el bloque 3.4 (5°N – 5°S, 170°W – 120°W), este índice puede considerarse como la SST media en el Pacífico ecuatorial, desde alrededor del meridiano de 180° (línea internacional del cambio de horario) a la costa americana (Figura 3.4) (Babylon, 2010; Trenberth y Stepaniak, 2000).

**FIGURA 3.4**

#### DEFINICIÓN GRÁFICA DE LAS REGIONES EL NIÑO



Fuente: CPC, 2005a.

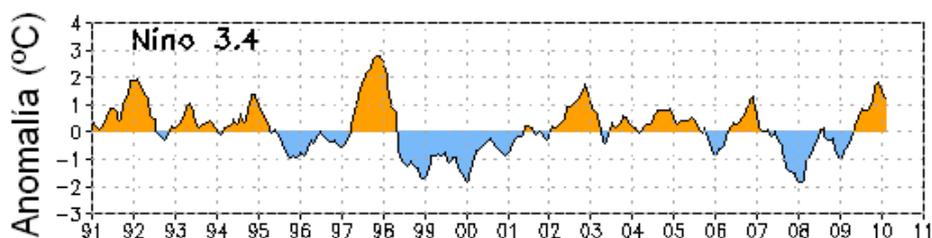
<sup>4</sup> En adelante se referirá a la temperatura superficial del mar con las siglas SST (por su significado en inglés: [Sea Surface Temperature](#))

**Con formato:** Fuente:  
(Predeterminado) Calibri, 10 pto

A manera de información se presenta la variabilidad de las anomalías de El Niño 3.4, desde 1991 hasta la fecha (Figura 3.5).

**FIGURA 3.5**

**ANOMALÍAS DE EL NIÑO 3.4 (1991 – 2010)**



Fuente: CPC, 2010.

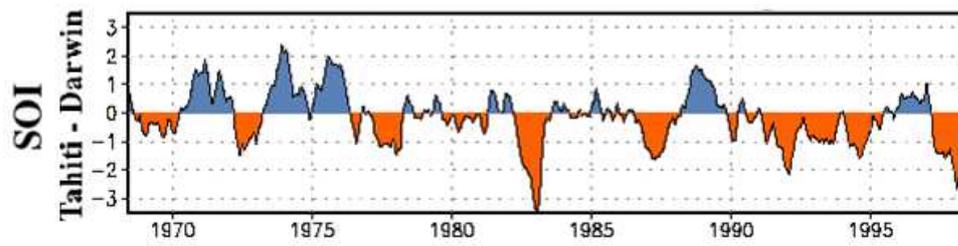
Modificación: Andrea Pazmiño

### 3.2.5 ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR (SOI)

El SOI es una medida de las fluctuaciones a gran escala que ocurren entre el oeste y el este del Pacífico tropical. Tradicionalmente, este índice se ha calculado basándose en las diferencias de las anomalías de presiones atmosféricas entre Tahití y Darwin, Australia. La fase negativa del SOI representa una presión atmosférica bajo lo normal en Tahití y una presión atmosférica sobre lo normal en Darwin. Periodos prolongados de valores negativos del SOI coinciden con un calentamiento poco usual de las aguas oceánicas sobre el Pacífico tropical oriental, típico de los episodios El Niño; y periodos prolongados de valores positivos del SOI coinciden con un enfriamiento poco usual de las aguas oceánicas sobre el Pacífico tropical oriental, típico de los episodios La Niña (CPC, 2005b).

A manera de información se presenta la variabilidad de las anomalías del SOI (Figura 3.6).

**FIGURA 3.6**  
**ANOMALÍAS DEL SOI**



Fuente: CPC, 2005b

Modificación: Andrea Pazmiño

## CAPÍTULO 4

### FUNDAMENTO TEÓRICO

Existen varios métodos de relleno de datos y métodos geoestadísticos (ver 4.2.6 Definiciones Varias). De ellos se explicarán: el método del Inverso de la Distancia (IDW), por su fácil aplicación y resultados muy aproximados a la realidad; y el método de Kriging Ordinario (KO), por ser muy certero y contener el error de estimación más bajo (Isaaks y Srivastava, 1989).

Basándose en los trabajos realizados principalmente por Isaaks y Srivastava (1989), Giraldo (s.f), se describen a continuación los métodos mencionados previamente (IDW y KO).

El programa utilizado para los cálculos de estimación es el SIC, desarrollado por Moreano (2008), ha sido modificado en su desarrollo para los métodos IDW y KO, éstas modificaciones pueden ser revisadas en detalle en los anexos No3 y No4. Para facilitar la comprensión de los métodos IDW y KO, se presenta también un ejemplo numérico que sirve para validar los métodos mencionados.

#### 4.1 INVERSO DE LA DISTANCIA (IDW)

También conocido como IDW por su nombre en inglés (Inverse Distance Weighted). Este método consiste en dar más peso a las estaciones que se encuentren más cerca del punto a estimar, y menos a las que se encuentren más lejos; entonces, el peso es inversamente proporcional a la distancia desde la muestra (dato) hasta el punto a estimar. El valor que se desea encontrar (en el punto requerido) se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\hat{v} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i} v_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i}} \quad (4.1)$$

donde:

$d_i$  son las distancias de cada uno de los sitios con datos (1 a n) hasta el punto de interés.

$v_i$  son los valores de datos, en este caso serán datos de precipitación.

$\hat{v}$  es el valor a estimar.

Para calcular el valor de precipitación ( $\hat{v}$ ) en el punto 0 o punto de interés, sólo basta realizar las operaciones sugeridas en la ecuación (4.1).

El estimador IDW dado en la ecuación (4.1) puede ser fácilmente adaptado para incluir un extenso rango de estimaciones. Además de utilizar los pesos inversamente proporcionales a su distancia, se puede hacer estos pesos inversamente proporcionales a cualquier exponente de la distancia:

$$\hat{v} = \frac{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p} v_i}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} \quad (4.2)$$

Los diferentes exponentes  $p$  que se escojan, resultarán en diferentes estimaciones. Mientras  $p$  decrece, los pesos de las muestras se asemejan más; y si el valor de  $p$  se incrementa, los pesos individuales incrementan sus diferencias, provocando que el valor en el punto estimado sea mayormente influenciado por las estaciones más cercanas. Tradicionalmente, la elección más común para el exponente del IDW es 2. La estimación con este exponente no es necesariamente mejor que las estimaciones con exponentes diferentes a 2, ya que, la elección del exponente  $p$  es arbitraria; y la tradicional popularidad de 2 se debe, en parte, al hecho de que ésta elección involucra pocos cálculos y brinda sin embargo estimaciones de gran eficiencia (Isaaks y Srivastava, 1989).

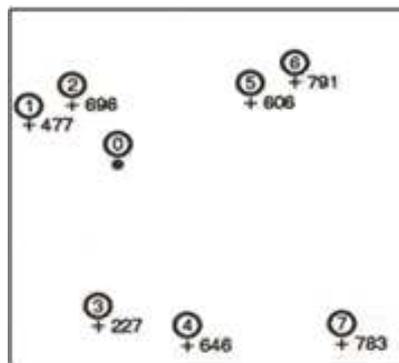
#### 4.1.1 VALIDACIÓN DEL MÉTODO IDW

Con el afán de validar el método IDW en el programa SIC, se presenta un ejercicio desarrollado en Isaaks y Srivastava (1989), cuyo resultado es conocido, luego se desarrolla el mismo ejercicio en el programa SIC, y al comparar los resultados obtenidos se podrá comprobar el funcionamiento del programa SIC

(métodos IDW y KO).

A continuación (Figura 4.1 y Tabla 4.1) se presentan los datos del ejercicio a desarrollarse:

**FIGURA 4.1**  
**ESTACIONES DEL EJERCICIO**



Fuente: Isaaks, E. y Srivastava R. (1989)

**TABLA 4.1**  
**COORDENADAS Y VALORES DE MUESTRA**

	Ejemplo No.	X (grados Este)	Y (grados Norte)	V (Precipitación)
0	0	65	137	
1	225	61	139	477
2	437	63	140	696
3	367	64	129	227
4	52	68	128	646
5	259	71	140	606
6	436	73	141	791
7	366	75	128	783

Fuente: Isaaks, E. y Srivastava R. (1989)

Elaboración: Andrea Pazmiño

El desarrollo del ejercicio se presenta por dos maneras diferentes: 1) según Isaaks y Srivastava (1989), la misma que se ha pasado a hojas de cálculo para su mejor presentación; y 2) según en el programa SIC, la cual se presenta con capturas de pantalla del programa. Finalmente, los resultados obtenidos serán comparados y servirán para determinar si el método IDW está bien codificado en el programa SIC. Para poder usar el SIC, fue necesario realizar modificaciones en el código para que el programa sea más flexible y pueda aceptar una cantidad superior a la que estaba considerada en la versión inicial.

#### 4.1.1.1 Desarrollo según Isaaks y Srivastava (1989)

En la Tabla 4.2 se presenta el peso que cada estación tiene para calcular la precipitación en el punto de interés o punto 0 (65E, 137N).

Luego, en la Tabla 4.3 se presenta la precipitación obtenida en el punto 0, según diferentes exponentes aplicados en este método, los exponentes que se muestran a continuación son los utilizados en la bibliografía original, pero pueden ser variados como el usuario prefiera.

**TABLA 4.2**  
**PESOS CALCULADOS POR EL MÉTODO IDW**

	Ejemplo No.	X	Y	V	Distancia de 65E,137N	$1/d_i$	$\frac{1/d_i}{\sum 1/d_i}$
1	225	61	139	477	4.5	0.2222	0.2088
2	437	63	140	696	3.6	0.2778	0.2610
3	367	64	129	227	8.1	0.1235	0.1160
4	52	68	128	646	9.5	0.1053	0.0989
5	259	71	140	606	6.7	0.1493	0.1402
6	436	73	141	791	8.9	0.1124	0.1056
7	366	75	128	783	13.5	0.0741	0.0696
$\sum 1/d_i =$						1.0644	

Fuente: Isaaks, E. y Srivastava R. (1989)

Elaboración: Andrea Pazmiño

TABLA 4.3

## EFECTO DEL EXPONENTE DEL MÉTODO IDW

No. Ejemplo	V	$\frac{1/d_i^p}{\sum 1/d_i^p}$					
		p = 0,2	p = 0,5	p = 1,0	p = 2,0	p = 5,0	p = 10,0
1	477	0.1564	0.1767	0.2088	0.2555	0.2324	0.0967
2	696	0.1635	0.1975	0.261	0.3993	0.7093	0.901
3	227	0.139	0.1317	0.116	0.0789	0.0123	0.0003
4	646	0.1347	0.1216	0.0989	0.0573	0.0055	0.0001
5	606	0.1444	0.1448	0.1402	0.1153	0.0318	0.0018
6	791	0.1364	0.1256	0.1056	0.0653	0.0077	0.0001
7	783	0.1255	0.102	0.0696	0.0284	0.001	0
	$\hat{v}$	601	597	594	598	637	675

Efecto que tiene el exponente del método IDW en los pesos de las muestras y en la estimación de la precipitación ( $\hat{v}$ ).

Fuente: Isaaks, E. y Srivastava R. (1989)

Elaboración: Andrea Pazmiño

#### 4.1.1.2 Desarrollo según el SIC (Versión 2)

Se ingresan los datos de ubicación del punto de interés en el SIC (versión 2) y se procede a buscar las estaciones que forman parte de este ejercicio, las estaciones activadas con un visto (al hacer clic sobre ellas), serán las incluidas en el cálculo siguiente (Figura 4.2).

Se calcula la precipitación en el punto de interés, según diferentes exponentes (se utilizan los mismos que en la sección 4.1.1.1). La Figura 4.3 muestra una captura de pantalla del programa SIC (versión 2), en la cual se puede visualizar la estimación de la precipitación ( $Z_j$ ), en mm, con el exponente 0.2; las estimaciones (de precipitación) resultantes al aplicar los exponentes 0.5, 1.0, 2.0, 5.0 y 10.0 se pueden visualizar en la Tabla 4.4.

**FIGURA 4.2**  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS EN EL SIC**

Código	Nombre	Altitud	Distancia	Latitud	Hemisferio	Longitudud	Meridiano
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 225	2300	398.65347	139	Noche	61	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 437	2300	373.143963	140	Noche	63	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 367	2300	893.525976	129	Noche	64	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 52	2300	1026.457063	128	Noche	68	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 259	2300	801.06959	140	Noche	71	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 436	2300	805.447814	141	Noche	73	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 366	2300	1249.967995	128	Noche	75	Este
<input type="checkbox"/>	A1	Aeropuerto Am...	2572	6118.062907	1.208333	Sur	78.57333333
<input type="checkbox"/>	A10	Aeropuerto Nue...	299	6027.277677	0.8683333	Noche	76.86833333
<input type="checkbox"/>	A11	Aeropuerto Port...	44	5905.717667	0.1366667	Sur	80.47166666
<input type="checkbox"/>	A12	Aeropuerto Quit...	2811	6023.175277	0.1433333	Sur	78.48333333
<input type="checkbox"/>	A13	Aeropuerto San...	557	5989.088447	0.2333333	Sur	79.2
<input type="checkbox"/>	A14	Aeropuerto She...	1043	6176.502561	1.496667	Sur	78.045
<input type="checkbox"/>	A15	Aeropuerto San...	3	5950.851962	0.5683333	Sur	80.40166667
<input type="checkbox"/>	A16	Aeropuerto T en...	527	6143.449661	1	Sur	77.81666667
<input type="checkbox"/>	A17	Aeropuerto La ...	1238	6337.209738	3.995	Sur	79.36833333

Coordenadas geográficas del punto de interés y de las estaciones involucradas en este ejercicio.

Fuente: Programa SIC (versión 2)

**FIGURA 4.3**  
**PRECIPITACIÓN ESTIMADA EN EL PUNTO 0**

Beta: 0.2      Zi: 601.915567      Interpol

Año: 2000

Mes: Enero

Opciones:

- Temperatura Máxima
- Temperatura Mínima
- Temperatura Mensual
- Precipitacion Suma

Bases CON datos para la interpolación escogida:

Ejemplo 225  
Ejemplo 437  
Ejemplo 367  
Ejemplo 52  
Ejemplo 259  
Ejemplo 436  
Ejemplo 366

Bases SIN datos para la interpolación escogida:

Precipitación estimada en el punto de interés (o punto 0), con exponente 0.2.

Fuente: Programa SIC (versión 2)

Finalmente se comparan los resultados obtenidos de las dos diferentes maneras, cabe recalcar que no se espera que dichos resultados sean idénticos, ya que, en Isaaks y Srivastava (1989) los datos de coordenadas geográficas nunca se transforman a distancia lineal (Km), y esto en el SIC es uno de los pasos principales.

**TABLA 4.4**

**PRECIPITACIÓN OBTENIDA (MÉTODO IDW)**

Precipitación (mm) estimada en el Punto 0						
	exponente					
	0.2	0.5	1.0	2.0	5.0	10.0
Isaaks y Srivastava (1989)	601	597	594	598	637	675
SIC (modificado)	602	600	597	596	604	621
<b>Error (%)</b>	0.15	0.45	0.54	0.31	5.11	7.95

Elaboración: Andrea Pazmiño

Como puede verse, el error obtenido de las dos diferentes maneras, es pequeño, por lo tanto, la codificación del método IDW queda validada en el programa SIC (versión 2).

#### **4.2 KRIGEAJE ORDINARIO (KO)**

Inicialmente, Matheron denominó a esta técnica Krigeage (en francés) que en inglés se convierte en Kriging y en español se escribe Krigeaje. Este término tiene su origen en el apellido del geólogo Sudafricano D.G. Krige, reconociendo de esta manera su aporte a la geoestadística (Quintín, s.f).

El Krigeaje se asocia a menudo con el acrónimo B.L.U.E. por sus siglas en inglés (Best Linear Unbiased Estimator), lineal, porque es una combinación lineal ponderada de los datos, imparcial, porque el error de estimación tendrá una media igual a cero (0), y mejor, en el sentido que se minimiza el error de varianza

(Isaaks y Srivastava, 1989; Castaño y Vergara, 2004). De las varias opciones de Krigeaje existentes, se escoge el Krigeaje Ordinario (KO), debido a que el KO, no necesita conocer el valor de la media para el desarrollo de sus algoritmos, basta con estimar que la media se mantiene constante en el ejercicio; y además, para cumplir la condición de imparcialidad, los pesos que minimizan la varianza, deben sumar uno (Ortiz, 2008; Rondón, s.f).

Si se tienen mediciones de una variable  $v$  (en este caso precipitación) en varios sitios  $i = 1, 2, \dots, n$ , pero se desea estimar el valor de esa variable en un punto en el cual no se realizó ninguna medición  $v_0$ , el Krigeaje ordinario propone que ésta estimación puede realizarse con una combinación lineal de las variables aleatorias así:

$$\hat{v} = w_1 v_1 + w_2 v_2 + w_3 v_3 + \dots + w_n v_n$$

$$\hat{v} = \sum_{i=1}^n w_i v_i \quad (4.3)$$

Donde  $\hat{v}$  es el valor a estimar, y  $w_i$  representa los pesos o ponderaciones de los valores reales en los puntos  $i = 1, 2, \dots, n$ . Estos pesos son calculados en función de la distancia entre los puntos muestreados y el punto donde se quiere realizar la estimación. La suma de estos pesos debe ser igual a uno, para que la esperanza de la estimación sea igual a la esperanza de la variable, lo cual se conoce como la condición de imparcialidad.

#### 4.2.1 CONDICIÓN DE IMPARCIALIDAD

Como ya se mencionó anteriormente, la condición de imparcialidad (también conocida como insesgo), se basa en que la suma de los pesos debe ser igual a uno; estadísticamente esta condición puede describirse de la siguiente manera:

$$E(\hat{v}) = E(v_0) \quad (4.4)$$

Ya que el proceso es estacionario (ver el apartado 4.2.6.2) de media  $m$  desconocida, y utilizando las propiedades del valor esperado, se demuestra que el valor esperado debe ser igual a uno:

$$\begin{aligned}
E\left(\sum_{i=1}^n w_i v_i\right) &= m \\
\sum_{i=1}^n w_i E(v_i) &= m \\
\sum_{i=1}^n w_i m &= m \\
m \sum_{i=1}^n w_i = m &\Rightarrow \sum_{i=1}^n w_i = 1
\end{aligned} \tag{4.5}$$

#### 4.2.2 VARIANZA DEL ERROR

La condición para definir al Krigeaje como “mejor” estimador es que los pesos minimicen la varianza de error de la predicción  $Var[R]$ , donde  $R$  representa el error de predicción, por concepto  $R = \hat{v} - v_0$ ; entonces se debe minimizar la expresión:

$$Var[\hat{v} - v_0] \tag{4.6}$$

Debido a las propiedades de la varianza, se tiene que:

$$Var[\hat{v} - v_0] = Var[\hat{v}] - 2Cov[\hat{v}, v_0] + Var[v_0] \tag{4.7}$$

Analizando el primer término del segundo miembro de la ecuación (4.7):

$$Var[\hat{v}] = Var\left[\sum_{i=1}^n w_i v_i\right] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j Cov[v_i, v_j] \tag{4.8}$$

El segundo término de la ecuación (4.7)

$$\begin{aligned}
2Cov[\hat{v}, v_0] &= 2Cov\left[\left(\sum_{i=1}^n w_i v_i\right) v_0\right] \\
&= 2E\left[\left(\sum_{i=1}^n w_i v_i\right) v_0\right] - 2E\left(\sum_{i=1}^n w_i v_i\right) \cdot E(v_0) \\
&= 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot E(v_i, v_0) - 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot E(v_i) \cdot E(v_0)
\end{aligned}$$

$$= 2 \sum_{i=1}^n w_i \cdot Cov[v_i, v_0] \quad (4.9)$$

En adelante se utilizará la siguiente notación:  $Cov[v_i, v_j] = C_{ij}$  y  $Var[v] = \sigma^2$ .

Reemplazando esta notación en la ecuación (4.8)

$$Var[\hat{v}] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij} \quad (4.10)$$

Y en la ecuación (4.9)

$$2Cov[\hat{v}, v_0] = 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} \quad (4.11)$$

Finalmente, reemplazando en la ecuación original (4.7)

$$Var[\hat{v} - v_0] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} + \sigma^2 \quad (4.12)$$

Debido a la condición de imparcial, la minimización de la ecuación (4.12) debe hacerse con la restricción de que los pesos sumen uno, para esto debe introducirse la técnica de los parámetros de Lagrange.

### 4.2.3 PARÁMETROS DE LAGRANGE

La técnica de los parámetros de Lagrange es un procedimiento para convertir un problema de minimización limitado a uno ilimitado, se introduce otra incógnita en nuestra ecuación de  $Var[\hat{v} - v_0]$ . Esta nueva variable es llamada el parámetro de Lagrange  $\mu$ , y se introduce en la ecuación (4.12) de la siguiente manera:

$$Var[\hat{v} - v_0] = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j C_{ij} - 2 \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} + \sigma^2 + \underbrace{\frac{2\mu}{\text{Multiplicador de Lagrange}}}_{0} \underbrace{(\sum_{i=1}^n w_i - 1)}_0 \quad (4.13)$$

Adicionar variables a una ecuación es una tarea difícil, tenemos que estar seguros de no alterar la igualdad. La manera en que se ha optado por hacerlo en la ecuación (4.13) es segura porque el término que estamos añadiendo al final es 0 debido a la condición de imparcialidad:

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1$$

$$\sum_{i=1}^n w_i - 1 = 0$$

$$2\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1) = 0 \quad (4.14)$$

La adición de este nuevo término, que no afecta a la igualdad, es todo lo que necesitamos para convertir nuestro problema de minimización limitado en uno ilimitado. La varianza de error es ahora una función de  $n + 1$  variables, los  $n$  pesos y el parámetro de Lagrange. Ajustando las  $n + 1$  derivadas parciales principales a 0 con respecto a cada una de estas variables, tendremos un sistema de  $n + 1$  ecuaciones y  $n + 1$  incógnitas. Además, ajustando la primera derivada parcial a 0 con respecto a  $\mu$  se producirá nuestra condición de imparcialidad. Los tres primeros términos de la ecuación (4.13) no contienen  $\mu$ , y no afectan a la primera derivada parcial con respecto a  $\mu$ :

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\text{Var}[\hat{v} - v_0])}{\partial\mu} &= \frac{\partial(2\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1))}{\partial\mu} \\ \frac{\partial(\text{Var}[\hat{v} - v_0])}{\partial\mu} &= 2\sum_{i=1}^n w_i - 2 \end{aligned} \quad (4.15)$$

Ajustando esta cantidad a 0 se produce la condición de imparcial:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\text{Var}[\hat{v} - v_0])}{\partial\mu} &= 2\sum_{i=1}^n w_i - 2 = 0 \\ \sum_{i=1}^n w_i - 1 &= 0 \implies \sum_{i=1}^n w_i = 1 \end{aligned} \quad (4.16)$$

Dado que la condición de imparcialidad ya está incluida en las  $n + 1$  ecuaciones que resultan de la diferenciación de  $\text{Var}[\hat{v} - v_0]$ , la solución de las  $n + 1$  ecuaciones producirá el conjunto de pesos que minimizan  $\text{Var}[\hat{v} - v_0]$  con la restricción de que los pesos sumen 1. Esta solución también proporcionará un valor para  $\mu$  que es útil para el cálculo de la minimización de la varianza del error.

#### 4.2.4 MINIMIZACIÓN DE LA VARIANZA DEL ERROR

Para minimizar la varianza de error se determinan las derivadas con respecto a  $w_1, w_2, \dots, w_n$  de la ecuación (4.13) y se ajusta cada una a 0. A continuación se detalla la primera derivada con respecto a  $w_1$ , la primera derivada respecto a los otros pesos pueden ser calculadas de manera similar.

Para mantener el orden, se muestra la primera derivada con respecto a  $w_1$  de cada término del segundo miembro de la ecuación (4.13), así el primer término:

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i \cdot w_j \cdot C_{ij})}{\partial w_1} &= \frac{\partial(w_1^2 C_{11} + 2w_1 \sum_{j=2}^n w_j C_{1j})}{\partial w_1} \\ &= 2w_1 C_{11} + 2 \sum_{j=2}^n w_j C_{1j} \\ &= 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} \end{aligned} \quad (4.17)$$

El segundo término de la ecuación (4.13), tomando en cuenta únicamente el término en que consta  $w_1$ :

$$\frac{\partial(\sum_{i=1}^n w_i C_{i0})}{\partial w_1} = \frac{\partial(w_1 C_{10})}{\partial w_1} = C_{10} \quad (4.18)$$

El tercer término no incluye  $w_1$ , por lo tanto se procede a derivar el cuarto término de la ecuación (4.13) que contiene  $w_1$

$$\frac{\partial(\mu(\sum_{i=1}^n w_i - 1))}{\partial w_1} = \frac{\partial(\mu w_1)}{\partial w_1} = \mu \quad (4.19)$$

Reemplazando las derivaciones realizadas, la derivada de la varianza del error es

$$\frac{\partial(Var[\hat{v} - v_0])}{\partial w_1} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} - 2C_{10} + 2\mu \quad (4.20)$$

Igualando a cero la ecuación anterior, se tiene:

$$\begin{aligned} 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} - 2C_{10} + 2\mu &= 0 \\ \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} + \mu &= C_{10} \end{aligned} \quad (4.21)$$

La derivación con respecto a los otros pesos produce ecuaciones similares, entonces

$$\frac{\partial(Var[\hat{v} - v_0])}{\partial w_1} = 2 \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} - 2C_{10} + 2\mu = 0 \quad \Rightarrow \quad \sum_{j=1}^n w_j C_{1j} + \mu = C_{10}$$



relación entre el modelo variograma<sup>5</sup> y el modelo covarianza<sup>6</sup>:

$$\begin{aligned}
 \gamma_{ij} &= \frac{1}{2} E \left( (v_i - v_j)^2 \right) \\
 &= \frac{1}{2} E(v_i^2) + \frac{1}{2} E(v_j^2) - E(v_i \cdot v_j) \\
 &= E(v^2) - k^2 - (E(v_i \cdot v_j) - k^2) \\
 &= \sigma^2 - C_{ij}
 \end{aligned} \tag{4.28}$$

En el presente trabajo se utilizará el modelo variograma, por lo tanto, a continuación se presentan las ecuaciones necesarias para el desarrollo del método con el mencionado modelo.

En términos del variograma, el sistema de Krigeaje ordinario puede ser escrito así:

$$\sum_{j=1}^n w_j \gamma_{ij} - \mu = \gamma_{i0} \quad \forall i = 1, \dots, n \tag{4.29}$$

$$\sum_{i=1}^n w_i = 1 \tag{4.30}$$

De forma matricial:

$$\begin{aligned}
 \overline{\gamma}_{ij} \cdot \overline{w}_i &= \overline{\gamma}_{i0} \\
 \underbrace{\begin{bmatrix} \gamma_{11} & \dots & \gamma_{1n} & 1 \\ \vdots & \ddots & \vdots & \vdots \\ \gamma_{n1} & \dots & \gamma_{nn} & 1 \\ 1 & \dots & 1 & 0 \end{bmatrix}}_{(n+1) \times (n+1)} \cdot \underbrace{\begin{bmatrix} w_1 \\ \vdots \\ w_n \\ -\mu \end{bmatrix}}_{(n+1) \times 1} &= \underbrace{\begin{bmatrix} \gamma_{10} \\ \vdots \\ \gamma_{n0} \\ 1 \end{bmatrix}}_{(n+1) \times 1}
 \end{aligned} \tag{4.31}$$

Los pesos que aseguren la mínima varianza de error serán calculados:

$$\overline{w}_i = \overline{\gamma}_{ij}^{-1} \cdot \overline{\gamma}_{i0} \tag{4.32}$$

Y la varianza de error:

$$Var[\hat{v} - v_0] = \sum_{i=1}^n w_i \gamma_{i0} + \mu \tag{4.33}$$

Pero el KO no está completo, sino, hasta que se lo ajuste con un modelo de

<sup>5</sup> y <sup>6</sup> son herramientas estadísticas que sirven para determinar el comportamiento de una variable en función de la distancia; la covarianza necesita saber el valor de la media y el variograma sólo necesita saber que la media es constante, pero no precisa conocer su valor, para su mayor comprensión sírvase revisar el apartado 4.2.6.9.

Con formato: Justificado

Con formato: Español (alfab. internacional)

variograma teórico.

#### 4.2.5 VARIOGRAMA

Un variograma es una herramienta que permite analizar el comportamiento espacial de una propiedad o variable sobre una zona dada, sirve, entre otras cosas para determinar la variabilidad de una variable con respecto a la distancia (Rondón, s.f).

Un inicio típico del análisis de continuidad espacial es el variograma omnidireccional, para el cual la tolerancia direccional es lo suficientemente grande para cualquier dirección, sólo a la distancia  $h$  (Isaaks y Srivastava, 1989). A esta función denotada por  $\gamma(h)$  se le denomina variograma. Utilizando la definición teórica de la varianza en términos del valor esperado de una variable aleatoria, tenemos:

$$\begin{aligned}\gamma(h) &= \frac{1}{2} \text{Var}(v(x) - v(x+h)) \\ \gamma(h) &= \frac{1}{2} E \left( (v(x) - v(x+h))^2 \right) - \frac{1}{2} \underbrace{\left( E(v(x+h) - v(x)) \right)^2}_0 \\ \gamma(h) &= \frac{1}{2} E \left( (v(x) - v(x+h))^2 \right)\end{aligned}\quad (4.34)$$

A esta función también se la conoce como semivarianza y es estimada a través del variograma experimental, que se calcula mediante la siguiente ecuación:

$$\gamma(h) = \frac{\sum (v(x_i) - v(x_{i+h}))^2}{2n}\quad (4.35)$$

donde  $v(x_i)$  es el valor de la variable en un sitio  $x_i$ ,  $v(x_{i+h})$  es otro valor muestral separado del anterior por una distancia  $h$  y  $n$  es el número de parejas que se encuentran separadas por dicha distancia. La función de semivarianza se calcula para varias distancias  $h$ . En la práctica, debido a la irregularidad en el muestreo y por ende en las distancias entre los sitios, la distancia recomendada inicial es la distancia mínima entre 2 estaciones, con un rango permitido de  $\pm h/2$  (Rondón,

s.f), esto es para no dejar fuera del cálculo a ninguna estación, se prueba con diferentes intervalos de distancia, hasta dar con el que se estime mejor y se construye el variograma experimental.

El variograma experimental no se puede evaluar en distancias intermedias, ya que al realizar una interpolación entre los puntos del variograma experimental no se puede asegurar que la solución exista o sea única; es por esto, que el variograma experimental debe ajustarse a un variograma teórico, para poder utilizar una función matemática en el KO. Para realizar este ajuste, existen varios modelos teóricos de variogramas.

#### 4.2.5.1 Propiedades de Variograma

Los variogramas deben cumplir con ciertas propiedades especiales, ya que cualquier función que dependa de la distancia y de la dirección no necesariamente es un variograma, entre las principales se tiene que (Rondón, s.f):

El variograma calculado en la dirección  $h$  es igual al variograma calculado en la dirección  $-h$

$$\gamma(-h) = \gamma(h) \quad (4.36)$$

Todo variograma es una función definida positiva condicional.

Para cualquier  $n$ , cualesquiera  $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$  puntos en el espacio y cualesquiera valores  $w_1, w_2, w_3, \dots, w_n$  tales que  $\sum_{i=1}^n w_i = 0$  se tiene que

$$-\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n w_i w_j \gamma(x_i - x_j) \geq 0 \quad (4.37)$$

Esta propiedad permite calcular en forma consistente la varianza de combinaciones lineales de funciones aleatorias y es la condición matemática para que el KO tenga una única solución.

#### 4.2.5.2 Parámetros de Variograma

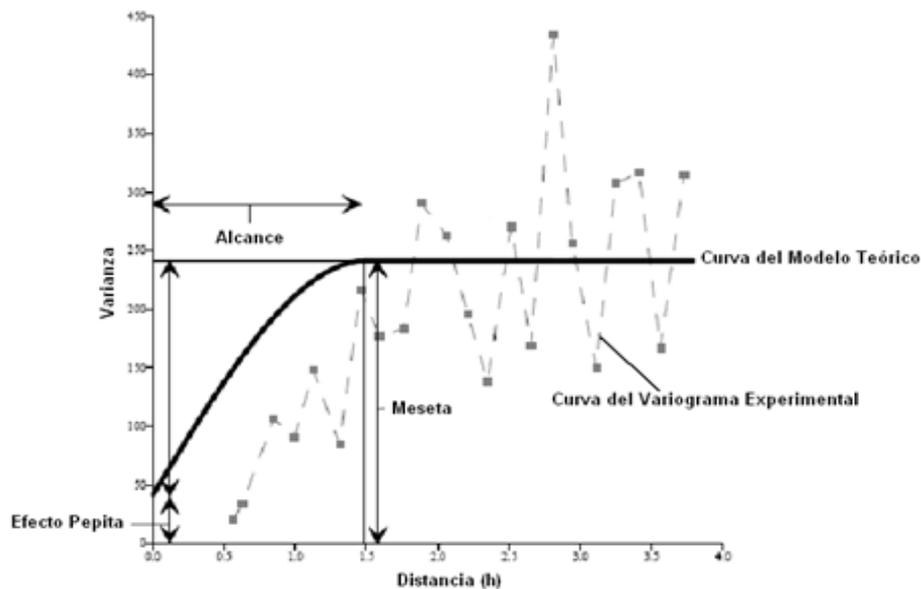
Generalmente, el variograma teórico presenta tres parámetros: efecto pepita, meseta y alcance.

##### Efecto Pepita (Nugget Effect)

Se denota por  $C_0$  y representa una discontinuidad puntual del variograma en el origen (Figura 4.4). Puede ser debido a errores de medición en la variable o a la escala de la misma. En algunas ocasiones puede ser indicativo de que parte de la estructura espacial se concentra a distancias inferiores a las observadas.

**FIGURA 4.4**

#### **VARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y VARIOGRAMA TEÓRICO**



Fuente: Demo Golden Surfer (ayuda), referido por Moreano (2008)

Modificación: Andrea Pazmiño

##### Meseta

Es la cota superior del semivariograma. Cuando el efecto pepita es cero, la

meseta se denota por  $C_1$ ; y cuando el efecto pepita es diferente de cero, la meseta se denota por  $(C_0 + C_1)$ . La meseta también es el valor de la covarianza para  $|h| = 0$ , y la varianza de las variables aleatorias,  $\sigma^2$ . Si se interpreta el efecto pepita como un error en las mediciones, esto explica porque se sugiere que en un modelo que explique bien la realidad, el efecto pepita no debe representar más del 50% de la meseta (Giraldo, s.f).

#### Alcance

En términos prácticos corresponde a la distancia a partir de la cual dos observaciones son independientes. El alcance se interpreta como la zona de influencia. Básicamente es la distancia en la cual el variograma alcanza la meseta. Existen algunos modelos de variograma en los que no existe una distancia finita para la cual dos observaciones sean independientes; por ello se llama alcance efectivo a la distancia para la cual el variograma alcanza el 95% de la meseta (Giraldo, s.f; Isaaks y Srivastava, 1989). Entre más pequeño sea el alcance, más cerca se está del modelo de independencia espacial.

#### **4.2.5.3 Modelos Teóricos de Variograma**

Los modelos teóricos básicos de variograma se pueden dividir en dos tipos, los que llegan a una meseta y los que no. Los modelos pertenecientes al primer tipo son a menudo denominados modelos de transición. Cuando el variograma no varía significativamente con la distancia, se dice que alcanza su meseta y la distancia en la que llega a esta meseta se llama alcance. Algunos de los modelos de transición alcanzan su meseta asintóticamente. Para este tipo de modelos, el alcance se define arbitrariamente a ser el 95% de la distancia a la que se alcanza la meseta (Isaaks y Srivastava 1989).

Los modelos de variograma del segundo tipo no llegan a una meseta, pero siguen aumentando a medida que la distancia aumenta. Estos modelos son a menudo necesarios cuando hay una tendencia o deriva en los valores de los datos.

Los modelos teóricos que se presentarán a continuación son los más sencillos y comunes, son modelos isotrópicos (independientes de la dirección) y además cumplen con la condición matemática definida positiva (la cual es una condición básica para poder adjuntar estos modelos teóricos de variograma al método KO); estos son Esférico, Exponencial y Gaussiano, además se ha incluido también el Modelo Pepita Puro (o también llamado modelo de independencia).

#### 4.2.5.3.1 Modelo Esférico

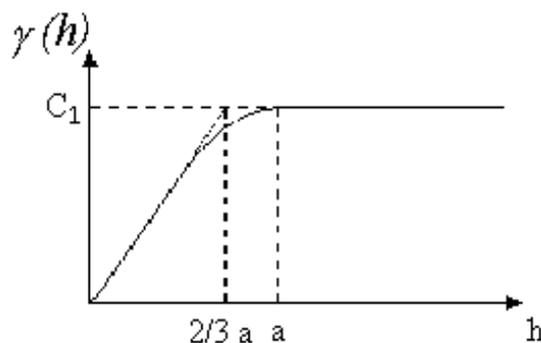
Tiene un crecimiento rápido cerca al origen (Figura 4.8), pero los incrementos marginales van decreciendo para distancias grandes, hasta que para distancias superiores al alcance los incrementos son nulos; en este modelo se asume que el alcance efectivo coincide con el parámetro  $a$ . Su expresión matemática es:

$$\gamma(h) = \begin{cases} C_0 + C_1 \cdot \left( \frac{3}{2} \left( \frac{h}{a} \right) - \frac{1}{2} \left( \frac{h}{a} \right)^3 \right) & h \leq a \\ C_0 + C_1 & h > a \end{cases} \quad (4.38)$$

En donde  $C_0$  representa al efecto pepita,  $C_1$  la meseta,  $a$  el alcance y  $h$  la distancia. La Figura 4.5 representa gráficamente este modelo.

**FIGURA 4.5**

#### MODELO ESFÉRICO



Fuente: Quintín (s.f), referido por Moreano (2008)

#### 4.2.5.3.2 Modelo Exponencial

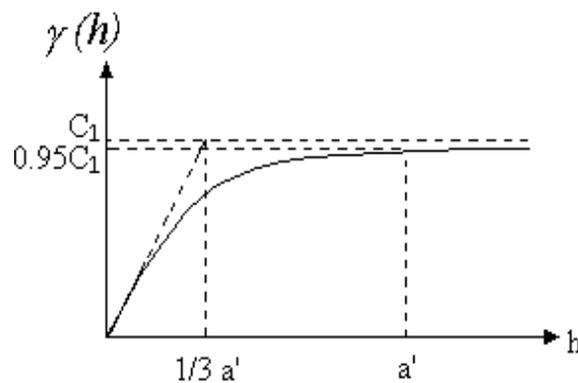
Este modelo se aplica cuando la dependencia espacial tiene un crecimiento exponencial respecto a la distancia entre las observaciones. El valor del alcance es igual a la distancia para la cual el semivariograma toma un valor igual al 95% de la meseta (Figura 4.8). Este modelo es ampliamente usado. En este caso el alcance efectivo se asume como  $\frac{a}{3}$ , lo cual ya está considerado en la expresión matemática que se presenta a continuación:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left(1 - \exp\left(-3\frac{h}{a}\right)\right) \quad (4.39)$$

En donde  $C_0$  representa al efecto pepita,  $C_1$  la meseta,  $a$  el alcance y  $h$  la distancia. La Figura 4.6 representa gráficamente este modelo.

**FIGURA 4.6**

#### MODELO EXPONENCIAL



Fuente: Quintín (s.f), referido por Moreano (2008)

#### 4.2.5.3.3 Modelo Gaussiano

Al igual que en el modelo exponencial, la dependencia espacial se desvanece solo en una distancia que tiende a infinito. El principal distintivo de este modelo es su forma parabólica cerca al origen (Figura 4.8); el alcance efectivo se asume

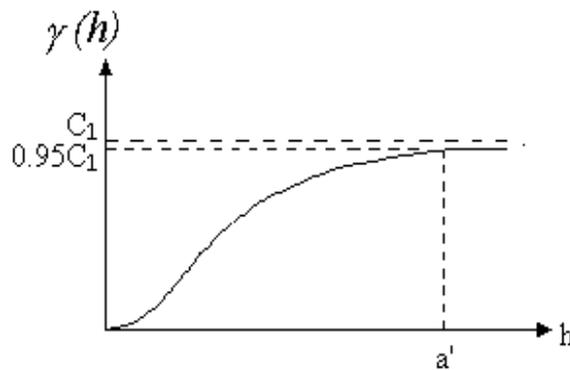
como  $\frac{a}{\sqrt{3}}$ , lo cual ya está considerado en la expresión matemática que se presenta a continuación:

$$\gamma(h) = C_0 + C_1 \cdot \left(1 - \exp\left(-3\frac{h^2}{a^2}\right)\right) \quad (4.40)$$

En donde  $C_0$  representa al efecto pepita,  $C_1$  la meseta,  $a$  el alcance y  $h$  la distancia. La Figura 4.7 representa gráficamente este modelo.

**FIGURA 4.7**

**MODELO GAUSSIANO**



Fuente: Quintín (s.f), referido por Moreano (2008)

En la Figura 4.8 se presenta un gráfico que compara los tres métodos mencionados, para ver sus similitudes y diferencias de mejor manera.

**4.2.5.3.4 Modelo de Independencia (Pepita Puro).**

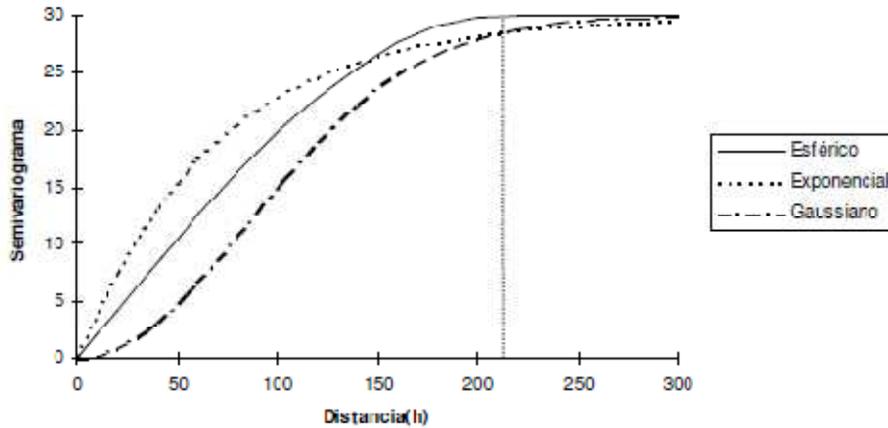
Es indicativo de carencia de correlación espacial entre las observaciones de una variable. Su expresión matemática es:

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & h = 0 \\ C_0 & h > 0 \end{cases}, \text{ donde } C_0 > 0 \quad (4.41)$$

Su representación gráfica es la siguiente (Figura 4.9):

FIGURA 4.8

## MODELOS EXPONENCIAL, ESFÉRICO Y GAUSSIANO



Al comparar los modelos Exponencial, Esférico y Gaussiano, se observa que la línea punteada vertical representa el alcance en el caso del modelo Esférico y el alcance efectivo en el de los modelos Exponencial y Gaussiano. Se ha escogido un ejemplo con valores numéricos para que se pueda distinguir de mejor manera los valores que se deberán estimar en la práctica. El alcance tiene un valor de 210, respecto a una escala simulada entre 0 y 300. El valor de la meseta es 30 y el del efecto pepita 0. El 95% de la meseta es igual a 28.5.

Fuente: Giraldo, s.f.

FIGURA 4.9

## MODELO PEPITA PURO



Fuente: Quintín (s.f), referido por Moreano (2008)

## 4.2.6 DEFINICIONES VARIAS

Para el correcto entendimiento de los métodos explicados, es necesario manejar ciertos conceptos, los mismos que se describen a continuación, estos conceptos, para una ubicación más rápida, se han desarrollado por orden alfabético.

### 4.2.6.1 Anisotropía

Como concepto, anisotropía es el comportamiento desigual en las diferentes direcciones del espacio (Martínez, 2000). Esto aplicado a la práctica del presente trabajo puede interpretarse como la propiedad según la cual la distribución de la precipitación cambia con la dirección.

### 4.2.6.2 Esperanza

En estadística la esperanza (también llamada esperanza matemática o valor esperado) de una variable aleatoria discreta  $X$  que puede tomar los valores  $X_1, X_2, \dots, X_n$  con probabilidades  $p_1, p_2, \dots, p_n$ , donde  $p_1 + p_2 + \dots + p_n = 1$ , se denota por  $E(X)$  y se define como (Spiegel et al., 1998):

$$E(X) = p_1X_1 + p_2X_2 + \dots + p_nX_n = \sum_{i=1}^n p_iX_i = \sum pX \quad (4.42)$$

Algunas de las principales propiedades de la esperanza son:

$$E(k) = k \quad (4.43)$$

$$E(X + Y) = E(X) + E(Y) \quad (4.44)$$

$$E(kX) = kE(X) \quad (4.45)$$

$$E(XY) = E(X)E(Y) \quad (4.46)$$

Donde  $X, Y$  son variables aleatorias y  $k$  es una constante cualquiera (Galindo, 2006).

### 4.2.6.3 Estacionariedad

La variable regionalizada (ver el apartado 4.2.6.8) es estacionaria si su función de distribución conjunta es invariante respecto a cualquier translación del vector  $h$ , es decir que la función de distribución del vector aleatorio  $\vec{V}(X) = [V(X_1), V(X_2), \dots, V(X_n)]^T$  es idéntica a la del vector  $\vec{V}(X) = [V(X_1 + h), V(X_2 + h), \dots, V(X_n + h)]^T$  para cualquier  $h$ .

En el campo espacial existen múltiples direcciones de variación y por lo tanto se debe asumir que en todas el fenómeno es estacionario; cuando la esperanza de la variable no es la misma en todas las direcciones, entonces no existe estacionariedad, para aclarar este concepto se dice que "estacionariedad" es lo mismo que "idénticamente distribuido"; si la correlación entre los datos no depende de la dirección en la que se calcule, el fenómeno es isotrópico, de lo contrario se habla de anisotropía (es decir que en este caso la correlación si depende de la dirección como se definió en el apartado 4.2.6.1) (Giraldo, s.f; Jiménez, s.f).

#### 4.2.6.3.1 Estacionariedad de Segundo Orden

Si  $\{V(X): X \in D \subset R^d\}$  es una variable regionalizada definida en un dominio  $D$  contenido en  $R^d$  (generalmente es una variable medida en la superficie de una región), se dice que  $V(X)$  es estacionario de segundo orden si cumple (Giraldo, s.f):

El valor esperado de la variable aleatoria es finito y constante para todo punto en el dominio.

$$E(V(X)) = m, \quad k \in R, \quad \forall X \in D \subset R^d \quad (4.47)$$

Para toda pareja  $\{V(X), V(X + h)\}$  la covarianza existe y es función única del vector de separación  $h$ .

$$Cov[V(X), V(X + h)] = C(h) < \infty \quad (4.48)$$

La existencia de la covarianza implica que la varianza existe, es finita y no depende de la distancia  $h$ , es decir  $Var[V(X_i)] = C(0) = \sigma^2$ .

#### 4.2.6.3.2 Estacionariedad Débil o Intrínseca

Existen algunos fenómenos físicos reales en los que la varianza no es finita. En estos casos se trabaja sólo con la hipótesis que pide que los incrementos  $[V(X+h) - V(X)]$  sean estacionarios, es decir (Giraldo, s.f):

$V(X)$  tiene esperanza finita y constante para todo punto en el dominio. Lo que implica que la esperanza de los incrementos es cero.

$$E[V(X+h) - V(X)] = 0 \quad (4.49)$$

Para cualquier vector  $h$ , la varianza del incremento está definida y es una función única de la distancia.

$$Var[V(X+h) - V(X)] = E[V(X+h) - V(X)]^2 = 2\gamma(h) \quad (4.50)$$

#### 4.2.6.4 Funciones Aleatorias

Se conoce como función aleatoria (o proceso estocástico) a la distribución de probabilidad conjunta de las variables aleatorias que la conforman, sea cual sea el número de ellas y el conjunto de localizaciones (Montero y Larraz, 2008).

##### 4.2.6.4.1 Función Aleatoria Estacionaria en sentido estricto

Una función aleatoria es estacionaria en sentido estricto (o estrictamente estacionaria) si todas las variables aleatorias que la componen tienen la misma función de distribución de probabilidad; es decir que el lugar concreto donde se examine la función aleatoria no es relevante, ya que su distribución de probabilidad es la misma en toda localización (Montero y Larraz, 2008).

#### 4.2.6.4.2 *Función Aleatoria Estacionaria de segundo orden*

La estacionariedad de segundo orden implica la existencia de la varianza de la función aleatoria; es decir que, los incrementos o diferencias  $V(X + h) - V(X)$  tienen varianza finita. A este tipo de funciones se les califica como intrínsecamente estacionarias (Montero y Larraz, 2008).

#### 4.2.6.4.3 *Función Aleatoria No Estacionaria*

Una función aleatoria no estacionaria es aquella cuya esperanza matemática depende de  $X$  (Díaz, 2002):

$$E(V(X)) = g(X) \quad (4.51)$$

Siendo  $g(X)$  una función de deriva o tendencia.

#### 4.2.6.5 **Media**

La media aritmética, promedio o simplemente media, es un valor típico o representativo de un conjunto de datos, ya que, este valor se sitúa hacia el centro del conjunto de datos ordenado por magnitud, es parte de las medidas de tendencia central, y se calcula (Galindo, 2006; Spiegel, et al., 1998)

$$m = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{n} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (4.52)$$

#### 4.2.6.6 **Métodos de Relleno de Datos y Geoestadísticos**

##### 4.2.6.6.1 *Métodos de Relleno de Datos*

Los métodos de relleno de datos se basan en una distribución sobre un plano, es decir sin considerar la topografía, ya que la superficie que se genera con estos

métodos no puede tener grandes cambios (Garcés y Santana, 2009).

#### **4.2.6.6.2 Métodos Geoestadísticos**

La aplicación de métodos geoestadísticos permite simular la continuidad espacial, que es un rasgo distintivo esencial de muchos fenómenos naturales, a partir de datos puntuales, adaptando las técnicas clásicas de regresión (Isaaks y Srivastava, 1989), lo cual es una sugestiva solución al problema de la disponibilidad de datos georeferenciados (Garcés y Santana, 2009).

#### **4.2.6.7 Variable Aleatoria**

Se llama variable aleatoria a cualquier función que le asigna un número real a cada uno de los resultados de un experimento aleatorio, aquel cuya respuesta no puede ser establecida de antemano (Giraldo, s.f).

##### **4.2.6.7.1 Variable Aleatoria Discreta**

Es la variable aleatoria en cuyo recorrido el conjunto de los puntos que tienen probabilidad estrictamente positiva es finito o infinito numerable; si el recorrido de la variable  $X$  es el conjunto de números  $\{x_1, x_2, \dots, x_n, \dots\}$ , se tiene que (Galindo, 2006):

$$p(X = x_i) > 0 \quad (4.53)$$

Además, si  $p_i = p(X = x_i)$ , es la probabilidad de que  $X$  tome el valor  $x_i$ , se cumple que

$$p_1 + p_2 + \dots + p_n + \dots = 1 \quad (4.54)$$

#### 4.2.6.7.2 Variable Aleatoria Continua

Es la variable cuyo recorrido es un intervalo finito o infinito de  $\mathbb{R}$ , también se dice que una variable aleatoria  $X$  es continua si para todo valor real  $x$  se tiene que (Galindo, 2006):

$$p(X = x) = 0 \quad (4.55)$$

#### 4.2.6.8 Variable Regionalizada

Es una variable medida en el espacio de forma que presente una estructura de correlación. En términos prácticos  $V(X)$  es la medición de una variable aleatoria en un punto  $X$  de una región de estudio (Giraldo, s.f).

#### 4.2.6.9 Varianza y Covarianza

La varianza expresa la distribución de la masa en torno a su centro, generalmente se denota por  $Var[X]$  o  $\sigma^2$ , y se calcula mediante (Galindo, 2006)

$$Var[X] = E(X - E(X))^2 \quad (4.56)$$

O equivalentemente por

$$Var[X] = E(X)^2 - (E(X))^2 \quad (4.57)$$

Abreviando, la varianza da la idea de cuán dispersos se encuentran los valores que toma la variable aleatoria en torno de la media, una mayor varianza indica que los valores tienden a estar más alejados de la media, y una menor varianza, lo contrario.

La covarianza permite evaluar la relación entre las variables aleatorias  $X$  y  $Y$ , y se calcula mediante (Galindo, 2006)

$$Cov[X, Y] = E((X - E(X))(Y - E(Y))) \quad (4.58)$$

O equivalentemente por

$$\text{Cov}[X, Y] = E(XY) - E(X)E(Y) \quad (4.59)$$

Algunas propiedades de la varianza y covarianza, son:

$$\text{Var}[X] \geq 0 \quad (4.60)$$

$$\text{Var}[k] = 0 \quad (4.61)$$

$$\text{Var}[kX] = k^2\text{Var}[X] \quad (4.62)$$

$$\text{Cov}[X, Y] = \text{Cov}[Y, X] \quad (4.63)$$

$$\text{Cov}[X, X] = \text{Var}[X] \quad (4.64)$$

$$\text{Var}[X + Y] = \text{Var}[X] + 2\text{Cov}[X, Y] + \text{Var}[Y] \quad (4.65)$$

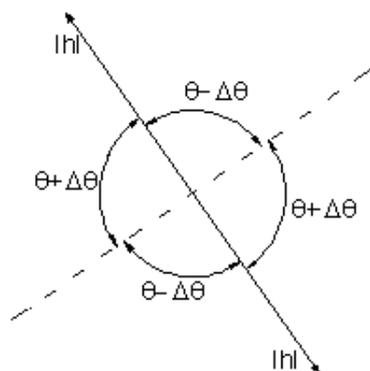
$$\text{Var}[X - Y] = \text{Var}[X] - 2\text{Cov}[X, Y] + \text{Var}[Y] \quad (4.66)$$

#### 4.2.6.10 Variograma Omnidireccional

Es aquel que no depende de la dirección. Se obtiene al escoger la tolerancia angular  $\Delta\theta$  de forma tal que las direcciones  $\theta + \Delta\theta$  y  $\theta - \Delta\theta$  sean opuestas y perpendiculares a la dirección  $\theta$  (Figura 4.10).

**FIGURA 4.10**

#### VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL



Elaboración: Andrea Pazmiño

El programa SIC está diseñado inicialmente para realizar variogramas omnidireccionales, pero si el usuario desea realizar un variograma direccional puede, en otro programa o manualmente escoger las estaciones que serán tomadas en cuenta según la tolerancia que se desee permitir para cada dirección, y luego seleccionar únicamente esas estaciones en el SIC.

Cabe recalcar que, el variograma omnidireccional no es necesariamente el promedio de todos los variogramas direccionales (Isaaks y Srivastava, 1989).

#### **4.2.7 VALIDACIÓN DEL MÉTODO KO**

Con el afán de validar el método KO en el programa SIC, se presenta un ejercicio de resultado conocido desarrollado en Isaaks y Srivastava (1989); además se desarrolla también dicho ejercicio en el programa SIC. Los datos son los mismos utilizados en el apartado 4.1.1 Validación del Método IDW, por ello no se presentan nuevamente.

Al igual que en la validación del Método IDW, en la validación del KO, el ejercicio se desarrolla de dos maneras diferentes: 1) según Isaaks y Srivastava (1989), la misma que se ha pasado a hojas de cálculo para su mejor presentación; y 2) según en el programa SIC, la cual se presenta con capturas de pantalla del programa. Finalmente, los resultados obtenidos serán comparados y servirán para determinar si el método KO está bien codificado en el programa SIC. Para poder usar el SIC, fue necesario realizar modificaciones en el código para que el programa sea más flexible y pueda aceptar una cantidad superior a la que estaba considerada en la versión inicial.

##### **4.2.7.1 Desarrollo según Isaaks y Srivastava (1989)**

Se calculan las distancias entre todas las estaciones involucradas en el ejercicio (Tabla 4.5).

Luego se calculan las matrices que sirven para definir el valor de la precipitación en el punto de interés (Punto 0), estas matrices responden a la función covarianza, en el programa SIC se utiliza la función varianza, ya que cualquiera de estas funciones es aplicable al método.

**TABLA 4.5**  
**DISTANCIAS ENTRE PARES DE DATOS**

Lugar	Distancia							
	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0.00	4.47	3.61	8.06	9.49	6.71	8.94	13.45
1	4.47	0.00	2.24	10.44	13.04	10.05	12.17	17.80
2	3.61	2.24	0.00	11.05	13.00	8.00	10.05	16.97
3	8.06	10.44	11.05	0.00	4.12	13.04	15.00	11.05
4	9.49	13.04	13.00	4.12	0.00	12.37	13.93	7.00
5	6.71	10.05	8.00	13.04	12.37	0.00	2.24	12.65
6	8.94	12.17	10.05	15.00	13.93	2.24	0.00	13.15
7	13.45	17.80	16.97	11.05	7.00	12.65	13.15	0.00

Distancias entre todos los posibles pares de datos (adimensional).

Fuente: Isaaks y Srivastava, 1989

Elaboración: Andrea Pazmiño

$$C = \begin{pmatrix} 10.00 & 5.11 & 0.44 & 0.20 & 0.49 & 0.26 & 0.05 & 1.00 \\ 5.11 & 10.00 & 0.36 & 0.20 & 0.91 & 0.49 & 0.06 & 1.00 \\ 0.44 & 0.36 & 10.00 & 2.90 & 0.20 & 0.11 & 0.36 & 1.00 \\ 0.20 & 0.20 & 2.90 & 10.00 & 0.24 & 0.15 & 1.22 & 1.00 \\ 0.49 & 0.91 & 0.20 & 0.24 & 10.00 & 5.11 & 0.22 & 1.00 \\ 0.26 & 0.49 & 0.11 & 0.15 & 5.11 & 10.00 & 0.19 & 1.00 \\ 0.05 & 0.06 & 0.36 & 1.22 & 0.22 & 0.19 & 10.00 & 1.00 \\ 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 1.00 & 0.00 \end{pmatrix}$$

$$D = \begin{pmatrix} 2.61 \\ 3.39 \\ 0.89 \\ 0.58 \\ 1.34 \\ 0.68 \\ 0.18 \\ 1.00 \end{pmatrix}$$

$$C^{-1} = \begin{pmatrix} 0.127 & -0.077 & -0.013 & -0.009 & -0.008 & -0.009 & -0.012 & 0.136 \\ -0.077 & 0.129 & -0.010 & -0.008 & -0.015 & -0.008 & -0.011 & 0.121 \\ -0.013 & -0.010 & 0.098 & -0.042 & -0.010 & -0.010 & -0.014 & 0.156 \\ -0.009 & -0.008 & -0.042 & 0.102 & -0.009 & -0.009 & -0.024 & 0.139 \\ -0.008 & -0.015 & -0.010 & -0.009 & 0.130 & -0.077 & -0.012 & 0.118 \\ -0.009 & -0.008 & -0.010 & -0.009 & -0.077 & 0.126 & -0.013 & 0.141 \\ -0.012 & -0.011 & -0.014 & -0.024 & -0.012 & -0.013 & 0.085 & 0.188 \\ 0.136 & 0.121 & 0.156 & 0.139 & 0.118 & 0.141 & 0.188 & -2.180 \end{pmatrix}$$

$$w = C^{-1} * D = \begin{pmatrix} 0.173 \\ 0.318 \\ 0.129 \\ 0.086 \\ 0.151 \\ 0.057 \\ 0.086 \\ 0.907 \end{pmatrix}$$

Los valores del variograma se presentan como dato en Isaaks y Srivastava, (1989) y son:

$$\begin{aligned} \text{Efecto Pepita: } C_0 &= 0 \\ \text{Meseta: } C_1 &= 10 \\ \text{Alcance: } a &= 10 \end{aligned}$$

Finalmente el valor estimado de la precipitación en el Punto 0 es 592.7, calculado mediante la ecuación (4.3) y la varianza de error = 7.14, calculada mediante la ecuación (4.27).

Para un mejor entendimiento, se desarrollan numéricamente las ecuaciones (4.3) y (4.27). Ecuación (4.3):

Y la ecuación (4.27):

$$\text{Var}[\hat{v} - v_0] = \sigma_R^2 = \sigma^2 - \left( \sum_{i=1}^n w_i C_{i0} + \mu \right)$$

$$\sigma_R^2 = 10 - (0.173 * 2.61 + 0.318 * 3.39 + 0.129 * 0.89 + 0.086 * 0.58 + 0.151 * 1.34 + 0.057 * 0.68 + 0.086 * 0.18 + 0.907)$$

$$\sigma_R^2 = 8.96$$

#### 4.2.7.2 Desarrollo según el SIC (Versión 2)

Se ingresan los datos de ubicación del punto de interés en el SIC (versión 2) y se procede a buscar las estaciones que forman parte de este ejercicio.

En la Figura 4.11 se presenta una captura de pantalla, en la cual debe escogerse como método de interpolación el KO.

En la siguiente pantalla que se despliega (los datos de este ejercicio constan en la base de datos del SIC, en Enero 2000), deben ordenarse las distancias de forma ascendente (dar clic sobre "distancias"), luego se escoge una distancia inicial (en este caso 202) y el programa muestra la lista de pares según el rango de distancia, con sus respectivas semivarianzas (Figura 4.12).

Después se grafica el variograma experimental, debe escogerse un variograma teórico lo más cercano al experimental, con sus diferentes parámetros (Figura 4.13).

Si bien el variograma teórico escogido en la Figura 4.13 (modelo exponencial) no representa exactamente al variograma experimental, es el modelo que más se asemeja, cabe mencionar que en una zona homogénea será más fácil de ajustar el variograma experimental a un modelo teórico.

**FIGURA 4.11**  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS**

Calculo de Distancia - Coordenadas Geográficas

Latitud: 137 ° ' " Norte Altura: Distancia: Buscar

Longitud: 65 ° ' " Este Limpiar

Código	Nombre	Altitud	Distancia	Latitud	Hemisferio	Longitud	Meridiano
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 225	2300	398.65347	139	Norte	61	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 437	2300	373.14369	140	Norte	63	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 367	2300	893.525976	129	Norte	64	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 52	2300	1026.457063	128	Norte	68	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 259	2300	601.06999	140	Norte	71	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 436	2300	805.447814	141	Norte	73	Este
<input checked="" type="checkbox"/>	Ejemplo 366	2300	1249.367855	128	Norte	75	Este
<input type="checkbox"/>	Aeropuerto Am...	2572	6110.062807	1.208233	Sur	78.57333333	Este
<input type="checkbox"/>	A10	259	6027.277677	0.8683333	Norte	76.86833333	Este
<input type="checkbox"/>	A11	44	5905.717687	0.1366667	Sur	80.47166666	Este
<input type="checkbox"/>	A12	2811	6023.175277	0.1433333	Sur	78.48333333	Este
<input type="checkbox"/>	A13	557	5989.088447	0.2333333	Sur	79.2	Este
<input type="checkbox"/>	A14	1043	6176.502561	1.496667	Sur	78.045	Este
<input type="checkbox"/>	A15	3	5950.851962	0.5683333	Sur	80.40166667	Este
<input type="checkbox"/>	A16	527	6143.449661	1	Sur	77.81666667	Este
<input type="checkbox"/>	A17	1238	6337.209738	3.995	Sur	79.36833333	Este

Método Interpolación: IDW Interpolador Seleccionar Todo

Coordenadas geográficas del punto de interés y de las estaciones involucradas en este ejercicio.

Fuente: Programa SIC (versión 2)

**FIGURA 4.12**  
**PARES DE ESTACIONES Y SEMIVARIANZAS**

Interpolación Kriging

Año: 2000 Mes: Enero

Opciones:  
 Temperatura Máxima  
 Temperatura Mínima  
 Temperatura Mensual  
 Precipitación Suma

Calcular Distancias y Varianzas

Pares	Distancias (Km)	Varianzas (mm2)
Ejemplo 225 y Ejemplo 437	202.653385	47961
Ejemplo 259 y Ejemplo 436	204.644621	34225
Ejemplo 367 y Ejemplo 52	298.579796	175561
Ejemplo 52 y Ejemplo 366	479.433451	18769
Ejemplo 437 y Ejemplo 259	601.795543	6100
Ejemplo 367 y Ejemplo 366	763.394386	309136
Ejemplo 225 y Ejemplo 259	853.05837	16641
Ejemplo 437 y Ejemplo 436	865.451459	9025
Ejemplo 225 y Ejemplo 436	1046.055447	96936
Ejemplo 225 y Ejemplo 367	1136.552329	62500
Ejemplo 437 y Ejemplo 367	1226.641265	219961
Ejemplo 225 y Ejemplo 52	1334.983538	28961
Ejemplo 367 y Ejemplo 259	1336.965373	143641
Ejemplo 52 y Ejemplo 259	1355.159801	1600
Ejemplo 259 y Ejemplo 366	1370.2679	31329
Ejemplo 437 y Ejemplo 52	1385.447055	2500
Ejemplo 436 y Ejemplo 366	1495.066777	64

Estaciones que NO están contempladas para la formación de parejas:

Distancia (Km)	Intervalo (Km)	Numero Pares ...	Varianza (mm2)	Semi-varianza ...
202	101 - 303	3	257747	42957.833333
404	303 - 505	1	18789	5384.5
606	505 - 707	1	8100	4050
808	707 - 909	3	324802	55800.333333
1010	909 - 1111	1	96936	49298
1212	1111 - 1313	2	202461	70615.25
1414	1313 - 1515	8	546816	34176
1616	1515 - 1717	2	101205	25301.25

Tamaño del Intervalo: 202

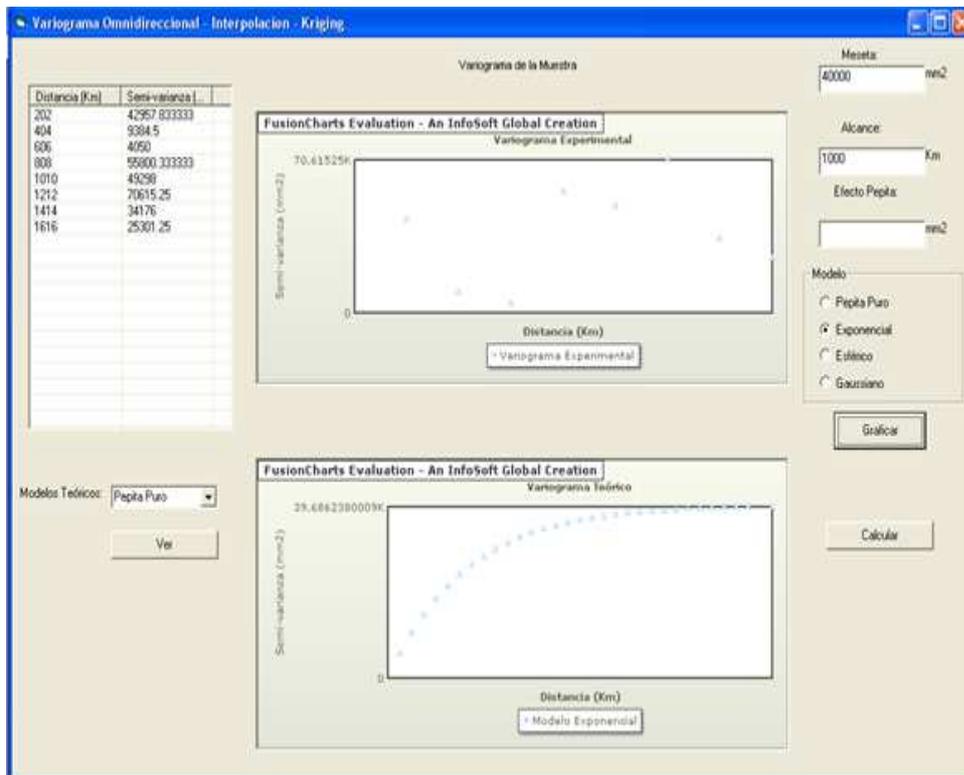
Distancia Inicial

Graficar

Pares de estaciones y semivarianzas, ordenadas según el rango de distancias.

Fuente: Programa SIC (versión 2)

**FIGURA 4.13**  
**VARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y TEÓRICO**



Variograma experimental y teórico, con todos los componentes que se deben ingresar en el SIC para acercar un variograma experimental a uno teórico.

Fuente: Programa SIC (versión 2)

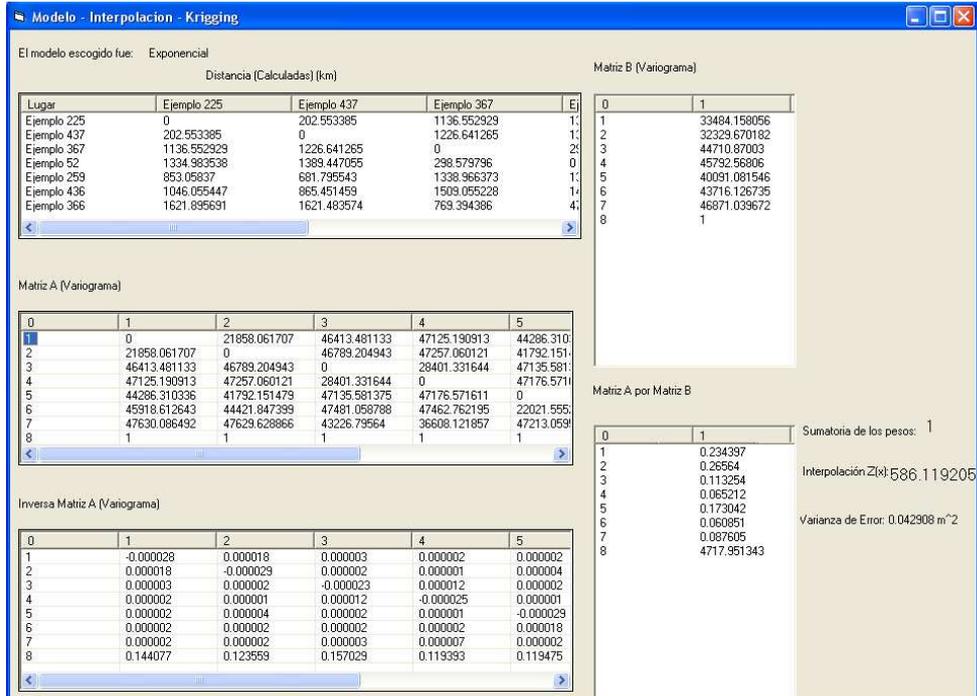
Para comparar ambas gráficas (variograma experimental y variograma teórico), debe verse la escala de cada gráfico.

El valor estimado de precipitación en el Punto 0, con el SIC, es 586.12 mm, y la varianza del error es  $0.04 \text{ m}^2$  (Figura 4.14).

Finalmente se comparan los resultados obtenidos de las dos diferentes maneras (Tabla 4.6), cabe recalcar que no se espera que dichos resultados sean idénticos, ya que, en Isaaks y Srivastava (1989) los datos de coordenadas geográficas

FIGURA 4.14

## VALOR ESTIMADO DE LA PRECIPITACIÓN (MÉTODO KO)



Valor estimado de la precipitación ( $Z(x)$ ) en el punto de interés, varianza de error y matrices utilizadas para la estimación de la precipitación por el método KO.

Fuente: Programa SIC (versión 2)

nunca se transforman a distancia lineal (Km), y esto en el SIC es uno de los pasos principales.

TABLA 4.6

## PRECIPITACIÓN OBTENIDA (MÉTODO KO)

	Precipitación
Isaaks, E. y Srivastava, R. (1989)	592.7
SIC (versión 2)	586.1
Error (%)	11.35

Elaboración: Andrea Pazmiño

Como puede verse, el error obtenido de las dos diferentes maneras, es pequeño (~11%), por lo tanto, la codificación del método KO queda validada en el programa SIC (versión 2).

### **4.3 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO**

En el presente estudio, se aplican los métodos de estimación IDW y KO; el primero por ser más sencillo y de fácil aplicación, y el segundo por contar con algoritmos más estructurados y por brindar la varianza del error.

Se cuenta con un ejercicio desarrollado en Isaaks y Srivastava (1989), de resultado conocido, el cual también se desarrolla en el SIC, para luego comparar los resultados obtenidos con los dos procedimientos, para cada método (IDW y KO), y comprobar si los métodos pueden ser validados en el SIC (versión 2).

## CAPÍTULO 5

### METODOLOGÍA Y RESULTADOS

#### DESCRIPCION DE LA METODOLOGÍA UTILIZADA

El presente trabajo se desarrolla en el programa “Sistema de Información Climática” (SIC, desarrollado por Moreano, 2008), cuyo manejo se detalla en el Anexo No5. Se busca estimar la precipitación con los métodos IDW y KO, para ver cuál es el método que brinda resultados más cercanos a la verdad (es decir, más cercanos a los valores medidos), en la zona de estudio, y luego poder utilizar ese método para rellenar datos de precipitación faltantes, para ello, los datos fueron divididos en tres grupos, agrupando las estaciones según su ubicación o su periodo de información de datos de precipitación; con estos grupos se desarrollaron los ejercicios que se presentan a continuación:

- Ejercicio 1: Este ejercicio busca relacionar la tendencia de la precipitación entre las estaciones del volcán Antisana y las estaciones cercanas, en un radio aproximado de 50 km, contando con un periodo de datos de 1995 a 2007.
- Ejercicio 2: Este ejercicio busca relacionar la tendencia de la precipitación entre las estaciones del volcán Antisana y las estaciones cercanas, incluyendo dos estaciones situadas hacia el oriente del mismo, las cuales poseen otro régimen de precipitación, al incluir estas estaciones el periodo de datos disminuye considerablemente (1995 – 1998).
- Ejercicio 3: Este ejercicio busca relacionar la tendencia de la precipitación en un área más pequeña (radio aproximado de 5 km), la misma que se ubica en el volcán Antisana, los datos de precipitación medidos en los pluviómetros ubicados en esta área se inician en 1995, pero para lograr mejores estimaciones (para contar con mayor número de pluviómetros) se desarrolla este ejercicio en el periodo 2001 – 2007, en el cual se tienen datos de 6 pluviómetros.

Cada grupo de datos, correspondiente a cada ejercicio, pasó por un análisis de variabilidad espacial y temporal, y luego se estimaron valores de precipitación mensual para ciertas estaciones, los valores resultados de estas estimaciones pueden ser revisadas en detalle en el Anexo No6.

Para llevar a cabo el análisis de variabilidad espacial se escogió el método de CORRELACIONES (R) lineales simples, el cual consiste en, como bien lo dice su nombre, correlacionar los datos de todas las estaciones entre sí y mostrar que tanto se parece una estación a otra, a través de la pendiente de una regresión lineal.

Los intervalos de R fluctúan entre  $-1$  y  $1$ , si  $R = 1$ , significa que los valores están positivamente correlacionados, lo cual aplicado al presente estudio, significa que los valores altos de precipitación de una estación se asocian con valores altos de precipitación de la otra estación, sucediendo lo mismo con los valores bajos; si  $R = -1$ , significa que los valores altos de precipitación de una estación se asocian con valores bajos de la otra estación, y viceversa; si  $R=0$ , significa que no existe relación lineal entre los datos de precipitación de las dos estaciones.

Así mismo, para llevar a cabo el análisis de variabilidad temporal se escogió el ANÁLISIS DE DOBLE MASA, el cual considera que en una zona meteorológica homogénea, los valores de precipitación que ocurren en diferentes puntos de esa zona en períodos anuales (o estacionales), guardan una relación de proporcionalidad, que puede representarse gráficamente.

La representación gráfica necesita que se identifique la estación que queremos controlar, se anotan los valores anuales de precipitación; luego debe contarse con estaciones vecinas cuyos registros anuales sean confiables, las mismas que cumplirán el papel de estaciones base, su serie de datos anuales debe coincidir con el de la estación a controlar.

Posteriormente, para graficar las estaciones base, deben promediarse sus valores anuales, y luego se acumulan los valores de años sucesivos; se obtiene así una

precipitación media anual acumulada. Después, en un sistema de ejes ortogonales, se grafican los valores de precipitación anual acumulada de la estación a controlar (ordenadas) y los de precipitación media anual acumulada de las estaciones base (abscisas). Si los registros no han sufrido variaciones, los puntos se alinean en una recta de pendiente única (Universidad Nacional del Nordeste, s.f).

## **5.1 EJERCICIO 1**

Este ejercicio, como ya se mencionó, busca relacionar la tendencia de la precipitación entre las estaciones del volcán Antisana y las estaciones cercanas, en un radio aproximado de 50 km; para ello se seleccionaron las estaciones: M002 La Tola, M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M113 Uyumbicho, M343 El Quinche - Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI, M364 Loreto Pedregal, Pglaciar y Ppáramo; las mismas que cuentan con datos de precipitación de 1995 a 2007.

### **5.1.1 VARIABILIDAD ESPACIAL (CORRELACIÓN)**

Para un mejor entendimiento de la variabilidad espacial, se presenta, en la Figura 5.1, un mapa que muestra los valores de precipitación anual (valor medio calculado en el periodo 1995 – 2007) de las estaciones incluidas en este ejercicio.

La correlación entre las estaciones M002 La Tola, M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M113 Uyumbicho, M343 El Quinche - Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI, M364 Loreto Pedregal, es relativamente buena ( $> \sim 0.7$ ), pero Ppáramo y Pglaciar únicamente presentan buena correlación entre sí. Estos valores pueden ser apreciados en detalle en la Tabla 5.1 y gráficamente en la Figura 5.2.

FIGURA 5.1

## VARIABILIDAD ESPACIAL (EJERCICIO 1)



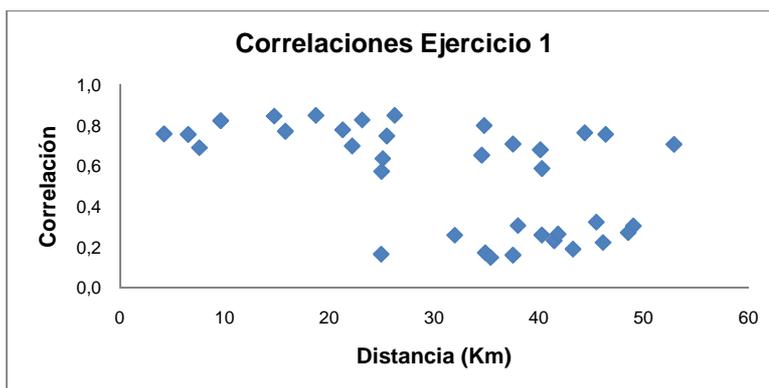
Precipitación media anual de las estaciones del ejercicio 1 (1995 – 2007).

Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

FIGURA 5.2

## CORRELACIONES (EJERCICIO 1)



Representación gráfica de las correlaciones entre las estaciones incluidas en el ejercicio 1 (1995 – 2007), según su distancia.

Elaboración: Andrea Pazmiño

**TABLA 5.1**  
**CORRELACIONES (EJERCICIO 1)**

Correlaciones (R) Ejercicio 1									
	M002	M003	M024	M113	M343	M346	M364	Pg	Pp
M002	1								
M003	0,75	1							
M024	0,85	0,83	1						
M113	0,57	0,76	0,64	1					
M343	0,77	0,68	0,78	0,59	1				
M346	0,82	0,80	0,85	0,65	0,76	1			
M364	0,71	0,85	0,76	0,70	0,71	0,76	1		
Pg	0,17	0,32	0,30	0,26	0,19	0,31	0,26	1	
Pp	0,15	0,23	0,27	0,16	0,22	0,26	0,17	0,69	1

Correlaciones entre las estaciones incluidas en el ejercicio 1 (1995 – 2007).

Elaboración: Andrea Pazmiño

**TABLA 5.2**  
**CORRELACIÓN (EJERCICIO 1), SEGÚN DISTANCIA**

Ejercicio 1			
Estaciones		Correlación (R)	Distancia (Km)
M003	M113	0,76	4,22
M343	M346	0,76	6,54
Pg	Pp	0,69	7,60
M002	M346	0,82	9,64
M002	M024	0,85	14,74
M002	M343	0,77	15,82
M024	M346	0,85	18,72
M024	M343	0,78	21,28
M113	M364	0,70	22,18
M003	M024	0,83	23,13
M364	Pp	0,17	24,95
M002	M113	0,57	24,99
M024	M113	0,64	25,11
M002	M003	0,75	25,49
M003	M364	0,85	26,24
M364	Pg	0,26	31,98
M113	M346	0,65	34,55
M003	M346	0,80	34,78
M002	Pg	0,17	34,89
M002	Pp	0,15	35,40
M113	Pp	0,16	37,53
M002	M364	0,71	37,54
M346	Pg	0,31	38,01
M003	M343	0,68	40,14
M346	Pp	0,26	40,29

**TABLA 5.2**  
**CONTINUACIÓN**

Ejercicio 1			
Estaciones		Correlación (R)	Distancia (Km)
M113	M343	0,59	40,30
M003	Pp	0,23	41,46
M113	Pg	0,26	41,84
M343	Pg	0,19	43,26
M024	M364	0,76	44,38
M003	Pg	0,32	45,49
M343	Pp	0,22	46,12
M346	M364	0,76	46,38
M024	Pp	0,27	48,54
M024	Pg	0,30	49,03
M343	M364	0,71	52,90

Correlación entre estaciones incluidas en el ejercicio 1, ordenadas según distancia entre estaciones (de menor a mayor).

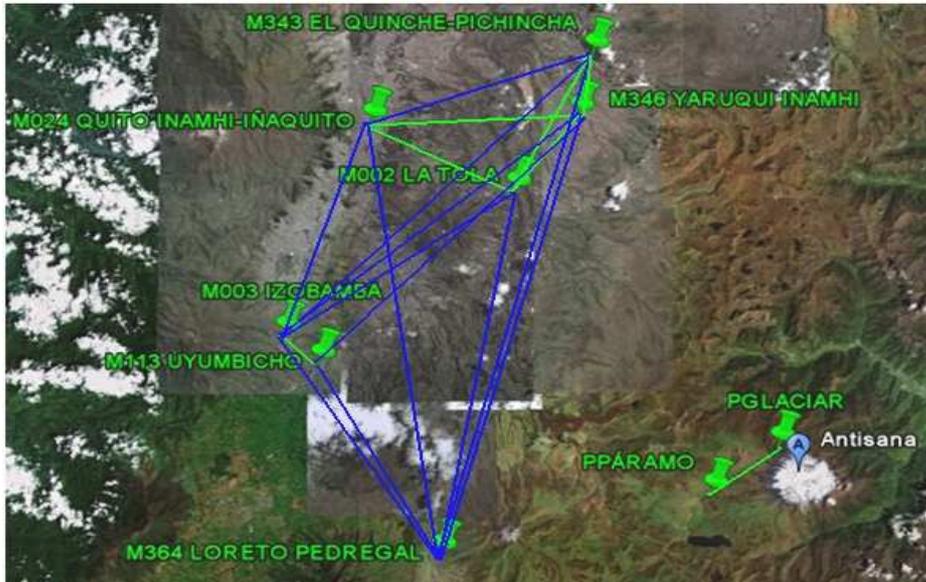
Elaboración: Andrea Pazmiño

Se descubre con esto, que todas las estaciones que se encuentran a distancias menores a 20 km, están bien relacionadas ( $R > \sim 0.7$ ), pero que existe otro grupo de estaciones que a pesar de estar distanciadas entre sí con más de 20 km, mantienen buena correlación ( $R > \sim 0.7$ ) (Tabla 5.2), espacialmente este grupo de estaciones se sitúa hacia el lado Noroeste del volcán Antisana, y las estaciones ubicadas en el volcán únicamente mantienen buena correlación entre ellas (Figura 5.3).

### 5.1.2 VARIABILIDAD TEMPORAL (DOBLE MASA)

El análisis de Doble Masa se realizó, para comprobar la homogeneidad de los datos. Primero se analizó la curva de doble masa entre las estaciones que se ubican en el Antisana (Pglaciar y Ppáramo), para corroborar la similitud entre estas dos estaciones (1995 - 2007).

**FIGURA 5.3**  
**CORRELACIONES (EJERCICIO 1), SEGÚN DISTANCIAS**



La línea verde representa buena correlación ( ) en una distancia menor a 20 km y la línea azul representa buena correlación ( ) en distancias mayores a 20 km.

Fuente: Google Earth

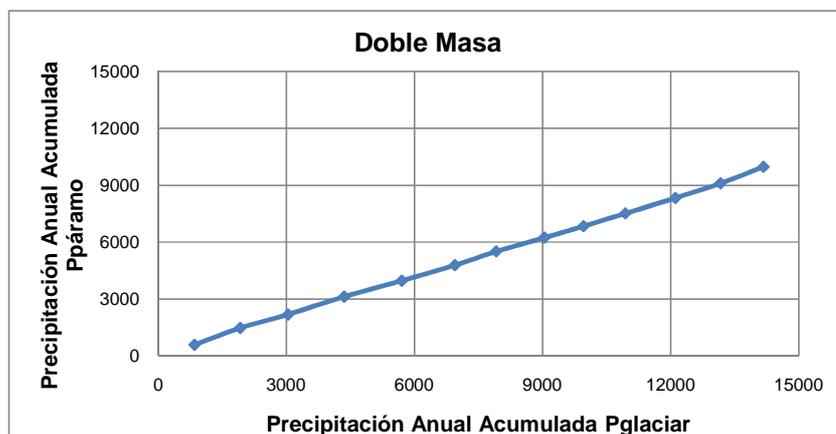
Elaboración: Andrea Pazmiño

La curva de doble masa (Figura 5.4) indica que Pglaciar y Ppáramo, a pesar de no tener la misma cantidad de precipitación anual, guardan relación lineal, ya que la pendiente de la línea se mantiene constante; la precipitación que cae sobre Pglaciar es aproximadamente el 40% mayor que la que cae sobre Ppáramo, los valores de precipitación de Pglaciar (1090 mm) y Ppáramo (766.8 mm) se muestran en la Figura 5.1.

A continuación se presenta un resumen de los análisis de Doble Masa para las demás estaciones (pertenecientes a este ejercicio), para las cuales se toma como estaciones base a los Índices Pglaciar y Ppáramo, debido a su particular interés para la presente investigación. Debe tomarse en cuenta que la ausencia de datos puede provocar errores en el análisis.

FIGURA 5.4

## ANÁLISIS DE DOBLE MASA (PGLACIAR Y PPÁRAMO)



Análisis de Doble Masa entre Pglaciar y Ppáramo (1995 – 2007).

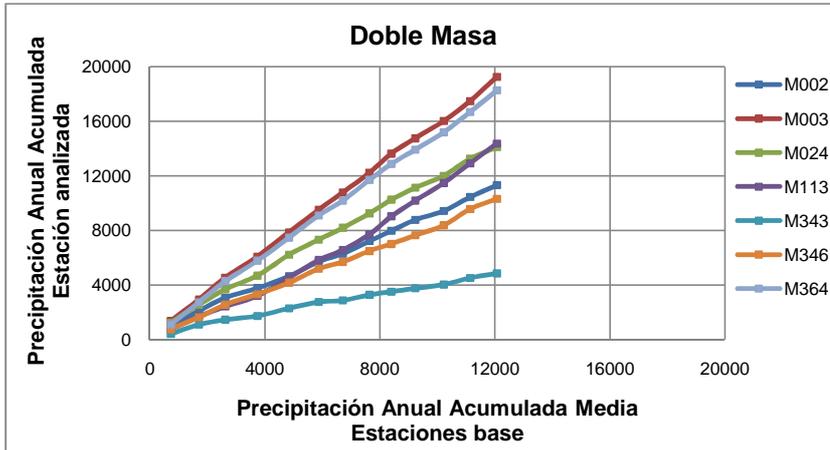
Elaboración: Andrea Pazmiño

La relación entre M002, M003, M024, M113, M343, M346, M364 y el promedio de las estaciones base, puede considerarse constante, ya que si bien la pendiente presenta variaciones (Figura 5.5), éstas son leves, y la cantidad de agua que cae anualmente sobre M002, M003, M024, M113, M343, M346, M364, en relación con el promedio que cae sobre las estaciones base (1995 – 2007) se ha resumido en la tabla 5.3.

Además se han escogido estas estaciones por encontrarse cerca a la zona de estudio, por poseer datos para el mismo periodo en el que se cuenta con datos en las estaciones Ppáramo y Pglaciar, y porque la cantidad anual de precipitación es, en la mayoría de los casos, bastante similar al promedio de las estaciones Ppáramo y Pglaciar.

FIGURA 5.5

## ANÁLISIS DE DOBLE MASA (EJERCICIO 1)



Análisis de Doble Masa entre estaciones base (Pglaciar y Ppáramo) y M002, M003, M024, M113, M343, M346, M364 (1995 – 2007).

Elaboración: Andrea Pazmiño

TABLA 5.3

## RELACIÓN DE PRECIPITACIÓN

Estación	Relación de precipitación (%)
M002	6% menor
M003	60% mayor
M024	15% mayor
M113	20% mayor
M343	60% menor
M346	15% menor
M364	50% mayor

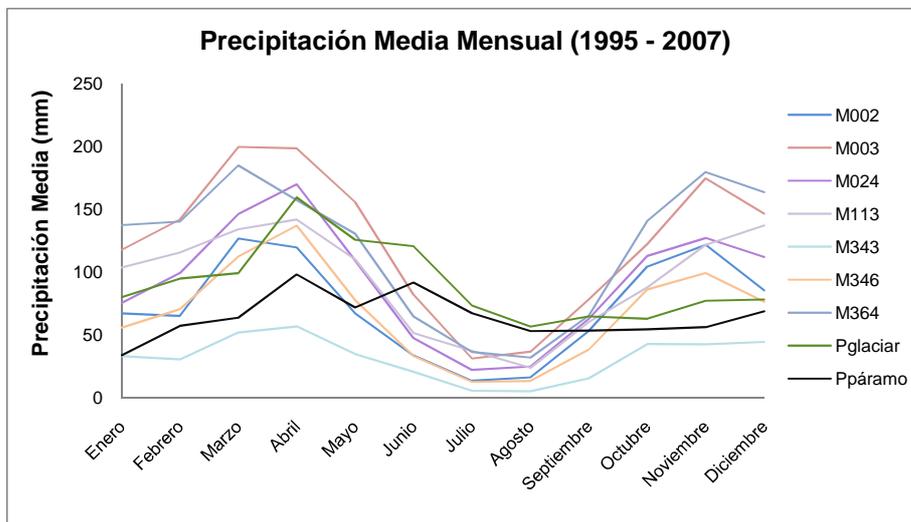
Se muestra la relación de la precipitación que cae sobre una estación, con la que cae en promedio sobre las estaciones base (Pglaciar y Ppáramo) en el periodo 1995 – 2007.

Elaboración: Andrea Pazmiño

Para tener una idea más clara del comportamiento mensual de la precipitación se presenta la Figura 5.6, que muestra de manera gráfica la distribución media

mensual a lo largo del año, calculada para el periodo 1995 - 2007; se puede observar que las estaciones M002 La Tola, M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M113 Uyumbicho, M343 El Quinche - Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI, M364 Loreto Pedregal, presentan dos picos lluviosos; mientras que Ppáramo y Pglaciar únicamente presentan un pico lluvioso, es decir que presentan otro régimen estacional.

**FIGURA 5.6**  
**PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (EJERCICIO 1)**



Distribución de la precipitación media mensual de las estaciones utilizadas en el ejercicio 1 (1995 – 2007).

Elaboración: Andrea Pazmiño

### 5.1.3 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS IDW Y KO

Se estimaron 30 valores de precipitación mensual de Pglaciar y 30 de Ppáramo, escogidos al azar, para luego ser comparados con los datos reales (medidos) y así poder establecer la efectividad de los métodos IDW y KO en la zona en que se aplica este ejercicio. En la Tabla 5.4 se muestran, en resumen, los errores

obtenidos con cada método. Cabe recalcar que los valores positivos indican una sobreestimación del valor de precipitación, y los valores negativos indican una subestimación.

**TABLA 5.4**

**ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN – EJERCICIO 1 (MÉTODOS IDW Y KO)**

Estación	Método	Error Medio (%)
Pglaciar	IDW	-16,06
	KO	-21,18
Ppáramo	IDW	69,71
	KO	82,64

Error medio obtenido al estimar la precipitación en Pglaciar y Ppáramo (estos valores se obtienen al comparar los valores de precipitación estimados con los valores reales, en la respectiva estación y fecha), aplicando los métodos IDW y KO.

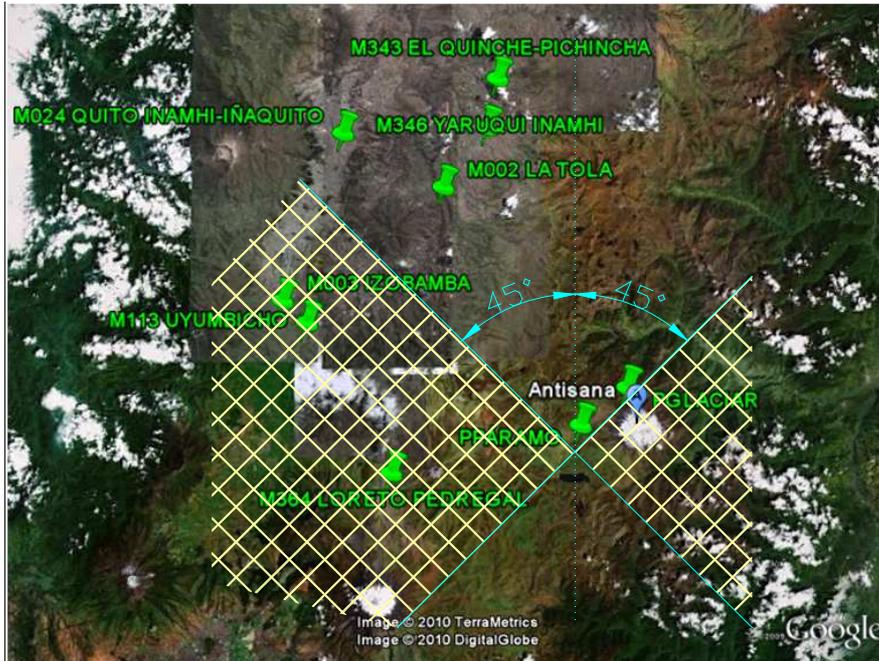
Elaboración: Andrea Pazmiño

Como se puede ver en la Tabla 5.4, al estimar los valores de Ppáramo se obtuvo un error bastante grande, por ello, se volvieron a estimar estos valores, aplicando el variograma direccional: Norte, con  $\Delta\theta = 45^\circ$  (ver Capítulo 4), a ambos métodos, con lo cual se tienen los métodos IDW direccional y KO direccional; las estaciones tomadas en cuenta para esta estimación son las que geográficamente se ubican dentro del mencionado variograma direccional, es decir M002 La Tola, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M343 El Quinche - Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI y Pglaciar (Figura 5.7).

En la Tabla 5.5 se resumen los errores medios obtenidos en Ppáramo al aplicar el variograma direccional a ambos métodos, es decir estimando mediante los métodos IDW direccional y KO direccional; comparando éstos valores con los mostrados en la Tabla 5.4, se nota una disminución de aproximadamente el 9 y 20% respectivamente.

FIGURA 5.7

## APLICACIÓN DEL VARIOGRAMA DIRECCIONAL



Aplicación del variograma direccional: Norte, con  $\Delta\theta = 45^\circ$  en el ejercicio 1.

Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

TABLA 5.5

**ERROR MEDIO DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN (MÉTODO IDW DIRECCIONADO Y KO DIRECCIONADO)**

Estación	Método	Error Medio (%)
Ppáramo	IDW d	60,45
	KO d	59,06

Error medio obtenido al estimar la precipitación en Ppáramo (estos valores se obtienen al comparar los valores de precipitación estimados con los valores reales, en la respectiva estación y fecha), aplicando los métodos IDW direccionado y KO direccionado.

Elaboración: Andrea Pazmiño

## 5.2 EJERCICIO 2

Este ejercicio, como ya se mencionó, busca relacionar la tendencia de la precipitación entre las estaciones del volcán Antisana y las estaciones cercanas, en esta ocasión se incluyeron dos estaciones situadas hacia el noreste del mismo, las cuales poseen otro régimen de precipitación; en este ejercicio, las estaciones cercanas al volcán Antisana, se correlacionan mejor (en comparación al ejercicio 1) con las estaciones ubicadas sobre el mismo, sin llegar a ser buenas.

Las estaciones que integran este ejercicio son M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M188 Papallacta, M343 El Quinche – Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI, M490 Sardinias, P5 Mica, Pglaciar y Ppáramo; en el periodo comprendido entre 1995 y 1998.

### 5.2.1 VARIABILIDAD ESPACIAL (CORRELACIÓN)

Para un mejor entendimiento de la variabilidad espacial, se presenta, en la Figura 5.8, un mapa que muestra los valores de precipitación anual (valor medio calculado en el periodo 1995 – 1998) de las estaciones incluidas en este ejercicio.

La correlación se muestra relativamente buena ( $> \sim 0.7$ ) entre grupos de estaciones, el primero lo conforman: M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M188 Papallacta, M343 El Quinche – Pichincha y M346 Yaruquí INAMHI; el segundo: Pglaciar y Ppáramo; y el tercero: M188 Papallacta y M490 Sardinias; P5 Mica, no presenta buena correlación con ninguna otra estación. Estos valores pueden ser apreciados en detalle en la Tabla 5.6 y gráficamente en la Figura 5.9.

FIGURA 5.8

## VARIABILIDAD ESPACIAL (EJERCICIO 2)



Precipitación media anual de las estaciones del ejercicio 2 (1995 – 1998).

Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

TABLA 5.6

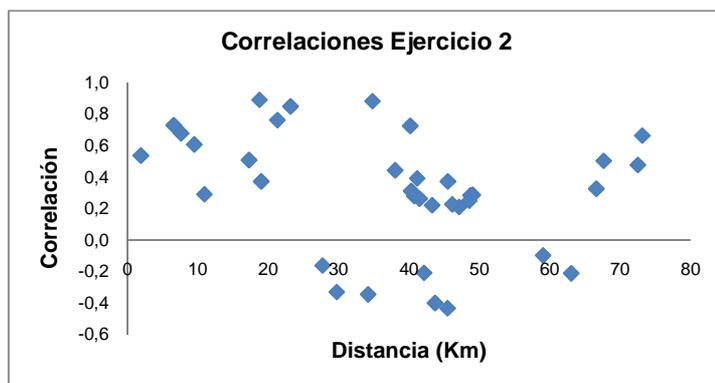
## CORRELACIONES (EJERCICIO 2)

Correlaciones ( R ) Ejercicio 2									
	M003	M024	M188	M343	M346	M490	Pg	P5	Pp
M003	1								
M024	0,85	1							
M188	-0,44	-0,40	1						
M343	0,72	0,76	-0,35	1					
M346	0,88	0,89	-0,33	0,73	1				
M490	-0,17	-0,21	0,66	-0,21	-0,10	1			
Pg	0,37	0,28	0,29	0,22	0,44	0,47	1		
P5	0,28	0,28	0,37	0,21	0,39	0,32	0,60	1	
Pp	0,26	0,25	0,51	0,22	0,31	0,50	0,68	0,53	1

Correlaciones entre las estaciones incluidas en el ejercicio 2 (1995 – 1998).

Elaboración: Andrea Pazmiño

**FIGURA 5.9**  
**CORRELACIONES (EJERCICIO 2)**



Representación gráfica de las correlaciones entre las estaciones incluidas en el ejercicio 2 (1995 – 1998), según su distancia.

Elaboración: Andrea Pazmiño

**TABLA 5.7**  
**CORRELACIÓN (EJERCICIO 2), SEGÚN DISTANCIA**

Ejercicio 2			
Estaciones		Correlación ( R )	Distancia (Km)
P5	Pp	0,53	1,86
M343	M346	0,73	6,54
Pg	Pp	0,68	7,60
Pg	P5	0,60	9,45
M188	Pg	0,29	10,90
M188	Pp	0,51	17,24
M024	M346	0,89	18,72
M188	P5	0,37	18,97
M024	M343	0,76	21,28
M003	M024	0,85	23,13
M003	M490	-0,17	27,68
M188	M346	-0,33	29,70
M188	M343	-0,35	34,16
M003	M346	0,88	34,78
M346	Pg	0,44	38,01
M003	M343	0,72	40,14
M346	Pp	0,31	40,29
M003	P5	0,28	40,73
M346	P5	0,39	41,14
M003	Pp	0,26	41,46
M024	M490	-0,21	42,10

**TABLA 5.7**  
**CONTINUACIÓN**

Ejercicio 2			
Estaciones		Correlación ( R )	Distancia (Km)
M343	Pg	0,22	43,26
M024	M188	-0,40	43,67
M003	M188	-0,44	45,44
M003	Pg	0,37	45,49
M343	Pp	0,22	46,12
M343	P5	0,21	47,08
M024	Pp	0,25	48,54
M024	P5	0,28	48,70
M024	Pg	0,28	49,03
M346	M490	-0,10	59,02
M343	M490	-0,21	63,02
M490	P5	0,32	66,59
M490	Pp	0,50	67,62
M490	Pg	0,47	72,49
M188	M490	0,66	73,11

Correlación entre estaciones incluidas en el ejercicio 2, ordenadas según distancia entre estaciones (de menor a mayor).

Elaboración: Andrea Pazmiño

En la Figura 5.10 se pueden distinguir gráficamente los grupos de estaciones que mejor se correlacionan entre sí; si se desea ver los valores de correlación entre cada una de las estaciones, sírvase revisar la Tabla 5.7.

### 5.2.2 VARIABILIDAD TEMPORAL (DOBLE MASA)

En este ejercicio, el análisis de Doble Masa se tomará como una ligera referencia, debido a la poca cantidad de datos que se tienen (1995 – 1998). En primer lugar se realiza un análisis entre los índices Pglaciar y Ppáramo, y luego entre éstos y P5 Mica, para conformar las estaciones base (Pglaciar, Ppáramo y P5 La Mica).

En la Figura 5.11, se puede ver que existe correlación, ya que, la pendiente se mantiene constante; además se confirma lo expuesto en el ejercicio 1, que la cantidad de precipitación que cae sobre Pglaciar es aproximadamente el 40% mayor que la que cae sobre Ppáramo.

**FIGURA 5.10**  
**CORRELACIONES (EJERCICIO 2), SEGÚN DISTANCIAS**

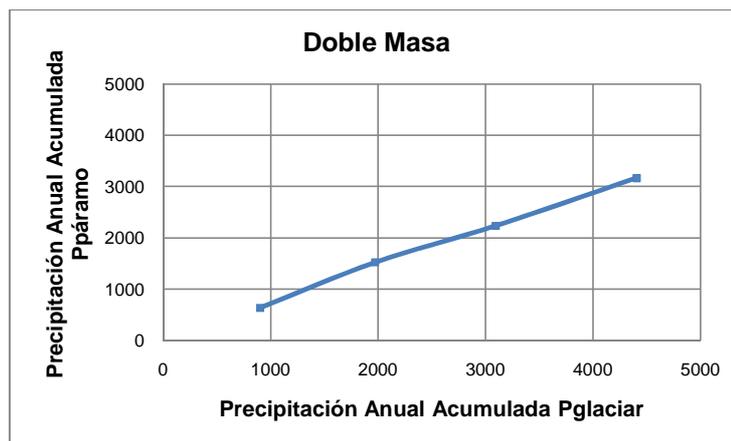


La línea verde representa buena correlación ( ) en una distancia menor a 20 km, y la línea azul representa buena correlación ( ) en distancias mayores a 20 km.

Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

**FIGURA 5.11**  
**ANÁLISIS DE DOBLE MASA (PGLACIAR Y PPÁRAMO)**



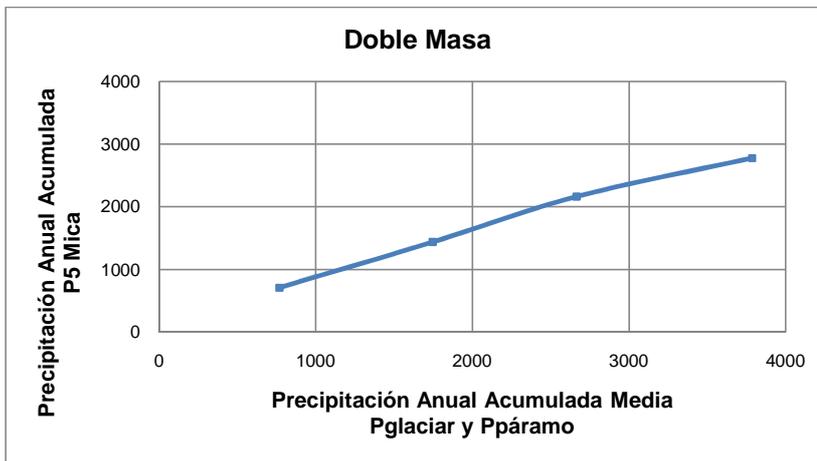
Análisis de Doble Masa entre Pglaciar y Ppáramo (1995 – 1998).

Elaboración: Andrea Pazmiño

En la Figura 5.12, se puede ver una variación en la pendiente, lo cual puede relacionarse a la baja correlación que se obtuvo entre P5 Mica y los índices Ppáramo y Pglaciar; pero, como ya se menciona, debido a la poca cantidad de datos utilizados en este ejercicio, no es posible profundizar más sobre los resultados de este análisis; se puede añadir que la cantidad de precipitación que cae sobre P5 Mica es aproximadamente el 30% menor que la que cae, en promedio, sobre Ppáramo y Pglaciar (1995 – 1998).

**FIGURA 5.12**

**ANÁLISIS DE DOBLE MASA (PGLACIAR Y PPÁRAMO, Y P5 MICA)**



Análisis de Doble Masa entre los Índices Pglaciar y Ppáramo, y la estación P5 Mica (1995 – 1998).

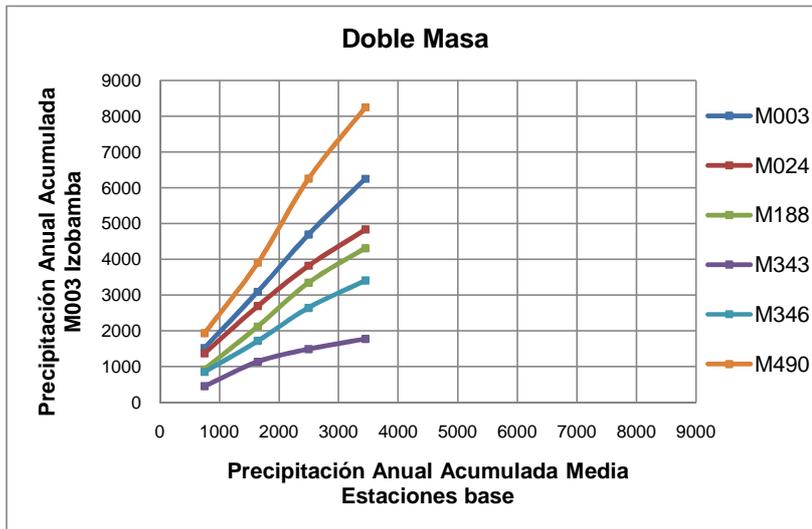
Elaboración: Andrea Pazmiño

Las curvas de doble masa entre las estaciones base (P5 Mica, Pglaciar y Ppáramo) y las estaciones M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI Iñaquito, M188 Papallacta, M343 El Quinche – Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI Y M490 Sardinias, se presentan en la figura 5.13, y como ya se menciona, debido a la poca cantidad de datos utilizados en este ejercicio, no es posible realizar un análisis profundo sobre los resultados obtenidos; sin embargo, se puede añadir que la precipitación que cae sobre M003 Izobamba es aproximadamente el 80%

mayor, la que cae sobre M024 Quito INAMHI Iñaquito es aproximadamente el 40% mayor, la que cae sobre M188 Papallacta es aproximadamente el 30% mayor, la que cae sobre M343 El Quinche – Pichincha es aproximadamente el 50% menor, la que cae sobre M346 Yaruquí INAMHI es bastante similar, la que cae sobre M490 Sardinas es aproximadamente el 140% mayor, todas en relación con la precipitación que cae, en promedio, sobre las estaciones base (P5 Mica, Pglaciar y Ppáramo).

**FIGURA 5.13**

**ANÁLISIS DE DOBLE MASA (EJERCICIO 2)**



Análisis de Doble Masa entre estaciones base (Pglaciar, Ppáramo y P5 Mica) y M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI Iñaquito, M188 Papallacta, M343 El Quinche-Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI y M490 Sardinas (1995 – 1998).

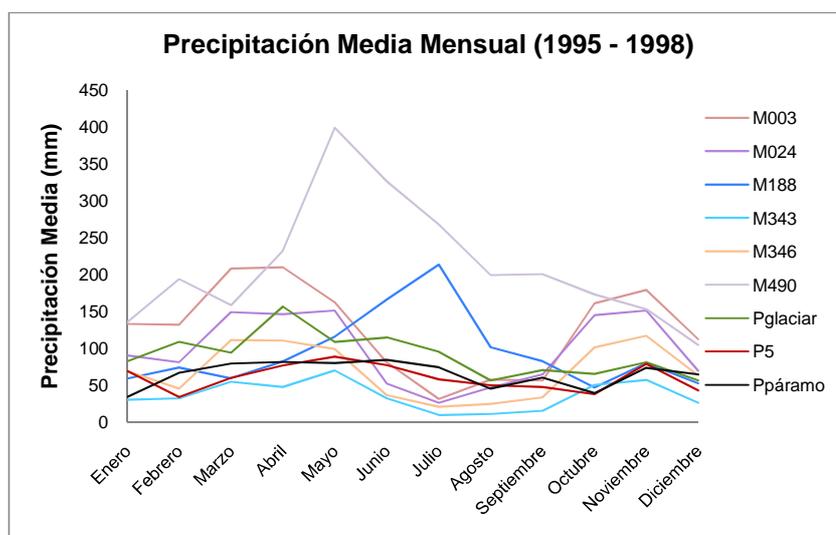
Elaboración: Andrea Pazmiño

Para tener una idea más clara del comportamiento mensual de la precipitación se presenta la Figura 5.14, que muestra de manera gráfica la distribución media mensual a lo largo del año, calculada para el periodo 1995 - 1998; se puede observar que las estaciones M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M343 El Quinche - Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI, presentan dos picos

lluviosos; mientras que M188 Papallacta, M490 Sardinias, P5 Mica, Ppáramo y Pglaciar presentan regímenes estacionales diferentes.

**FIGURA 5.14**

**PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (EJERCICIO 2)**



Distribución de la precipitación media mensual de las estaciones utilizadas en el ejercicio 2 (1995 – 1998).

Elaboración: Andrea Pazmiño

### 5.2.3 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS IDW Y KO

Se estimaron 5 valores de precipitación mensual de M188 Papallacta, 5 de Pglaciar, 5 de P5 Mica y 5 de Ppáramo, escogidos al azar, para luego ser comparados con los datos reales (medidos) y así poder establecer la efectividad de los métodos IDW y KO en la zona en que se aplica este ejercicio.

En la Tabla 5.8, se muestran, en resumen, los errores obtenidos con cada método. Cabe recalcar que los valores positivos indican una sobreestimación del valor de precipitación y los valores negativos indican una subestimación.

**TABLA 5.8****ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN- EJERCICIO 2 (MÉTODO IDW Y KO)**

Estación	Método	Error Medio (%)
M188 Papallacta	IDW	8,54
	KO	20,29
Pglaciar	IDW	-9,52
	KO	11,36
P5 Mica	IDW	-5,38
	KO	-6,45
Ppáramo	IDW	-18,62
	KO	-13,22

Error medio obtenido al estimar la precipitación en M188 Papallacta, Pglaciar, P5 Mica y Ppáramo (estos valores se obtienen al comparar los valores de precipitación estimados con los valores reales, en la respectiva estación y fecha), aplicando los métodos IDW y KO.

Elaboración: Andrea Pazmiño

**5.3 EJERCICIO 3**

Este ejercicio, como ya se mencionó, busca relacionar la tendencia de la precipitación entre las estaciones ubicadas en el volcán Antisana, en un radio aproximado de 5 km; para ello se cuenta con datos de precipitación de los pluviómetros: P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica, P6 Humboldt, P7 Crespos, P8 Crespos Morrena, P9 Páramo, P10 Camino Crespos y P11 Desaguadero.

Se trabaja principalmente con los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt, debido a que cuentan con datos de precipitación continuos desde el año 2001; los pluviómetros P7 Crespos, P8 Crespos Morrena, P9 Páramo, P10 Camino Crespos y P11 Desaguadero han sido incorporados en años posteriores.

### 5.3.1 VARIABILIDAD ESPACIAL (CORRELACIÓN)

Para un mejor entendimiento de la variabilidad espacial, se presenta, en la Figura 5.15, un mapa que muestra los valores de precipitación anual (valor medio calculado en el periodo 2001 – 2007) de los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt.

**FIGURA 5.15**

#### VARIABILIDAD ESPACIAL (EL EJERCICIO 3)



Disposición geográfica de los pluviómetros situados en el volcán Antisana, y precipitación anual de los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt (2001 – 2007)

Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

Las correlaciones obtenidas entre los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt (ubicados en el Antisana) son

muy buenas ( $R > 0.8$ ). Estos valores pueden ser apreciados en detalle en la Tabla 5.9 y gráficamente en la Figura 5.16.

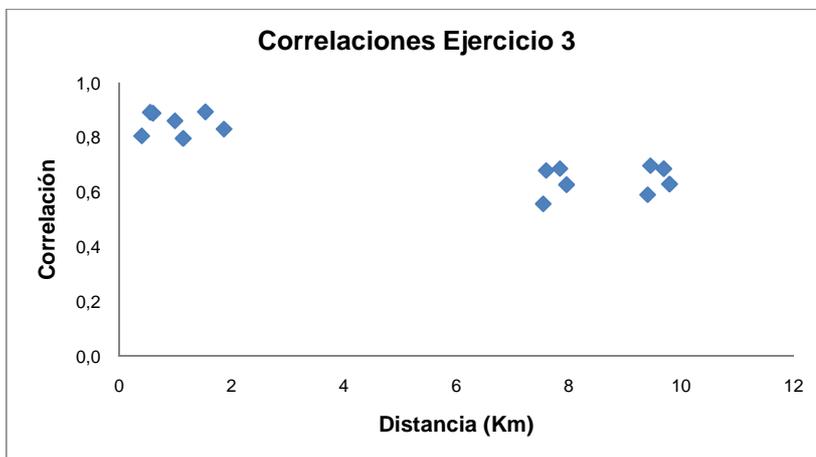
**TABLA 5.9**  
**CORRELACIONES (EJERCICIO 3)**

Correlaciones (R) Ejercicio 3						
	P0	P2	P3	P4	P5	P6
P0	1					
P2	0.81	1				
P3	0.86	0.89	1			
P4	0.9	0.8	0.89	1		
P5	0.63	0.69	0.7	0.59	1	
P6	0.63	0.69	0.68	0.56	0.83	1

Correlaciones entre las estaciones incluidas en el ejercicio 3 (2001 – 2007).

Elaboración: Andrea Pazmiño

**FIGURA 5.16**  
**CORRELACIONES (EJERCICIO 3)**



Representación gráfica de las correlaciones entre los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica Y P6 Humboldt, según sus distancias (2001 – 2007).

Elaboración: Andrea Pazmiño

Al ubicarse sobre un área pequeña (aproximadamente 80 km<sup>2</sup>) las correlaciones entre los pluviómetros son relativamente buenas ( $R > \sim 0.7$ ), pero aún así, se puede ver (figura 5.17) que existen dos grupos de pluviómetros, dentro de los cuales las correlaciones son mayores a 0.8; si se desea ver los valores de correlación entre cada uno de los pluviómetros, sírvase revisar la tabla 5.10.

Los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador y P4 Antisana, conforman el “Eje del Glaciar 15”, que se presenta en el Informe del año 2007 “Glaciares del Ecuador” (Maisincho et al., 2009).

**TABLA 5.10**  
**CORRELACIÓN (EJERCICIO 3), SEGÚN DISTANCIA**

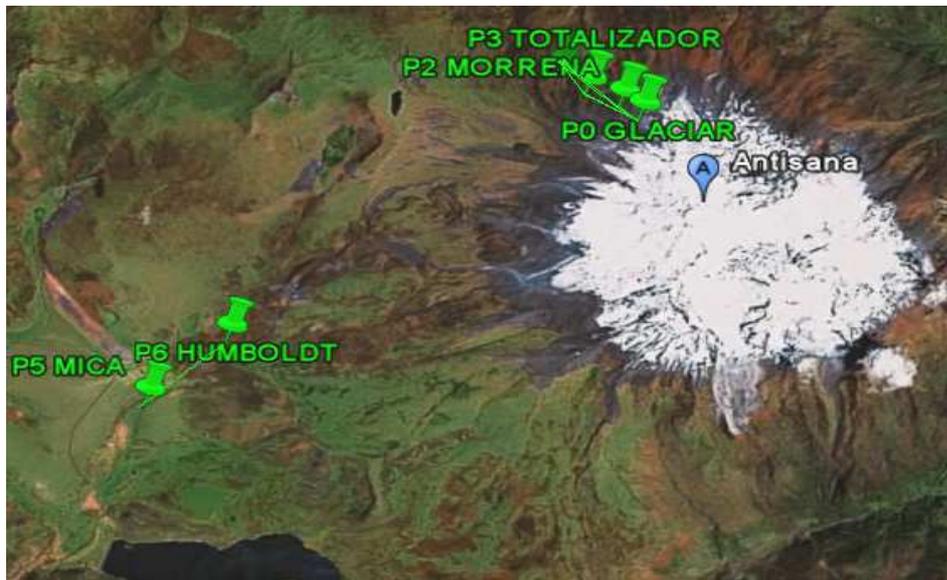
Ejercicio 1			
Estaciones		Correlación (R)	Distancia (Km)
P0	P2	0,81	0,40
P3	P4	0,89	0,55
P2	P3	0,89	0,59
P0	P3	0,86	0,99
P2	P4	0,80	1,13
P0	P4	0,90	1,53
P5	P6	0,83	1,86
P4	P6	0,56	7,54
P3	P6	0,68	7,60
P2	P6	0,69	7,84
P0	P6	0,63	7,96
P4	P5	0,59	9,40
P3	P5	0,70	9,45
P2	P5	0,69	9,69
P0	P5	0,63	9,79

Correlación entre los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica Y P6 Humboldt, ordenadas según la distancia entre ellos.

Elaboración: Andrea Pazmiño

**FIGURA 5.17**

**CORRELACIONES (EJERCICIO 3), SEGÚN DISTANCIA**



Correlaciones entre los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica Y P6 Humboldt, donde la línea verde representa una correlación

Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

### **5.3.2 VARIABILIDAD TEMPORAL (DOBLE MASA)**

Debido a que las estaciones involucradas en este ejercicio son mucho más cercanas entre sí, se esperan excelentes resultados en el análisis de Doble Masa y una distribución media de la precipitación más uniforme.

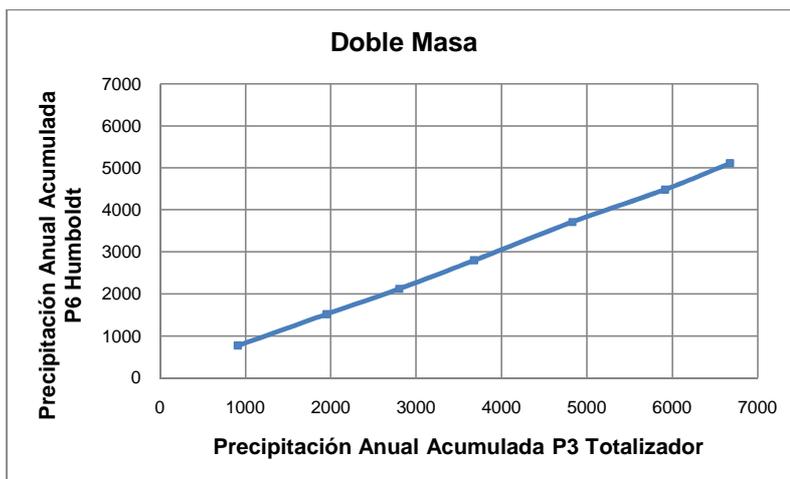
En primer lugar se realizó el análisis de Doble Masa entre las estaciones P3 Totalizador y P6 Humboldt. Luego de éstas con P5 Mica para conformar las estaciones base, esto se debió a que, para el periodo seleccionado para el análisis de Doble Masa (2001 - 2007) las tres estaciones base cuentan con datos

de precipitación para todos los periodos.

En la Figura 5.18 se puede ver que la correlación entre P3 Totalizador y P6 Humboldt es bastante buena, ya que la pendiente de la gráfica no cambia; se estima que la precipitación que cae sobre P3 Totalizador (953.6 mm) es aproximadamente el 30% mayor que la que cae sobre P6 Humboldt (729.7 mm), manteniéndose de este modo la relación, que se mostró en los Ejercicios 1 y 2, entre el glaciar y el páramo; pues, como se menciona en el capítulo 3, el índice Pglaciar tiene la misma ubicación que P3 Totalizador, y el índice Ppáramo tiene la misma ubicación que P6 Humboldt.

**FIGURA 5.18**

**ANÁLISIS DE DOBLE (P3 y P6)**



Análisis de Doble Masa entre las estaciones P3 Totalizador Y P6 Humboldt (2001 - 2007)

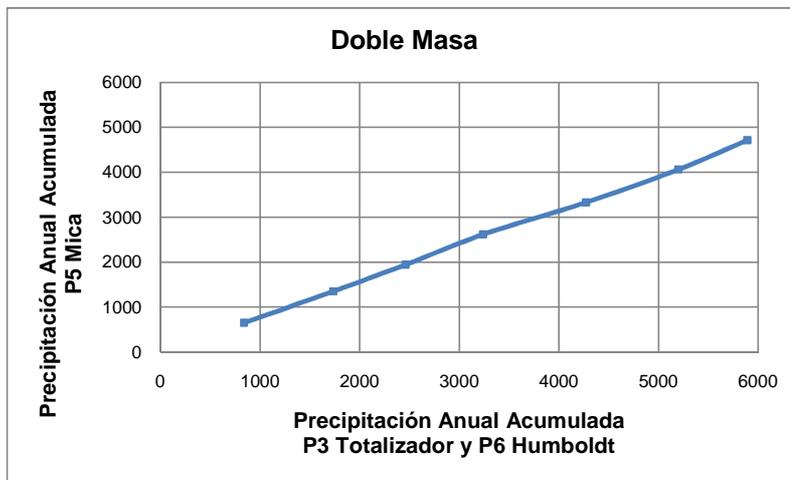
Elaboración: Andrea Pazmiño

En la Figura 5.19 se puede ver que la correlación entre P5 Mica y el promedio obtenido de P3 Totalizador y P6 Humboldt es bastante buena, ya que la pendiente de la gráfica no cambia, cabe resaltar que en este periodo (2001 – 2007) la correlación entre estas estaciones es bastante superior a la que se obtuvo en el ejercicio 2 (1995 – 1998), lo cual puede deberse a que en este ejercicio se cuenta

con mayor número de años; se estima que la precipitación que cae sobre P5 Mica (673.5 mm) es aproximadamente el 20% menor que la que cae, en promedio, sobre P3 Totalizador y P6 Humboldt (841.7 mm).

**FIGURA 5.19**

**ANÁLISIS DE DOBLE MASA (P3 Y P6, Y P5)**



Análisis de Doble Masa entre las estaciones P3 Totalizador y P6 Humboldt, y la estación P5 Mica (2001 - 2007).

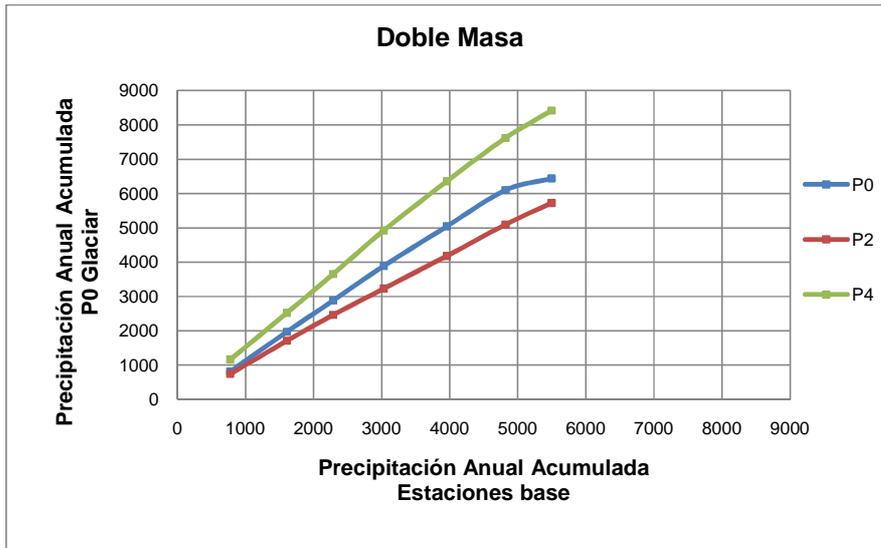
Elaboración: Andrea Pazmiño

Las curvas de doble masa entre las estaciones base (P3 Totalizador, P5 Mica y P6 Humboldt) y las estaciones P0 Glaciar, P2 Morrena y P4 Antisana, se presentan en la figura 5.20, como se puede ver en esta figura, las pendientes son bastante constantes, sólo se presenta un quiebre de la pendiente correspondiente a P0 Glaciar y las estaciones base, que deberá ser analizada cuando se cuente con datos de años posteriores, para determinar si dicho quiebre se relaciona con una anomalía climática o con los datos medidos, o cualquier otra posibilidad; se puede añadir que la precipitación que cae sobre P0 Glaciar (919.6 mm) es aproximadamente el 20% mayor, la que cae sobre P2 Morrena (818.1 mm) es bastante similar, la que cae sobre P4 Antisana (1202.6 mm) es aproximadamente el 50% mayor, todas en relación con la precipitación que cae, en promedio, sobre

las estaciones base (785.6 mm) (P3 Totalizador, P5 Mica y P6 Humboldt).

**FIGURA 5.20**

**ANÁLISIS DE DOBLE MASA (EJERCICIO 3)**



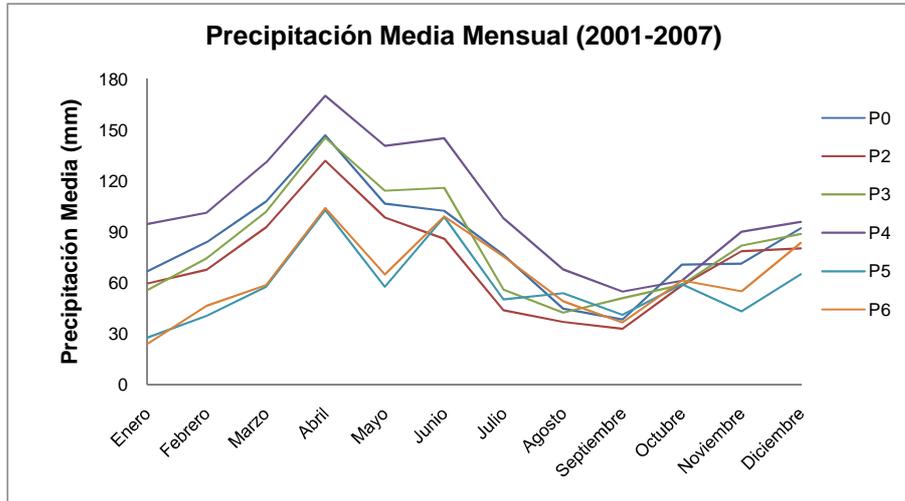
Análisis de Doble Masa entre las estaciones base (P3 Totalizador, P6 Humboldt y P5 Mica) y P0 Glaciar (2001 - 2007).

Elaboración: Andrea Pazmiño

El análisis de Doble Masa para las demás estaciones (P7 Crespos, P8 Crespos Morrena, P9 Páramo, P10 Camino Crespos y P11 Desaguadero) no fue posible debido a la poca cantidad de datos que poseen (ver Anexo No1).

A continuación, en la Figura 5.21, se presenta la precipitación media mensual de los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt, durante los años 2001 al 2007, debido a la cercanía de los pluviómetros, tienen distribuciones de precipitación bastante similares.

**FIGURA 5.21**  
**PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (EJERCICIO 3)**



Distribución de la precipitación media mensual de los pluviómetros P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt (2001 - 2007).

Elaboración: Andrea Pazmiño

### 5.3.3 APLICACIÓN DE LOS MÉTODOS IDW Y KO

Se estimaron 10 valores de precipitación mensual de P0 Glaciar, 10 de P2 Morrena, 10 de P3 Totalizador, 10 de P4 Antisana, 10 de P5 Mica y 10 de P6 Humboldt, para luego ser comparados con los datos reales (medidos) y así poder establecer la efectividad de los métodos IDW y KO en la zona en que se aplica este ejercicio.

En la Tabla 5.11, se resumen los errores medios obtenidos con cada método, los valores positivos indican una sobreestimación de los valores de precipitación y los valores negativos indican una subestimación.

También se estimaron 10 valores para cada uno de los pluviómetros restantes: P7 Crespos, P8 Crespos Morrena, P9 Páramo, P10 Camino Crespos y P11

**TABLA 5.11****ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN - EJERCICIO 3 (MÉTODO IDW Y KO)**

Estación	Método	Error Medio (%)
P0 Glaciar	IDW	-5,10
	KO	-11,24
P2 Morrena	IDW	62,54
	KO	52,65
P3 Totalizador	IDW	9,30
	KO	9,79
P4 Antisana	IDW	-16,67
	KO	-15,31
P5 Mica	IDW	34,81
	KO	39,34
P6 Humboldt	IDW	0,70
	KO	5,52

Error medio obtenido al estimar la precipitación en P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt, aplicando los métodos IDW y KO.

Elaboración: Andrea Pazmiño

Desaguadero, en cada caso se tomo como base de datos continua los 6 pluviómetros que sirvieron para los análisis tanto espacial como temporal (P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt), y se estimaron valores de precipitación dentro del periodo en que cada pluviómetro contaba con valores de precipitación medidos (ver Anexo No1), luego éstos fueron comparados con los valores estimados y los errores obtenidos se resumen en la Tabla 5.12, los valores positivos indican una sobreestimación de los valores de precipitación y los valores negativos indican una subestimación.

**TABLA 5.12****ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN – EJERCICIO 3 (2) (MÉTODO IDW Y KO)**

Estación	Método	Error Medio (%)
P7 Crespos	IDW	25,18
	KO	22,02
P8 Crespos Morrena	IDW	25,12
	KO	21,17
P9 Páramo	IDW	75,79
	KO	86,84
P10 Camino Crespos	IDW	27,80
	KO	26,16
P11 Desaguadero	IDW	94,89
	KO	101,09

Error medio obtenido al estimar la precipitación en P7 Crespos, P8 Crespos Morrena, P9 Páramo, P10 Camino Crespos y P11 Desaguadero, aplicando los métodos IDW y KO.

Elaboración: Andrea Pazmiño

**TABLA 5.13****ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN - EJE DEL GLACIAR 15 (MÉTODO IDW Y KO)**

Estación	Método	Error Medio (%)
P0 Glaciar	IDW	-5.02
	KO	0.29
P2 Morrena	IDW	62.69
	KO	47.69
P3 Totalizador	IDW	9.41
	KO	9.09
P4 Antisana	IDW	-16.6
	KO	-15

Elaboración: Andrea Pazmiño

Se realizó además una estimación de 10 valores de precipitación mensual de P0 Glaciar, 10 de P2 Morrena, 10 de P3 Totalizador y 10 de P4 Antisana, tomando como base los mismos pluviómetros (únicamente eliminando los valores del pluviómetro a estimar), que como ya se mencionó, forman el “Eje del Glaciar 15”; para determinar la variabilidad en la estimación de los métodos IDW y KO en una zona, dentro de la cual las estaciones presentan una correlación superior a 0.8; estos errores se resumen en la Tabla 5.13.

Comparando los valores de las Tablas 5.11 y 5.13, se observa una ligera disminución del error obtenido, esto es especialmente válido para el método KO.

#### **5.4 CONCLUSIONES AL APLICAR LA METODOLOGÍA**

De la realización de los tres ejercicios mostrados anteriormente, se puede decir que:

- El principal motivo de haber obtenido estimaciones tan variables (comparadas con las reales), es la variabilidad de la zona; es decir que esto se debe a que la zona no es homogénea.
- La diferencia de los errores de estimación obtenidos entre los métodos IDW y KO es baja (< 20%), a pesar de que los errores de estimación en sí varían en un gran rango, como se puede ver en las tablas 5.4, 5.8, 5.11, 5.12 y 5.13.
- En términos generales, en los ejercicios realizados, el método IDW presentó los menores errores de estimación; pero cuando se tiene una zona cuya correlación entre estaciones es superior a 0.8, el método KO es el que presenta los mejores resultados.
- Debido a que se desea tener una serie de datos de precipitación ininterrumpida para el volcán Antisana, en el periodo 1995 – 2007, se estimarán los valores faltantes de P6 Humboldt, con el método que brinda los menores errores de estimación: KO direccionado (Norte, con  $\Delta \theta = 45^\circ$ ).

## 5.5 ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN P6

Como ya se mencionó, el relleno de los valores de precipitación en la estación P6 Humboldt (1995 – 2007), se realizó con el método KO direccionado (Norte, con  $\Delta\theta = 45^\circ$ ), ya que el error obtenido con este método es aproximadamente un 30% menor que el obtenido con el KO omnidireccional, y un 15% menor comparado con el IDW.

Los valores rellenos se muestran en letra **negrita y cursiva** en el Anexo No1. Las estaciones con las que se realizó el relleno en mención son: P3 Totalizador, M002 La Tola, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M343 El Quinche – Pichincha y M346 Yaruquí INAMHI (Figura 5.22).

**FIGURA 5.22**

### ESTACIONES UTILIZADAS EN LA ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN EN P6 HUMBOLDT



Estaciones utilizadas en la estimación de la precipitación en P6 Humboldt, aplicando el método KO direccionado (Norte, con  $\Delta\theta = 45^\circ$ ).

Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

El error medio de estimación es del 37.4% (aunque no obedece a una distribución normal), variando a lo largo del año de la siguiente manera (análisis realizado en el periodo 1995 – 2007):

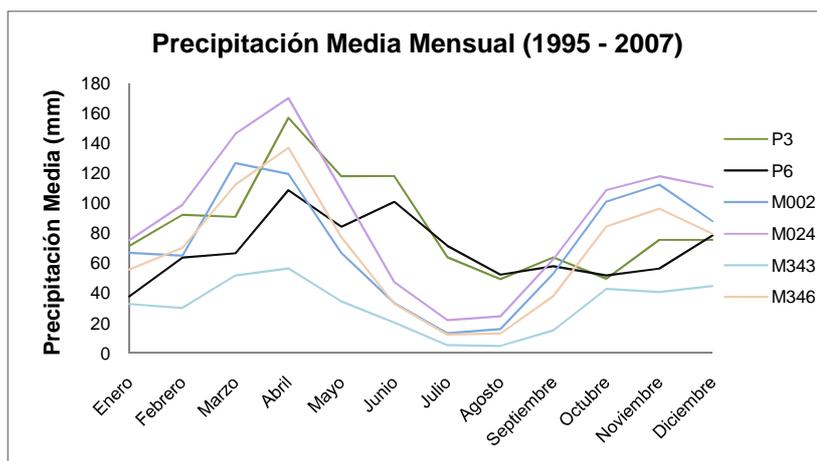
- Entre los meses de enero a mayo, se obtienen los mayores errores de estimación, ya que, en esos meses se presenta un periodo lluvioso en las estaciones M002, M024, M343 y M346, y la cantidad de precipitación en P3 es aproximadamente el 65% mayor que la que cae sobre P6.
- De junio a septiembre se tiene un periodo “seco” (menos lluvioso) en las estaciones M002, M024, M343 y M346, y la cantidad de precipitación que cae sobre P3 es bastante cercana a la que cae sobre P6, por ello la estimación de un valor de precipitación en este periodo puede ser más certera (en comparación con los otros periodos), alrededor del  $\pm 25\%$ .
- En los meses de octubre y diciembre, se tiene otro periodo lluvioso en las estaciones M002, M024, M343 y M346, pero la cantidad de precipitación que cae sobre P3 es muy cercana a la que cae en P6, por ello el error de estimación en estos meses es, en promedio, menor al 20%.
- En el mes de noviembre, se tiene el segundo periodo lluvioso en las estaciones M002, M024, M343 y M346, pero la cantidad de precipitación que cae sobre P3 es aproximadamente el 35% mayor que la que cae sobre P6, por ello el error medio obtenido en este mes es del orden del 80%.

Cabe recalcar que el error de estimación (de la precipitación) es mayor cuando la precipitación en las estaciones más influyentes en la estimación de P6, principalmente P3 y M002, dista mucho de la precipitación real en P6.

En la Figura 5.23 se puede apreciar la distribución media mensual a lo largo del año de las estaciones involucradas en la estimación de la precipitación en P6 Humboldt, y en la Figura 5.24 se aprecia la distribución media mensual del error para las estimaciones realizadas en P6 Humboldt.

FIGURA 5.23

**PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL (ESTACIONES M002, M024, M343, M346, P3 Y P6)**

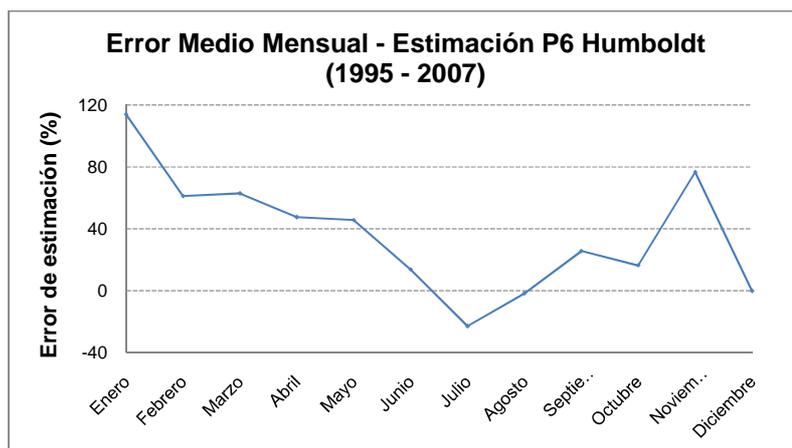


Distribución de la precipitación media mensual (1995 – 2007) de las estaciones M002, M024, M343, M346, P3 Y P6.

Elaboración: Andrea Pazmiño

FIGURA 5.24

**ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN P6**



Error medio mensual (1995 – 2007) de la estimación de la precipitación en P6 Humboldt.

Elaboración: Andrea Pazmiño

La Tabla 5.14 muestra los errores obtenidos para cada mes, para el periodo comprendido entre los años 1995 y 2007, así como los valores máximos, mínimos y medios de estos errores.

**TABLA 5.14**

**ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN P6**

Errores de estimación en P6 Humboldt, aplicando KO direccionado												
	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sept	Oct	Nov	Dic
1995	-87.86	108.2	41.75	80.9	33.79	15.28	62.98	-33.46	-13.61	79.3	-10.69	-28.3
1996	15.42	-4.41	-28.33	89.5	41.77	32.69	-48.9	203	-36.69	5.02	19.84	-23.2
1997	137.1	29.55	45.53	5.68	23.63	23.31	-39.4	-35.68	43.22	51.96	-44.45	4.22
1998	304.9	210.3	-20.28	88.7	-10.65	-2.61	33.49	-12.48	-0.73	24.39	43.68	-60.7
1999												
2000	99.47	27.85	180.1	34.1				-13.98	-10.69	-37.2	280.8	
2001	90.87	-10.02	86.13	30.5	65.39	-36.38	6.01	-51.8	10.89	16.75	41.35	21.78
2002	-11.72	226.6	89.37	4.99	88.39	-50.33	-55.8	54.98	143.7	18.28	48.91	31.89
2003	8.91	67.41	78.98	82.1	120	56.87	-36.7	-11.22	39.56	-21.3	42.46	52.78
2004	169.1	-5.67	109.1	20.1	53.08	-26.49	-29.3	-57.09	85.68	25.7	284.5	33.39
2005	65.56	29.05	36.39	39.6	26.16	131.6	-63	-24.1	12.38	-43.4	151.5	-11.3
2006	418.6	66.47	59.14	46.3	7.62	-10.19	-63.1	-13.52	114.5	59.57	-15.84	-21.8
2007	155.7	-12.32	76.22	48.2	52.95	15.73	-19.5	-25.51	-80.94			
máx	418.6	226.6	180.1	89.5	120	131.6	62.98	203	143.7	79.3	284.5	52.78
mín	-87.86	-12.32	-28.33	4.99	-10.65	-50.33	-63.1	-57.09	-80.94	-43.4	-44.45	-60.7
prom	113.8	61.08	62.84	47.5	45.65	13.59	-23	-1.74	25.61	16.28	76.55	-0.11

Error medio mensual de la estimación de la precipitación en P6 Humboldt (1995 – 2007).

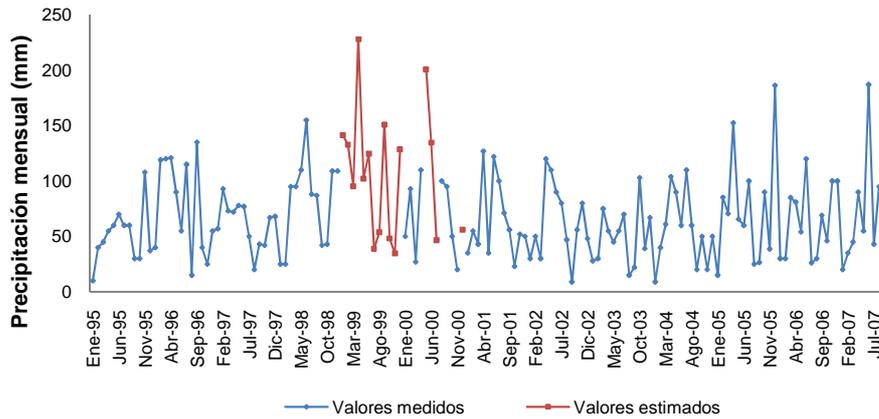
Elaboración: Andrea Pazmiño

En la Figura 5.25 se muestran los valores medidos, en color azul, y los valores rellenados con el método KO direccionado (Norte, con  $\Delta\theta = 45^\circ$ ), en color rojo.

Como puede verse en la Figura 5.26 la distribución del error de estimación no corresponde a una distribución normal (o campana de Gauss), a pesar de eso se puede ver que el error medio está alrededor del  $\pm 40\%$ , dentro del cual se ubican aproximadamente el 75% de valores.

FIGURA 5.25

## PRECIPITACIÓN MENSUAL EN P6

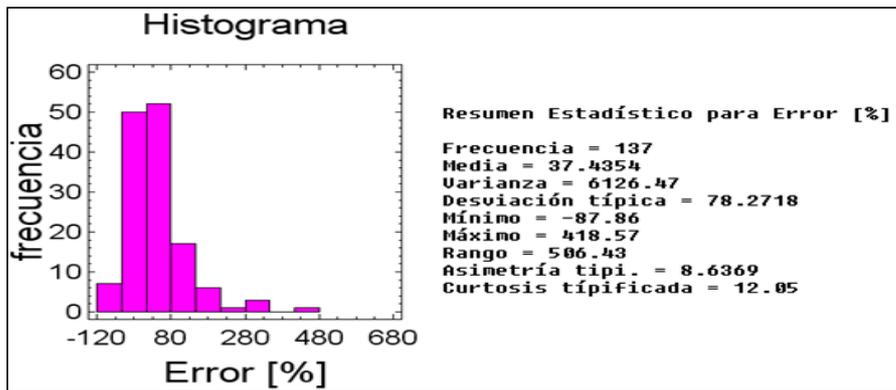


Se muestran los valores medidos (azul) y los valores estimados (rojo).

Elaboración: Andrea Pazmiño

FIGURA 5.26

## RESUMEN ESTADÍSTICO DE ERROR DE ESTIMACIÓN DE PRECIPITACIÓN EN P6



Histograma del error de estimación (%) de la precipitación en P6 Humboldt (1995 – 2007) y su resumen estadístico.

Fuente: Statgraphics

Elaboración: Andrea Pazmiño

## **5.6 CONCLUSIONES DE LA ESTIMACIÓN EN P6**

La estimación de precipitación en P6, es fuertemente influenciada por las estaciones P3 y M002, debido a que son las que se encuentran a menor distancia de P6, por ello cuando la precipitación en éstas estaciones dista mucho de la precipitación en P6, se obtienen mayores errores en la estimación de la precipitación (ver Figura 5.23).

El error esperado en la estimación de precipitación en P6, generalmente anuncia una sobreestimación, excepto para los meses de julio y agosto (ver Figura 5.24), por ello al rellenar la precipitación en P6, para el periodo 1995 – 2007, se puede observar que los valores estimados son, generalmente, mayores que los valores medidos (correspondientes a cada mes), esto se puede ver en la Figura 5.25.

## **5.7 CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y VARIABLES FÍSICO-GEOGRÁFICAS**

Debido a la existencia de varios modelos (Cadier et al., 2007; Cadier et al., 2008; Villacís, 2008) que buscan la correlación de las variaciones de volumen glaciar con el entorno climático, en este trabajo, se pretende correlacionar la precipitación (que es uno de los factores más influyentes en la variación del volumen glaciar) con el entorno, para en un futuro cercano, poder generar datos de precipitación que, entre otras cosas, ayuden a recrear la variación del volumen glaciar. Las variables físico-geográficas escogidas, para continuar con los trabajos mencionados son: Viento, Temperatura, Humedad, Niño 3.4 y SOI.

Para tener un seguimiento con los modelos mencionados, la precipitación que se ha correlacionado es la correspondiente a P3, P6, P3-2, P6-2, P3-9 y P6-9; siendo P3-2 la precipitación media correspondiente a P3 en los 2 meses precedentes, P6-9 la precipitación media correspondiente a P6 en los 9 meses precedentes, etc.

La correlación lineal (R) indica la intensidad con la que dos variables están relacionadas entre sí, sin que este valor dependa de las respectivas escalas de estas variables (Mendenhall, 1988); y el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), en este caso, indica el porcentaje del comportamiento de la precipitación que está determinado por la variable climática (Statgraphics), que puede ser viento, temperatura, humedad, Niño 3.4 o SOI. Para continuar con el trabajo de Cadier et al. (2007), las correlaciones se realizan entre las anomalías de precipitación y demás variables físico-geográficas.

A continuación, se describen las mejores correlaciones encontradas entre la precipitación y las variables físico-geográficas mencionadas, en el Anexo No8 se presentan en detalle todas las correlaciones realizadas entre la precipitación y éstas variables, así como también los gráficos del modelo ajustado para la mejor correlación encontrada entre la precipitación y cada una de las variables físico-geográficas.

### 5.7.1 CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y VIENTO

El mejor valor de correlación encontrado entre las anomalías de precipitación y de viento, se dio entre P6-9 y el módulo del viento 500 mb (tiempo de desfase<sup>7</sup> de 10 meses), con un valor  $R = 0.50$ , con significancia estadística del 99% y  $R^2 = 25\%$ , lo cual significa que el 25% del comportamiento de P6-9 está determinado por el módulo del viento 500 mb (tiempo de desfase de 10 meses).

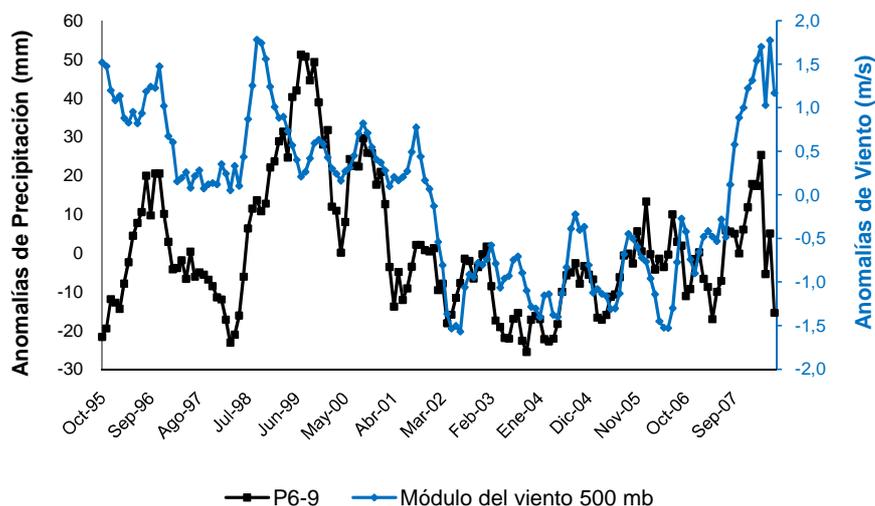
La Figura 5.27 muestra gráficamente las anomalías (1995 – 2007) de P6-9 y del módulo del viento 500 mb (tiempo de desfase de 10 meses).

---

<sup>7</sup> [Tiempo de desfase es el número de meses precedentes que se promedian para dar el valor del cálculo con el cual se realizan las correlaciones.](#)

FIGURA 5.27

## ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y VIENTO



Anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P6-9 y del módulo del viento 500 mb (tiempo de desfase de 10 meses).

Elaboración: Andrea Pazmiño

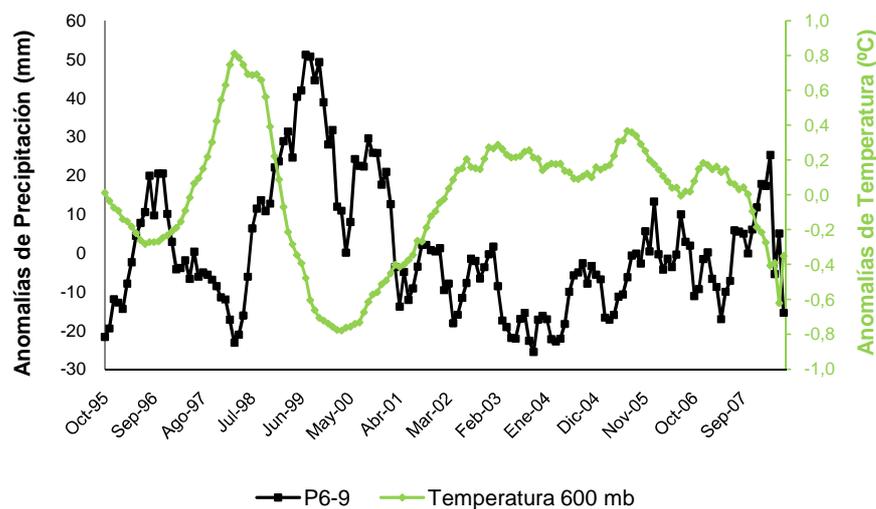
### 5.7.2 CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA

El mejor valor de correlación encontrado entre las anomalías de precipitación y de temperatura, se dio entre P6-9 y la temperatura 600 mb (tiempo de desfase de 12 meses), con un valor  $R = -0.60$ , con significancia estadística del 99% y  $R^2 = 36\%$ , lo cual significa que el 36% del comportamiento de P6-9 está determinado por la temperatura 600 mb (tiempo de desfase de 12 meses). Aunque en este caso cabe recalcar que la temperatura 500 mb (tiempo de desfase de 12 meses), genera un valor de correlación muy cercano a éste ( $R = -0.54$ ,  $R^2 = 0.30\%$ ).

La Figura 5.28 muestra gráficamente las anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P6-9 y de la temperatura 600 mb (tiempo de retraso de 12 meses).

FIGURA 5.28

## ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y TEMPERATURA



Anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P6-9 y de la temperatura 600 mb (tiempo de desfase de 12 meses).

Elaboración: Andrea Pazmiño

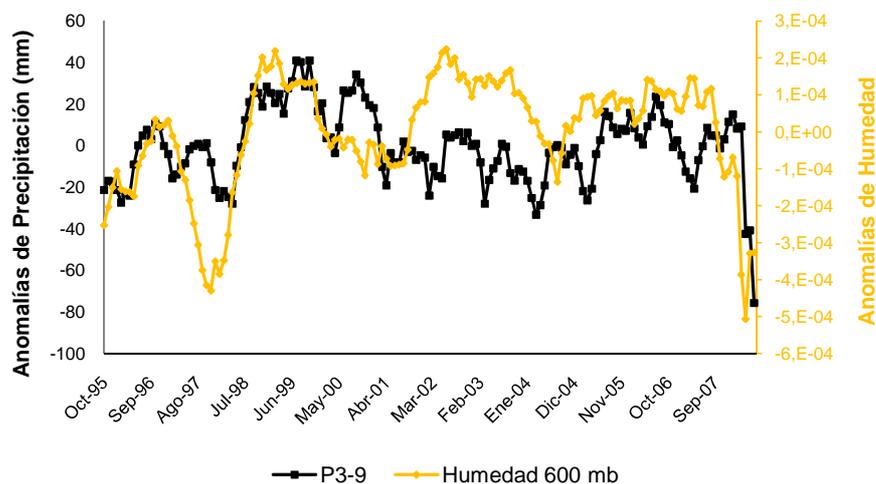
### 5.7.3 CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD

El mejor valor de correlación encontrado entre las anomalías de precipitación y de humedad, se dio entre P3-9 y la humedad 600 mb (tiempo de desfase de 12 meses), con un valor  $R = 0.38$ , con significancia estadística del 99% y  $R^2 = 15\%$ , lo cual significa que el 15% del comportamiento de P3-9 está determinado por la temperatura 600 mb (tiempo de desfase de 12 meses).

La Figura 5.29 muestra gráficamente las anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P3-9 y de la humedad 600 mb (tiempo de retraso de 12 meses).

FIGURA 5.29

## ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y HUMEDAD



Anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P3-9 y de la humedad 600 mb (tiempo de desfase de 12 meses).

Elaboración: Andrea Pazmiño

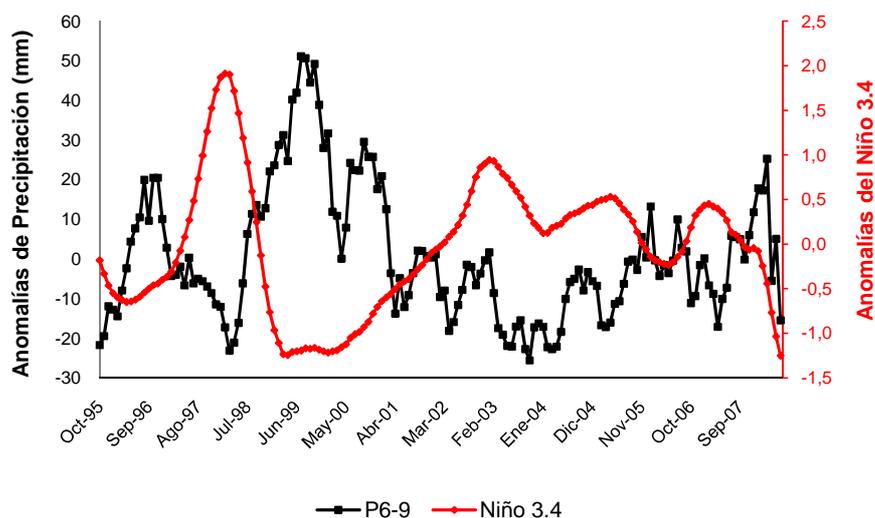
#### 5.7.4 CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y NIÑO 3.4

El mejor valor de correlación encontrado entre las anomalías de precipitación y del Niño 3.4, se dio entre P6-9 y el Niño 3.4 (tiempo de desfase de 12 meses), con un valor  $R = -0.67$ , con significancia estadística del 99% y  $R^2 = 45\%$ , lo cual significa que el 45% del comportamiento de P6-9 está determinado por el Niño 3.4 (tiempo de desfase de 12 meses).

La Figura 5.30 muestra gráficamente las anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P6-9 y del Niño 3.4 (tiempo de retraso de 12 meses).

FIGURA 5.30

## ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y NIÑO 3.4



Anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P3-9 y del Niño 3.4 (tiempo de desfase de 12 meses).

Elaboración: Andrea Pazmiño

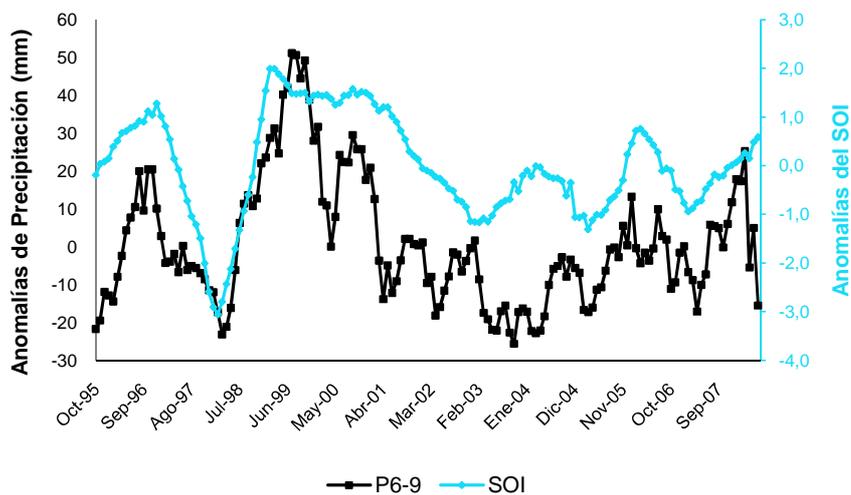
### 5.7.5 CORRELACIÓN ENTRE PRECIPITACIÓN Y SOI

El mejor valor de correlación encontrado entre las anomalías de precipitación y del SOI, se dio entre P6-9 y el SOI (tiempo de desfase de 12 meses), con un valor  $R = 0.68$ , con significancia estadística del 99% y  $R^2 = 46\%$ , lo cual significa que el 46% del comportamiento de P6-9 está determinado por el SOI (tiempo de desfase de 12 meses).

La Figura 5.31 muestra gráficamente las anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P6-9 y del SOI (tiempo de retraso de 12 meses).

FIGURA 5.31

## ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN Y SOI



Anomalías (1995 – 2007) de precipitación en P3-9 y del SOI (tiempo de desfase de 12 meses)

Elaboración: Andrea Pazmiño

## 5.8 CONCLUSIONES DE LAS CORRELACIONES

En el periodo estudiado, se han visto correlaciones bajas, pero estadísticamente significativas, por lo cual pueden tomarse en cuenta para futuros modelos estadísticos.

Curiosamente, la variable de precipitación que mayormente se presenta como la mejor correlacionada con las variables físico-geográficas es P6-9, lo cual es bastante útil para continuar con los trabajos de Cadier et al. (2007 y 2008); Villacís (2008), ya que, especialmente en el modelo generado en Cadier et al. (2007), la variable más influyente en la disminución o aumento de la masa glaciar es la precipitación en Ppáramo-9, la cual, como ya se explicó en el capítulo 3, tiene la misma ubicación que la estación P6 Humboldt.

La mejor correlación entre la precipitación y las variables físico-geográficas estudiadas, se obtuvo entre P6-9 y SOI (tiempo de desfase de 12 meses),  $R = 0.68$ ; mediante el SOI se puede describir el 46% del comportamiento de P6-9.

## 5.9 CONCLUSIONES DEL CAPÍTULO

De los tres ejercicios (subtemas 5.1, 5.2 y 5.3) realizados, se concluye que para realizar un buen análisis de doble masa se necesitan varios años de datos comunes entre todas las estaciones; este análisis permite conocer la cantidad de precipitación (anual) que cae sobre una estación respecto a otras.

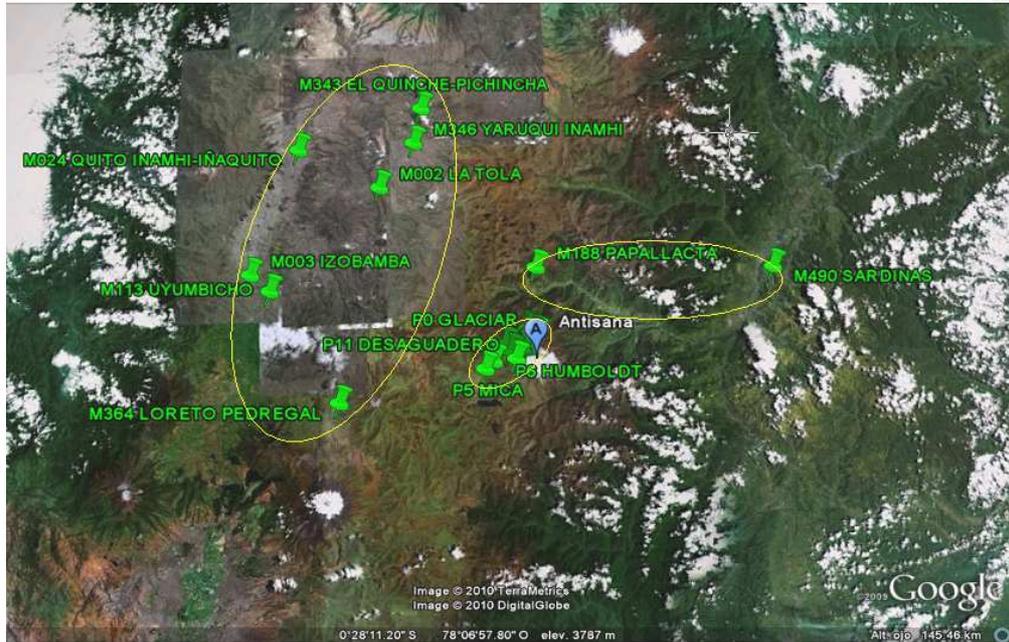
Se descubren también zonas, en las cuales se tienen buenas correlaciones entre las estaciones, así, se tiene una zona muy bien correlacionada entre los pluviómetros ubicados en el volcán Antisana, otra zona se presenta hacia el lado oeste y una más hacia el lado noreste, aunque esta última sólo se define por dos estaciones (Figura 5.32).

La aplicación de los métodos IDW y KO, en los ejercicios desarrollados (ver subtemas 5.1, 5.2 y 5.3), permite concluir que en una zona heterogénea, el método que brinda mejores resultados al estimar la precipitación es el IDW; y en una zona homogénea, con correlaciones lineales ( $R$ ) mayores a 0.8, el método que brinda mejores resultados es el KO.

Cuando se presenta un patrón de precipitación en cierta dirección, es mejor aplicar el variograma direccionado, el cual permite reducir los errores de estimación; con este criterio se rellenan los valores de precipitación en P6 (1995 – 2007).

FIGURA 5.32

## ZONAS CON BUENA CORRELACIÓN EN LA ZONA DE ESTUDIO



Fuente: Google Earth

Elaboración: Andrea Pazmiño

Las variaciones de precipitación responden a diversos factores climáticos (por ejemplo el viento), por ello se buscaron correlaciones entre la precipitación y estos factores, encontrándose que la mejor correlación se obtuvo entre P6-9 y el SOI (tiempo de retraso de 12 meses), con un valor de  $R = 0.68$ .

## **CAPÍTULO 6**

### **CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES**

#### **6.1 CONCLUSIONES**

Las conclusiones obtenidas del presente trabajo se dividen entre las obtenidas al aplicar la metodología y las obtenidas con los resultados finales.

##### **6.1.1 CONCLUSIONES AL APLICAR LA METODOLOGÍA**

La zona de estudio presenta una gran variabilidad espacial de la precipitación (lo cual se pudo ver al aplicar la metodología), particularmente en el Antisana se presenta una diferencia de precipitación media anual de aproximadamente el 40% (350 mm) entre la zona páramo (4059 m s.n.m.) con 830 mm/año y la zona glaciár (4555 m s.n.m.) con 1180 mm/año de precipitación, siendo separadas por una distancia menor a 8 km.

Los pluviómetros ubicados sobre el volcán Antisana se sitúan sobre los 3900 m s.n.m. y la precipitación media anual fluctúa entre 500 y 1500 mm (análisis realizado en los pluviómetros P0 Glaciár, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt, para el periodo comprendido entre los años 2001 y 2006, no se incluyó el año 2007 debido a que para ese año no se tienen datos de los meses de octubre, noviembre y diciembre).

El análisis realizado a los pluviómetros P0 Glaciár, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt, durante el periodo comprendido entre 2001 y 2007 (se incluyen los meses de enero a septiembre del 2007), indica que se tiene un pico lluvioso bastante importante, entre los meses de marzo y junio en las estaciones más cercanas al glaciár (P0 Glaciár, P2 Morrena, P3 Totalizador y P4 Antisana); mientras que en las estaciones más bajas (P5 Mica y P6 Humboldt),

indica que se tienen dos picos lluviosos, uno entre marzo y junio, y otro entre octubre y diciembre (ver Figura 5.21).

Al evaluar la precipitación media anual no se toma en cuenta el año 2007, ya que debido a la falta de datos para los meses de octubre a diciembre, proporciona un valor de precipitación inferior (que si se tuvieran los datos de esos meses); pero al evaluar la precipitación media mensual, se incluye el año 2007, ya que en este caso, los valores finales no se ven afectados por la falta de datos en los tres últimos meses.

### **6.1.2 CONCLUSIONES SOBRE EL ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS**

En una zona en la que las correlaciones entre estaciones sea  $R \geq 0.8$ , el método que brinda menores errores de estimación es el KO, de lo contrario (cuando las correlaciones entre estaciones sean  $R < 0.8$ ), los menores errores de estimación se obtienen con el método IDW.

Si se notan variaciones con la dirección, lo mejor es aplicar un variograma direccionado, cuya amplitud depende de los datos que se tengan. Luego de hacer pruebas de aplicación de direccionamiento del variograma, es decir de escoger las estaciones que se ubican en un rango radial que permite definir una zona en función de las mejores correlaciones observadas, con el objeto de realizar el variograma que permite luego realizar las mejores estimaciones.

En el periodo de análisis concerniente al presente trabajo (1995 – 2007), la precipitación (P6-9) y el SOI (tiempo de desfase de 12 meses) presentan una correlación máxima  $R = 0.67$  (con el 99% de significancia estadística), el comportamiento de P6-9 está el 46% determinado ( $R^2 = 46\%$ ) por el SOI (tiempo de desfase de 12 meses).

Las correlaciones realizadas entre la precipitación y las variables físico-geográficas (Viento, Temperatura, Humedad, Niño 3.4 y SOI), dentro del periodo

analizado (1995 – 2007), son buenas y estadísticamente significativas; con ellas se puede determinar hasta el 46% del comportamiento de la precipitación.

## **6.2 RECOMENDACIONES**

Las recomendaciones aplicables al presente trabajo se dividen entre las relativas a la metodología y las relativas a los resultados finales.

### **6.2.1 RECOMENDACIONES DE LA METODOLOGÍA**

Debido al constante avance de la tecnología, se recomienda modernizar el lenguaje en el cual se encuentra escrito el código fuente del programa SIC, ya que actualmente existen otros lenguajes que permitirían al usuario una visualización más dinámica para la estimación más acertada de los valores (de precipitación).

El campo de aplicación de los métodos IDW y KO es bastante extenso, en este estudio se ha comprobado su aplicación en meteorología, específicamente en la estimación de la precipitación, y el uso del programa SIC ha sido sustancial para acelerar el trabajo, por ello, el uso del programa SIC es bastante recomendado para este tipo de estudios.

### **6.2.2 RECOMENDACIONES DE LOS RESULTADOS**

Es de gran importancia continuar con el trabajo que están realizando en conjunto el IRD (con la unidad GREATICE), el INAMHI y la EMAAP-Q, de instalar estaciones meteorológicas y monitorear los glaciares del Ecuador, para este caso en particular del Antisana, ya que al contar con mayor cantidad de datos se podrán realizar estimaciones (de precipitación entre otros) más certeras, lo cual servirá para poder conocer y tal vez prever el comportamiento de este importante

glaciar, que a su vez podrá servir como base para realizar análisis similares en otros glaciares con característica semejantes. Esta recomendación también se da debido a que, en una zona homogénea los valores de precipitación estimados son menores que los que se obtienen en una zona heterogénea, y en zonas de montaña, no se encuentran zonas homogéneas en distancias muy largas.

Se debe continuar buscando correlaciones las variables físico-geográficas utilizadas en el presente estudio, y de ser posible ampliar el periodo de análisis; con lo cual inclusive podría llegarse a generar un modelo (que implique varias variables físico-geográficas) que pueda generar series de datos más largas.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Allen, R., Pereira, L., Raes, D. y M. Smith. (1998). Crop evapotranspiration. Food and Agriculture Organization (FAO) of the United Nations. Rome. <http://www.fao.org/docrep/X0490E/x0490e0j.htm#annex%202.%20meteorological%20tables>

Babylon. (2010). International Date Line. [http://www.babylon.com/definition/international\\_date\\_line/Spanish](http://www.babylon.com/definition/international_date_line/Spanish)

Barreiro, M. (2008a). Componente Geográfica del Clima. Universidad de la República. Uruguay. [http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico\\_climatologia/TEMA%2012.doc](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico_climatologia/TEMA%2012.doc)

Barreiro, M. (2008b). Circulación general de la atmósfera. Universidad de la República. Uruguay. [http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico\\_climatologia/Tema3.pdf](http://meteo.fisica.edu.uy/Materias/climatologia/teorico_climatologia/Tema3.pdf)

Buytaert, W., Celleri, R., Willems, P., De Briève, B., y G. Wyseure. (2006). "Spatial and temporal rainfall variability in mountainous areas: A case study from the south Ecuadorian Andes." *Journal of Hydrology*, pp. 413-421.

Cadier, E., Villacís, M., Garcés, A., Lhuissier, P., Maisincho, L., Laval, R., Paredes, D., Cáceres, B. y B. Francou. (2007). Variations of a low latitude Andean glacier according to global and local climate variations: first results. *Glacier Hydrology (selected papers from sessions at the IAHS Assembly in Foz do Iguaçu, Brazil, 2005)*. IAHS Publ. 318.

Cadier, E., Villacís, M., Maisincho, L., Manciat, C., Ayabaca, E., Loyo, C., y B., Francou. (2008). Modelling melting in low latitude Andean glaciers according to global, regional and local climate variations.

Castaño, A. y F. Vergara. (2004). Simulación Geoestadística aplicada al modelamiento de yacimientos de petróleo. Trabajo dirigido de grado para optar al título de Ingeniero de Petróleos. Universidad Nacional de Colombia. Sede

Medellín.

[http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1203/1/3474407\\_15272213\\_2004.pdf](http://www.digital.unal.edu.co/dspace/bitstream/10245/1203/1/3474407_15272213_2004.pdf)

CPC. (2005a). El Niño Regions. National Weather Service, NOAA, NCEP. [http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/nino\\_regions.shtml](http://www.cpc.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/nino_regions.shtml)

CPC. (2005b). The Southern Oscillation Index. National Weather Service, NOAA, NCEP. [http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensocycle/soi.shtml](http://www.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensocycle/soi.shtml)

CPC. (2010). SST. Graphic. National Weather Service, NOAA, NCEP. <http://www.cpc.noaa.gov/products/CDB/Tropics/figt5.gif>

Cook, J. (2010). Es la PDO (Oscilación del Pacífico). EskepticalScience. © Copyright 2010. <http://www.skepticalscience.com/translation.php?a=159&l=4>

COMUNIDAD ANDINA. (2008). El Cambio Climático no tiene Fronteras. Secretaría General de la Comunidad Andina. Lima, Perú.

Díaz, M. (2002). Geoestadística Aplicada. Instituto de Geofísica y Astronomía, CITMA, Cuba. <http://www.scribd.com/doc/24737935/Geoestadistica-Aplicada>

El yelmo. (2007). Dinámica atmosférica. XI Festival Internacional del aire. FEOGA-O, Junta de Andalucía, Ministerio de agricultura, pesca y alimentación. Andalucía, España. [http://www.fiaelyelmo.com/fact\\_ambiente/meteorologia.htm](http://www.fiaelyelmo.com/fact_ambiente/meteorologia.htm)

EPN. (2008). Formulario para la presentación de Programas o Proyectos de Investigación Científica, Desarrollo e Innovación Tecnológica. Secretaría Nacional de Ciencia y Tecnología. "Impacto del cambio climático y de la variabilidad climática en el régimen hidrológico de cuencas hidrográficas con cobertura parcialmente glaciar. Caso de estudio: volcán Antisana" Galárraga, R. y Villacís, M.

Fernández, A. (2010). Modelación del balance de masa del glaciar 15α del volcán Antisana usando el software WEAP. Proyecto previo a la obtención del título de

Ingeniero Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Fondear (2010). Infonáutico: Mar, Meteorología, Los Alisios.  
<http://www.fondear.org/infonautic/Mar/Meteo/Alisios/Alisios.htm>

Francou, B., Vuille, M., Favier, V., y B. Cáceres. (2004). "New evidence for an ENSO impact on low-latitude glaciers: Antizana 15, Andes of Ecuador, 0°28'S." *Journal of Geophysical Research*, pp. 1-17.

Galindo, E. (2006). *Estadística. Métodos y Aplicaciones*. Prociencia Editores. Quito, Ecuador.

Garcés, J. y L. Santana. (2009). Aplicación de tecnologías de información geográfica para el estudio de la variabilidad climática en la cuenca alta del río Cauca. 12 Encuentro de Geógrafos de América Latina. Montevideo, Uruguay.  
[http://egal2009.easyplanners.info/buscar.php?id\\_tl=3431#](http://egal2009.easyplanners.info/buscar.php?id_tl=3431#)

García, M. (2010). Mar, Navegación, Vientos Alisios. Mgar.net.  
<http://mgar.net/mar/alisios.htm>

Garreaud, R. (2009). "The Andes climate and weather". *Advances in Geosciences*, pp. 3-11.

Giraldo, R. (s.f). *Introducción a la Geoestadística. Teoría y Aplicación*. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.  
<http://www.docentes.unal.edu.co/rgiraldoh/docs/LIBRO%20DE%20GEOESTADISTICA..pdf>

INAMHI. (2010a). Meteorología Básica.  
<http://www.inamhi.gov.ec/educativa/meteorologia.htm>

INAMHI. (2010b). Sección Educativa.  
<http://www.inamhi.gov.ec/educativa/diccionario/letraH.htm>

Isaaks, E. y Srivastava, R. (1989). *An Introduction to Applied Geostatistics*. Oxford University Press. New York.

Jiménez, S. (s.f) *Características básicas de los datos económicos de series*

temporales. Universitat Pompeu Fabra. Barcelona, España.

Lhuissier, P. (2005). Distribution des précipitations dans la partie ouest du volcan Antisana mensuelle, saisonnière et interannuelle. Informe provisional. IRD, INAMHI, EMAAP-Q, GREATICE.

Maisincho, L., Cáceres, B., Manciatí, C., Loyo, C., Cuenca, E., Arias, M., Rojas, M., Francou, B., Villacís, M., Rosero, S., Cadier, E., y P. Garreta (2009). Glaciares del Ecuador: Antisana y Carihuayrazo. Informe del año 2007. Guamanzara, C. (ed. y digit.). INAMHI, EMAAP-Q, IRD y GREATICE.

Martínez, J. (2000). Percepción. Anisotropía. <http://www.juanval.net/profesores/anisotropia00.htm>

Martínez, L., Blixen, W., León, R., Latorre, I. y E. Guerra. (2010, Marzo 16). "El agua: compromiso de todos." Comunidad de aprendizaje.

Mendenhall, W. (1988). Estadística para Administradores. Grupo Editorial Iberoamérica (versión en español).

Montero, J. y B. Larraz. (2008). Introducción a la Geoestadística Lineal. Lévy, J. (dir.), Seco, C. (dir. ed.), Bello, L. (ed.), Varela, J. (coord.) Impreso en España. <http://www.worldcat.org/title/introduccion-a-la-geoestadistica-lineal/oclc/236186609/viewport>

Moreano, R. (2008). Sistema de Información para la Interpolación espacial y temporal de datos sobre el tiempo atmosférico y el clima del Ecuador. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Ambiental. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Ortiz, J. (2008). Kriging. Universidad de Chile. [https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/MI54A/1/material\\_docente/objeto/169140](https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2008/1/MI54A/1/material_docente/objeto/169140)

Pintos, O. (2009). Registro Sedimentario y Cambios Climáticos. <http://www.scribd.com/doc/12899537/Cambios-Climaticos>

Pourrut, P. (1995). El agua en el Ecuador. Clima, precipitaciones, escorrentía.

Volumen 7. ORSTOM, Colegio de Geógrafos del Ecuador. Quito, Ecuador. Corporación Editora Nacional.

PNUMA. (2007). *Perspectivas del Medio Ambiente Mundial*. Primera edición. Phoenix Design Aid. Dinamarca. [http://www.unep.org/geo/geo4/report/GEO-4\\_Report\\_Full\\_ES.pdf](http://www.unep.org/geo/geo4/report/GEO-4_Report_Full_ES.pdf)

Quintín, J. (s.f). *Elementos de Geoestadística*. Universidad de Pinar del Río. Cuba. <http://www.monografias.com/trabajos14/geoestadistica/geoestadistica2.shtml>

Rondón, O. (s.f). *Curso de Krigeado*. Venezuela. <http://www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLopez/geoestadistica/KRIGING.ppt>

Shea, J. y S. Marshall. (2007). "Atmospheric flow indices, regional climate, and glacier mass balance in the Canadian Rocky Mountains." *International Journal of Climatology*, pp. 233–247.

Singh, V. (1992). *Elementary Hydrology*. Louisiana State University. Prentice Hall, Inc. New Jersey.

Spiegel, M., Hernández, R. y L. Abellanas. (1998). *Estadística*. Segunda Edición. McGraw-Hill / Interamericana de España S.A. Traducción Impresa en Colombia.

Trenberth, K. y D. Stepaniak. (2000). "Indices of El Niño evolution." *Journal of Climate* 14, pp. 1697-1701. <http://www.cgd.ucar.edu/cas/papers/jclim2001b/ENflavorsr.html>

UNESCO (2008). *El agua, una responsabilidad compartida*. 2º Informe de las Naciones Unidas sobre el Desarrollo de los Recursos Hídricos en el Mundo. Ed. Sociedad Estatal Expoagua Zaragoza (versión en lengua castellana). [http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/pdf/wwdr2\\_front\\_matter\\_es.pdf](http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/pdf/wwdr2_front_matter_es.pdf)

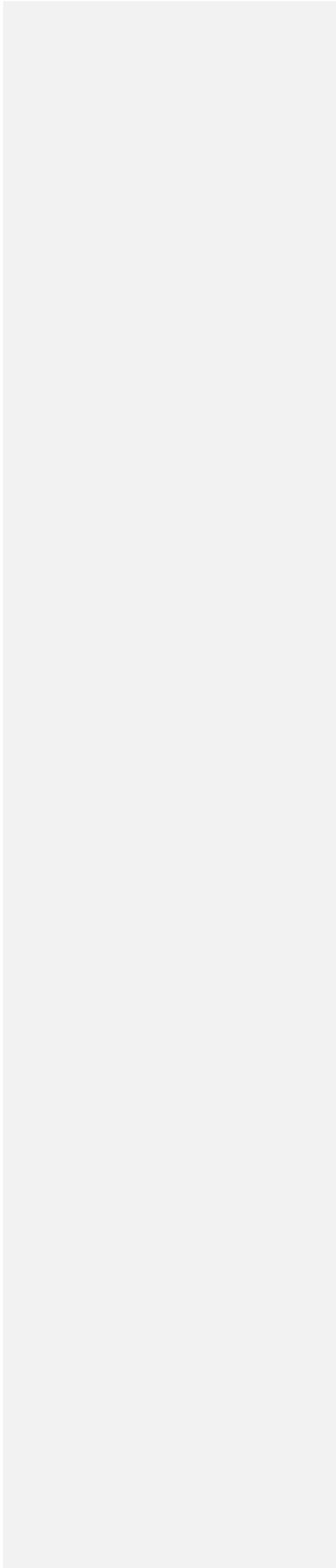
Universidad Nacional del Nordeste. (s.f). *Apuntes de Hidrología*. <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp2.pdf>

Villacís, M. (2001). *Influencia de El Niño – Oscilación del Sur sobre la*

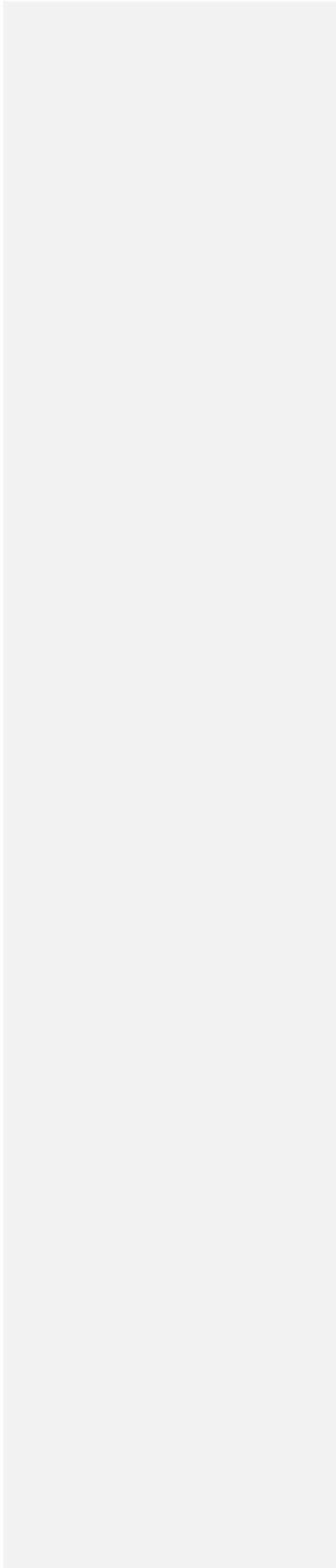
precipitación en los Andes Centrales del Ecuador. Proyecto previo a la obtención del título de Ingeniero Civil. Escuela Politécnica Nacional. Quito, Ecuador.

Villacís, M. (2008). Ressources en eau glaciaire dans les Andes d'Equateur en relation avec les variations du climat: Le cas du volcan Antisana. Thèse pour obtenir le grade de Docteur. Université Montpellier II. Montpellier.

**ANEXOS**



**ANEXO No1**  
**DATOS DE PRECIPITACIÓN**



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

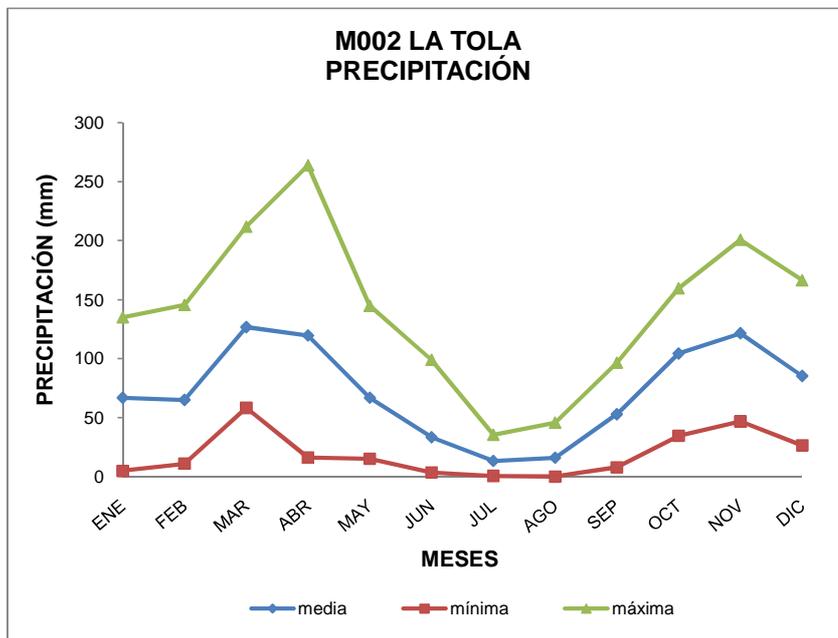
NOMBRE: LA TOLA

CÓDIGO: M002

PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 13' 46" S LONGITUD: 78° 22' 0" W ELEVACIÓN: 2480 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	4,9	31,8	161,3	162,8	100,0	27,6	21,7	29,1	7,8	151,8	200,7	106,2	1005,7
1996	77,3	105,8	146,3	153,5	131,1	98,9	20,1	35,0	65,1	159,5	46,9	56,6	1096,1
1997	135,0	10,9	174,1	49,4	80,8	39,4	5,5	0,6	96,5	127,2	140,4	101,6	961,4
1998	77,2	51,5	86,4	53,4	105,3	15,2	21,1	45,8	9,3	107,1	113,3	26,5	712,1
1999	57,1	90,1	132,3	131,3	33,7	17,7	0,6	17,4	94,5	105,9	63,4	127,3	871,3
2000	129,5	145,5	128,3	125,3	144,7	55,8	35,4	2,1	77,3	67,4	59,3	92,3	1062,9
2001	55,5	60,6	100,0	16,1	35,1	13,5	25,0	0,0	95,7	34,6	109,9	45,4	591,4
2002	44,7	36,9	129,6	263,8	49,7	36,6	11,6	21,7	49,6	79,9	98,0	99,7	921,8
2003	40,1	68,9	58,3	149,8	15,0	32,0	10,3	20,8	84,3	85,3	146,3	47,1	758,2
2004	82,3	27,3	86,2	79,7	47,4	3,4	4,4	0,7	53,8	105,4	177,9	131,0	799,5
2005	52,8	97,7	75,9	58,7	44,0	29,1	9,1	18,8	20,2	87,0	84,0	79,0	656,3
2006	42,4	74,8	211,8	168,0	30,9	45,6	4,6	3,0	11,0	101,3	153,0	166,4	1012,8
2007	69,2	42,5	155,6	141,3	50,7	19,7	3,6	13,1	22,3	143,4	185,1	28,6	875,1
media	66,8	64,9	126,6	119,5	66,8	33,4	13,3	16,0	52,9	104,3	121,4	85,2	871,1
mínima	4,9	10,9	58,3	16,1	15,0	3,4	0,6	0,0	7,8	34,6	46,9	26,5	
máxima	135,0	145,5	211,8	263,8	144,7	98,9	35,4	45,8	96,5	159,5	200,7	166,4	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: IZOBAMBA

CÓDIGO: M003

PERIODO: 1995 - 2007

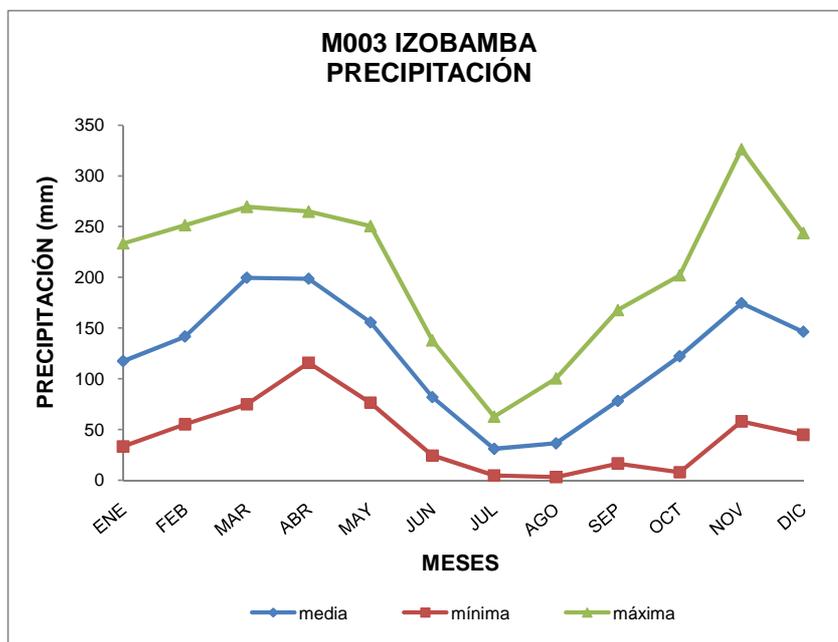
LATITUD: 0° 21' 45" S

LONGITUD: 78° 33' 11" W

ELEVACIÓN: 3058 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	53,9	61,4	208,4	168,8	107,9	84,8	53,2	100,5	50,7	137,1	209,9	124,9	1361,5
1996	160,9	220,7	223,7	237,4	212,5	75,2	30,0	39,8	45,6	163,6	74,2	83,6	1567,2
1997	233,4	102,0	194,9	168,1	104,1	112,8	4,6	17,0	71,1	150,5	250,3	195,3	1604,1
1998	83,1	143,2	205,9	264,7	224,9	49,6	37,6	72,0	57,4	192,5	181,4	44,7	1557,0
1999	93,4	251,3	269,5	152,3	201,0	134,5	7,9	43,6	157,2	104,2	160,3	192,5	1767,7
2000	161,2	184,6	268,8	231,4	250,5	137,7	42,6	28,8	167,7	49,9	57,9	73,7	1654,8
2001	144,8	168,2	226,3	133,6	102,0	38,2	36,1	12,4	91,4	7,9	119,0	192,6	1272,5
2002	94,0	93,4	201,4	248,0	132,7	69,7	26,5	11,8	22,9	129,6	185,0	243,6	1458,6
2003	144,7	104,4	111,5	183,7	118,0	117,8	7,9	32,2	101,3	153,2	200,1	110,5	1385,3
2004	58,9	66,1	74,8	150,4	147,4	24,3	28,6	3,1	98,7	136,3	152,7	187,7	1129,0
2005	33,3	201,4	210,2	115,7	100,1	66,8	50,6	53,9	84,1	83,7	105,8	159,4	1265,0
2006	93,3	188,8	167,5	262,0	76,3	92,2	13,1	23,6	51,6	76,5	245,9	174,6	1465,4
2007	171,3	55,1	229,9	264,3	243,6	59,7	62,6	34,8	16,4	201,9	326,2	117,8	1783,6
media	117,4	141,6	199,4	198,5	155,5	81,8	30,9	36,4	78,2	122,1	174,5	146,2	1482,4
mínima	33,3	55,1	74,8	115,7	76,3	24,3	4,6	3,1	16,4	7,9	57,9	44,7	
máxima	233,4	251,3	269,5	264,7	250,5	137,7	62,6	100,5	167,7	201,9	326,2	243,6	

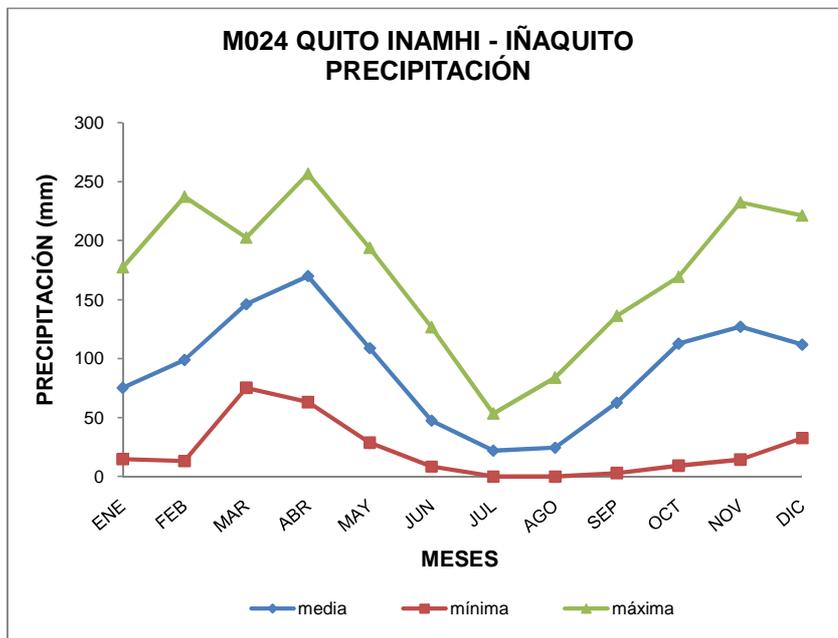


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: QUITO INAMHI - IÑAQUITO      CÓDIGO: M024  
PERIODO: 1995 - 2007      LATITUD: 0° 10' 0" S      LONGITUD: 78° 29' 0" W      ELEVACIÓN: 2789 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	14,9	85,2	118,7	158,4	155,4	97,5	42,5	83,9	5,7	152,7	232,4	77,8	1225,1
1996	146,5	138,3	181,8	199,4	189,4	37,2	29,0	83,2	84,5	169,4	14,4	47,7	1320,8
1997	140,9	13,2	167,7	83,2	65,9	58,8	0,0	0,0	108,6	152,7	219,2	120,3	1130,5
1998	58,1	86,5	127,5	143,9	193,9	14,5	32,2	18,8	58,8	103,6	138,6	32,6	1009,0
1999	81,6	237,2	185,3	234,1	70,1	126,6	25,1	24,8	136,3	87,1	101,0	221,2	1530,4
2000	177,3	165,8	149,5	187,6	123,8	66,4	22,1	9,7	67,3	43,8	16,7	76,1	1106,1
2001	84,1	63,9	186,4	63,1	88,8	8,5	35,0	0,0	94,6	9,3	113,6	118,1	865,4
2002	36,6	59,1	123,1	256,6	133,1	37,3	8,2	9,8	19,2	144,6	95,0	152,9	1075,5
2003	25,4	79,1	100,9	244,6	28,7	54,1	15,7	-	67,8	117,7	159,4	103,2	-
2004	56,0	34,4	75,2	156,3	113,8	11,0	6,7	0,6	97,6	98,8	125,5	94,8	870,7
2005	37,9	150,6	134,3	84,2	37,7	31,8	53,4	26,8	35,6	116,0	58,4	115,1	881,8
2006	52,3	105,2	202,5	209,5	113,6	50,2	3,1	3,5	35,6	109,5	182,4	183,0	1250,4
2007	66,2	67,5	-	188,1	101,0	22,2	12,5	33,4	3,0	160,1	194,7	-	-
media	75,2	98,9	146,1	169,9	108,9	47,4	22,0	24,5	62,7	112,7	127,0	111,9	1115,1
mínima	14,9	13,2	75,2	63,1	28,7	8,5	0,0	0,0	3,0	9,3	14,4	32,6	-
máxima	177,3	237,2	202,5	256,6	193,9	126,6	53,4	83,9	136,3	169,4	232,4	221,2	-



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: UYUMBICHO

CÓDIGO: M113

PERIODO: 1995 - 2007

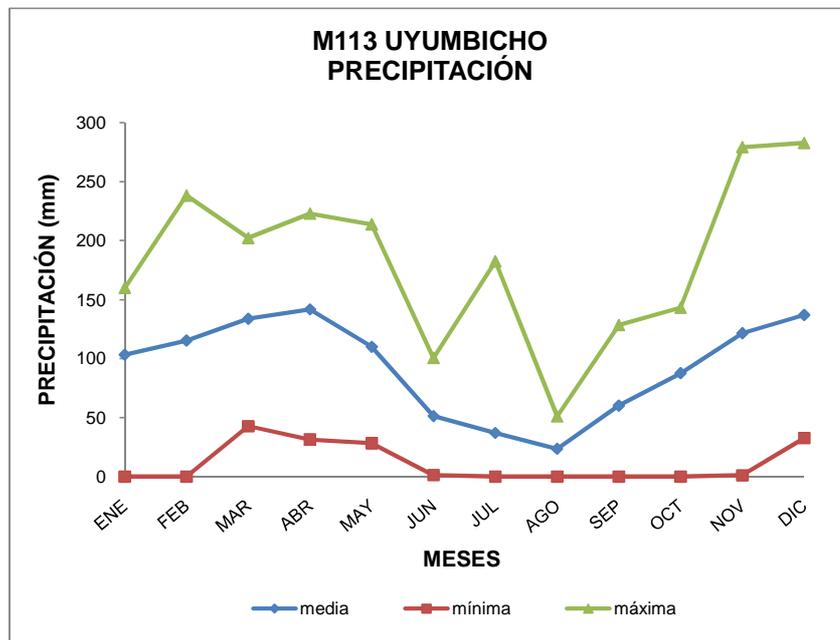
LATITUD: 0° 23' 18" S

LONGITUD: 78° 31' 31" W

ELEVACIÓN: 2740 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	0,0	0,0	76,2	143,4	56,3	59,1	182,4	51,1	6,4	71,4	38,4	62,6	747,3
1996	132,1	70,3	173,2	114,4	117,5	30,2	0,0	25,7	93,1	66,8	47,1	66,3	936,7
1997	154,0	19,9	42,7	113,2	80,3	12,0	14,6	22,2	54,5	39,8	120,3	58,1	731,6
1998	81,8	60,1	52,7	119,5	107,4	23,4	19,2	49,6	44,1	97,4	104,0	32,9	792,1
1999	-	185,0	166,1	106,8	113,9	100,6	6,3	27,3	122,8	143,2	73,4	282,8	-
2000	132,2	158,2	202,2	171,7	213,8	100,5	74,0	-	128,5	71,7	1,1	32,6	-
2001	159,9	190,8	104,9	31,4	28,2	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	58,1	173,6	748,2
2002	65,1	48,4	201,3	190,4	67,3	30,0	19,3	0,8	18,0	140,7	206,8	157,2	1145,3
2003	87,6	204,0	120,8	165,5	171,4	100,1	13,0	8,7	89,5	-	155,6	202,5	-
2004	108,8	102,5	67,9	115,8	155,4	19,3	32,1	0,0	87,2	119,9	146,8	190,3	1146,0
2005	45,9	238,2	201,0	141,6	74,2	55,0	42,9	41,2	45,2	69,8	105,7	239,8	1300,5
2006	132,9	175,9	135,5	222,8	90,7	91,2	10,0	22,8	75,9	88,7	242,8	146,2	1435,4
2007	139,4	45,7	195,3	206,4	154,0	44,0	66,7	32,2	16,7	142,3	279,3	137,0	1459,0
media	103,3	115,3	133,8	141,8	110,0	51,3	37,0	23,5	60,1	87,6	121,5	137,1	1044,2
mínima	0,0	0,0	42,7	31,4	28,2	1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	1,1	32,6	
máxima	159,9	238,2	202,2	222,8	213,8	100,6	182,4	51,1	128,5	143,2	279,3	282,8	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: PAPALLACTA

CÓDIGO: M188

PERIODO: 1995 - 2007

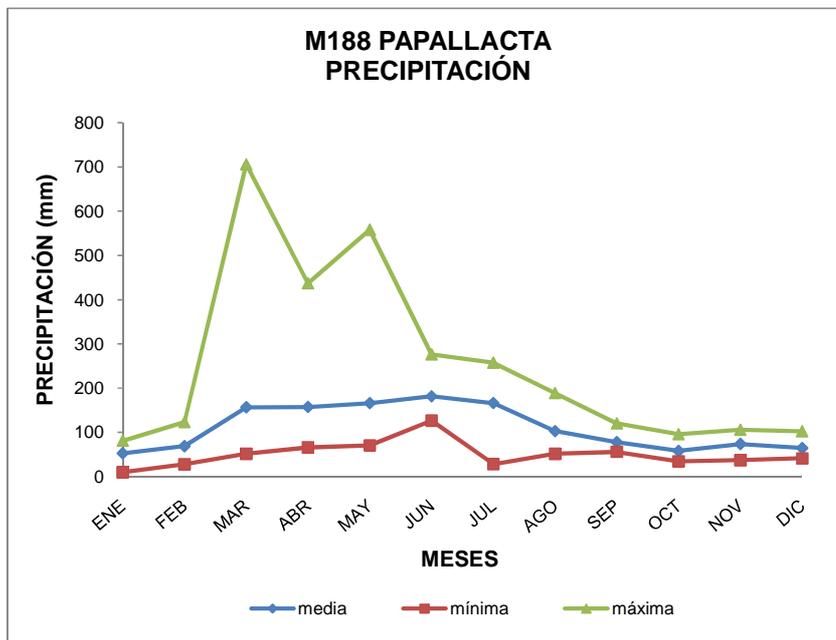
LATITUD: 0° 21' 54" S

LONGITUD: 78° 8' 41" W

ELEVACIÓN: 3150 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	40,9	27,5	51,6	65,8	102,9	131,3	112,6	72,2	71,1	43,1	105,6	53,2	877,8
1996	48,5	122,8	74,3	80,2	104,9	126,5	257,4	116,8	120,1	44,4	57,4	41,1	1194,4
1997	78,6	100,6	55,9	97,7	183,9	130,7	226,7	103,6	55,9	52,0	75,3	63,1	1224,0
1998	66,4	43,8	54,0	84,6	70,6	276,1	257,3	113,0	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	706,0	436,9	557,9	-	195,6	51,5	79,0	62,9	66,5	76,3	-
2004	9,6	73,5	145,2	115,9	165,7	203,7	210,2	126,1	60,1	72,9	37,1	50,8	1270,8
2005	30,1	87,4	123,3	236,0	133,0	190,1	96,8	66,6	60,1	34,4	61,7	102,3	1221,8
2006	81,0	41,5	65,9	116,8	99,7	212,0	110,9	86,9	84,0	57,6	87,4	46,2	1089,9
2007	65,6	51,6	133,6	181,5	76,8	-	28,3	188,7	92,6	95,7	99,2	83,3	-
media	52,6	68,6	156,6	157,3	166,2	181,5	166,2	102,8	77,9	57,9	73,8	64,5	1146,5
mínima	9,6	27,5	51,6	65,8	70,6	126,5	28,3	51,5	55,9	34,4	37,1	41,1	
máxima	81,0	122,8	706,0	436,9	557,9	276,1	257,4	188,7	120,1	95,7	105,6	102,3	

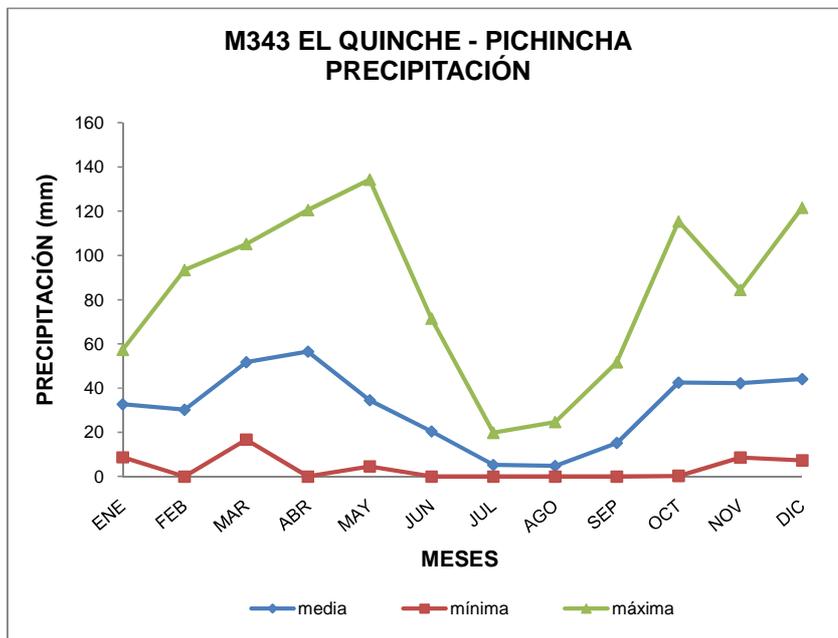


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: EL QUINCHE - PICHINCHA      CÓDIGO: M343  
PERIODO: 1995 - 2007      LATITUD: 0° 6' 8" S      LONGITUD: 78° 18' 12" W      ELEVACIÓN: 2605 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	8,7	16,2	47,6	31,8	65,4	29,2	19,8	18,2	5,1	77,2	70,8	17,3	407,3
1996	39,5	63,7	105,2	88,3	134,2	71,4	17,0	24,6	22,2	49,1	19,3	55,4	689,9
1997	57,3	6,2	26,6	33,9	8,9	26,5	0,0	0,0	32,7	53,0	84,4	23,2	352,7
1998	14,8	41,2	38,7	35,6	70,5	0,7	0,0	0,3	0,0	22,0	53,8	7,3	284,9
1999	36,9	67,8	65,3	47,1	13,4	22,3	0,0	4,8	51,7	115,4	25,1	109,9	559,7
2000	57,3	93,4	103,6	66,5	39,3	33,8	15,6	0,0	17,0	4,7	8,6	18,0	457,8
2001	19,5	16,5	-	0,0	15,8	0,0	3,8	0,0	20,3	0,3	24,7	19,3	-
2002	25,0	13,4	57,1	120,5	25,8	15,7	0,3	0,0	13,0	68,0	31,5	34,4	404,7
2003	26,2	27,0	18,8	78,0	4,9	17,8	7,1	0,0	8,2	30,5	-	10,5	-
2004	52,4	0,0	16,7	22,0	4,6	9,4	2,1	0,0	7,9	48,6	33,9	48,2	245,8
2005	11,0	22,8	29,8	28,7	22,2	7,7	3,2	12,5	15,8	20,3	20,3	85,5	279,8
2006	47,6	19,6	69,8	83,5	17,0	19,1	0,0	0,0	0,0	23,2	82,5	121,6	483,9
2007	29,3	4,6	40,9	98,8	26,4	12,4	0,0	2,4	4,2	40,3	52,3	22,2	333,8
media	32,7	30,2	51,7	56,5	34,5	20,5	5,3	4,8	15,2	42,5	42,3	44,1	409,1
mínima	8,7	0,0	16,7	0,0	4,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3	8,6	7,3	
máxima	57,3	93,4	105,2	120,5	134,2	71,4	19,8	24,6	51,7	115,4	84,4	121,6	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: YARUQUÍ - INAMHI

CÓDIGO: M346

PERIODO: 1995 - 2007

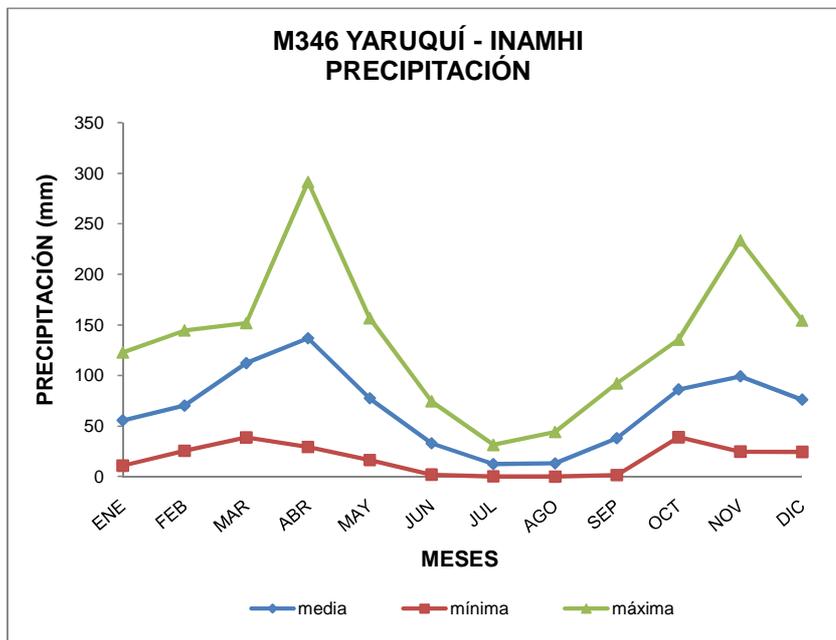
LATITUD: 0° 9' 35" S

LONGITUD: 78° 18' 55" W

ELEVACIÓN: 2600 m s.n.m.

VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	10,8	33,8	94,4	87,1	76,6	21,1	31,4	44,1	21,8	97,1	169,1	77,9	765,2
1996	86,6	80,6	111,7	171,6	126,0	51,3	21,2	33,4	46,8	63,8	24,6	47,1	864,7
1997	122,8	27,1	151,8	55,3	74,6	57,2	0,3	0,3	52,5	135,5	156,6	94,2	928,2
1998	56,1	39,0	86,6	126,9	118,8	15,4	28,3	20,2	12,0	107,9	117,1	32,7	761,0
1999	44,3	136,5	115,6	143,1	69,9	17,5	0,2	8,1	-	126,3	52,9	135,2	-
2000	85,7	144,5	142,7	187,7	156,6	74,5	17,5	4,4	53,3	38,9	52,3	57,6	1015,7
2001	62,4	46,8	148,6	29,2	36,6	18,6	11,8	0,0	53,8	42,3	40,5	24,3	514,9
2002	37,5	35,5	123,7	187,9	38,4	24,9	2,5	5,6	33,2	101,8	81,8	123,9	796,7
2003	24,2	77,7	110,2	122,8	53,3	28,8	11,5	0,8	38,2	55,5	-	-	-
2004	31,7	25,5	38,8	115,2	103,6	1,9	1,6	0,0	92,3	59,6	103,7	47,4	621,3
2005	70,6	107,9	83,7	66,8	16,4	50,9	18,9	39,1	43,1	86,1	67,4	88,6	739,5
2006	44,5	114,9	142,6	291,3	56,0	46,4	3,4	2,8	1,5	97,5	233,4	154,3	1188,6
2007	44,7	42,6	108,0	193,3	80,2	19,5	11,6	11,8	6,8	106,5	89,3	28,9	743,2
media	55,5	70,2	112,2	136,8	77,5	32,9	12,3	13,1	37,9	86,1	99,1	76,0	812,6
mínima	10,8	25,5	38,8	29,2	16,4	1,9	0,2	0,0	1,5	38,9	24,6	24,3	
máxima	122,8	144,5	151,8	291,3	156,6	74,5	31,4	44,1	92,3	135,5	233,4	154,3	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: LORETO PEDREGAL

CÓDIGO: M364

PERIODO: 1995 - 2007

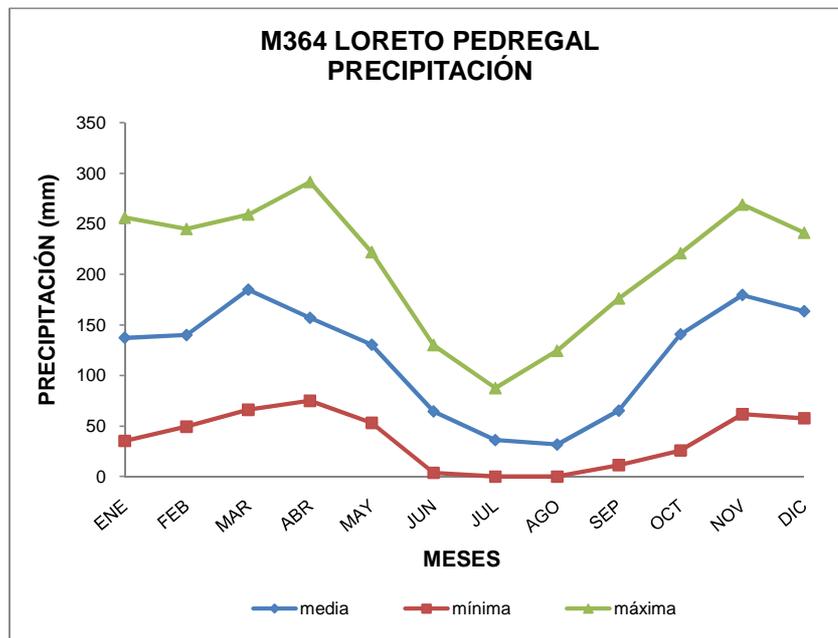
LATITUD: 0° 33' 41" S

LONGITUD: 78° 25' 35" W

ELEVACIÓN: 3620 m s.n.m.

VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	45,0	55,9	77,2	117,0	124,5	41,0	87,5	124,5	56,0	100,4	173,6	99,2	1101,8
1996	111,8	183,1	208,9	197,0	192,2	95,8	56,5	21,5	56,4	214,6	90,0	207,2	1635,0
1997	239,8	111,4	259,1	135,9	87,6	71,9	10,4	0,0	105,6	104,5	268,9	143,4	1538,5
1998	103,5	172,0	177,5	241,9	194,2	26,3	34,2	60,9	56,7	220,8	163,2	57,6	1508,8
1999	193,4	241,2	238,4	86,7	143,4	130,1	9,0	62,5	176,2	169,0	-	241,1	-
2000	256,1	244,8	249,5	206,7	222,0	95,4	44,2	16,9	84,9	-	61,6	145,2	-
2001	175,1	93,3	187,0	75,0	107,9	42,4	0,0	0,0	38,7	25,8	168,5	177,1	1090,8
2002	187,1	101,6	216,3	195,9	132,4	63,0	16,6	20,1	30,8	176,1	187,1	201,2	1528,2
2003	87,1	95,5	141,3	90,1	74,3	94,9	11,2	12,0	95,4	115,3	256,4	89,9	1163,4
2004	35,2	89,1	66,1	126,8	101,5	3,7	59,0	30,3	80,4	160,8	162,4	130,0	1045,3
2005	132,3	160,6	182,2	126,9	53,0	36,4	80,4	8,9	31,1	107,4	142,5	212,2	1273,9
2006	130,0	221,3	185,4	149,0	98,5	104,7	3,5	9,7	24,3	98,5	262,4	202,4	1489,7
2007	87,0	49,4	213,2	291,3	161,7	33,2	56,5	44,3	11,3	194,5	216,9	217,5	1576,8
media	137,2	139,9	184,8	156,9	130,2	64,5	36,1	31,7	65,2	140,6	179,5	163,4	1359,3
mínima	35,2	49,4	66,1	75,0	53,0	3,7	0,0	0,0	11,3	25,8	61,6	57,6	
máxima	256,1	244,8	259,1	291,3	222,0	130,1	87,5	124,5	176,2	220,8	268,9	241,1	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

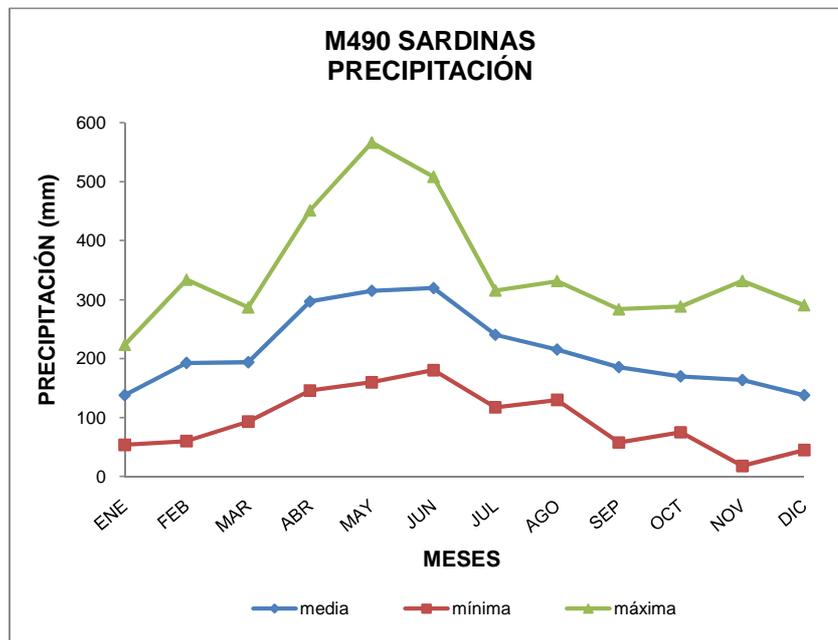
NOMBRE: SARDINAS

CÓDIGO: M490

PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 22' 16" S LONGITUD: 77° 48' 6" W ELEVACIÓN: 1615 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	116,0	60,2	93,1	146,1	-	341,3	292,9	176,1	236,0	193,7	155,0	122,9	-
1996	152,4	-	117,7	279,4	-	269,7	305,4	190,6	249,5	128,7	170,9	102,8	-
1997	136,2	333,7	274,4	270,6	463,4	306,6	204,9	210,1	156,6	-	-	-	-
1998	136,2	186,8	147,3	-	334,9	387,5	-	220,0	160,1	196,0	132,8	87,4	-
1999	223,2	190,1	211,1	409,6	159,9	329,3	117,4	180,9	215,7	120,5	171,1	169,5	2498,3
2000	180,9	152,5	120,4	265,3	387,0	332,8	214,6	331,4	-	178,4	141,1	92,4	-
2001	-	164,0	153,5	233,2	224,3	341,1	315,6	229,9	57,7	115,1	18,0	230,6	-
2002	206,2	217,0	181,4	264,3	566,2	180,5	312,3	222,2	124,3	288,3	331,6	68,2	2962,5
2003	90,0	243,6	187,0	-	162,8	196,8	195,3	178,9	170,2	172,9	197,8	130,2	-
2004	53,9	133,2	239,2	-	484,4	211,3	285,6	130,0	176,5	75,1	75,2	44,9	-
2005	113,4	245,0	269,7	397,1	276,7	508,3	-	203,0	150,9	145,4	80,8	202,5	-
2006	-	-	239,7	250,2	171,0	295,9	186,0	238,6	283,7	274,7	281,4	113,9	-
2007	110,2	192,3	286,8	451,1	232,3	452,3	216,0	287,6	245,6	150,4	209,7	290,7	3125,0
media	138,1	192,6	193,9	296,7	314,8	319,5	240,5	215,3	185,6	169,9	163,8	138,0	2861,9
mínima	53,9	60,2	93,1	146,1	159,9	180,5	117,4	130,0	57,7	75,1	18,0	44,9	-
máxima	223,2	333,7	286,8	451,1	566,2	508,3	315,6	331,4	283,7	288,3	331,6	290,7	-

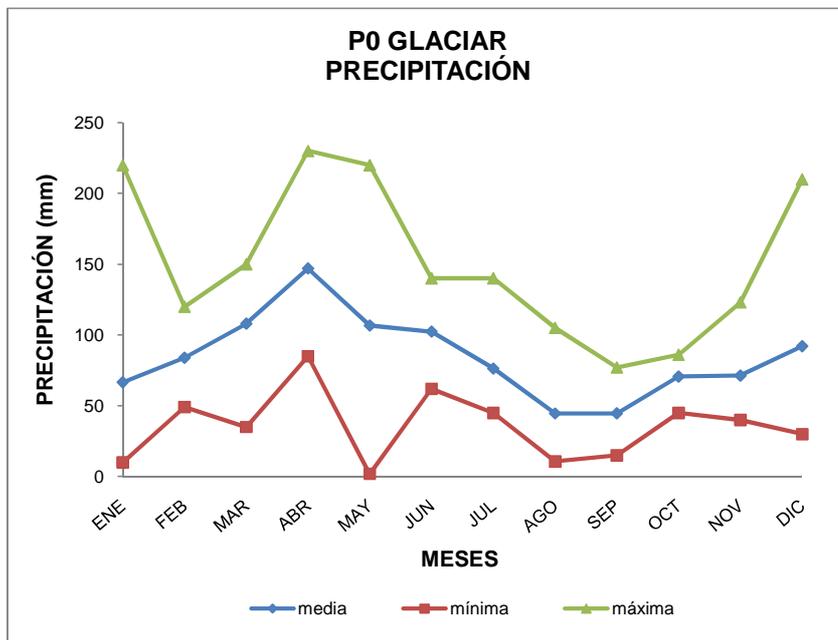


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: GLACIAR CÓDIGO: P0  
PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 28' 1" S LONGITUD: 78° 8' 57" W ELEVACIÓN: 4850 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	213,0	60,0	105,0	140,0	50,0	70,0	70,0	40,0	70,0	-
2002	70,0	120,0	80,0	150,0	220,0	62,0	53,0	105,0	34,0	68,0	123,0	70,0	1155,0
2003	35,0	65,0	150,0	85,0	130,0	90,0	75,0	14,0	32,0	86,0	40,0	113,0	915,0
2004	35,0	84,0	130,0	131,0	150,0	75,0	110,0	40,0	40,0	80,0	70,0	60,0	1005,0
2005	30,0	102,0	108,0	230,0	115,0	135,0	61,8	10,7	15,0	45,0	90,4	210,0	1153,0
2006	220,0	49,0	145,0	120,0	70,0	110,0	45,0	48,0	77,0	75,0	65,0	30,0	1054,0
2007	10,0	-	35,0	100,0	2,0	140,0	50,0	-	-	-	-	-	-
media	66,7	84,0	108,0	147,0	106,7	102,4	76,4	44,6	44,7	70,7	71,4	92,2	1056,4
mínima	10,0	49,0	35,0	85,0	2,0	62,0	45,0	10,7	15,0	45,0	40,0	30,0	
máxima	220,0	120,0	150,0	230,0	220,0	140,0	140,0	105,0	77,0	86,0	123,0	210,0	

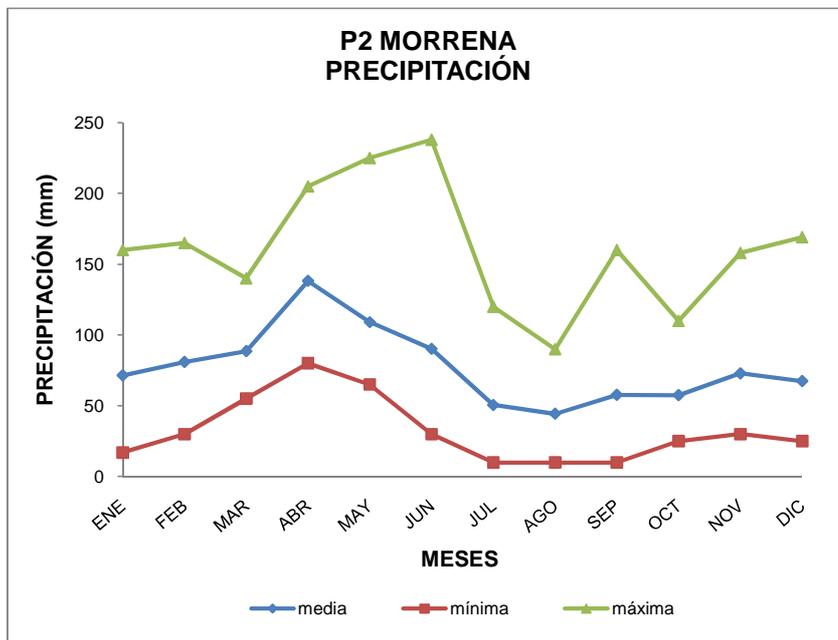


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: MORRENA CÓDIGO: P2  
PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 27' 53" S LONGITUD: 78° 9' 7" W ELEVACIÓN: 4785 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	30.0	40.0	55.0	87.0	78.0	80.0	92.0	58.0	20.0	70.0	85.0	55.0	750.0
1996	50.0	60.0	92.0	205.0	130.0	60.0	60.0	45.0	90.0	35.0	30.0	25.0	882.0
1997	140.0	140.0	105.0	80.0	90.0	90.0	25.0	10.0	110.0	110.0	30.0	55.0	985.0
1998	70.0	80.0	90.0	185.0	100.0	130.0	120.0	75.0	40.0	45.0	158.0	47.0	1140.0
1999	120.0	145.0	85.0	205.0	105.0	117.0	28.0	50.0	160.0	55.0	30.0	115.0	1215.0
2000	90.0	100.0	75.0	110.0	225.0	95.0	25.0	80.0	100.0	25.0	70.0	30.0	1025.0
2001	80.0	30.0	70.0	115.0	65.0	70.0	100.0	40.0	40.0	25.0	65.0	50.0	750.0
2002	35.0	165.0	60.0	152.0	168.0	35.0	30.0	55.0	36.0	62.0	107.4	55.0	960.4
2003	30.0	30.0	140.0	94.0	76.0	80.0	45.0	15.0	30.0	85.0	41.0	89.0	755.0
2004	17.0	46.4	92.0	126.0	125.0	30.0	70.0	25.0	40.0	65.0	75.0	55.0	766.4
2005	35.0	85.0	90.0	190.0	102.1	45.0	41.5	15.0	35.0	45.0	96.2	169.2	949.0
2006	160.0	50.0	130.0	110.0	76.6	103.3	10.0	18.0	39.0	68.0	87.1	63.7	915.7
2007	-	-	67.0	138.0	77.0	238.0	10.0	90.0	10.0	-	-	-	-
media	71.4	80.9	88.5	138.2	109.1	90.3	50.5	44.3	57.7	57.5	72.9	67.4	924.5
mínima	17.0	30.0	55.0	80.0	65.0	30.0	10.0	10.0	10.0	25.0	30.0	25.0	
máxima	160.0	165.0	140.0	205.0	225.0	238.0	120.0	90.0	160.0	110.0	158.0	169.2	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: TOTALIZADOR

CÓDIGO: P3

PERIODO: 1995 - 2007

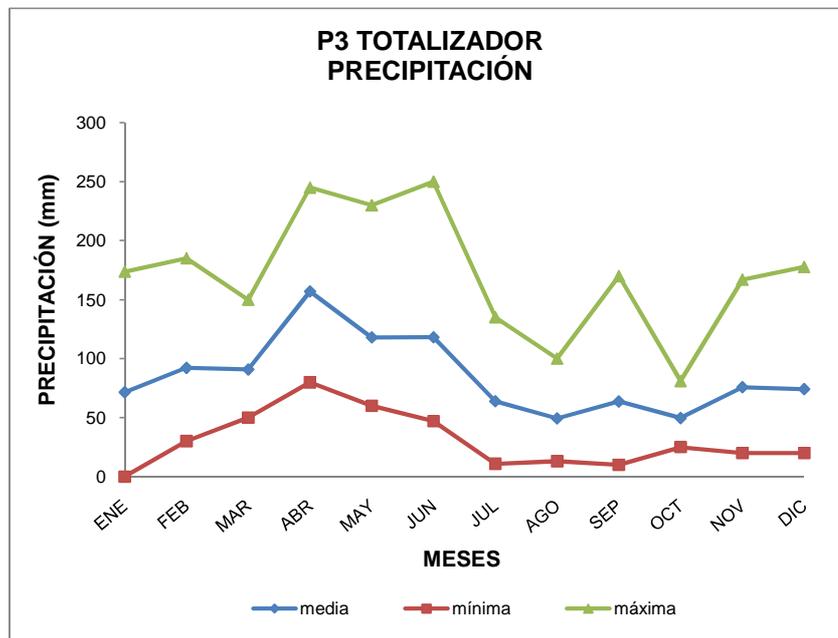
LATITUD: 0° 27' 44" S

LONGITUD: 78° 9' 24" W

ELEVACIÓN: 4555 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	0.0	90.0	55.0	95.0	75.0	85.0	110.0	40.0	30.0	40.0	85.0	20.0	725.0
1996	40.0	115.0	75.0	245.0	123.0	72.0	65.0	45.0	90.0	25.0	30.0	40.0	965.0
1997	140.0	140.0	105.0	80.0	105.0	105.0	35.0	15.0	57.5	57.5	20.0	70.0	930.0
1998	110.0	80.0	75.0	200.0	95.0	175.0	135.0	85.0	45.0	51.0	167.0	47.0	1265.0
1999	155.0	135.0	90.0	245.0	115.0	136.0	44.0	60.0	160.0	40.0	30.0	125.0	1335.0
2000	95.0	117.0	68.0	155.0	220.0	150.0	50.0	100.0	90.0	30.0	85.0	55.0	1215.0
2001	70.0	50.0	70.0	190.0	60.0	90.0	120.0	40.0	60.0	30.0	70.0	60.0	910.0
2002	25.0	185.0	50.0	110.0	230.0	47.0	40.0	83.0	21.0	62.0	127.0	60.0	1040.0
2003	30.0	50.0	150.0	90.0	115.0	95.0	50.0	13.0	26.0	81.0	40.0	110.0	850.0
2004	15.7	41.0	138.0	134.0	155.0	50.0	90.0	30.0	37.0	58.0	70.0	60.0	878.7
2005	25.0	115.0	100.0	240.0	90.0	160.0	40.0	20.0	32.0	48.0	104.9	177.7	1152.6
2006	173.8	50.0	130.0	120.0	60.0	120.0	10.9	30.0	170.0	73.8	80.0	65.0	1083.5
2007	50.0	30.0	75.0	135.0	90.0	250.0	40.0	80.0	10.0	-	-	-	-
media	71.5	92.2	90.8	156.8	117.9	118.1	63.8	49.3	63.7	49.7	75.7	74.1	1029.2
mínima	0.0	30.0	50.0	80.0	60.0	47.0	10.9	13.0	10.0	25.0	20.0	20.0	
máxima	173.8	185.0	150.0	245.0	230.0	250.0	135.0	100.0	170.0	81.0	167.0	177.7	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

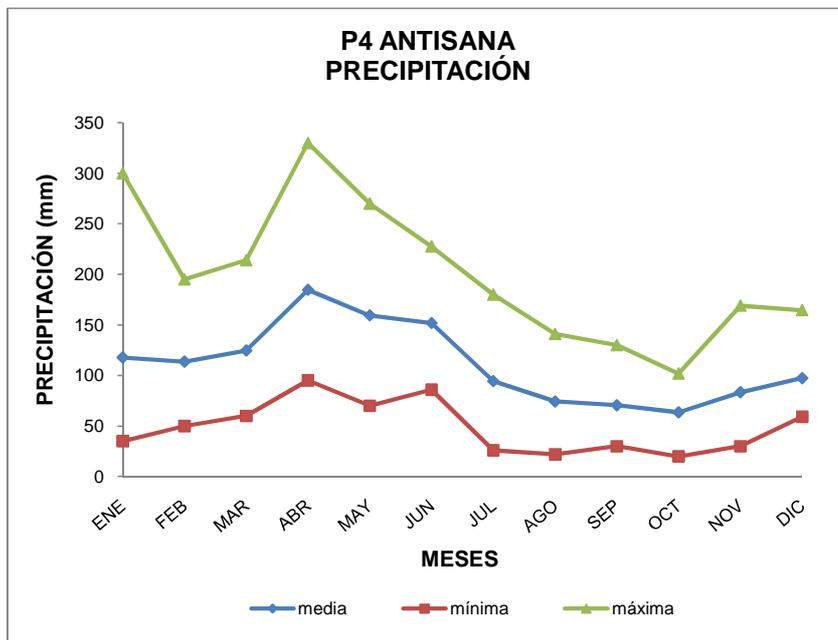
NOMBRE: ANTISANA

CÓDIGO: P4

PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 27' 32" S LONGITUD: 78° 9' 37" W ELEVACIÓN: 4455 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	187.0	187.0	186.0	95.0	142.0	142.0	141.0	40.0	102.0	102.0	101.0	110.0	1535.0
1998	122.2	95.6	117.0	227.7	115.0	227.7	116.0	117.0	70.9	73.0	73.0	80.0	1435.1
1999	201.0	145.0	60.0	330.0	241.0	123.0	26.0	60.0	90.0	50.0	30.0	124.0	1480.0
2000	100.0	114.0	91.0	185.0	270.0	160.0	69.0	126.0	130.0	43.0	89.0	85.0	1462.0
2001	90.0	100.0	70.0	232.0	91.0	121.0	180.0	50.0	80.0	20.0	70.0	60.0	1164.0
2002	55.0	195.0	70.0	165.0	225.0	86.0	73.0	141.0	45.0	76.0	169.0	60.0	1360.0
2003	40.0	80.0	180.0	100.0	160.0	140.0	100.0	22.0	34.0	81.0	48.0	150.0	1135.0
2004	35.0	105.0	214.0	160.0	180.0	120.0	148.0	52.0	40.0	80.0	50.0	82.0	1266.0
2005	48.0	120.0	130.0	274.1	144.2	215.0	75.0	50.0	50.0	40.0	123.0	164.6	1434.0
2006	300.0	59.3	140.0	120.0	70.0	135.0	60.0	60.0	105.0	70.0	81.0	59.0	1259.3
2007	-	50.0	113.0	142.0	115.0	200.0	50.0	100.0	30.0	-	-	-	-
media	117.8	113.7	124.6	184.6	159.4	151.8	94.4	74.4	70.6	63.5	83.4	97.5	1353.0
mínima	35.0	50.0	60.0	95.0	70.0	86.0	26.0	22.0	30.0	20.0	30.0	59.0	
máxima	300.0	195.0	214.0	330.0	270.0	227.7	180.0	141.0	130.0	102.0	169.0	164.6	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: MICA

CÓDIGO: P5

PERIODO: 1995 - 2007

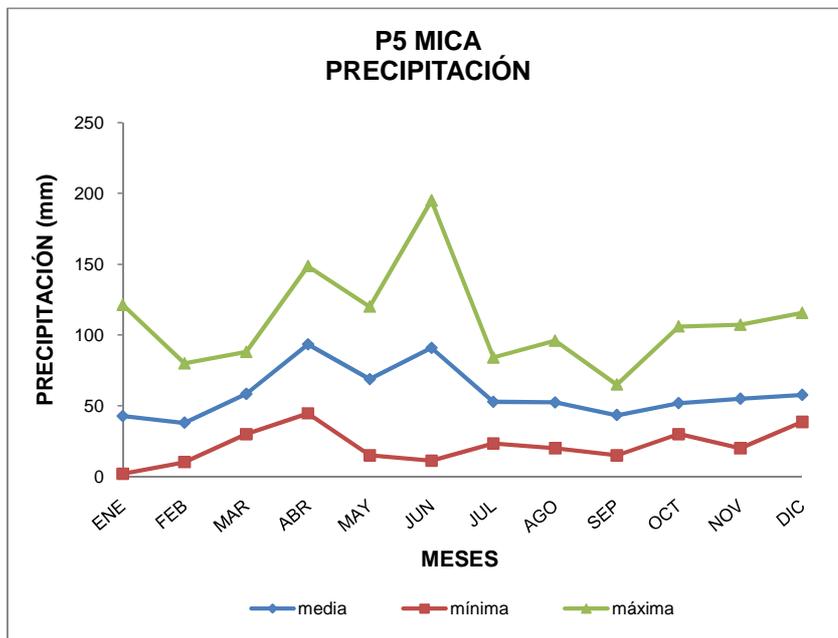
LATITUD: 0° 31' 2" S

LONGITUD: 78° 13' 17" W

ELEVACIÓN: 3930 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	11.0	45.6	48.0	44.7	89.0	66.2	64.3	63.2	46.4	34.5	96.3	41.8	651.0
1996	61.1	61.1	77.1	107.8	85.5	67.2	33.4	52.6	61.1	38.7	32.4	47.7	725.7
1997	121.3	18.0	69.5	83.4	103.1	11.2	48.7	29.7	54.4	39.3	107.2	38.6	724.4
1998	83.6	10.2	45.2	71.2	76.5	163.8	84.1	53.5	27.5	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	40.0	50.0	50.0	85.0	15.0	120.0	80.0	55.0	55.0	30.0	20.0	50.0	650.0
2002	25.0	25.0	30.0	120.0	110.0	70.0	59.0	71.0	15.0	99.0	36.0	42.0	702.0
2003	20.0	25.0	60.0	70.0	38.0	62.0	60.0	20.0	24.0	106.0	45.0	63.0	593.0
2004	2.0	41.0	65.0	84.0	120.0	42.0	63.0	96.0	49.0	45.0	25.0	40.0	672.0
2005	10.0	80.0	65.0	148.7	59.9	101.4	30.4	20.0	20.0	30.0	32.4	115.7	713.4
2006	60.8	17.0	88.0	98.0	20.2	101.4	23.3	40.0	60.0	45.0	100.0	80.0	733.7
2007	35.0	45.0	45.0	115.0	40.0	195.0	35.0	75.0	65.0	-	-	-	-
media	42.7	38.0	58.4	93.4	68.8	90.9	52.8	52.4	43.4	51.9	54.9	57.6	685.0
mínima	2.0	10.2	30.0	44.7	15.0	11.2	23.3	20.0	15.0	30.0	20.0	38.6	
máxima	121.3	80.0	88.0	148.7	120.0	195.0	84.1	96.0	65.0	106.0	107.2	115.7	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: HUMBOLDT

CÓDIGO: P6

PERIODO: 1995 - 2007

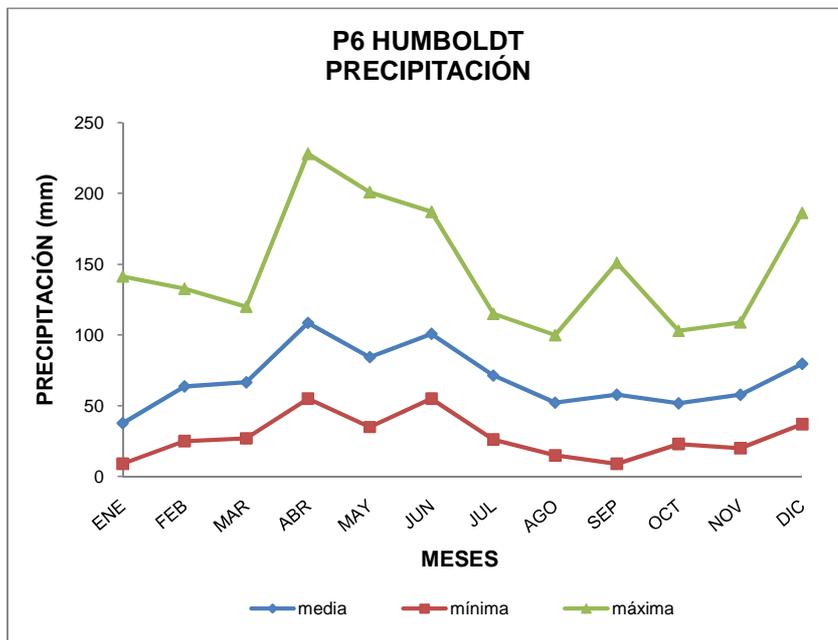
LATITUD: 0° 30' 21" S

LONGITUD: 78° 12' 33" W

ELEVACIÓN: 4059 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	10,0	40,0	45,0	55,0	60,0	70,0	60,0	60,0	30,0	30,0	108,0	37,0	605,0
1996	40,0	119,0	120,0	121,0	90,0	55,0	115,0	15,0	135,0	40,0	25,0	55,0	930,0
1997	57,0	93,0	73,0	72,0	78,0	77,0	50,0	20,0	43,0	42,0	67,0	68,0	740,0
1998	25,0	25,0	95,0	95,0	110,0	155,0	88,0	87,0	42,0	43,0	109,0	109,0	983,0
1999	<b>141,4</b>	<b>132,7</b>	<b>95,3</b>	<b>228,0</b>	<b>102,3</b>	<b>124,8</b>	<b>39,0</b>	<b>53,8</b>	<b>151,0</b>	<b>48,3</b>	<b>34,8</b>	<b>128,7</b>	1280,2
2000	50,0	93,0	27,0	110,0	<b>200,8</b>	<b>134,7</b>	<b>46,7</b>	100,0	95,0	50,0	20,0	<b>56,3</b>	983,6
2001	35,0	55,0	43,0	127,0	35,0	122,0	100,0	71,0	56,0	23,0	52,0	50,0	769,0
2002	30,0	50,0	30,0	120,0	110,0	90,0	80,0	47,0	9,0	56,0	80,0	48,0	750,0
2003	28,0	30,0	75,0	55,0	45,0	55,0	70,0	15,0	22,0	103,0	39,0	67,0	604,0
2004	9,0	40,0	61,0	104,0	90,0	60,0	110,0	60,0	20,0	50,0	20,0	50,0	674,0
2005	15,0	85,3	70,6	152,5	65,6	60,0	100,0	25,0	26,5	90,0	38,7	186,3	915,6
2006	30,0	30,0	85,0	81,0	54,0	120,0	26,2	30,0	69,0	46,0	100,0	100,0	771,2
2007	20,0	35,0	45,0	90,0	55,0	187,0	43,0	95,0	54,0	-	-	-	-
media	37,7	63,7	66,5	108,5	84,3	100,8	71,4	52,2	57,9	51,8	57,8	79,6	833,8
mínima	9,0	25,0	27,0	55,0	35,0	55,0	26,2	15,0	9,0	23,0	20,0	37,0	
máxima	141,4	132,7	120,0	228,0	200,8	187,0	115,0	100,0	151,0	103,0	109,0	186,3	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

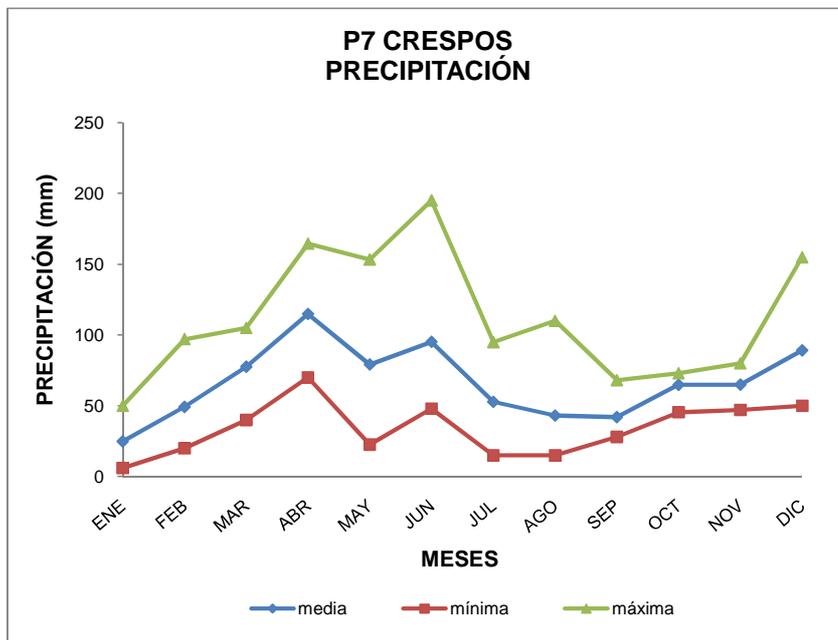
NOMBRE: CRESPOS

CÓDIGO: P7

PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 29' 14" S LONGITUD: 78° 10' 3" W ELEVACIÓN: 4450 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	50,0	-
2003	15,0	40,0	85,0	70,0	60,0	75,0	59,0	15,0	28,0	73,0	47,0	67,0	634,0
2004	6,0	39,0	76,0	117,0	105,0	48,0	75,0	21,0	44,0	70,0	65,0	-	-
2005	28,4	97,1	82,4	164,4	153,3	70,0	95,0	15,0	30,0	71,0	67,8	154,9	1029,3
2006	50,0	50,0	105,0	88,0	22,6	88,0	20,0	55,0	68,2	45,4	80,0	85,0	757,3
2007	25,0	20,0	40,0	135,0	55,0	195,0	15,0	110,0	40,0	-	-	-	-
media	24,9	49,2	77,7	114,9	79,2	95,2	52,8	43,2	42,0	64,9	65,0	89,2	806,9
mínima	6,0	20,0	40,0	70,0	22,6	48,0	15,0	15,0	28,0	45,4	47,0	50,0	-
máxima	50,0	97,1	105,0	164,4	153,3	195,0	95,0	110,0	68,2	73,0	80,0	154,9	-



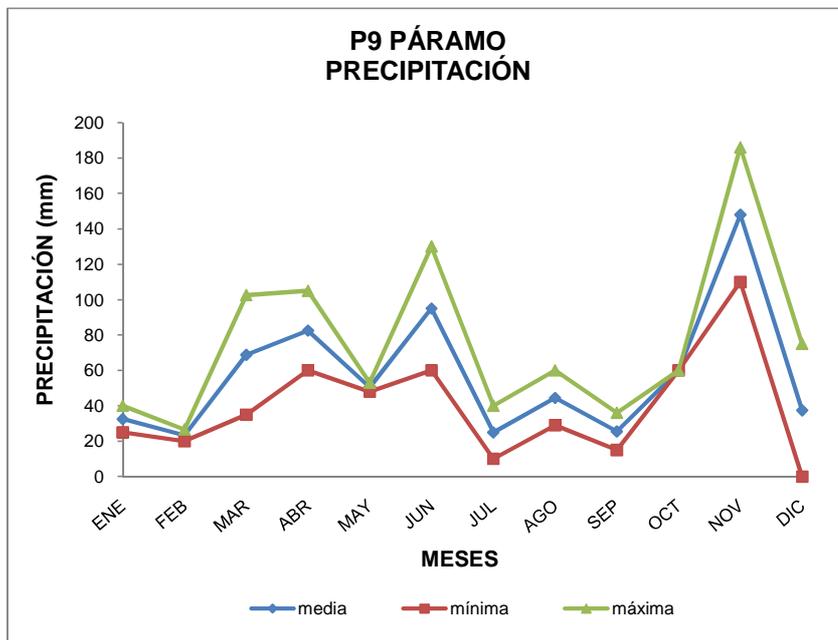


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: PÁRAMO CÓDIGO: P9  
PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 28' 54" S LONGITUD: 78° 11' 31" W ELEVACIÓN: 4269 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	186,0	0,0	186,0
2006	40,0	26,7	102,6	60,0	48,0	130,0	10,0	29,0	36,0	60,0	110,0	75,0	727,2
2007	25,0	20,0	35,0	105,0	53,0	60,0	40,0	60,0	15,0	-	-	-	-
media	32,5	23,3	68,8	82,5	50,5	95,0	25,0	44,5	25,5	60,0	148,0	37,5	456,6
mínima	25,0	20,0	35,0	60,0	48,0	60,0	10,0	29,0	15,0	60,0	110,0	0,0	-
máxima	40,0	26,7	102,6	105,0	53,0	130,0	40,0	60,0	36,0	60,0	186,0	75,0	-



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: CAMINO CRESPOS

CÓDIGO: P10

PERIODO: 1995 - 2007

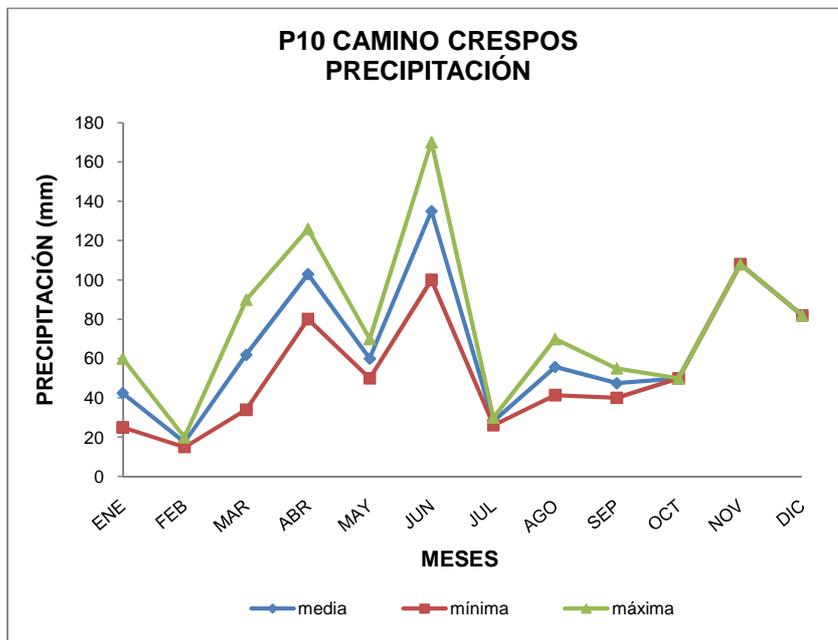
LATITUD: 0° 29' 31" S

LONGITUD: 78° 11' 4" W

ELEVACIÓN: 4264 m s.n.m.

VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	60,0	20,0	90,0	80,0	70,0	100,0	26,1	41,4	55,0	50,0	108,0	82,0	782,6
2007	25,0	15,0	34,0	126,0	50,0	170,0	30,0	70,0	40,0	-	-	-	-
media	42,5	17,5	62,0	103,0	60,0	135,0	28,1	55,7	47,5	50,0	108,0	82,0	782,6
mínima	25,0	15,0	34,0	80,0	50,0	100,0	26,1	41,4	40,0	50,0	108,0	82,0	-
máxima	60,0	20,0	90,0	126,0	70,0	170,0	30,0	70,0	55,0	50,0	108,0	82,0	-



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

NOMBRE: DESAGUADERO

CÓDIGO: P11

PERIODO: 1995 - 2007

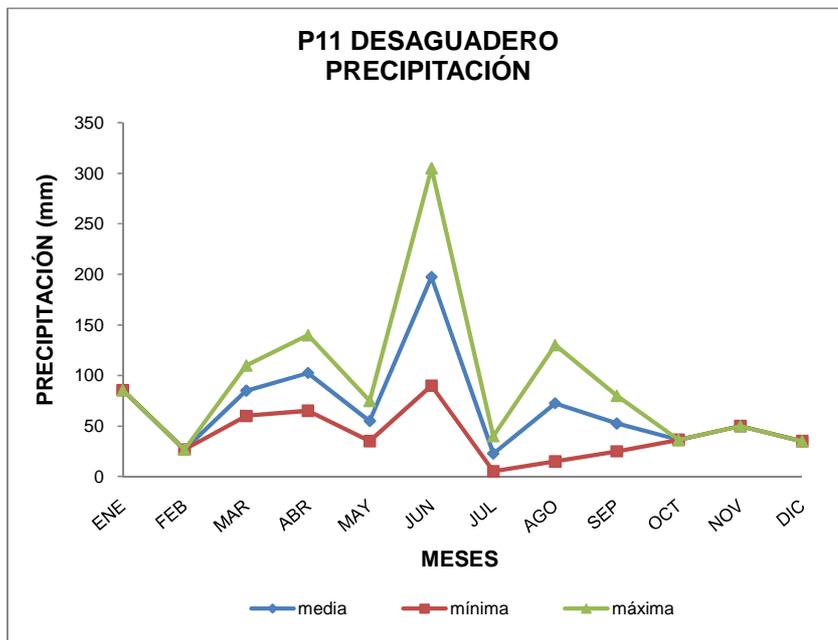
LATITUD: 0° 30' 12" S

LONGITUD: 78° 10' 38" W

ELEVACIÓN: 4264 m s.n.m.

VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1996	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1997	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1998	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
1999	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2002	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2003	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2004	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2005	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2006	85,6	26,7	60,0	65,0	35,0	90,0	5,3	15,0	25,0	36,4	50,0	35,0	529,0
2007	-	-	110,0	140,0	75,0	305,0	40,0	130,0	80,0	-	-	-	-
media	85,6	26,7	85,0	102,5	55,0	197,5	22,7	72,5	52,5	36,4	50,0	35,0	529,0
mínima	85,6	26,7	60,0	65,0	35,0	90,0	5,3	15,0	25,0	36,4	50,0	35,0	
máxima	85,6	26,7	110,0	140,0	75,0	305,0	40,0	130,0	80,0	36,4	50,0	35,0	



ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

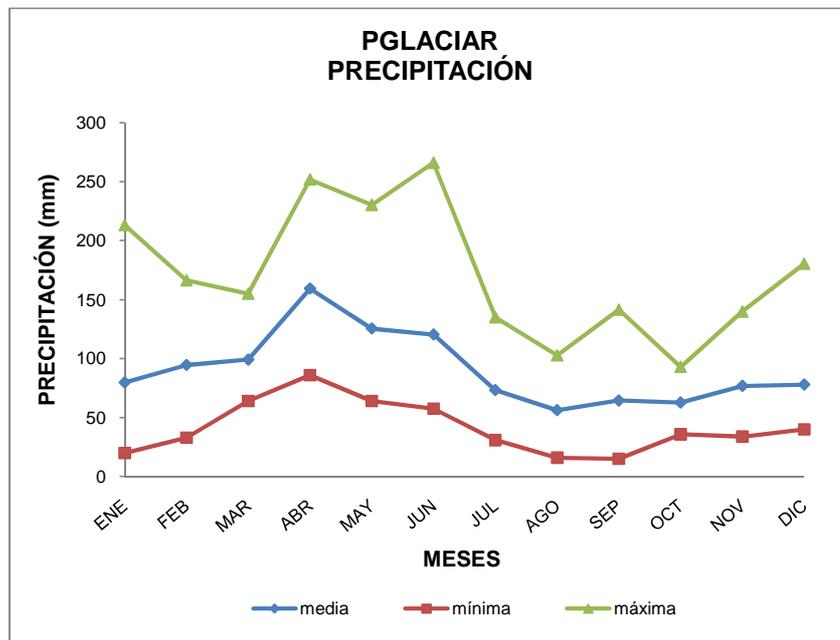
NOMBRE: PGLACIAR

CÓDIGO: PG

PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 27' 44" S LONGITUD: 78° 9' 24" W ELEVACIÓN: 4555 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	23,0	84,0	64,0	101,0	85,0	93,0	113,0	56,0	37,0	57,0	98,0	40,0	851,0
1996	52,0	113,0	94,0	239,0	134,0	78,0	79,0	52,0	105,0	38,0	39,0	48,0	1071,0
1997	151,0	151,0	126,0	86,0	112,0	112,0	63,0	25,0	85,0	85,0	47,1	78,6	1121,7
1998	103,9	85,9	91,4	200,5	102,6	175,2	126,3	92,3	53,6	81,1	139,8	58,5	1311,2
1999	156,8	139,8	82,8	251,8	144,6	127,8	38,9	60,3	141,4	49,8	33,9	122,5	1350,4
2000	96,4	112,5	77,9	150,3	230,3	138,0	51,6	102,7	104,1	35,9	84,0	59,2	1243,1
2001	79,9	60,6	72,4	187,5	69,0	96,5	135,0	45,0	62,5	36,3	61,3	60,0	965,9
2002	46,3	166,3	65,0	144,3	210,8	57,5	49,0	96,0	34,0	67,0	131,6	61,3	1128,8
2003	33,8	56,3	155,0	92,3	120,3	101,3	67,5	16,0	30,5	83,3	42,3	115,5	913,8
2004	25,7	69,1	143,5	137,8	152,5	68,8	104,5	36,8	39,3	70,8	66,3	64,0	978,8
2005	34,5	105,5	107,0	233,5	112,8	138,8	54,6	23,9	33,0	44,5	103,6	180,4	1172,2
2006	213,0	52,0	136,0	118,0	64,0	113,0	31,0	39,0	98,0	73,0	78,0	44,0	1059,0
2007	20,0	33,0	73,0	129,0	93,0	266,0	38,0	87,0	15,0	93,0	74,0	82,0	1003,0
media	79,7	94,5	99,1	159,3	125,5	120,4	73,2	56,3	64,5	62,7	76,8	78,0	1090,0
mínima	20,0	33,0	64,0	86,0	64,0	57,5	31,0	16,0	15,0	35,9	33,9	40,0	
máxima	213,0	166,3	155,0	251,8	230,3	266,0	135,0	102,7	141,4	93,0	139,8	180,4	

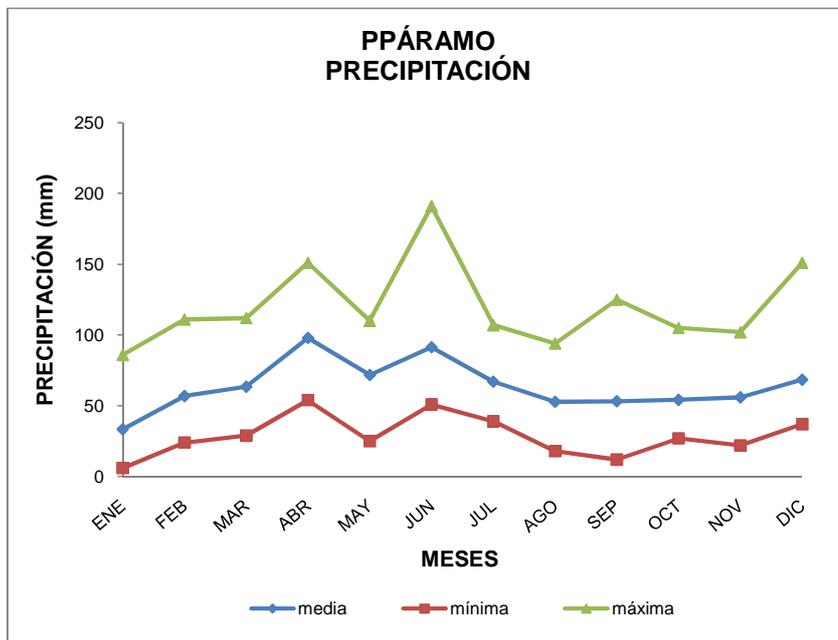


ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)

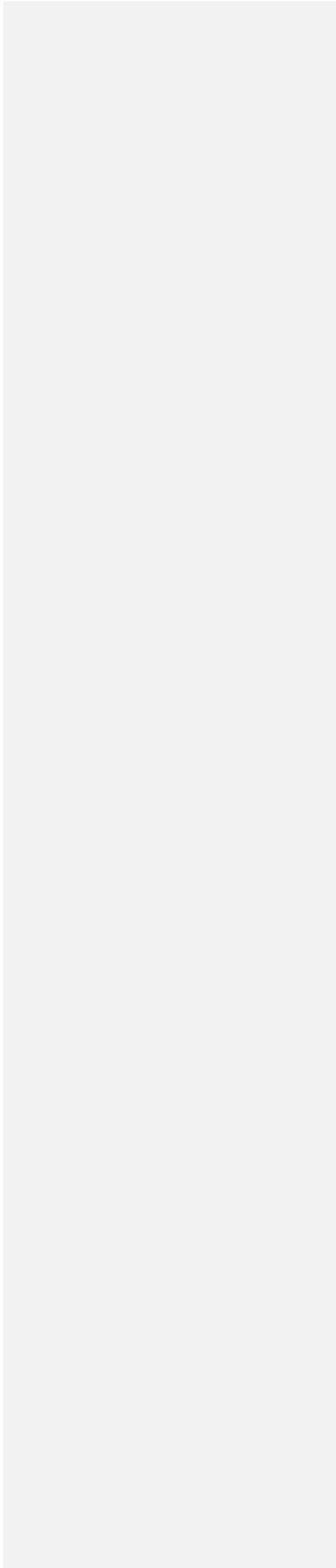
NOMBRE: PPÁRAMO CÓDIGO: PP  
PERIODO: 1995 - 2007 LATITUD: 0° 30' 21" S LONGITUD: 78° 12' 33" W ELEVACIÓN: 4059 m s.n.m.

## VALORES MENSUALES

AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA
1995	13,0	40,0	45,0	54,0	58,0	67,0	58,0	58,0	31,0	31,0	101,0	37,0	593,0
1996	40,0	111,0	112,0	113,0	85,0	54,0	107,0	18,0	125,0	40,0	27,0	54,0	886,0
1997	55,0	88,0	70,0	69,0	74,0	73,0	49,0	22,0	43,0	42,0	64,0	65,0	714,0
1998	27,0	27,0	89,0	89,0	103,0	143,0	83,0	82,0	42,0	43,0	102,0	102,0	932,0
1999	86,0	79,0	63,0	118,0	72,0	79,0	47,0	52,0	88,0	45,0	42,0	75,0	846,0
2000	49,0	88,0	29,0	103,0	109,0	84,0	49,0	94,0	89,0	49,0	22,0	51,0	816,0
2001	38,0	53,0	57,0	106,0	25,0	121,0	90,0	63,0	56,0	27,0	36,0	50,0	722,0
2002	28,0	38,0	30,0	120,0	110,0	80,0	70,0	59,0	12,0	78,0	58,0	45,0	728,0
2003	24,0	28,0	68,0	63,0	42,0	58,0	65,0	18,0	23,0	105,0	42,0	65,0	601,0
2004	6,0	41,0	63,0	94,0	105,0	51,0	87,0	78,0	35,0	48,0	23,0	45,0	676,0
2005	13,0	83,0	68,0	151,0	63,0	81,0	65,0	23,0	23,0	60,0	36,0	151,0	817,0
2006	28,0	24,0	87,0	90,0	39,0	106,0	63,0	35,0	65,0	46,0	100,0	90,0	773,0
2007	28,0	40,0	45,0	103,0	48,0	191,0	39,0	85,0	60,0	91,0	75,0	60,0	865,0
media	33,5	56,9	63,5	97,9	71,8	91,4	67,1	52,8	53,2	54,2	56,0	68,5	766,8
mínima	6,0	24,0	29,0	54,0	25,0	51,0	39,0	18,0	12,0	27,0	22,0	37,0	
máxima	86,0	111,0	112,0	151,0	110,0	191,0	107,0	94,0	125,0	105,0	102,0	151,0	



**ANEXO No2**  
**DATOS DE ÍNDICES CLIMÁTICOS**



## VIENTO

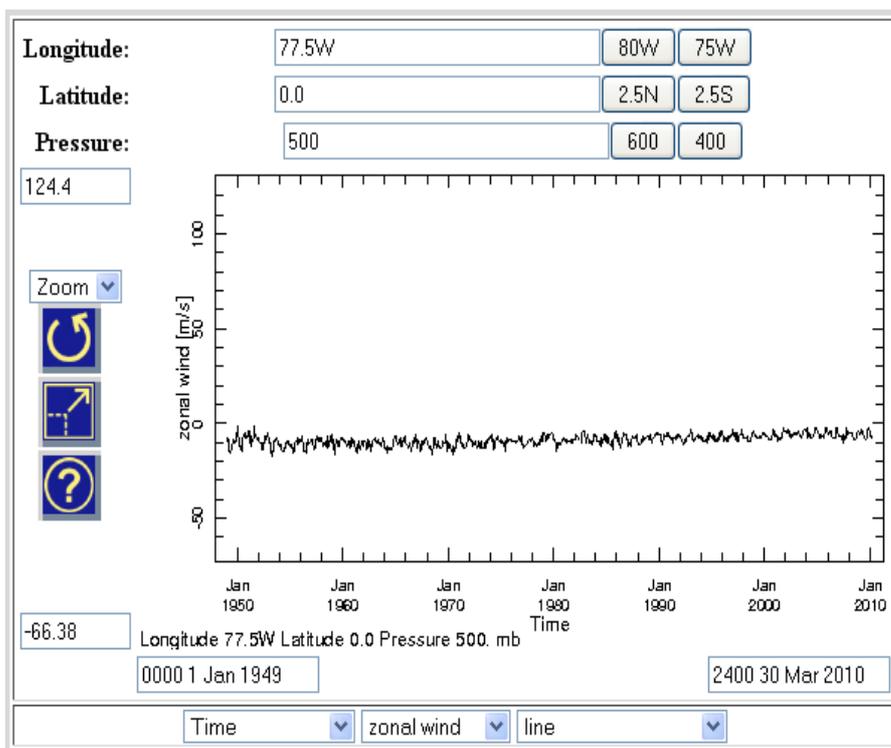
Los datos de viento obtenidos (meridional y zonal) son de Reanálisis (NCEP-NCAR), por este motivo, se describe a continuación el procedimiento seguido para obtener estos datos.

1. Ingresar al sitio Web del IRI: <http://iri.columbia.edu/> o <http://portal.iri.columbia.edu/portal/server.pt>
2. En la parte derecha de la pantalla, se encuentra la opción “Quick Links”, escoger la sub-categoría “Data Library”.
3. En la parte inferior de la siguiente pantalla, se encuentra la opción “Finding Data”, escoger la sub-categoría “Datasets by Category”.
4. Los datos de reanálisis de interés para el presente proyecto de investigación se encuentran en la categoría “Historical Model Simulations”.
5. Esta base de datos contiene una gran variedad de datos utilizados en ciencias de la Tierra, en la cual se debe escoger la opción “NOAA NCEP-NCAR CDAS-1”, ubicada en la parte baja de la página.
6. Algunos datos constan desde Enero de 1949, y están calculados a diferente escala de tiempo; en este caso es de interés conocer esos valores a escala de tiempo mensual, por lo cual se escoge la opción “MONTHLY”.
7. En la pantalla siguiente se escoge “Intrinsic”, que permite acceder a los datos en función del nivel de presión, por lo cual, en la pantalla siguiente se debe escoger “Pressure Level”.
8. En esta pantalla se pueden escoger diferentes variables utilizadas por los meteorólogos, debido a que en este caso las variables de interés son las componentes zonal y meridional del viento, se escoge la variable de interés, ya sea “zonal wind” o “meridional wind”.
9. Ya en el menú del viento zonal (o meridional, según sea el caso), se presentan diferentes maneras de visualización de los datos, pero a la fecha (20/04/2009) la visualización requerida se encuentra dentro de la ayuda, por

lo tanto presionamos "Help", ubicada en la parte superior de la pantalla.

10. En la nueva pantalla se da clic sobre la figura , para tener acceso a una serie temporal de datos.

11. En el gráfico que se presenta se deben escribir las coordenadas (longitud y latitud) y la presión a la que se requieren los datos, también se puede escoger el periodo de interés; para este caso las coordenadas son 77.5 °W y 0 °N, a una presión de 500 mb.



12. Después de ubicar las especificaciones anteriores, es necesario dar clic sobre  para refrescar la pantalla y dibujar el nuevo gráfico.

13. Una excelente ayuda para saber si las coordenadas ingresadas son las correctas es el mapa que se presenta en la parte superior izquierda de la pantalla, el mismo que resalta la nueva ubicación, según las coordenadas ingresadas, para el caso actual este gráfico corresponde al siguiente:



14. Para acceder a los datos visualizados, se debe escoger la opción “data in view” ubicada bajo el gráfico.
15. En la pantalla que se abre, escoger “Tables”, ubicada en la parte superior derecha.
16. Luego, escoger “columnar table” para visualizar la tabla de datos.
17. Si se desea se pueden guardar los datos, basta con seleccionar la opción “guardar como”, ya sea en formato “htm” o “html”; luego se los puede abrir desde una hoja de cálculo (Excel).

Para una descripción más detallada de la manera de obtener datos de Reanálisis (NCEP-NCAR) sírvase revisar Fernández (2010).

En el presente trabajo de investigación se trabajó con los datos de viento zonal y meridional de 500 y 600 mb cada uno, para el período 1995 – 2007.

El módulo del viento fue calculado mediante la ecuación (Shea y Marshall, 2007):

$$F = \sqrt{u^2 + v^2}$$

Donde:

$\mu$ : velocidad del viento zonal (m/s)

$v$ : velocidad del viento meridional (m/s)

$F$ : flujo total o módulo del viento (m/s)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DATOS DE VIENTO (m/s)												
PERIODO: 1995 - 2007			LATITUD: 0° N			LONGITUD: 77,5° W			PRESIÓN: 500 mb			
VALORES MENSUALES												
VIENTO MERIDIONAL												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	-0.26	-1.10	-0.05	-0.40	-0.79	-0.47	-0.12	0.29	0.52	-0.87	-2.42	-1.26
1996	-1.89	-0.66	-0.77	-0.57	-0.16	-1.37	-0.49	0.44	0.32	0.00	-1.75	-0.76
1997	-1.80	0.26	0.01	-0.66	0.61	0.16	0.11	0.83	0.68	-0.14	-1.70	0.59
1998	1.23	-0.69	-0.35	-0.16	0.49	-0.78	-0.29	0.01	-0.30	-0.49	-2.39	-0.44
1999	-1.66	0.27	-1.22	0.19	0.89	-0.49	-0.76	0.44	-0.58	-1.25	-2.43	-2.61
2000	-2.15	-0.19	-1.11	-0.66	-0.47	-0.75	-0.36	0.27	-0.55	0.18	-1.41	-0.82
2001	-0.54	0.57	-0.22	-0.36	-0.72	-0.10	0.47	-0.63	0.09	-0.45	-1.80	-1.89
2002	-0.72	0.24	-0.30	-0.28	0.40	0.04	-0.69	0.53	0.12	-0.46	-0.51	-0.70
2003	-0.94	-1.08	-0.09	0.60	1.00	0.60	-0.01	0.08	-0.11	-0.22	-0.42	-1.54
2004	-1.21	-0.18	-0.64	-0.64	0.34	-0.21	-0.06	0.13	0.39	-0.55	-0.81	-0.87
2005	-1.52	-1.50	-0.68	-0.32	1.04	0.74	0.54	0.68	0.50	0.28	-1.26	-1.74
2006	-1.27	-1.02	-0.51	-0.25	0.18	0.68	1.28	0.28	0.26	-0.59	-1.19	-0.75
2007	-0.54	-1.17	-0.32	-0.09	-0.10	0.02	0.20	0.35	0.27	-0.45	-1.73	-1.33
VIENTO ZONAL												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	-7.60	-8.54	-5.77	-9.28	-9.71	-8.69	-7.94	-9.22	-7.81	-4.26	-6.75	-5.69
1996	-4.25	-9.77	-7.15	-8.16	-9.19	-7.78	-8.96	-6.84	-7.71	-5.70	-6.90	-5.19
1997	-3.26	-7.48	-4.69	-8.29	-9.58	-5.08	-9.07	-6.30	-4.99	-5.71	-3.48	-7.31
1998	-6.91	-7.20	-7.68	-7.87	-6.75	-9.66	-9.37	-9.56	-9.13	-6.94	-4.60	-4.03
1999	-5.11	-6.61	-6.78	-8.06	-7.68	-7.87	-7.16	-7.50	-6.71	-5.65	-5.24	-5.55
2000	-4.89	-6.76	-7.07	-7.06	-8.27	-7.90	-8.10	-8.29	-6.95	-5.02	-3.42	-5.30
2001	-6.78	-6.16	-6.46	-9.00	-7.67	-8.70	-7.61	-7.22	-6.52	-1.96	-3.65	-4.84
2002	-4.44	-4.89	-5.02	-3.11	-5.90	-7.57	-5.83	-7.07	-5.55	-4.87	-6.12	-4.60
2003	-5.59	-4.62	-3.81	-4.76	-6.86	-7.36	-7.38	-5.29	-4.25	-2.60	-3.80	-4.27
2004	-2.56	-7.28	-7.05	-4.96	-7.15	-7.99	-7.23	-7.05	-5.46	-2.69	-3.08	-2.75
2005	-3.60	-5.22	-6.58	-7.71	-5.66	-7.09	-7.16	-7.22	-5.50	-2.31	-2.67	-3.84
2006	-6.03	-5.69	-3.90	-4.03	-6.43	-7.18	-7.70	-7.60	-7.96	-2.66	-2.71	-4.12
2007	-6.34	-5.69	-7.07	-6.57	-7.29	-10.10	-5.92	-8.76	-7.55	-2.51	-5.60	-4.38
MÓDULO DEL VIENTO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	7.60	8.61	5.77	9.29	9.74	8.70	7.94	9.22	7.83	4.35	7.17	5.83
1996	4.65	9.79	7.19	8.18	9.19	7.90	8.97	6.85	7.72	5.70	7.12	5.25
1997	3.72	7.48	4.69	8.32	9.60	5.08	9.07	6.35	5.04	5.71	3.87	7.33
1998	7.02	7.23	7.69	7.87	6.77	9.69	9.37	9.56	9.13	6.96	5.18	4.05
1999	5.37	6.62	6.89	8.06	7.73	7.89	7.20	7.51	6.74	5.79	5.78	6.13
2000	5.34	6.76	7.16	7.09	8.28	7.94	8.11	8.29	6.97	5.02	3.70	5.36
2001	6.80	6.19	6.46	9.01	7.70	8.70	7.62	7.25	6.52	2.01	4.07	5.20
2002	4.50	4.90	5.03	3.12	5.91	7.57	5.87	7.09	5.55	4.89	6.14	4.65
2003	5.67	4.74	3.81	4.80	6.93	7.38	7.38	5.29	4.25	2.61	3.82	4.54
2004	2.83	7.28	7.08	5.00	7.16	7.99	7.23	7.05	5.47	2.75	3.18	2.88
2005	3.91	5.43	6.62	7.72	5.75	7.13	7.18	7.25	5.52	2.33	2.95	4.22
2006	6.16	5.78	3.93	4.04	6.43	7.21	7.81	7.61	7.96	2.72	2.96	4.19
2007	6.36	5.81	7.08	6.57	7.29	10.10	5.92	8.77	7.55	2.55	5.86	4.58

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DATOS DE VIENTO (m/s)												
PERIODO: 1995 - 2007			LATITUD: 0° N			LONGITUD: 77,5° W			PRESIÓN: 600 mb			
VALORES MENSUALES												
VIENTO MERIDIONAL												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	-0.58	-1.03	-0.66	-0.48	-0.59	-1.09	-0.71	-0.48	0.12	-2.17	-3.64	-1.47
1996	-2.19	-1.00	-0.92	-1.11	-1.16	-1.07	0.00	-0.25	-0.07	-1.48	-2.86	-2.07
1997	-3.08	0.02	0.03	-0.64	0.54	-1.33	0.91	0.70	-0.50	-1.50	-1.06	0.30
1998	0.66	-0.11	-0.40	-0.87	-0.08	-0.36	0.60	-0.66	-1.72	-1.58	-4.38	-1.94
1999	-2.43	-0.35	-0.29	0.09	0.26	-1.33	-0.45	0.03	-2.43	-2.20	-3.51	-3.34
2000	-2.25	-0.05	-0.76	-0.47	-0.37	-1.22	-0.73	-0.48	-2.09	-0.48	-2.56	-0.29
2001	-0.64	0.24	0.03	0.03	-0.31	0.04	0.40	0.19	-1.08	-1.47	-2.35	-2.05
2002	-1.17	-0.18	-0.10	0.16	0.14	0.66	-0.51	0.35	-0.61	-1.02	-0.88	-0.94
2003	-0.24	-0.07	0.24	0.61	0.37	0.59	0.67	0.37	-0.20	-1.94	-0.94	-1.33
2004	-1.50	-0.80	-0.42	-0.18	0.21	0.38	-0.41	0.28	-0.50	-1.00	-1.46	-1.20
2005	-1.29	-0.72	-0.65	0.32	0.76	0.87	0.84	1.12	0.45	-1.06	-1.67	-2.55
2006	-1.52	-0.96	-0.14	0.30	0.29	0.58	1.14	1.19	0.48	-0.98	-1.16	-1.15
2007	-0.34	-0.33	-0.20	-0.09	0.44	0.90	-0.22	0.20	0.63	-1.05	-1.44	-1.36
VIENTO ZONAL												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	-10.83	-8.76	-8.24	-8.78	-10.26	-10.58	-10.09	-9.27	-10.00	-5.92	-6.03	-4.56
1996	-4.96	-10.50	-6.45	-8.09	-10.08	-9.04	-10.37	-10.75	-10.84	-7.19	-7.13	-9.21
1997	-4.84	-10.69	-5.42	-9.30	-11.97	-7.69	-11.73	-9.86	-7.30	-5.42	-4.37	-9.79
1998	-8.62	-6.06	-7.19	-7.54	-7.28	-10.77	-10.43	-10.53	-10.08	-9.31	-5.21	-4.64
1999	-5.00	-6.70	-6.37	-8.44	-8.21	-8.32	-9.20	-9.33	-6.13	-4.30	-4.80	-4.62
2000	-4.24	-6.14	-6.14	-5.48	-6.80	-7.64	-8.24	-8.32	-5.49	-5.34	-3.29	-4.94
2001	-5.34	-6.92	-5.44	-6.56	-7.11	-8.33	-8.56	-8.94	-6.53	-3.65	-3.35	-4.57
2002	-4.20	-4.93	-5.01	-3.26	-6.58	-8.23	-8.24	-8.99	-6.87	-5.00	-5.60	-3.73
2003	-5.45	-5.68	-3.59	-4.53	-8.09	-6.91	-8.69	-7.14	-5.56	-3.53	-3.32	-3.55
2004	-2.76	-6.28	-6.92	-4.63	-6.49	-8.76	-7.18	-7.93	-5.40	-4.21	-2.70	-2.21
2005	-3.52	-6.03	-5.22	-6.28	-5.48	-7.49	-7.21	-7.67	-6.57	-3.93	-1.90	-2.81
2006	-5.84	-4.66	-4.24	-3.54	-6.59	-6.93	-7.62	-7.60	-7.42	-2.96	-2.13	-3.76
2007	-7.03	-5.03	-6.83	-5.08	-6.24	-9.15	-6.94	-8.31	-8.02	-3.82	-4.83	-3.60
MÓDULO DEL VIENTO												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	10.85	8.82	8.27	8.79	10.28	10.64	10.11	9.28	10.00	6.31	7.04	4.79
1996	5.42	10.55	6.52	8.17	10.15	9.10	10.37	10.75	10.84	7.34	7.68	9.44
1997	5.74	10.69	5.42	9.32	11.98	7.80	11.77	9.88	7.32	5.62	4.50	9.79
1998	8.65	6.06	7.20	7.59	7.28	10.78	10.45	10.55	10.23	9.44	6.81	5.03
1999	5.56	6.71	6.38	8.44	8.21	8.43	9.21	9.33	6.59	4.83	5.95	5.70
2000	4.80	6.14	6.19	5.50	6.81	7.74	8.27	8.33	5.87	5.36	4.17	4.95
2001	5.38	6.92	5.44	6.56	7.12	8.33	8.57	8.94	6.62	3.93	4.09	5.01
2002	4.36	4.93	5.01	3.26	6.58	8.26	8.26	9.00	6.90	5.10	5.67	3.85
2003	5.46	5.68	3.60	4.57	8.10	6.94	8.72	7.15	5.56	4.03	3.45	3.79
2004	3.14	6.33	6.93	4.63	6.49	8.77	7.19	7.93	5.42	4.33	3.07	2.51
2005	3.75	6.07	5.26	6.29	5.53	7.54	7.26	7.75	6.59	4.07	2.53	3.79
2006	6.03	4.76	4.24	3.55	6.60	6.95	7.70	7.69	7.44	3.12	2.43	3.93
2007	7.04	5.04	6.83	5.08	6.26	9.19	6.94	8.31	8.04	3.96	5.04	3.85

## TEMPERATURA

Para obtener los datos de temperatura (500 y 600 mb) se sigue el mismo procedimiento que se describió para obtener los datos de viento, excepto que en el paso 8 se escoge "Temperature".

Los datos de temperatura que se obtienen con la metodología anteriormente indicada se encuentran en °K y para transformarla a °C simplemente se le resta 273.16.

En el presente trabajo de investigación se trabajó con los datos de Temperatura (500 y 600 mb), para el período 1995 – 2007.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DATOS DE TEMPERATURA (°C)												
PERIODO: 1995 - 2007			LATITUD: 0° N			LONGITUD: 77,5° W			PRESIÓN: 500 mb			
VALORES MENSUALES												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	-4.16	-4.29	-4.27	-4.28	-4.68	-4.89	-5.71	-5.80	-5.29	-5.38	-4.98	-5.47
1996	-5.08	-4.80	-4.61	-4.79	-4.89	-5.20	-6.00	-5.84	-5.26	-5.52	-5.02	-4.54
1997	-4.99	-4.68	-4.67	-5.07	-4.59	-4.80	-4.90	-5.02	-5.12	-4.95	-5.02	-4.34
1998	-3.72	-3.58	-3.59	-3.56	-3.84	-4.58	-5.48	-5.01	-5.09	-4.74	-4.94	-5.29
1999	-5.23	-5.72	-5.31	-5.16	-5.43	-5.54	-5.75	-5.62	-6.09	-5.81	-5.26	-5.33
2000	-5.65	-5.86	-5.64	-5.60	-5.61	-5.48	-5.85	-5.63	-6.27	-5.67	-5.25	-5.17
2001	-6.10	-5.11	-5.56	-5.21	-4.93	-5.57	-5.85	-4.96	-5.86	-5.18	-4.88	-4.32
2002	-4.78	-4.52	-4.61	-5.01	-4.48	-5.10	-4.76	-4.87	-4.96	-5.42	-5.24	-4.32
2003	-3.59	-3.86	-4.93	-4.88	-4.39	-5.37	-4.96	-5.27	-5.31	-4.93	-5.12	-4.83
2004	-4.38	-4.99	-4.23	-4.72	-4.76	-4.96	-5.94	-5.46	-5.76	-5.25	-5.10	-4.83
2005	-4.37	-3.46	-4.81	-4.08	-4.34	-4.62	-5.06	-5.04	-4.93	-5.23	-5.11	-5.40
2006	-4.77	-4.55	-4.86	-4.56	-4.67	-5.22	-5.27	-5.29	-5.34	-5.00	-5.55	-4.95
2007	-3.77	-4.08	-4.71	-5.01	-4.93	-5.35	-5.73	-5.60	-5.24	-5.75	-4.96	-5.33

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DATOS DE TEMPERATURA (°C)												
PERIODO: 1995 - 2007			LATITUD: 0° N			LONGITUD: 77,5° W			PRESIÓN: 600 mb			
VALORES MENSUALES												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	2.71	2.81	2.75	2.96	2.64	2.64	2.42	2.61	2.44	2.01	2.06	2.34
1996	2.15	2.34	2.55	2.37	2.50	2.27	1.97	2.12	2.19	2.14	2.06	2.38
1997	2.42	2.49	2.82	2.62	2.93	3.02	2.87	3.10	2.54	2.79	2.89	3.38
1998	3.87	3.93	3.87	4.01	3.71	2.73	2.38	2.45	2.48	2.84	2.51	2.21
1999	1.82	1.90	2.26	2.12	1.99	1.89	1.64	1.88	1.46	1.32	1.83	1.67
2000	1.63	1.71	2.03	1.90	1.95	2.09	1.71	2.07	1.56	2.01	2.55	2.18
2001	1.79	2.25	2.29	2.40	2.53	1.94	1.88	2.38	1.92	2.98	2.50	3.14
2002	2.56	2.59	2.89	2.66	3.24	2.55	2.53	2.51	2.56	2.43	2.42	3.06
2003	3.29	3.37	2.82	2.91	2.95	2.16	2.33	2.54	2.63	2.73	2.52	2.57
2004	3.19	2.59	3.10	3.09	2.91	2.19	1.83	2.45	2.21	2.68	2.71	2.76
2005	2.93	3.29	2.94	3.26	3.04	2.83	2.82	2.51	2.87	2.59	2.46	2.20
2006	2.47	2.65	2.65	2.90	2.59	2.46	2.38	2.53	2.30	2.90	2.44	2.92
2007	3.31	3.06	2.51	2.60	2.78	2.07	2.59	1.63	2.17	2.19	2.38	1.92

## HUMEDAD

Para obtener los datos de humedad (500 y 600 mb) se sigue el mismo procedimiento que se describió para obtener los datos de viento, excepto que en el paso 8 se escoge "Specific humidity".

En el presente trabajo de investigación se trabajó con los datos de Humedad (500 y 600 mb), para el período 1995 – 2007.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DATOS DE HUMEDAD ESPECÍFICA												
PERIODO: 1995 - 2007			LATITUD: 0° N			LONGITUD: 77,5° W			PRESIÓN: 500 mb			
VALORES MENSUALES												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	1.75E-03	1.94E-03	2.22E-03	3.18E-03	3.53E-03	3.33E-03	3.06E-03	2.57E-03	3.28E-03	3.10E-03	3.29E-03	2.71E-03
1996	2.51E-03	2.57E-03	2.48E-03	2.43E-03	3.36E-03	2.96E-03	2.42E-03	2.60E-03	2.70E-03	3.39E-03	3.07E-03	1.88E-03
1997	1.58E-03	2.77E-03	2.81E-03	2.64E-03	2.68E-03	2.43E-03	2.45E-03	2.11E-03	2.82E-03	2.99E-03	3.62E-03	2.84E-03
1998	3.34E-03	3.40E-03	3.54E-03	3.70E-03	3.17E-03	3.24E-03	3.07E-03	2.85E-03	2.51E-03	3.31E-03	3.10E-03	3.02E-03
1999	2.92E-03	3.08E-03	2.45E-03	3.28E-03	3.10E-03	3.03E-03	2.68E-03	2.28E-03	3.01E-03	3.60E-03	2.79E-03	3.07E-03
2000	2.69E-03	2.62E-03	2.58E-03	2.85E-03	3.59E-03	2.93E-03	2.58E-03	2.25E-03	3.02E-03	3.14E-03	2.96E-03	3.05E-03
2001	3.13E-03	3.18E-03	3.00E-03	2.87E-03	3.22E-03	3.05E-03	2.86E-03	2.70E-03	2.93E-03	2.72E-03	3.33E-03	2.81E-03
2002	3.16E-03	3.16E-03	2.39E-03	2.90E-03	2.94E-03	2.92E-03	2.58E-03	2.52E-03	2.71E-03	3.18E-03	3.41E-03	3.45E-03
2003	2.01E-03	2.17E-03	3.25E-03	3.22E-03	3.31E-03	3.17E-03	2.78E-03	2.75E-03	2.78E-03	3.35E-03	3.14E-03	3.42E-03
2004	2.22E-03	3.16E-03	2.86E-03	2.41E-03	2.87E-03	2.87E-03	2.80E-03	2.47E-03	2.66E-03	3.09E-03	3.66E-03	2.96E-03
2005	2.39E-03	2.41E-03	2.87E-03	2.97E-03	2.57E-03	2.70E-03	2.06E-03	2.49E-03	2.24E-03	2.55E-03	3.27E-03	3.18E-03
2006	2.71E-03	2.68E-03	2.84E-03	2.40E-03	2.66E-03	3.02E-03	3.03E-03	2.58E-03	2.34E-03	3.25E-03	3.75E-03	2.95E-03
2007	2.77E-03	2.19E-03	2.70E-03	2.97E-03	3.15E-03	2.89E-03	2.09E-03	2.74E-03	2.84E-03	3.33E-03	3.14E-03	3.09E-03

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL DATOS DE HUMEDAD ESPECÍFICA												
PERIODO: 1995 - 2007			LATITUD: 0° N			LONGITUD: 77,5° W			PRESIÓN: 600 mb			
VALORES MENSUALES												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	4.72E-03	4.09E-03	4.36E-03	5.27E-03	4.96E-03	4.84E-03	4.70E-03	3.70E-03	4.55E-03	4.69E-03	5.38E-03	4.42E-03
1996	5.31E-03	4.72E-03	4.89E-03	4.69E-03	4.89E-03	4.82E-03	4.56E-03	4.71E-03	4.85E-03	5.09E-03	5.46E-03	5.13E-03
1997	5.07E-03	4.79E-03	5.03E-03	4.19E-03	4.55E-03	4.01E-03	4.28E-03	4.04E-03	4.10E-03	4.39E-03	4.64E-03	4.64E-03
1998	4.90E-03	5.74E-03	4.61E-03	4.64E-03	5.37E-03	5.39E-03	4.84E-03	4.70E-03	4.54E-03	4.96E-03	5.64E-03	5.21E-03
1999	5.49E-03	5.33E-03	4.73E-03	5.14E-03	4.97E-03	4.72E-03	4.68E-03	4.83E-03	4.59E-03	5.02E-03	5.56E-03	5.24E-03
2000	5.52E-03	4.14E-03	4.41E-03	4.95E-03	4.57E-03	4.95E-03	4.72E-03	4.54E-03	4.86E-03	5.01E-03	5.20E-03	4.89E-03
2001	5.07E-03	5.21E-03	4.34E-03	4.32E-03	5.15E-03	4.54E-03	4.49E-03	4.55E-03	4.88E-03	5.06E-03	5.64E-03	5.86E-03
2002	5.47E-03	5.38E-03	4.35E-03	5.11E-03	5.28E-03	4.75E-03	4.94E-03	4.68E-03	4.39E-03	5.27E-03	4.94E-03	6.01E-03
2003	5.20E-03	4.93E-03	4.93E-03	5.13E-03	5.04E-03	5.07E-03	4.77E-03	4.50E-03	4.59E-03	5.51E-03	5.04E-03	5.25E-03
2004	5.22E-03	4.75E-03	4.63E-03	4.69E-03	5.02E-03	4.60E-03	4.53E-03	4.49E-03	4.06E-03	4.81E-03	5.98E-03	6.15E-03
2005	5.02E-03	5.20E-03	4.60E-03	5.37E-03	5.07E-03	4.63E-03	3.89E-03	4.64E-03	4.36E-03	4.97E-03	6.07E-03	5.66E-03
2006	5.29E-03	5.17E-03	4.62E-03	4.60E-03	5.24E-03	4.88E-03	4.90E-03	4.60E-03	4.09E-03	4.91E-03	5.92E-03	5.80E-03
2007	5.21E-03	4.67E-03	4.55E-03	5.08E-03	5.84E-03	4.87E-03	4.03E-03	4.56E-03	4.57E-03	5.88E-03	5.80E-03	5.63E-03

### NIÑO 3.4

Los datos del Índice El Niño 3.4 se descargaron de la página del CPC, a continuación se describe el procedimiento seguido para la obtención de los datos en mención.

Se debe ingresar a la página principal del CPC: <http://www.cpc.noaa.gov/>

En la parte izquierda de la pantalla, dentro de la opción "Monitoring and Data",

seleccionar "Index".

En la nueva pantalla escoger la opción "Monthly Atmospheric & Sea Surface Temperature Indices", debido a que requieren los datos mensuales de este índice. Dentro de "Sea Surface Temperature (SST)" se tiene la opción "Monthly", en la cual, entre otros datos, constan los datos del Índice El Niño 3.4.

Luego se debe dar clic sobre "Data" y la siguiente pantalla que se abre muestra los datos de la SST en el bloque El Niño 3.4, entre otros.

Si se desea guardar estos datos, se los debe seleccionar y guardar en una hoja de texto (\*.txt) y luego se los puede abrir desde una hoja de cálculo (Excel) para trabajar con ellos de mejor manera.

En el presente trabajo de investigación se trabajó con los datos del Índice El Niño 3.4, para el período 1995 – 2007.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ÍNDICE EL NIÑO 3.4 (°C)  PERIODO: 1995 - 2007												
VALORES MENSUALES												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	27.55	27.45	27.63	27.93	27.73	27.59	27.01	26.33	25.96	25.67	25.66	25.57
1996	25.74	25.85	26.62	27.36	27.37	27.32	27.09	26.56	26.35	26.24	26.19	26.02
1997	25.96	26.36	27.03	28.03	28.60	28.94	28.92	28.84	28.93	29.23	29.32	29.26
1998	29.10	28.86	28.67	28.56	28.47	26.72	25.94	25.49	25.61	25.34	25.18	24.79
1999	24.90	25.41	26.25	26.84	26.97	26.60	26.35	25.59	25.71	25.64	25.12	24.90
2000	24.65	25.19	26.08	27.01	27.12	27.03	26.72	26.45	26.21	25.96	25.78	25.59
2001	25.74	26.11	26.84	27.52	27.60	27.68	27.32	26.87	26.55	26.59	26.45	26.17
2002	26.50	26.95	27.32	27.94	28.15	28.43	27.98	27.79	27.83	28.05	28.27	28.09
2003	27.76	27.49	27.81	27.81	27.37	27.48	27.43	26.85	26.96	27.19	27.05	26.89
2004	26.74	26.86	27.10	27.84	28.06	27.76	27.69	27.54	27.47	27.38	27.31	27.31
2005	27.10	26.96	27.55	28.07	28.20	28.05	27.47	26.88	26.63	26.75	26.34	25.89
2006	25.64	26.08	26.57	27.59	27.91	27.85	27.35	27.22	27.34	27.47	27.73	27.76
2007	27.26	26.81	27.18	27.78	27.57	27.55	26.79	26.20	25.77	25.22	25.06	24.97

## SOI

Los datos del SOI se descargaron de la página <http://www.cpc.ncep.noaa.gov/data/indices/soi>. Estos datos pertenecen al tema: Monthly Atmospheric & SST Indices, subtema: Southern Oscillation Index, por el equipo de Internet del CPC.

Si se desea guardar estos datos, se los debe seleccionar y guardar en una hoja de texto (\*.txt) y luego se los puede abrir desde una hoja de cálculo (Excel) para trabajar con ellos de mejor manera.

En el presente trabajo de investigación se trabajó con los datos del SOI, para el período 1995 – 2007.

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ÍNDICE DE OSCILACIÓN DEL SUR												
PERIODO: 1995 - 2007												
VALORES MENSUALES												
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
1995	-1.00	-0.80	0.40	-1.80	-1.20	-0.40	0.60	-0.10	0.50	-0.50	-0.10	-1.30
1996	1.70	-0.20	1.20	1.10	0.20	1.60	1.00	0.70	1.00	0.70	-0.30	1.30
1997	0.80	2.60	-1.90	-1.40	-3.00	-3.20	-1.70	-3.40	-2.60	-3.10	-2.30	-2.10
1998	-5.40	-4.40	-5.70	-3.20	0.10	1.20	2.00	1.60	2.00	1.60	1.70	2.30
1999	3.20	1.20	1.40	2.20	0.10	-0.10	0.80	0.10	-0.10	1.50	1.80	2.50
2000	1.10	2.60	1.60	1.90	0.30	-1.00	-0.70	0.60	1.70	1.60	3.30	1.10
2001	1.80	2.40	0.80	-0.10	-1.40	-0.10	-0.70	-1.60	0.30	-0.60	1.20	-1.90
2002	0.70	1.50	-1.40	-0.60	-2.00	-1.10	-1.10	-2.60	-1.10	-1.20	-1.00	-2.40
2003	-0.60	-2.00	-1.60	-0.70	-1.00	-1.90	0.40	-0.50	-0.20	-0.50	-0.70	1.80
2004	-2.80	1.80	-0.30	-2.10	1.50	-2.20	-1.20	-1.20	-0.60	-0.50	-1.40	-1.80
2005	0.40	-6.70	-0.40	-1.60	-1.90	0.10	0.10	-1.30	0.70	1.90	-0.50	-0.30
2006	2.90	-0.30	2.30	1.50	-1.40	-1.10	-1.30	-2.70	-1.10	-2.70	0.10	-0.80
2007	-1.80	-0.70	-0.60	-0.60	-0.60	0.30	-0.80	0.10	0.30	0.90	1.40	2.90

**ANEXO No3**  
**DISTANCIA ENTRE DOS PUNTOS**

La distancia entre dos puntos, según el método "Great Circle Distance" (basado en trigonometría esférica), está dada por<sup>8</sup>:

$$D = k * \text{ARCOS}(\text{SIN}(L1) * \text{SIN}(L2) + \text{COS}(L1) * \text{COS}(L2) * \text{COS}(DG))$$

Donde:

$L1$  : Latitud del primer punto (rad).

$L2$  : Latitud del segundo punto (rad).

$G1$  : Longitud del primer punto (rad).

$G2$  : Longitud del segundo punto (rad).

$DG$  : Longitud del primer punto (rad) menos longitud del segundo punto (rad).

$D$  : Distancia (km)

$k$  : Constante que depende de la latitud en la que se encuentren los puntos, el valor es  $111.32^9$  por el coseno de la latitud (rad) en que se encuentre<sup>10</sup>.

El valor resultante de la función arcocoseno debe pasarse a grados para luego multiplicar por la constante k.

Para el presente trabajo se ha calculado un valor promedio de 111.29, debido a que los datos se encuentran entre  $0^\circ$  y  $2^\circ$  de latitud (sur), como se puede ver en la tabla A3.1:

**TABLA A3.1 CONSTANTE k. SE MUESTRA EN RESUMEN EL VALOR ESCOGIDO PARA LA CONSTANTE k**

Latitud (°)	k
2	111.25
1	111.3
0	111.32
Promedio =	111.29

<sup>8</sup> Australian Government. Geoscience Australia. <http://www.ga.gov.au/geodesy/datums/distance.jsp>

<sup>9</sup> Manual de vuelo. <http://www.manualvuelo.com/NAV/NAV72.html>

<sup>10</sup> Yahoo México. Paso de coordenadas geográficas a planas. <http://mx.answers.yahoo.com/question/index?qid=20081005175451AA1QtGQ>

**Con formato:** Fuente: 8 pto

**Con formato:** Fuente: 8 pto, Sin Superíndice / Subíndice

**Con formato:** Fuente: 8 pto, Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Sin Superíndice / Subíndice

**Con formato:** Fuente: 8 pto

**Con formato:** Fuente: 8 pto, Sin Superíndice / Subíndice

**Con formato:** Fuente: 8 pto, Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Sin Superíndice / Subíndice

**Con formato:** Fuente: 8 pto

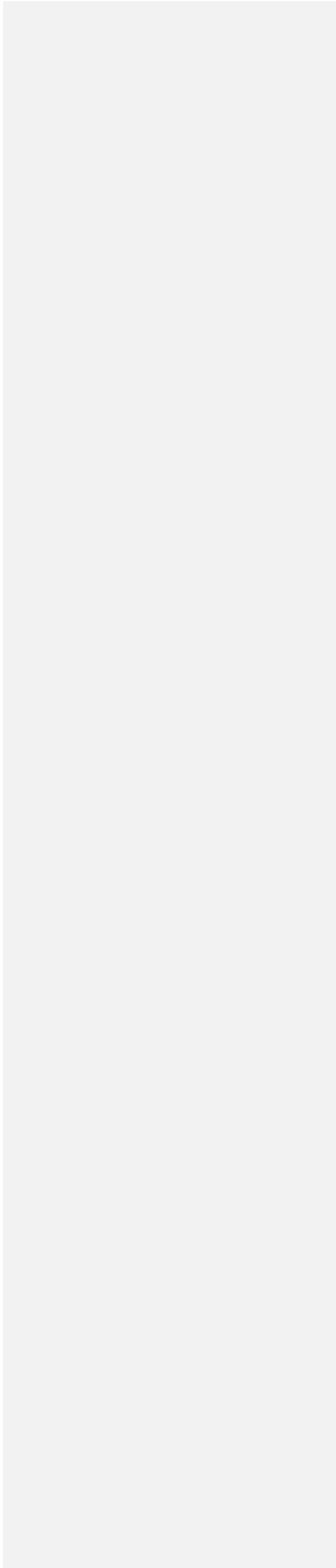
**Con formato:** Sin Superíndice / Subíndice

**Con formato:** Fuente: 8 pto, Sin subrayado, Color de fuente: Automático, Sin Superíndice / Subíndice

Se debe también tener en cuenta lo siguiente:

- Las latitudes norte son positivas y sur son negativas.
- Las longitudes este son positivas y oeste son negativas.
- “Great circle distance” es la distancia más corta entre dos puntos sobre una esfera. Esto coincide con la circunferencia de un círculo que pasa por dos puntos y el centro de la esfera.

**ANEXO No4**  
**MODIFICACIONES HECHAS AL SIC**



En este apartado se citan las modificaciones realizadas al código fuente del programa SIC (proporcionado por el Ing. Ricardo Moreano, autor del programa).

El área de aplicación del presente estudio es menor en comparación con el área de estudio en Moreano (2008), por ello el coeficiente que sirve para transformar grados (°) a kilómetros (km) necesitaba ser más preciso (ver Anexo No3).

Por una recomendación<sup>11</sup> en el valor comprendido en el rango de distancia se cambió éste de  $0, d$  a  $d - \frac{d}{2}, d + \frac{d}{2}$ .

Se modificó la manera en la cual se estimaba la semivarianza, ya que, no es lo mismo  $\frac{1}{2N} \sum_{i=1}^n (V_i - V_j)^2$  que  $\sum_{i=1}^n \left( \frac{(V_i - V_j)^2}{2N} \right)$  (función de semivarianza). El error que se obtenía anteriormente, era directamente proporcional al número de estaciones agrupadas (según el rango de distancia), alcanzando un valor de 87.50% de error para un rango de distancias que agrupaba a 8 estaciones.

A manera de ejemplo se presenta a continuación una tabla que compara las semivarianzas ( $\gamma(h)$ ) obtenidas mediante una hoja de cálculo y el programa SIC antes de ser modificado; así como también el error que acumulaba este programa.

Otras modificaciones menores, corresponden al lenguaje de programación, el cuál no cumplía con las operaciones deseadas, por lo cual tuvo que ser modificado; dichas modificaciones se presentan con la ayuda del Tlgo. Edison Romo:

Cabe mencionar que el programa está desarrollado en Visual Basic 6.0 y utiliza para el almacenamiento de datos una Base de Datos en Microsoft Access 2007.

<sup>11</sup> [Curso de Variograma. \(s.f\)](http://www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLopez/geoestadistica/VARIOGRAMA.ppt)

<http://www.geo.upm.es/postgrado/CarlosLopez/geoestadistica/VARIOGRAMA.ppt>

**TABLA A4.1**  
**ERROR OBTENIDO EN EL CÁLCULO DE SEMIVARIANZA EN EL SIC ORIGINAL**

Distancia (Km)	Rango de Tolerancias		No. de pares	$\gamma(h)$ hoja de cálculo	$\gamma(h)$ SIC-EPN	% Error entre la hoja de cálculo y el SIC-EPN
	desde	hasta				
202.55	101.28	303.83	3	42957.8	128873.5	66.67
405.11	303.83	506.38	1	9384.5	9384.5	0
607.66	506.38	708.94	1	4050	4050	0
810.21	708.94	911.49	3	55800.3	167401	66.67
1012.77	911.49	1114.04	1	49298	49298	0
1215.32	1114.04	1316.6	2	70615.3	141230.5	50
1417.87	1316.6	1519.15	8	34176	273408	87.5
1620.43	1519.15	1721.7	2	25301.3	50602.5	50

Elaboración: Andrea Pazmiño

**FIGURA A4.1**  
**SEMIVARIANZAS CALCULADAS CON EL SIC ORIGINAL**

Lag	Intervalo	Numero Pares ...	Numero Pares ...	Semivarianza
202.55	101.275 - 303.8...	3	3	128873.5
405.1	303.825 - 506.3...	1	4	9384.5
607.65	506.375 - 708.9...	1	5	4050.0
810.2	708.925 - 911.4...	3	8	167401.0
1012.75	911.475 - 1114....	1	9	49298.0
1215.3	1114.025 - 131...	2	11	141230.5
1417.85	1316.575 - 151...	8	19	273408.0
1620.4	1519.125 - 172...	2	21	50602.5

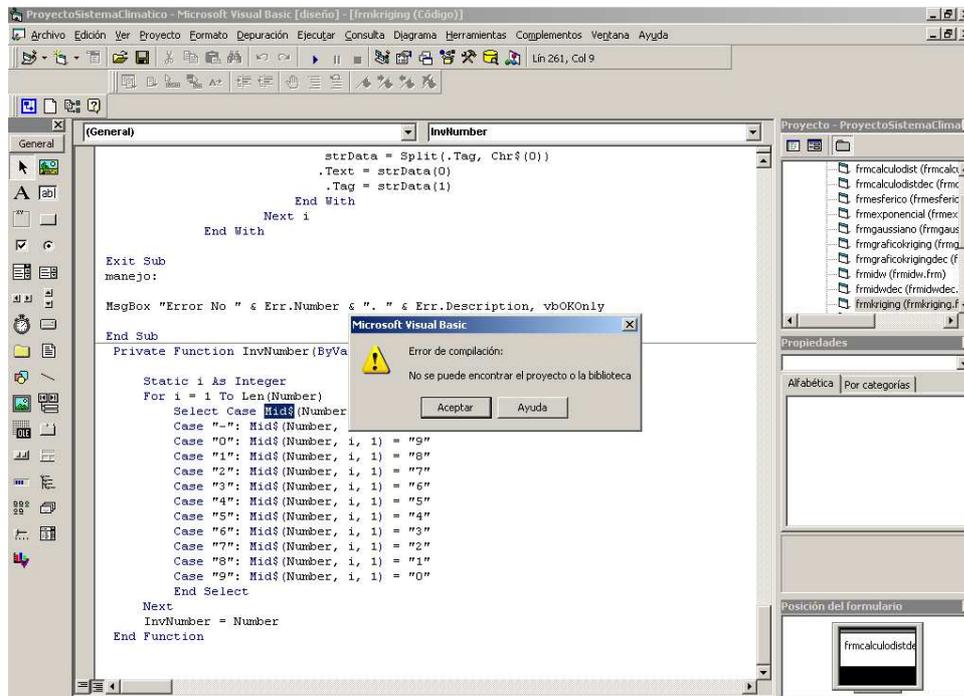
Fuente: Programa SIC (versión 2)

El primer cambio realizado en el código fuente del sistema, fue de cambiar la ruta de una librería llamada "Microsoft Active x Data Object 6.0" (msadoc15.dll), la cual contiene las definiciones de los tipos de datos que utiliza Visual Basic 6.0.

La ruta de dicha dll se encuentra en el directorio:

C:\Archivos de programa\Archivos comunes\System\ado

**FIGURA A4.2**  
**ERROR PRESENTADO AL ARRANCAR LA APLICACIÓN (1)**

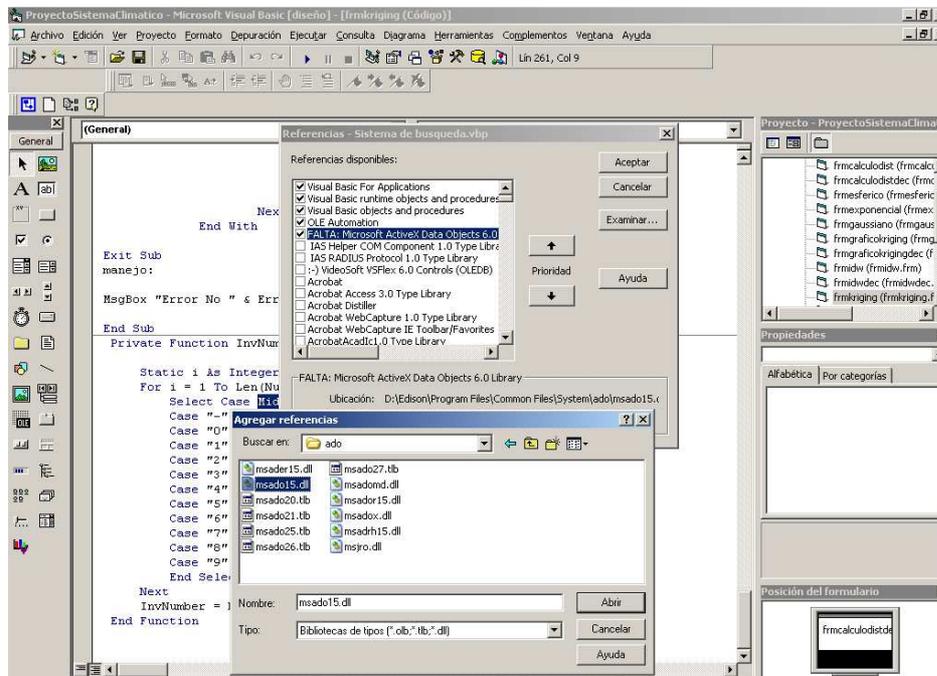


Este error se producía porque la ruta estaba en inglés, es decir para un sistema operativo Windows que tenía como idioma predefinido el inglés.

También se corrige la ruta de la Base de Datos y el controlador OleDb necesario para su conexión con lo cual se puede llevar a cualquier computador el directorio del sistema sin tener que instalarlo.

La Ruta por defecto es:  
 con1.ConnectionString = "DSN=BaseRicardo"

**FIGURA A4.3**  
**ERROR PRESENTADO AL ARRANCAR LA APLICACIÓN (2)**



Para que lo anterior funcione se debe hacer una conexión de datos en Windows, pero con el siguiente cambio en el código, la base de datos debe estar dentro del proyecto de la aplicación, es decir, debe estar contenido con los archivos fuente que componen el sistema.

Cambio en el código de la ruta de la base de datos:

```
con1.ConnectionString = "Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data Source=" &
App.Path & "\Base\Base_Final_2.accdb;Persist Security Info=True"
```

“App.Path” es una variable propia de Visual Basic que almacena todo el path o ruta completa del directorio donde se encuentra el proyecto informático a desarrollarse.

También se corrigen las conversiones de datos que se toman de las interfaces gráficas del sistema para su posterior utilización en los cálculos respectivos. Por

ejemplo al ingresar un valor numérico en el control gráfico textbox, este lo almacena como un valor de tipo string (caracteres) y en las posteriores operaciones este valor se transforma a su equivalente ASCII para ajustarse a los cálculos, por lo que se debe emplear funciones de conversión como son Val(),Cdbl(), CInt() etc.

En el evento clic del botón cmdbuscar del formulario frmcalculodist, Cálculo de Distancia - Coordenadas Geográficas, se corrige lo anteriormente mencionado:

```
Dim grados As Double
```

```
Dim minutos As Double
```

```
Dim segundos As Double
```

```
Dim grados2 As Double
```

```
Dim minutos2 As Double
```

```
Dim segundos2 As Double
```

```
Dim lat As Double
```

```
Dim lon As Double
```

```
Dim distancia1 As Double
```

```
Dim distancia2 As Double
```

```
Dim altura1 As Double
```

```
Dim altura2 As Double
```

```
Dim pe As Double
```

```
Dim de As Double
```

```
' -----
```

```
If Trim(txtgrados.Text) = "" Then
```

```
    grados = 0
```

```
Else
```

```
    grados = Val(txtgrados.Text)
```

```
End If
```

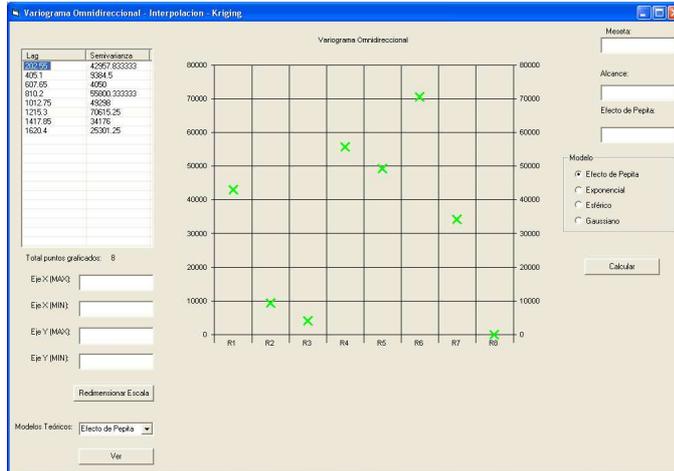
```
If Trim(txtminutos.Text) = "" Then
```

```
    minutos = 0
Else
    minutos = Val(txtminutos.Text)
End If
If Trim(txtsegundos.Text) = "" Then
    segundos = 0
Else
    segundos = Val(txtsegundos.Text)
End If
' ...
If Trim(txtgrados2.Text) = "" Then
    grados2 = 0
Else
    grados2 = Val(txtgrados2.Text)
End If
If Trim(txtminutos2.Text) = "" Then
    minutos2 = 0
Else
    minutos2 = Val(txtminutos2.Text)
End If
If Trim(txtsegundos2.Text) = "" Then
    segundos2 = 0
Else
    segundos2 = Val(txtsegundos2.Text)
End If
```

El sistema utiliza el control MSChart propio de Visual Basic 6.0, para gráficos estadísticos y otros, pero este control solo soporta un grupo limitado de datos, por lo que se utilizó un control similar llamado FusionChart que a pesar de no ser propio de Visual Basic, muestra los gráficos de una forma más amigable con el usuario. Este control tiene una versión libre con ciertos limitantes, pero es útil para el programa SIC.

La Gráfica que se muestra con el control MSChart es la siguiente:

**FIGURA A4.4**  
**CONTROL MSCHART**



La Gráfica que se muestra con el control FusionChart es la siguiente:

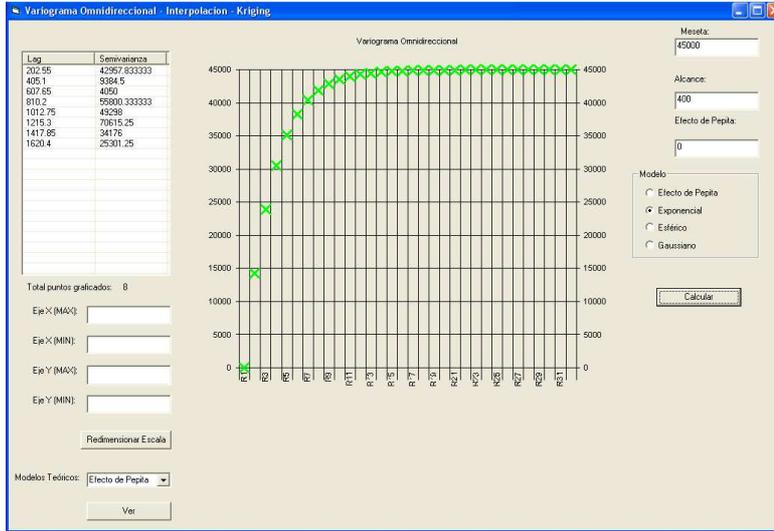
**FIGURA A4.5**  
**CONTROL FUSIONCHART**



La gráfica de la interpolación por Kriging solo presenta el gráfico del variograma de muestra, las opciones de los Modelos Esférico, Gaussiano y Exponencial, no están codificados en el programa, por lo que se procede a codificar dichos modelos y a mostrar los resultados en un control FusionChart. Además se cambia las unidades de los datos de entrada para el cálculo de los Modelos antes mencionados.

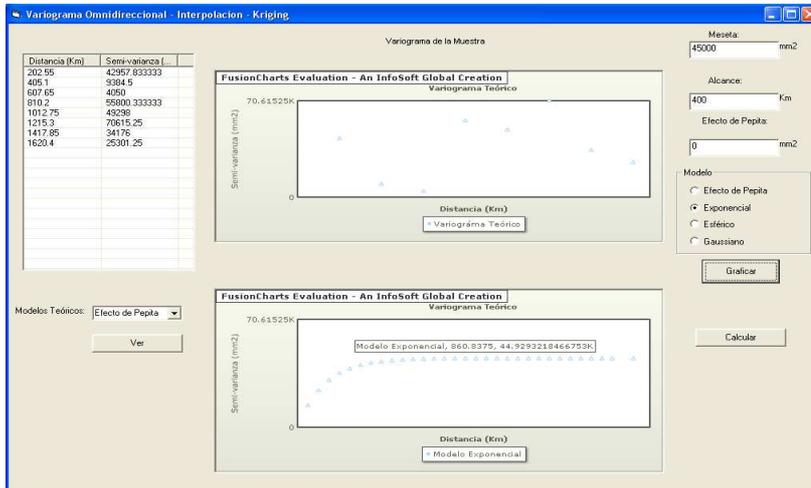
Modelo Exponencial con MSChart:

**FIGURA A4.6**  
**MODELO EXPONENCIAL CON MSCHART**



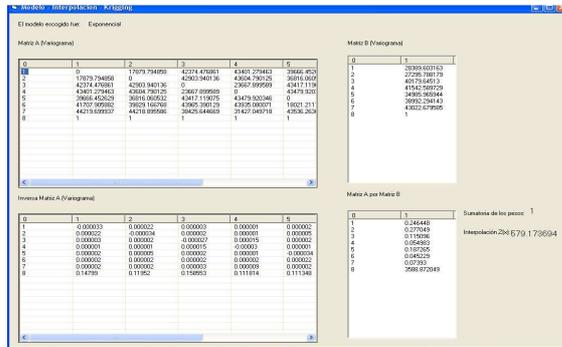
Modelo Exponencial con FusionChart:

**FIGURA A4.7**  
**MODELO EXPONENCIAL CON FUSIONCHART**



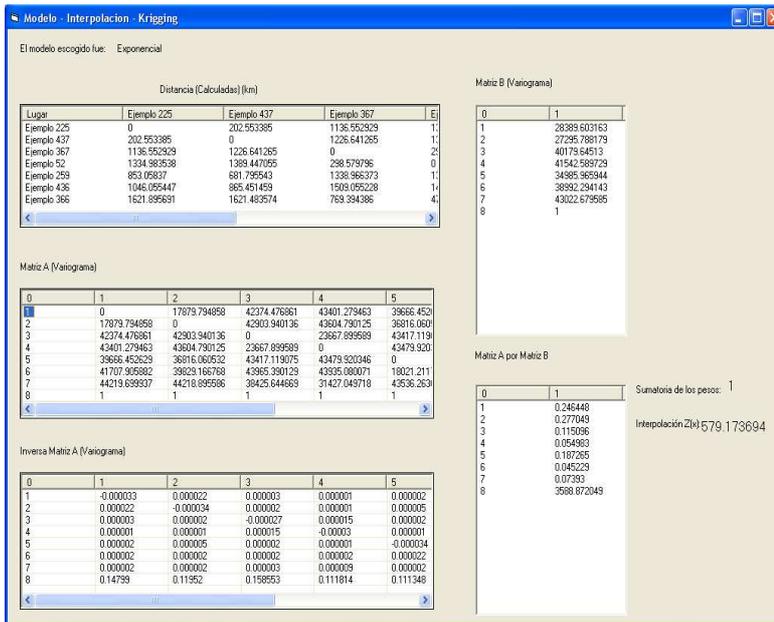
El sistema no muestra la matriz de distancias calculadas:

**FIGURA A4.8**  
**PANTALLA DE RESULTADOS SIC ORIGINAL**



Se aumenta la matriz de distancias calculadas:

**FIGURA A4.9**  
**PANTALLA DE RESULTADOS SIC (VERSIÓN 2)**



En el evento clic del botón “btncalcular” etiqueta “Calcular Distancias y Semi-varianzas” se aumenta las líneas de código necesarias.

En el formulario de la interpolación de Kriging se realizó los siguientes cambios en el código:

Evento clic del botón btnlags, etiqueta "Distancia Inicial":

Se coloca estas líneas de código que son optimizadas:

```

If paresporlag <> 0 Then
    semivarianza = varianzasum / (2 * paresporlag)
Else
    semivarianza = 0
End If
'semivarianza = semivarianza * 10 ^ -6 ' Convirtiendo m2 los mm2
Istvlags.ListItems.Add m, , intervalo2 '* 1000# ' Convirtiendo en metros los
Km
Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , CStr(liminferior) + " - " +
CStr(limsuperior)
Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , CStr(paresporlag)
Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , Round(varianzasum, 6)
Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , Round(semivarianza, 6)
'Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , semivarianza
m = m + 1
liminferior = liminferior + intervalo
limsuperior = limsuperior + intervalo
intervalo2 = intervalo2 + intervalo
paresporlag = 0
varianzasum = 0

```

Con respecto a las comentadas:

```

'If paresporlag <> 0 Then
'    Do
'
'                                'varianzasum = varianzasum +
CDBl(Istvpares.ListItems(j).ListSubItems(2))
'        varianzasum = CDBl(Istvpares.ListItems(j).ListSubItems(2))
'        j = j + 1
'    Loop While (j <= paresacumulados + paresporlag)
'        varianzaacum = (varianzasum / (paresporlag * 2)) ' / (paresacumulados

```

```

+ 1) 'varianzasum / (paresacumulados + 1)
'   End If
'   paresacumulados = paresacumulados + paresporlag
'
'   Istvlags.ListItems.Add m, , limsuperior
'       Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , CStr(liminferior) + " - " +
CStr(limsuperior)
'   Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , CStr(paresporlag)
'   Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , CStr(paresacumulados)
'   Istvlags.ListItems(m).ListSubItems.Add , , Round(varianzaacum, 6)
'   m = m + 1
'   liminferior = liminferior + intervalo
'   limsuperior = limsuperior + intervalo
'   paresporlag = 0

```

Se coloca un módulo con las siguientes variables para poderlas utilizar en los formularios necesarios de la aplicación:

```

Public minimoX As Integer
Public maximoX As Integer
Public minimoY As Double
Public maximoY As Double
Public numeroFilas As Integer
Public MatrizOrdenada() As Double
Public MatrizEncabezado() As String

```

Estas variables se utilizan en los respectivos gráficos de Kriging.

En el evento Onload del formulario de Kriging, se realizaron los siguientes cambios:

Para el comboBox cmdanio se aumenta los años desde 1964 hasta 2009 con las siguientes líneas de código:

```
Dim aniomaximo As Integer
Dim aniominimo As Integer
Dim contador As Integer
```

```
aniomaximo = 2009
aniominimo = 1964
contador = 1964
```

```
While contador <= aniomaximo
    Me.cmbanio.AddItem (Val(contador))
    contador = contador + 1
Wend
```

En el evento load del formulario "frmgraficokriging" se escriben las líneas de código necesarias para mostrar los gráficos con el control FusionChart.

En el evento clic del botón "btngraficar" se escriben las líneas de código para los cálculos de los modelos Esférico, Exponencial y Gaussiano.

En el frmcalculodistdec Cálculo de Distancia - Grados Decimales se utilizan copias de los formularios utilizados en el Cálculo de Distancia - Coordenadas Geográficas, como por ejemplo la interpolación de Kriging, existen dos formularios que hacen exactamente lo mismo.

Por lo que en el formulario frmcalculodistdec de Cálculo de Distancia - Grados Decimales se comenta en el evento clic del botón btninterpolar las líneas que llaman a este segundo formulario de la interpolación de Kriging:

```
'frmkrigingdec.Show
```

Y se llama al primer formulario de la interpolación de Kriging:  
frmkriging.Show

**ANEXO No5**  
**MANUAL DE INSTALACIÓN Y USO DEL SIC**  
**(MÉTODOS IDW Y KO)**

Los manuales de instalación y de uso del programa SIC se realizaron con la ayuda del Tlgo. Edison Romo y del Ing. Marco Calderón.

## 5.1 MANUAL DE INSTALACIÓN

Todos los archivos necesarios para que se ejecute correctamente el Sistema de Información Climática, se encuentran en la carpeta “SIC-EPN, Instalador”.

**FIGURA A5.1**  
**ESCRITORIO EN EL CUAL SE MUESTRA LA CARPETA “SIC-EPN INSTALADOR”**



### 1. INSTALACIÓN DE MICROSOFT ACCESS 2007

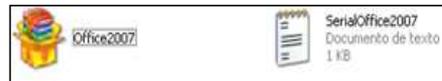
Se abre la carpeta “SIC-EPN, Instalador”, dentro de la cual se encuentran 3 archivos (2 carpetas de archivos y un archivo ejecutable).

**FIGURA A5.2**  
**CONTENIDO DE LA CARPETA “SIC-EPN INSTALADOR”**



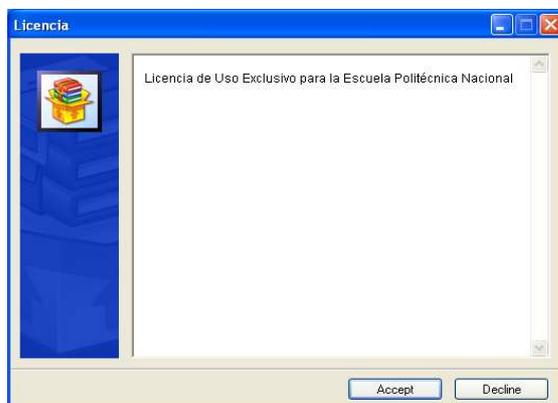
Se abre la carpeta “Office 2007 Autoextraible”.

**FIGURA A5.3**  
**CONTENIDO DE LA CARPETA “OFFICE 2007 AUTOEXTRAIBLE”**



Se ejecuta el empaquetado “Office2007” y se acepta la licencia, la misma que es de uso exclusivo para la Escuela Politécnica Nacional.

**FIGURA A5.4**  
**LICENCIA DE USO EXCLUSIVO PARA LA ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL**



Automáticamente al aceptar la licencia mencionada, se extraerán los archivos necesarios para ejecutar la instalación de Office 2007 en una carpeta temporal.

**FIGURA A5.5**  
**OFFICE 2007 AUTOEXTRAIBLE**



Se ejecuta el instalador de Office 2007, donde se pide insertar el serial, el mismo que se encuentra dentro de la carpeta "Office 2007 Autoextraíble" (ver figura A5.1.3).

**FIGURA A5.6**  
**SOLICITUD DEL SERIAL DEL PRODUCTO**



Una vez insertado el serial, se da clic sobre el botón "continuar" y en la siguiente pantalla se presentan los términos de licencia para poder utilizar el software, el cual se debe aceptar para poder continuar.

**FIGURA A5.7**  
**SOLICITUD DEL SERIAL DEL PRODUCTO**



En la siguiente pantalla que se abre, se puede dar clic sobre “Instalar ahora” si se desea instalar todo el paquete de Office 2007, o a su vez se puede dar clic sobre “Personalizar” si se desean escoger los componentes a instalar, para el buen funcionamiento del programa SIC únicamente es necesaria la instalación de Access 2007, y se pueden deshabilitar los demás componentes.

**FIGURA A5.8**

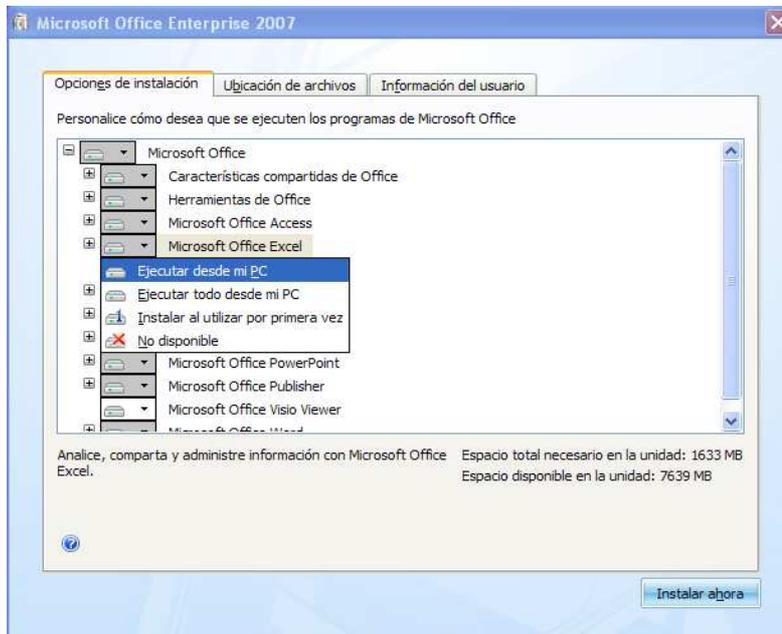
**PANTALLA PRINCIPAL DE INSTALACIÓN DE OFFICE 2007**



Una vez escogidos los componentes a instalar, se da clic sobre “Instalar ahora”.

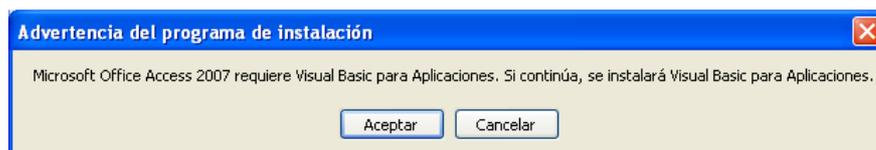
**FIGURA A5.9**

**ESCOGIENDO LAS OPCIONES DE INSTALACIÓN DE OFFICE 2007**



Dar clic sobre “Aceptar” en el mensaje que aparece solicitando la instalación de Visual Basic:

**FIGURA A5.10**  
**SOLICITUD DE LA INSTALACIÓN DE VISUAL BASIC**



Y comienza la instalación:

**FIGURA A5.11**  
**PROGRESO DE LA INSTALACIÓN**



Al finalizarse exitosamente la instalación, se procede a “cerrar” el proceso.

**FIGURA A5.12**  
**FINALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN**



## 2. INSTALACIÓN DE FUSION CHART 1.0

Dentro de la carpeta FusionChart (ver figura A5.1.2), se encuentra el instalador que lleva el mismo nombre, dar doble clic sobre éste instalador para ejecutarlo. FusionChart es un componente gráfico que entre otras cosas, permite realizar gráficos 2D y 3D en Visual Basic 6.0 (entre otros), la versión utilizada en el

presente trabajo es libre y se la puede encontrar en la siguiente página:  
<http://www.fusioncharts.com/>

**FIGURA A5.13**  
**ARCHIVO EJECUTABLE “FUSIONCHART”**



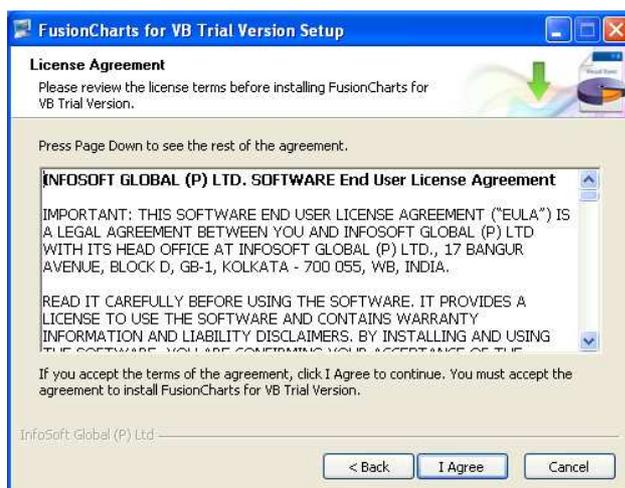
Dar clic sobre “Next”.

**FIGURA A5.14**  
**INSTALANDO “FUSIONCHART”**



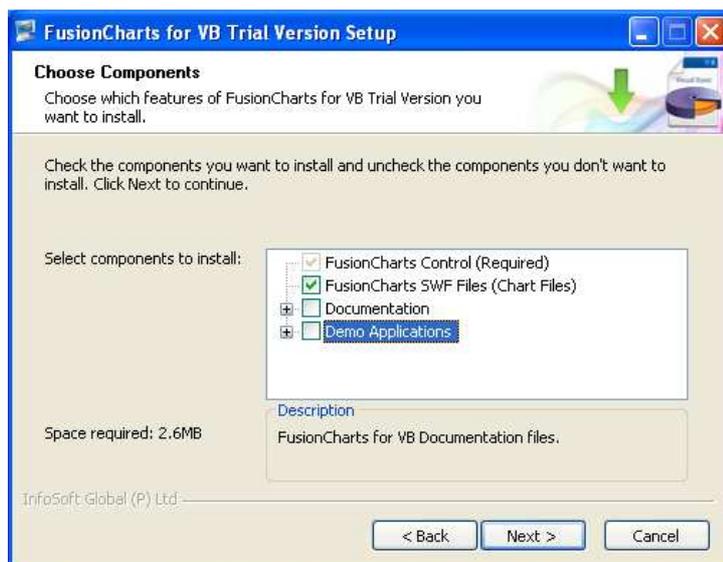
Aceptar la licencia (de uso libre solamente para fines didácticos):

**FIGURA A5.15**  
**LICENCIA DE “FUSIONCHART”**



Para instalar únicamente el controlador, se deben quitar los vistos de "Documentation" y "Demo Applications".

**FIGURA A5.16**  
**INSTALACIÓN DE COMPONENTES DE "FUSIONCHART"**



Dejar la ruta de la instalación por defecto:

**FIGURA A5.17**  
**RUTA DE INSTALACIÓN DE "FUSIONCHART"**



Dejar también la carpeta dada por defecto del acceso directo del menú inicio y dar clic en instalar:

**FIGURA A5.18**  
**CARPETA DEL MENÚ INICIO DE “FUSIONCHART”**



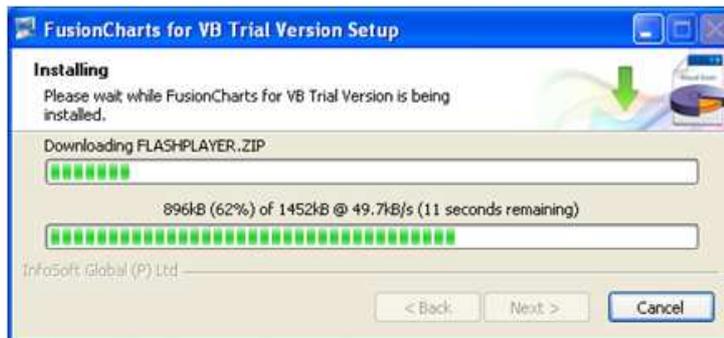
Si no se tiene instalado como mínimo la versión 8 de Adobe Flash Player, aparece el siguiente mensaje, en el cual se debe dar clic sobre “Sí” para aceptar la instalación de este controlador.

**FIGURA A5.19**  
**VERSIÓN DE FLASH PLAYER NECESARIA PARA EL CORRECTO DESEMPEÑO DE “FUSIONCHART”**



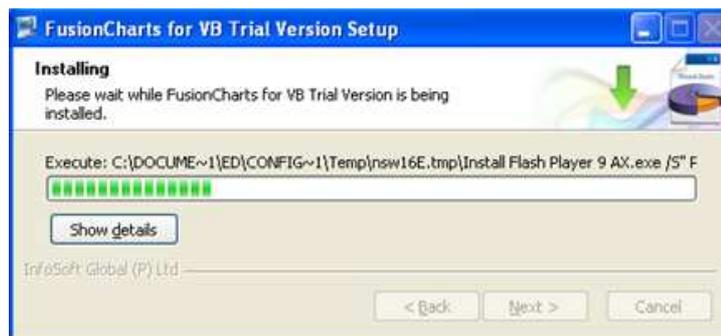
Automáticamente (se debe estar conectado a Internet) el instalador descarga Adobe Flash Player y lo instala.

**FIGURA A5.20**  
**PROGRESO DE LA INSTALACIÓN DE “FLASHPLAYER”**



Luego se continúa con la instalación de FusionChart:

**FIGURA A5.21**  
**PROGRESO DE LA INSTALACIÓN DE “FUSIONCHART”**



Para finalizar la instalación, dar clic sobre “Finish”.

**FIGURA A5.22**  
**FINALIZANDO LA INSTALACIÓN DE “FUSIONCHART”**



### 3. INSTALACIÓN DEL SIC

En la carpeta “SIC-EPN, Instalador” (figura a5.1.2), se encuentra el instalador del sistema, dar doble clic sobre él para instalarlo. Escoger el idioma de instalación (se prefiere el idioma Español).

FIGURA A5.23

#### IDIOMA DE INSTALACIÓN DEL “SIC”



Luego empieza la instalación.

FIGURA A5.24

#### PROGRESO DE LA INSTALACIÓN DEL “SIC”



Si se cuenta con todos los permisos necesarios para utilizar el programa SIC, dar clic sobre “Siguiente”.

FIGURA A5.25

#### ADVERTENCIA DE USO DEL “SIC”



Hacer clic sobre “Instalar”.

**FIGURA A5.26**  
**INSTALAR EL “SIC”**



Y empieza la instalación:

**FIGURA A5.27**  
**PROGRESO DE INSTALACIÓN DEL “SIC”**



Luego hacer clic sobre finalizar.

**FIGURA A5.28**  
**FINALIZACIÓN DE LA INSTALACIÓN DEL “SIC”**



En el escritorio se ha creado un acceso directo del programa.

**FIGURA A5.29**  
**ACCESO DIRECTO DEL “SIC”**



Y un acceso directo en el menú inicio:

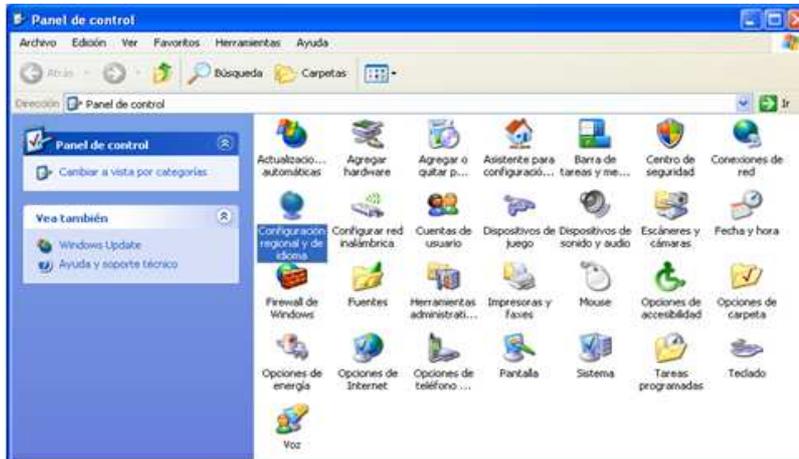
**FIGURA A5.30**  
**ACCESO DESDE EL MENÚ INICIO PARA EL “SIC”**



### CONFIGURACIÓN DEL SÍMBOLO DECIMAL

Por defecto Windows XP tiene el símbolo decimal de la coma “,”, pero para la ejecución correcta se lo debe cambiar a punto “.”, para ello nos dirigimos a Inicio, Panel de Control:

**FIGURA A5.31**  
**PANEL DE CONTROL**



Abrir la opción “Configuración regional y de idioma”.

**FIGURA A5.32**  
**CONFIGURACIÓN REGIONAL Y DE IDIOMA**



Hacer clic sobre la opción “Personalizar” y en la ventana que aparece, en “Símbolo decimal”, cambiar la coma por el punto:

**FIGURA A5.33**  
**PERSONALIZANDO EL SÍMBOLO DECIMAL**

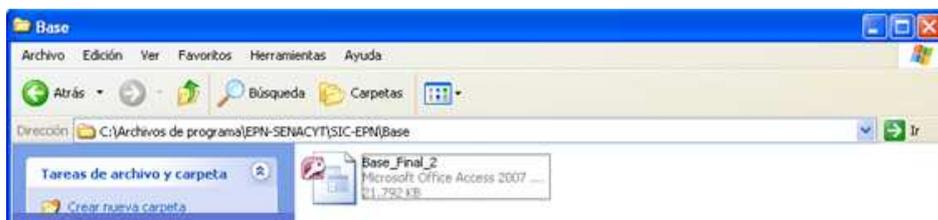


#### RUTA DE LA BASE DE DATOS

La base de datos se encuentra en la siguiente ruta, que es donde se encuentra instalado el sistema. Ésta ruta se indica para que sea posible modificar la base de datos del SIC.

C:\Archivos de programa\EPN-SENACYT\SIC-EPN\Base

**FIGURA A5.34**  
**RUTA DE LA BASE DE DATOS**



Las modificaciones en la base de datos deben únicamente consistir en la añadidura o sustracción de registros. Los cambios hechos a la integridad de las tablas, como por ejemplo la creación de una o varias columnas, no serán reflejados en el sistema.

Es recomendable que el sistema este cerrado al momento de hacer los cambios en los registros de la base de datos.

## 5.2 MANUAL DE USO

En la pantalla principal del programa SIC, se muestra una pantalla que contiene dos menús: Archivo y Ayuda.

FIGURA A5.35

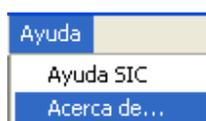
PANTALLA PRINCIPAL DEL PROGRAMA SIC



Al dar clic sobre el menú "Ayuda", se presentan dos opciones, en "Ayuda SIC", se encuentran incorporados los manuales de instalación y de uso que se describen más adelante en este anexo, y en "Acerca de..." se presenta la información general del programa.

FIGURA A5.36

MENÚ AYUDA



**FIGURA A5.37**  
**INFORMACIÓN GENERAL DEL SIC**



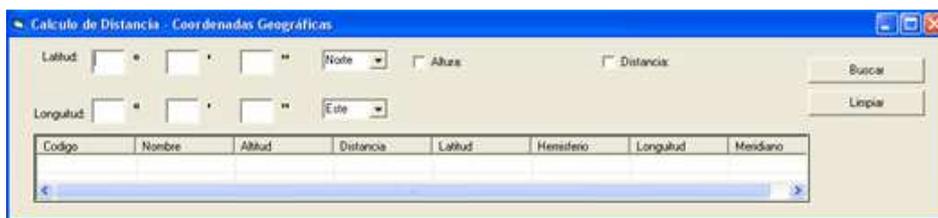
Al dar clic sobre el menú “Archivo”, se presentan tres opciones. Dos de las cuales sirven para calcular la distancia, una introduciendo los datos del punto a estimar en coordenadas geográficas y la otra en grados decimales; la última opción es para salir del programa.

**FIGURA A5.38**  
**MENÚ ARCHIVO**



Al escoger la opción “Calculo de Distancia – Coordenadas Geográficas”, los datos del punto a estimar deben introducirse de la siguiente manera: la latitud en grados ( $^{\circ}$ ), minutos ( $'$ ) y segundos ( $''$ ), se debe especificar si pertenece a la latitud norte o sur; y la longitud en grados ( $^{\circ}$ ), minutos ( $'$ ) y segundos ( $''$ ), se debe especificar si pertenece a la longitud este u oeste.

**FIGURA A5.39**  
**COORDENADAS GEOGRÁFICAS**



Al escoger la opción “Calculo de Distancia – Grados Decimales”, los datos del

punto a estimar, tanto latitud como longitud, deben introducirse, como su nombre lo indica en grados decimales ( $^{\circ}$ ); se debe especificar si la latitud es norte o sur y la longitud es este u oeste.

**FIGURA A5.40**  
**GRADOS DECIMALES**

Al haber introducido las coordenadas del punto a estimar, ya sea en coordenadas geográficas o en grados decimales, se pueden discriminar las estaciones con las que se quiere trabajar, ya sea por la altura a la que se encuentran y/o por la distancia al punto a estimar; al dar clic sobre “Buscar” aparecen todas las estaciones con las que se puede trabajar, o a su vez, si se ha cometido un error al ingresar las coordenadas del punto a estimar, se puede utilizar la opción “Limpiar” para borrar dichas coordenadas.

**FIGURA A5.41**  
**SELECCIÓN DE ESTACIONES Y MÉTODO DE INTERPOLACIÓN**

Código	Nombre	Altitud	Distancia	Latitud	Hemisferio	Longitud	Meridiano
<input type="checkbox"/> M002	La Tola	2490	34.889699	0.2294444	Sur	78.3666667	Oeste
<input type="checkbox"/> M003	Izobamba	3058	45.487601	0.3625	Sur	78.5530556	Oeste
<input type="checkbox"/> M009	La Victoria INE...	2200	45.028999	0.06	Sur	78.2005556	Oeste
<input checked="" type="checkbox"/> M024	Quito INAMHI	2789	49.025831	0.1666667	Sur	78.4833333	Oeste
<input type="checkbox"/> M113	Uyumbicho	2740	41.837672	0.3883333	Sur	78.5252778	Oeste
<input type="checkbox"/> M114	Tumbaco	2348	38.318504	0.2333333	Sur	78.4138889	Oeste
<input type="checkbox"/> M118	INIAP - Sup Por...	2758	40.19798	0.35	Sur	78.5	Oeste
<input checked="" type="checkbox"/> M120	Colopasi Clisen	3560	49.404705	0.6191667	Sur	78.5719444	Oeste
<input type="checkbox"/> M188	Papallacta	3150	10.901208	0.365	Sur	78.1447222	Oeste
<input type="checkbox"/> M343	El Quinche - Ft...	2605	43.261693	0.1022222	Sur	78.3033333	Oeste
<input type="checkbox"/> M346	Yaruqui INAMHI	2600	38.012166	0.1597222	Sur	78.3152778	Oeste
<input checked="" type="checkbox"/> M353	Riumpamba - Ft...	2940	29.0995	0.4275	Sur	78.4158333	Oeste
<input type="checkbox"/> M364	Loreto Pedregal	3620	31.380781	0.5613889	Sur	78.4263889	Oeste
<input type="checkbox"/> M490	Sardinas	1615	40.787374	0.3711111	Sur	77.8016667	Oeste
<input type="checkbox"/> P10	Camino Chespas	4264	4.527409	0.4919444	Sur	78.1844444	Oeste
<input type="checkbox"/> P11	Desaguadero	4264	5.115251	0.5033333	Sur	78.1772222	Oeste

Las estaciones con las que se desea trabajar pueden seleccionarse una a una o todas con la opción "Seleccionar todo". En esta misma ventana se debe escoger el método con el que se quiere realizar la estimación, a continuación se describe el procedimiento a seguir si se utilizan los métodos IDW o Kriging (KO), ya que el presente trabajo se realizó con estos métodos.

Si se escoge el método IDW, el espacio correspondiente a "Beta" es el exponente del método, como recomendación general se utiliza el valor 2, pero si se desea una explicación más detallada sírvase revisar el capítulo 4 "Fundamento Teórico". Se debe escoger el año y mes en el que se desea realizar la estimación, y especificar si la misma corresponde a "Temperatura Máxima", "Temperatura Mínima", "Temperatura Mensual" (que corresponde a la media mensual), o "Precipitación Suma" (que corresponde a la precipitación mensual acumulada).

Al dar clic sobre "Interpolar", aparece un valor frente a "Zi" que corresponde al valor estimado, además se muestran las estaciones que fueron utilizadas para el cálculo "Bases CON datos para la interpolación escogida" y las que, por no contar con datos para el periodo seleccionado, no fueron utilizadas en el cálculo "Bases SIN datos para la interpolación escogida".

**FIGURA A5.42**  
**MÉTODO IDW**

Si se escoge el método Kriging, se debe escoger el año y mes en el que se desea realizar la estimación, y especificar si la misma corresponde a “Temperatura Máxima”, “Temperatura Mínima”, “Temperatura Mensual” (que corresponde a la media mensual), o “Precipitación Suma” (que corresponde a la precipitación mensual acumulada). Y al dar clic sobre “Calcular Distancias y Varianzas” se presentan las distancias y varianzas correspondientes a cada par de las estaciones utilizadas para el cálculo, también se muestran las estaciones que por no contar con datos para el periodo seleccionado, no fueron utilizadas en el cálculo “Estaciones que NO están contempladas para la información de parejas”.

**FIGURA A5.43**  
**MÉTODO KO (1)**

Pares	Distancias (Km)	Varianzas (mm2)
El Suspeo y San Isidro - Guayas	63.07901	275.959991
El Suspeo y Cotopilalo convenio INAMHI CESA	295.427416	906.010023
El Suspeo y Morena	300.250105	3918.760048
El Suspeo y Totalizador	319.933967	4569.760052
El Suspeo y Antisana	319.772115	5270.760055
San Isidro - Guayas y Cotopilalo convenio INAMHI C...	253.426671	2180.889982
San Isidro - Guayas y Morena	314.279355	6272.63997
San Isidro - Guayas y Totalizador	314.070123	7089.639968
San Isidro - Guayas y Antisana	314.015904	7996.639966
Cotopilalo convenio INAMHI CESA y Morena	65.663476	1056.25
Cotopilalo convenio INAMHI CESA y Totalizador	65.280039	1406.25
Cotopilalo convenio INAMHI CESA y Antisana	65.049597	1806.25
Morena y Totalizador	0.594626	25
Morena y Antisana	1.13203	100
Totalizador y Antisana	0.54691	25

A continuación se debe dar clic sobre “Distancias (Km)”, para ordenar estos valores de manera ascendente, con lo cual se despliegan las opciones:

“Tamaño del Intervalo”, en el cual se recomienda poner un valor cercano a la menor distancia, para una explicación más detallada sírvase revisar el capítulo 4 “Fundamento Teórico”.

Y “Distancia Inicial”, la cual (al dar clic sobre ella), muestra el número de pares correspondiente a cada intervalo, así como su varianza y semivarianza, y permite la aparición de la opción “Graficar”.

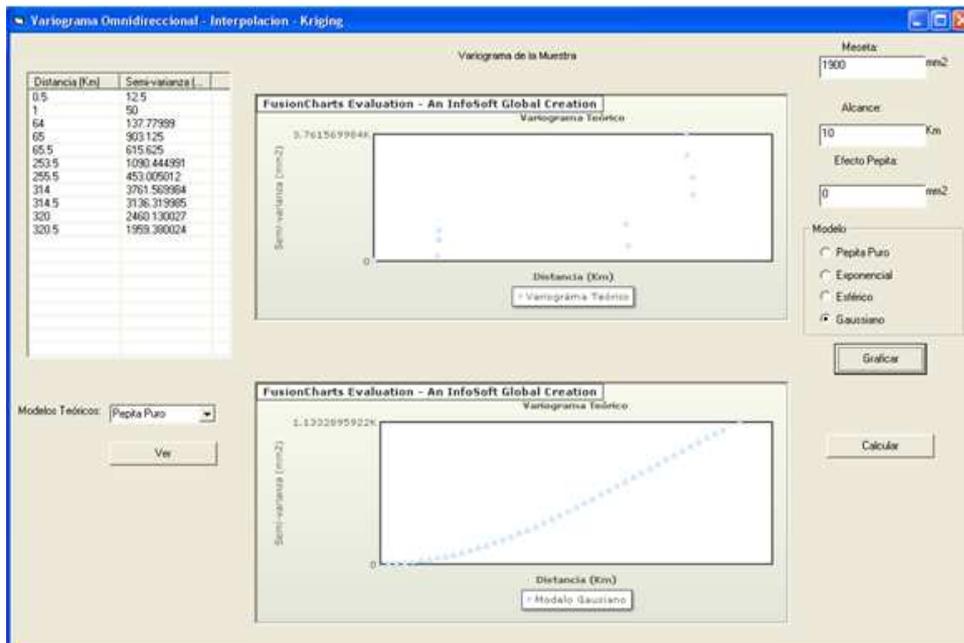
FIGURA A5.44  
MÉTODO KO (2)

FIGURA A5.45  
MÉTODO KO (3)

Al dar clic sobre “Graficar” se presenta una pantalla que contiene una gráfica del variograma experimental en la parte superior, las coordenadas de cada punto aparecen en la parte superior izquierda, y en la parte superior derecha se

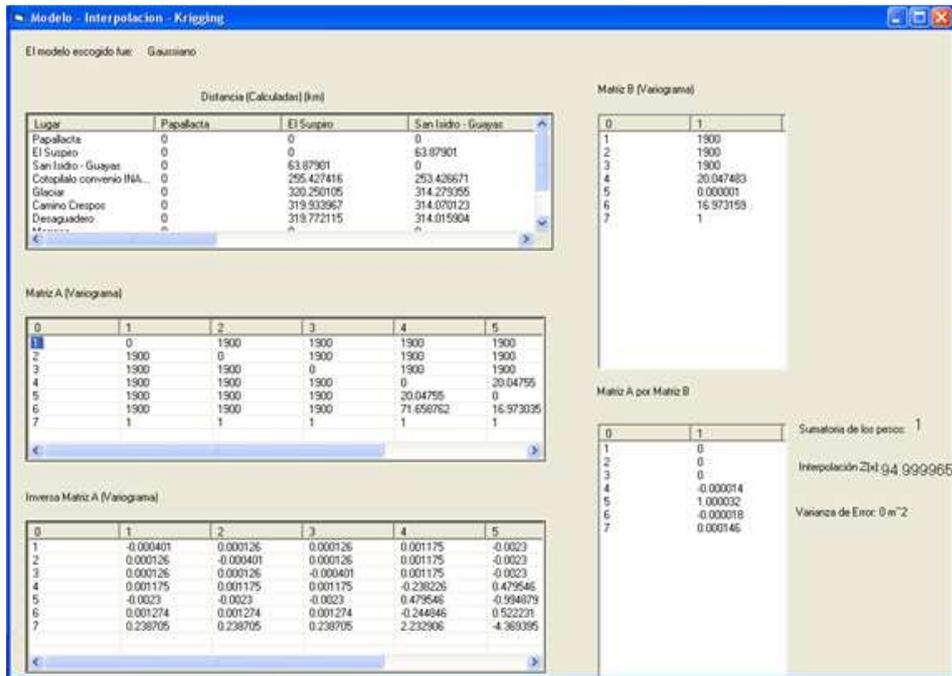
presentan las opciones “Meseta”, “Alcance” y “Efecto Pepita”, las mismas que deben llenarse con los valores que se consideren convenientes para ajustar el variograma experimental a uno teórico, cuyas definiciones se pueden revisar en la parte inferior izquierda; los valores de “Meseta”, “Alcance” y “Efecto Pepita”, así como el modelo teórico (“Modelo”) se pueden ir variando hasta que el gráfico del variograma teórico sea lo más parecido al variograma experimental, lo cual es realmente posible sólo en zonas homogéneas, se deben tener en cuenta las escalas de cada gráfico.

**FIGURA A5.46**  
**VARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y VARIOGRAMA TEÓRICO**



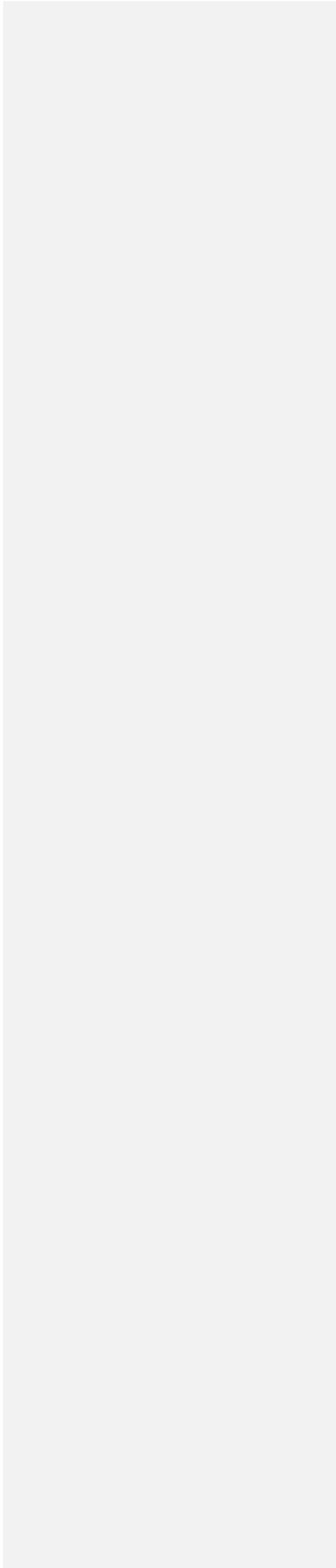
Cuando el usuario esté conforme con el variograma teórico, presionar “Calcular”, en seguida se abre una pantalla que muestra las matrices utilizadas en el cálculo, y el resultado de la estimación en “Interpolación  $Z(x)$ ”, además el método KO proporciona la “Varianza de Error”, y como comprobación extra se presenta la “Sumatoria de los pesos”, la cual debe ser igual a 1 si el método se está aplicando de manera correcta (ver capítulo 4 “Fundamento Teórico”).

**FIGURA A5.47**  
**RESULTADOS CON EL MÉTODO KO**



La manera de modificar o rellenar la base de datos se incluye en el archivo "Ayuda", gracias a la colaboración del Ing. Marco Calderón.

**ANEXO No6**  
**RESULTADOS DETALLADOS DE LA METODOLOGÍA**



El ejercicio 1 se realizó con las estaciones M002 La Tola, M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M113 Uyumbicho, M343 El Quinche - Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI, M364 Loreto Pedregal, Pglaciar y Ppáramo, para los meses en que todas las estaciones cuentan con datos de precipitación durante el periodo 1995 a 2007.

**FIGURA A6.1**

**EJERCICIO 1 - ESTIMACIÓN DE PGLACIAR CON EL MÉTODO IDW**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: PGLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Jul-96	79.00	2	90.55	14.62
Ene-98	103.87	2	36.21	-65.14
Feb-95	84.00	2	39.91	-52.48
Ago-01	45.00	2	50.30	11.77
Jul-04	104.50	2	73.59	-29.58
Ene-05	34.50	2	23.40	-32.16
Ene-06	213.00	2	38.77	-81.80
Nov-97	47.06	2	88.04	87.07
Dic-99	122.48	2	98.00	-19.99
Oct-97	85.00	2	55.69	-34.48
Sep-01	62.50	2	55.83	-10.67
Abr-00	150.31	2	116.53	-22.48
Mar-96	94.00	2	122.86	30.70
May-96	134.00	2	99.70	-25.59
May-04	152.50	2	102.60	-32.72
Ago-98	92.29	2	73.46	-20.40
May-02	210.75	2	104.23	-50.54
Dic-95	40.00	2	46.60	16.50
Mar-04	143.50	2	62.73	-56.28
Mar-99	82.84	2	84.79	2.35
Jul-03	67.50	2	53.85	-20.22
Jun-99	127.80	2	78.35	-38.70
Jul-05	54.59	2	59.49	8.99
Feb-98	85.89	2	39.72	-53.76
Feb-00	112.54	2	104.57	-7.08
Sep-05	33.00	2	25.89	-21.54
Nov-07	74.00	2	98.59	33.22
May-98	102.65	2	111.42	8.55
Abr-97	86.00	2	73.59	-14.43
Ene-03	33.75	2	31.86	-5.61

En este ejercicio se estimaron 30 valores de Pglaciar y 30 de Ppáramo, con los métodos IDW y KO; y además se estimaron los mismos 30 valores de Ppáramo

con los métodos IDW direccionado y KO direccionado.

**FIGURA A6.2**

**EJERCICIO 1 - ESTIMACIÓN DE PGLACIAR CON EL MÉTODO KO**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: PGLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Jul-96	79.00	4	Esf.	2000	52	0	94.70	0.000798	1	19.87
Ene-98	103.87	4	Esf.	1600	52	0	30.10	0.000639	1	-71.02
Feb-95	84.00	4	Esf.	780	52	0	39.90	0.000311	1	-52.50
Ago-01	45.00	4	Esf.	800	52	0	54.94	0.000319	1	22.08
Jul-04	104.50	4	Esf.	1600	52	0	74.58	0.000639	1	-28.63
Ene-05	34.50	4	Esf.	4400	52	0	15.00	0.001756	1	-56.52
Ene-06	213.00	4	Esf.	2500	52	0	29.04	0.000998	1	-86.36
Nov-97	47.06	4	Esf.	9000	52	0	76.17	0.003592	1	61.83
Dic-99	122.48	4	Esf.	6000	52	0	80.18	0.002395	1	-34.53
Oct-97	85.00	4	Esf.	3000	52	0	55.18	0.001197	1	-35.09
Sep-01	62.50	4	Esf.	1500	52	0	59.38	0.000599	1	-5.00
Abr-00	150.31	4	Esf.	5000	52	0	110.70	0.001996	1	-26.35
Mar-96	94.00	4	Esf.	3000	52	0	115.16	0.001197	1	22.51
May-96	134.00	4	Esf.	2600	52	0	93.87	0.001038	1	-29.95
May-04	152.50	4	Esf.	3000	52	0	101.40	0.001197	1	-33.51
Ago-98	92.29	4	Esf.	1600	52	0	74.78	0.000639	1	-18.97
May-02	210.75	4	Esf.	3000	52	0	102.01	0.001197	1	-51.60
Dic-95	40.00	4	Esf.	2000	52	0	43.78	0.000798	1	9.44
Mar-04	143.50	4	Esf.	850	52	0	61.35	0.000339	1	-57.25
Mar-99	82.84	4	Esf.	9000	52	0	73.05	0.003592	1	-11.82
Jul-03	67.50	4	Esf.	750	52	0	57.24	0.000299	1	-15.20
Jun-99	127.80	4	Esf.	3500	52	0	72.44	0.002308	1	-43.32
Jul-05	54.59	4	Esf.	1500	52	0	57.35	0.000599	1	5.07
Feb-98	85.89	4	Esf.	3600	52	0	30.41	0.001437	1	-64.60
Feb-00	112.54	4	Esf.	4000	52	0	93.20	0.001597	1	-17.18
Sep-05	33.00	4	Esf.	900	52	0	26.56	0.000359	1	-19.50
Nov-07	74.00	4	Esf.	13000	52	0	85.18	0.005189	1	15.10
May-98	102.65	4	Esf.	4000	52	0	106.80	0.001597	1	4.05
Abr-97	86.00	4	Esf.	3000	52	0	68.92	0.001197	1	-19.86
Ene-03	33.75	4	Esf.	2200	52	0	28.10	0.000878	1	-16.73

FIGURA A6.3

## EJERCICIO 1 - ESTIMACIÓN DE PPÁRAMO CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: PPÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Feb-07	40.00	2	35.80	-10.51
Sep-02	12.00	2	32.80	173.29
Oct-06	46.00	2	76.72	66.79
May-99	72.00	2	135.20	87.78
Feb-05	83.00	2	115.38	39.01
Abr-99	118.00	2	221.22	87.47
May-97	74.00	2	103.91	40.42
Ago-04	78.00	2	30.73	-60.60
Dic-04	45.00	2	78.04	73.43
Oct-98	43.00	2	95.21	121.42
Sep-03	23.00	2	41.55	80.64
Sep-07	60.00	2	14.41	-75.98
Mar-97	70.00	2	135.76	93.94
Jul-01	90.00	2	106.69	18.55
Dic-96	54.00	2	61.27	13.46
Nov-04	23.00	2	83.09	261.28
Nov-05	36.00	2	102.53	184.81
Jul-07	39.00	2	37.65	-3.47
Feb-99	79.00	2	149.96	89.83
Dic-00	51.00	2	65.30	28.04
May-01	25.00	2	68.52	174.07
Ago-95	58.00	2	60.34	4.03
Jun-03	58.00	2	93.94	61.96
Abr-96	113.00	2	223.28	97.60
Ago-02	59.00	2	76.69	29.99
Oct-95	31.00	2	69.29	123.51
Ene-00	49.00	2	111.86	128.29
Jun-05	81.00	2	116.12	43.36
Dic-05	151.00	2	174.38	15.48
Ene-02	28.00	2	57.00	103.58

**FIGURA A6.4**  
**EJERCICIO 1 - ESTIMACIÓN DE PPÁRAMO CON EL MÉTODO KO**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: PPÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Feb-07	40.00	4	Esf.	550	52	0	36.73	0.000195	1	-8.16
Sep-02	12.00	4	Esf.	130	52	0	33.72	0.000046	1	181.04
Oct-06	46.00	4	Esf.	1150	52	0	79.68	0.000407	1	73.22
May-99	72.00	4	Esf.	6000	52	0	138.75	0.002122	1	92.71
Feb-05	83.00	4	Esf.	5800	52	0	117.30	0.002051	1	41.33
Abr-99	118.00	4	Esf.	8000	52	0	214.24	0.002829	1	81.56
May-97	74.00	4	Esf.	2000	52	0	105.30	0.000707	1	42.30
Ago-04	78.00	4	Esf.	500	52	0	34.62	0.000177	1	-55.61
Dic-04	45.00	4	Esf.	4000	52	0	79.60	0.001415	1	76.88
Oct-98	43.00	4	Esf.	8500	52	0	108.78	0.003006	1	152.98
Sep-03	23.00	4	Esf.	2400	52	0	45.93	0.000849	1	99.68
Sep-07	60.00	4	Esf.	50	52	0	14.40	0.000018	1	-75.99
Mar-97	70.00	4	Esf.	8000	52	0	152.98	0.002829	1	118.54
Jul-01	90.00	4	Esf.	4700	52	0	103.31	0.001662	1	14.79
Dic-96	54.00	4	Esf.	9000	52	0	81.39	0.003183	1	50.73
Nov-04	23.00	4	Esf.	4500	52	0	89.57	0.001591	1	289.42
Nov-05	36.00	4	Esf.	2500	52	0	111.28	0.000884	1	209.11
Jul-07	39.00	4	Esf.	1100	52	0	40.50	0.000389	1	3.84
Feb-99	79.00	4	Esf.	7000	52	0	158.74	0.002476	1	100.93
Dic-00	51.00	4	Esf.	3500	52	0	77.87	0.001238	1	52.68
May-01	25.00	4	Esf.	1500	52	0	75.22	0.00053	1	200.87
Ago-95	58.00	4	Esf.	2500	52	0	68.83	0.000884	1	18.67
Jun-03	58.00	4	Esf.	2200	52	0	97.12	0.000778	1	67.44
Abr-96	113.00	4	Esf.	5000	52	0	225.54	0.001768	1	99.59
Ago-02	59.00	4	Esf.	1800	52	0	78.08	0.000637	1	32.34
Oct-95	31.00	4	Esf.	1500	52	0	68.36	0.00053	1	120.52
Ene-00	49.00	4	Esf.	8800	52	0	131.11	0.003112	1	167.57
Jun-05	81.00	4	Esf.	2600	52	0	113.71	0.00092	1	40.39
Dic-05	151.00	4	Esf.	5000	52	0	185.03	0.001768	1	22.54
Ene-02	28.00	4	Esf.	6500	52	0	74.86	0.002299	1	167.37

FIGURA A6.5

## EJERCICIO 1 - ESTIMACIÓN DE PPÁRAMO CON EL MÉTODO IDW DIRECCIONADO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: PPÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW DIRECCIONADO				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Feb-07	40.00	2	33.75	-15.62
Sep-02	12.00	2	33.79	181.55
Oct-06	46.00	2	74.52	61.99
May-99	72.00	2	133.36	85.22
Feb-05	83.00	2	104.70	26.14
Abr-99	118.00	2	238.39	102.03
May-97	74.00	2	106.10	43.37
Ago-04	78.00	2	32.69	-58.09
Dic-04	45.00	2	66.49	47.75
Oct-98	43.00	2	81.98	90.65
Sep-03	23.00	2	33.64	46.26
Sep-07	60.00	2	14.52	-75.80
Mar-97	70.00	2	127.29	81.84
Jul-01	90.00	2	121.37	34.85
Dic-96	54.00	2	48.49	-10.20
Nov-04	23.00	2	72.25	214.11
Nov-05	36.00	2	99.05	175.14
Jul-07	39.00	2	34.31	-12.01
Feb-99	79.00	2	138.24	74.98
Dic-00	51.00	2	59.70	17.05
May-01	25.00	2	65.76	163.05
Ago-95	58.00	2	54.23	-6.50
Jun-03	58.00	2	92.93	60.22
Abr-96	113.00	2	228.95	102.61
Ago-02	59.00	2	85.99	45.74
Oct-95	31.00	2	64.66	108.58
Ene-00	49.00	2	97.87	99.73
Jun-05	81.00	2	126.31	55.94
Dic-05	151.00	2	169.37	12.16
Ene-02	28.00	2	44.97	60.62

FIGURA A6.6

## EJERCICIO 1 - ESTIMACIÓN DE PPÁRAMO CON EL MÉTODO KO DIRECCIONADO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)											
ESTACIÓN A ESTIMAR: PPÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO DIRECCIONADO											
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)	
Feb-07	40.00	6	Esf.	700	48	0	33.25	0.000306	1	-16.87	
Sep-02	12.00	6	Esf.	220	48	0	33.06	0.000096	1	175.49	
Oct-06	46.00	6	Esf.	1800	48	0	72.72	0.000787	1	58.08	
May-99	72.00	6	Esf.	4500	48	0	127.97	0.001967	1	77.74	
Feb-05	83.00	6	Esf.	3800	48	0	102.34	0.001661	1	23.31	
Abr-99	118.00	6	Esf.	10000	48	0	234.03	0.00437	1	98.33	
May-97	74.00	6	Esf.	2800	48	0	102.42	0.001224	1	38.41	
Ago-04	78.00	6	Esf.	450	48	0	31.74	0.000197	1	-59.31	
Dic-04	45.00	6	Esf.	1300	48	0	70.11	0.000568	1	55.81	
Oct-98	43.00	6	Esf.	2200	48	0	79.15	0.000961	1	84.08	
Sep-03	23.00	6	Esf.	1000	48	0	34.98	0.000437	1	52.09	
Sep-07	60.00	6	Esf.	90	48	0	14.57	0.000039	1	-75.72	
Mar-97	70.00	6	Esf.	5800	48	0	124.21	0.002535	1	77.44	
Jul-01	90.00	6	Esf.	5500	48	0	118.84	0.002404	1	32.05	
Dic-96	54.00	6	Esf.	28	48	0	49.11	0.000012	1	-9.05	
Nov-04	23.00	6	Esf.	3500	48	0	73.48	0.00153	1	219.47	
Nov-05	36.00	6	Esf.	1500	48	0	96.45	0.000656	1	167.92	
Jul-07	39.00	6	Esf.	400	48	0	32.92	0.000175	1	-15.59	
Feb-99	79.00	6	Esf.	6000	48	0	137.00	0.002622	1	73.41	
Dic-00	51.00	6	Esf.	1000	48	0	59.74	0.000437	1	17.13	
May-01	25.00	6	Esf.	1300	48	0	65.59	0.000568	1	162.35	
Ago-95	58.00	6	Esf.	1000	48	0	53.61	0.000437	1	-7.56	
Jun-03	58.00	6	Esf.	2200	48	0	91.41	0.000961	1	57.60	
Abr-96	113.00	6	Esf.	6200	48	0	224.11	0.00271	1	98.33	
Ago-02	59.00	6	Esf.	3200	48	0	83.96	0.001398	1	42.31	
Oct-95	31.00	6	Esf.	3000	48	0	68.34	0.001311	1	120.44	
Ene-00	49.00	6	Esf.	3500	48	0	100.59	0.00153	1	105.29	
Jun-05	81.00	6	Esf.	5500	48	0	120.98	0.002404	1	49.35	
Dic-05	151.00	6	Esf.	2500	48	0	167.28	0.001093	1	10.78	
Ene-02	28.00	6	Esf.	100	48	0	44.45	0.000044	1	58.75	

El ejercicio 2 se realizó con las estaciones M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M188 Papallacta, M343 El Quinche – Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI, M490 Sardinas, P5 Mica, Pglaciar y Ppáramo, para los meses en que todas las estaciones cuentan con datos de precipitación durante el periodo 1995 a 1998.

En este ejercicio se estimaron 5 valores de M188 Papallacta, 5 de Pglaciar, 5 de P5 Mica y 5 de Ppáramo, con los métodos IDW y KO.

FIGURA A6.7

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE M188 PAPALLACTA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: PGLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Mar-97	126.00	2	73.35	-41.78
Jul-96	79.00	2	116.68	47.70
Oct-95	57.00	2	41.36	-27.43
Nov-96	39.00	2	37.45	-3.97
Mar-98	91.42	2	71.21	-22.11

FIGURA A6.8

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE M188 PAPALLACTA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: M188 PAPALLACTA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Jul-97	226.70	1.8	Esf.	12000	82.8	0	64.99	0.003561	1	-71.33
Ene-98	66.40	1.8	Esf.	3800	82.8	0	93.58	0.001128	1	40.94
Feb-95	27.50	1.8	Esf.	1200	82.8	0	67.72	0.000356	1	146.24
Oct-96	44.40	1.8	Esf.	4200	82.8	0	48.29	0.001246	1	8.76
Sep-95	71.10	1.8	Esf.	17000	82.8	0	54.66	0.005044	1	-23.13

FIGURA A6.9

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE PGLACIAR CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: PGLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Mar-97	126.00	2	73.35	-41.78
Jul-96	79.00	2	116.68	47.70
Oct-95	57.00	2	41.36	-27.43
Nov-96	39.00	2	37.45	-3.97
Mar-98	91.42	2	71.21	-22.11

FIGURA A6.10

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE PGLACIAR CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: PGLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Mar-97	126.00	1.8	Esf.	15000	82.8	0	72.31	0.002561	1	-42.61
Jul-96	79.00	1.8	Esf.	30000	82.8	0	179.29	0.005123	1	126.95
Oct-95	57.00	1.8	Esf.	7000	82.8	0	40.95	0.001195	1	-28.16
Nov-96	39.00	1.8	Esf.	8000	82.8	0	45.29	0.001366	1	16.14
Mar-98	91.42	1.8	Esf.	6800	82.8	0	77.24	0.001161	1	-15.51

FIGURA A6.11

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE P5 MICA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P5 MICA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
May-97	103.10	2	76.86	-25.45
Jul-95	64.30	2	60.69	-5.62
Sep-97	54.40	2	44.96	-17.36
Ago-98	53.50	2	82.49	54.18
Ene-96	61.10	2	41.14	-32.67

FIGURA A6.12

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE P5 MICA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P5 MICA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
May-97	103.10	6.5	Esf.	50000	84.5	0	74.86	0.00323	1	-27.39
Jul-95	64.30	6.5	Esf.	20000	84.5	0	57.70	0.001292	1	-10.27
Sep-97	54.40	6.5	Esf.	3800	84.5	0	43.82	0.000245	1	-19.45
Ago-98	53.50	6.5	Esf.	12000	84.5	0	81.74	0.000775	1	52.79
Ene-96	61.10	6.5	Esf.	3500	84.5	0	44.05	0.000226	1	-27.91

FIGURA A6.13

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE PPÁRAMO CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: PPÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Jun-96	54.00	2	68.67	27.17
Feb-97	88.00	2	26.86	-69.48
Jun-95	67.00	2	68.71	2.55
May-98	103.00	2	78.78	-23.52
Mar-96	112.00	2	78.59	-29.83

FIGURA A6.14

## EJERCICIO 2 - ESTIMACIÓN DE PPÁRAMO CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: PPÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Jun-96	54.00	6.5	Esf.	18500	84.5	0	69.05	0.000982	1	27.87
Feb-97	88.00	6.5	Esf.	30000	84.5	0	43.37	0.001593	1	-50.72
Jun-95	67.00	6.5	Esf.	32000	84.5	0	71.02	0.001699	1	6.00
May-98	103.00	6.5	Esf.	18000	84.5	0	81.27	0.000956	1	-21.09
Mar-96	112.00	6.5	Esf.	3800	84.5	0	80.47	0.000202	1	-28.15

El ejercicio 3 se realizó con las estaciones P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica, P6 Humboldt, P7 Crespos, P8 Crespos Morrena, P9 Páramo, P10 Camino Crespos y P11 Desaguadero, para los meses en que todas las estaciones cuentan con datos de precipitación durante el periodo 2001 a 2007.

Este ejercicio, a su vez, fue dividido en tres partes, ya que no todas las estaciones cuentan con datos para el 2001, sino más bien para periodos posteriores.

En la primera parte (a) de este ejercicio, se estimaron 10 valores de P0 Glaciar, 10 de P2 Morrena, 10 de P3 Totalizador, 10 de P4 Antisana, 10 de P5 Mica y 10

de P6 Humboldt; contando para estas estimaciones con el mismo grupo de estaciones, omitiendo la estación a estimar.

En la segunda parte (b), se estimaron 10 valores de P7 Crespos, 10 de P8 Crespos Morrena, 10 de P9 Páramo, 10 de P10 Camino Crespos y 10 de P11 Desaguadero; teniendo como base las estaciones P0 Glaciar, P2 Morrena, P3 Totalizador, P4 Antisana, P5 Mica y P6 Humboldt, y estimando cada estación a la vez.

En la tercera parte (c), se quiso hacer incapié en la mayor correlación entre estaciones, por ello se estimaron 10 valores de P0 Glaciar, 10 de P2 Morrena, 10 de P3 Totalizador y 10 de P4 Antisana, teniendo como base las mismas estaciones, las cuales conforman el Eje Glaciar 15, omitiendo la estación a estimar.

#### FIGURA A6.15

##### EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P0 GLACIAR CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P0 GLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Jun-03	90.00	2	85.16	-5.38
Feb-04	84.00	2	48.87	-41.82
Sep-06	77.00	2	59.81	-22.32
Feb-02	120.00	2	168.83	40.69
Dic-02	70.00	2	55.89	-20.15
Oct-06	75.00	2	68.79	-8.28
Jul-05	61.83	2	43.23	-30.07
Jun-07	140.00	2	237.34	69.53
Ene-06	220.00	2	169.04	-23.16
Mar-06	145.00	2	130.40	-10.07

FIGURA A6.16

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P0 GLACIAR CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P0 GLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Jun-03	90.00	0.5	Esf.	1250	9.5	0	78.42	0.000154	1	-12.86
Feb-04	84.00	0.5	Esf.	1050	9.5	0	45.27	0.000129	1	-46.11
Sep-06	77.00	0.5	Esf.	2800	9.5	0	39.22	0.000344	1	-49.07
Feb-02	120.00	0.5	Esf.	8000	9.5	0	160.07	0.000983	1	33.39
Dic-02	70.00	0.5	Esf.	150	9.5	0	54.56	0.000018	1	-22.06
Oct-06	75.00	0.5	Esf.	300	9.5	0	67.21	0.000037	1	-10.38
Jul-05	61.83	0.5	Esf.	1200	9.5	0	41.30	0.000147	1	-33.19
Jun-07	140.00	0.5	Esf.	1000	9.5	0	237.09	0.000123	1	69.35
Ene-06	220.00	0.5	Esf.	13300	9.5	0	154.14	0.001634	1	-29.94
Mar-06	145.00	0.5	Esf.	1050	9.5	0	128.38	0.000129	1	-11.46

FIGURA A6.17

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P2 MORRENA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P2 MORRENA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Jul-03	45.00	2	69.86	55.25
Nov-02	107.35	2	127.55	18.81
May-05	102.09	2	110.08	7.82
Oct-01	25.00	2	54.69	118.76
Ago-05	15.00	2	16.42	9.47
Jul-04	70.00	2	107.26	53.23
Nov-04	75.00	2	68.31	-8.92
May-02	168.00	2	222.92	32.69
Ene-04	17.00	2	29.47	73.37
Jul-06	10.00	2	36.49	264.86

FIGURA A6.18

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P2 MORRENA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P2 MORRENA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Jul-03	45.00	0.5	Esf.	400	9.5	0	65.20	0.00003	1	44.90
Nov-02	107.35	0.5	Esf.	3700	9.5	0	124.68	0.000279	1	16.14
May-05	102.09	0.5	Esf.	1500	9.5	0	105.26	0.000113	1	3.10
Oct-01	25.00	0.5	Esf.	800	9.5	0	54.01	0.00006	1	116.06
Ago-05	15.00	0.5	Esf.	300	9.5	0	14.53	0.000023	1	-3.14
Jul-04	70.00	0.5	Esf.	1300	9.5	0	102.12	0.000098	1	45.89
Nov-04	75.00	0.5	Esf.	850	9.5	0	69.95	0.000064	1	-6.73
May-02	168.00	0.5	Esf.	6050	9.5	0	224.04	0.000457	1	33.35
Ene-04	17.00	0.5	Esf.	350	9.5	0	27.37	0.000026	1	60.97
Jul-06	10.00	0.5	Esf.	400	9.5	0	31.59	0.00003	1	215.92

FIGURA A6.19

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P3 TOTALIZADOR CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P3 TOTALIZADOR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Nov-05	104.95	2	107.53	2.46
Mar-04	138.00	2	153.72	11.39
Jul-01	120.00	2	142.66	18.88
Abr-07	135.00	2	134.30	-0.52
Mar-05	100.00	2	110.98	10.98
Feb-05	115.00	2	103.60	-9.91
Ago-02	83.00	2	101.90	22.77
Jul-02	40.00	2	53.33	33.31
Feb-03	50.00	2	58.10	16.19
Dic-06	65.00	2	56.85	-12.55

FIGURA A6.20

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P3 TOTALIZADOR CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P3 TOTALIZADOR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Nov-05	104.95	0.5	Esf.	2000	10	0	109.99	0.000173	1	4.80
Mar-04	138.00	0.5	Esf.	6000	10	0	155.33	0.000518	1	12.56
Jul-01	120.00	0.5	Esf.	1900	10	0	141.78	0.000164	1	18.15
Abr-07	135.00	0.5	Esf.	650	10	0	139.68	0.000056	1	3.47
Mar-05	100.00	0.5	Esf.	950	10	0	110.80	0.000082	1	10.80
Feb-05	115.00	0.5	Esf.	300	10	0	103.25	0.000026	1	-10.21
Ago-02	83.00	0.5	Esf.	1500	10	0	99.59	0.000129	1	19.99
Jul-02	40.00	0.5	Esf.	500	10	0	52.67	0.000043	1	31.67
Feb-03	50.00	0.5	Esf.	750	10	0	56.08	0.000065	1	12.17
Dic-06	65.00	0.5	Esf.	900	10	0	61.42	0.000078	1	-5.51

FIGURA A6.21

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P4 ANTISANA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P4 ANTISANA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Sep-01	80.00	2	57.50	-28.12
May-03	160.00	2	109.30	-31.69
May-04	180.00	2	149.09	-17.17
Abr-05	274.13	2	229.99	-16.10
Dic-03	150.00	2	106.42	-29.05
Nov-03	48.00	2	40.18	-16.29
Jun-01	121.00	2	88.19	-27.11
Abr-06	120.00	2	118.09	-1.59
Mar-03	180.00	2	147.79	-17.90
Oct-05	40.00	2	47.32	18.31

FIGURA A6.22

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P4 ANTISANA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P4 ANTISANA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Sep-01	80.00	0.5	Esf.	130	10	0	59.37	0.000021	1	-25.79
May-03	160.00	0.5	Esf.	2200	10	0	110.76	0.000352	1	-30.77
May-04	180.00	0.5	Esf.	1200	10	0	152.02	0.000192	1	-15.54
Abr-05	274.13	0.5	Esf.	2500	10	0	235.36	0.000399	1	-14.14
Dic-03	150.00	0.5	Esf.	730	10	0	107.56	0.000117	1	-28.29
Nov-03	48.00	0.5	Esf.	11	10	0	40.04	0.000002	1	-16.58
Jun-01	121.00	0.5	Esf.	750	10	0	91.01	0.00012	1	-24.78
Abr-06	120.00	0.5	Esf.	450	10	0	118.22	0.000072	1	-1.48
Mar-03	180.00	0.5	Esf.	3200	10	0	146.03	0.000511	1	-18.87
Oct-05	40.00	0.5	Esf.	750	10	0	49.27	0.00012	1	23.17

FIGURA A6.23

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P5 MICA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P5 MICA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Nov-01	20.00	2	53.26	166.29
Ene-05	10.00	2	17.57	75.68
May-07	40.00	2	57.26	43.15
Abr-01	85.00	2	135.00	58.82
Abr-02	120.00	2	123.16	2.63
Feb-06	17.00	2	32.90	93.55
Ago-06	40.00	2	31.20	-22.00
Sep-03	24.00	2	23.11	-3.70
Ago-03	20.00	2	15.14	-24.30
Oct-02	99.00	2	57.45	-41.97

FIGURA A6.24

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P5 MICA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P5 MICA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Nov-01	20.00	0.5	Esf.	270	8	0	52.45	0.000168	1	162.24
Ene-05	10.00	0.5	Esf.	160	8	0	19.37	0.0001	1	93.69
May-07	40.00	0.5	Esf.	2300	8	0	55.21	0.001431	1	38.03
Abr-01	85.00	0.5	Esf.	2500	8	0	143.60	0.001556	1	68.94
Abr-02	120.00	0.5	Esf.	480	8	0	127.02	0.000299	1	5.85
Feb-06	17.00	0.5	Esf.	200	8	0	34.37	0.000124	1	102.18
Ago-06	40.00	0.5	Esf.	260	8	0	34.15	0.000162	1	-14.64
Sep-03	24.00	0.5	Esf.	40	8	0	24.02	0.000025	1	0.08
Ago-03	20.00	0.5	Esf.	18	8	0	15.52	0.000011	1	-22.41
Oct-02	99.00	0.5	Esf.	60	8	0	58.86	0.000037	1	-40.54

FIGURA A6.25

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P6 HUMBOLDT CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P6 HUMBOLDT MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Ene-02	30.00	2	28.93	-3.56
Ago-01	71.00	2	27.84	-60.79
Abr-03	55.00	2	74.21	34.93
Sep-04	20.00	2	47.16	135.81
Sep-05	26.55	2	22.53	-15.15
Nov-06	100.00	2	95.95	-4.05
Oct-04	50.00	2	49.82	-0.35
Abr-04	104.00	2	94.18	-9.44
May-06	54.00	2	29.38	-45.60
Jun-02	90.00	2	67.72	-24.76

FIGURA A6.26

## EJERCICIO 3A - ESTIMACIÓN DE P6 HUMBOLDT CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P6 HUMBOLDT MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Ene-02	30.00	0.5	Esf.	700	10	0	29.84	0.000341	1	-0.52
Ago-01	71.00	0.5	Esf.	60	10	0	53.74	0.000029	1	-24.31
Abr-03	55.00	0.5	Esf.	180	10	0	74.45	0.000088	1	35.36
Sep-04	20.00	0.5	Esf.	45	10	0	47.19	0.000022	1	135.95
Sep-05	26.55	0.5	Esf.	250	10	0	23.38	0.000122	1	-11.93
Nov-06	100.00	0.5	Esf.	600	10	0	95.70	0.000292	1	-4.30
Oct-04	50.00	0.5	Esf.	450	10	0	50.49	0.000219	1	0.98
Abr-04	104.00	0.5	Esf.	1300	10	0	95.97	0.000634	1	-7.72
May-06	54.00	0.5	Esf.	1200	10	0	28.62	0.000585	1	-46.99
Jun-02	90.00	0.5	Esf.	400	10	0	70.83	0.000195	1	-21.30

FIGURA A6.27

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P7 CRESPOS CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P7 CRESPOS MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Abr-03	70.00	2	88.03	25.75
Feb-06	50.00	2	48.53	-2.95
Oct-03	73.00	2	85.92	17.69
May-07	55.00	2	67.11	22.02
Jun-04	48.00	2	65.38	36.22
May-05	153.28	2	105.74	-31.02
Jul-05	95.00	2	56.58	-40.44
May-06	22.64	2	65.72	190.23
Abr-06	88.00	2	113.62	29.11
Jun-07	195.00	2	205.10	5.18

FIGURA A6.28

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P7 CRESPOS CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P7 CRESPOS MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Abr-03	70.00	0.5	Esf.	600	10	0	77.34	0.00036	1	10.48
Feb-06	50.00	0.5	Esf.	450	10	0	45.41	0.00027	1	-9.17
Oct-03	73.00	0.5	Esf.	200	10	0	89.69	0.00012	1	22.87
May-07	55.00	0.5	Esf.	1700	10	0	51.68	0.001021	1	-6.03
Jun-04	48.00	0.5	Esf.	1000	10	0	73.44	0.000601	1	52.99
May-05	153.28	0.5	Esf.	1000	10	0	99.31	0.000601	1	-35.21
Jul-05	95.00	0.5	Esf.	800	10	0	76.96	0.000481	1	-18.99
May-06	22.64	0.5	Esf.	700	10	0	65.44	0.00042	1	189.01
Abr-06	88.00	0.5	Esf.	500	10	0	106.24	0.0003	1	20.73
Jun-07	195.00	0.5	Esf.	1600	10	0	182.42	0.000961	1	-6.45

FIGURA A6.29

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P8 CRESPOS MORRENA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P8 CRESPOS MORRENA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Ago-06	29.00	2	37.49	29.28
Jun-06	82.00	2	115.32	40.63
Mar-06	98.32	2	131.79	34.05
Mar-07	55.00	2	66.56	21.03
Jul-06	26.01	2	29.72	14.22
Dic-06	100.00	2	56.86	-43.14
Feb-06	21.85	2	49.16	125.02
Oct-06	62.00	2	69.48	12.06
Sep-06	78.00	2	92.33	18.38
Abr-07	125.00	2	124.54	-0.37

FIGURA A6.30

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P8 CRESPOS MORRENA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P8 CRESPOS MORRENA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Ago-06	29.00	0.5	Esf.	230	10	0	40.54	0.000137	1	39.79
Jun-06	82.00	0.5	Esf.	200	10	0	116.89	0.000119	1	42.54
Mar-06	98.32	0.5	Esf.	1200	10	0	125.84	0.000716	1	28.00
Mar-07	55.00	0.5	Esf.	1000	10	0	49.76	0.000596	1	-9.53
Jul-06	26.01	0.5	Esf.	280	10	0	35.56	0.000167	1	36.70
Dic-06	100.00	0.5	Esf.	1000	10	0	57.61	0.000596	1	-42.39
Feb-06	21.85	0.5	Esf.	400	10	0	45.36	0.000239	1	107.61
Oct-06	62.00	0.5	Esf.	330	10	0	66.62	0.000197	1	7.46
Sep-06	78.00	0.5	Esf.	2200	10	0	91.73	0.001312	1	17.60
Abr-07	125.00	0.5	Esf.	600	10	0	104.88	0.000358	1	-16.10

FIGURA A6.31

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P9 PÁRAMO CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)					
ESTACIÓN A ESTIMAR: P9 PÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW					
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)	
May-06	47.98	2	58.66	22.26	
Ago-06	29.00	2	36.89	27.20	
Ene-06	40.00	2	143.49	258.72	
Mar-07	35.00	2	62.95	79.86	
Jul-06	10.00	2	29.29	192.86	
Nov-06	110.00	2	87.49	-20.46	
Jun-07	60.00	2	201.16	235.27	
Nov-05	186.00	2	76.93	-58.64	
Jul-07	40.00	2	39.13	-2.17	
May-07	53.00	2	65.19	23.01	

FIGURA A6.32

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P9 PÁRAMO CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P9 PÁRAMO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
May-06	47.98	0.5	Esf.	800	10	0	62.41	0.000491	1	30.07
Ago-06	29.00	0.5	Esf.	250	10	0	40.07	0.000154	1	38.16
Ene-06	40.00	0.5	Esf.	12000	10	0	134.35	0.007368	1	235.87
Mar-07	35.00	0.5	Esf.	1000	10	0	67.97	0.000614	1	94.21
Jul-06	10.00	0.5	Esf.	350	10	0	37.10	0.000215	1	270.96
Nov-06	110.00	0.5	Esf.	350	10	0	90.36	0.000215	1	-17.85
Jun-07	60.00	0.5	Esf.	1500	10	0	192.31	0.000921	1	220.52
Nov-05	186.00	0.5	Esf.	1800	10	0	73.52	0.001105	1	-60.47
Jul-07	40.00	0.5	Esf.	150	10	0	46.65	0.000092	1	16.62
May-07	53.00	0.5	Esf.	1800	10	0	74.36	0.001105	1	40.31

FIGURA A6.33

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P10 CAMINO CRESPOS CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)					
ESTACIÓN A ESTIMAR: P10 CAMINO CRESPOS MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW					
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)	
Abr-06	80.00	2	103.88	29.85	
Ene-06	60.00	2	138.37	130.62	
May-07	50.00	2	63.26	26.53	
Jun-07	170.00	2	200.15	17.73	
Mar-06	90.00	2	114.40	27.11	
Jun-06	100.00	2	116.29	16.29	
May-06	70.00	2	58.32	-16.68	
Jul-06	26.13	2	28.80	10.23	
Sep-06	55.00	2	85.26	55.01	
Nov-06	108.00	2	87.78	-18.72	

FIGURA A6.34

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P10 CAMINO CRESPOS CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P10 CAMINO CRESPOS MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Abr-06	80.00	0.5	Esf.	400	10	0	96.72	0.00024	1	20.90
Ene-06	60.00	0.5	Esf.	13000	10	0	119.84	0.007805	1	99.73
May-07	50.00	0.5	Esf.	2000	10	0	62.14	0.001201	1	24.28
Jun-07	170.00	0.5	Esf.	1500	10	0	187.60	0.000901	1	10.35
Mar-06	90.00	0.5	Esf.	1300	10	0	108.33	0.000781	1	20.36
Jun-06	100.00	0.5	Esf.	180	10	0	122.76	0.000108	1	22.76
May-06	70.00	0.5	Esf.	700	10	0	62.18	0.00042	1	-11.17
Jul-06	26.13	0.5	Esf.	300	10	0	33.97	0.00018	1	30.00
Sep-06	55.00	0.5	Esf.	2200	10	0	89.04	0.001321	1	61.89
Nov-06	108.00	0.5	Esf.	340	10	0	89.10	0.000204	1	-17.50

FIGURA A6.35

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P11 DESAGUADERO CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P11 DESAGUADERO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Jul-06	5.35	2	28.52	433.32
Feb-06	26.74	2	40.53	51.60
Abr-06	65.00	2	103.95	59.92
May-06	35.00	2	57.74	64.97
Dic-06	35.00	2	71.44	104.12
Jul-07	40.00	2	38.68	-3.29
May-07	75.00	2	61.46	-18.05
Sep-06	25.00	2	83.92	235.68
Oct-06	36.36	2	60.36	66.00
Mar-07	110.00	2	60.11	-45.35

FIGURA A6.36

## EJERCICIO 3B - ESTIMACIÓN DE P11 DESAGUADERO CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P11 DESAGUADERO MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Jul-06	5.35	0.5	Esf.	280	10	0	32.45	0.0002	1	506.89
Feb-06	26.74	0.5	Esf.	500	10	0	38.95	0.000357	1	45.68
Abr-06	65.00	0.5	Esf.	500	10	0	97.36	0.000357	1	49.78
May-06	35.00	0.5	Esf.	1000	10	0	59.94	0.000714	1	71.26
Dic-06	35.00	0.5	Esf.	800	10	0	75.91	0.000571	1	116.87
Jul-07	40.00	0.5	Esf.	200	10	0	45.63	0.000143	1	14.07
May-07	75.00	0.5	Esf.	2000	10	0	48.89	0.001429	1	-34.82
Sep-06	25.00	0.5	Esf.	2400	10	0	84.16	0.001714	1	236.65
Oct-06	36.36	0.5	Esf.	330	10	0	57.78	0.000236	1	58.93
Mar-07	110.00	0.5	Esf.	1000	10	0	50.12	0.000714	1	-54.44

FIGURA A6.37

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P0 GLACIAR CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P0 GLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Jun-03	90.00	2	85.25	-5.28
Feb-04	84.00	2	48.90	-41.79
Sep-06	77.00	2	59.79	-22.35
Feb-02	120.00	2	169.26	41.05
Dic-02	70.00	2	55.93	-20.10
Oct-06	75.00	2	68.87	-8.17
Jul-05	61.83	2	43.14	-30.23
Jun-07	140.00	2	237.50	69.64
Ene-06	220.00	2	169.47	-22.97
Mar-06	145.00	2	130.55	-9.97

FIGURA A6.38

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P0 GLACIAR CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P0 GLACIAR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Jun-03	90.00	0.5	Esf.	1400	1	0	96.00	0.00135	1	6.67
Feb-04	84.00	0.5	Esf.	1500	1	0	60.95	0.001446	1	-27.44
Sep-06	77.00	0.5	Esf.	3500	1	0	62.74	0.003375	1	-18.52
Feb-02	120.00	0.5	Esf.	280	1	0	173.67	0.00027	1	44.73
Dic-02	70.00	0.5	Esf.	10	1	0	56.53	0.00001	1	-19.24
Oct-06	75.00	0.5	Esf.	7	1	0	68.82	0.000007	1	-8.24
Jul-05	61.83	0.5	Esf.	430	1	0	49.91	0.000415	1	-19.28
Jun-07	140.00	0.5	Esf.	700	1	0	229.02	0.000675	1	63.58
Ene-06	220.00	0.5	Esf.	6900	1	0	196.20	0.006654	1	-10.82
Mar-06	145.00	0.5	Esf.	38	1	0	132.53	0.000037	1	-8.60

FIGURA A6.39

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P2 MORRENA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P2 MORRENA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Jul-03	45.00	2	69.87	55.28
Nov-02	107.35	2	127.73	18.98
May-05	102.09	2	110.20	7.94
Oct-01	25.00	2	54.77	119.08
Ago-05	15.00	2	16.40	9.35
Jul-04	70.00	2	107.31	53.29
Nov-04	75.00	2	68.44	-8.75
May-02	168.00	2	223.22	32.87
Ene-04	17.00	2	29.54	73.74
Jul-06	10.00	2	36.52	265.17

FIGURA A6.40

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P2 MORRENA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P2 MORRENA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Jul-03	45.00	0.5	Esf.	750	1.5	0	62.68	0.00038	1	39.29
Nov-02	107.35	0.5	Esf.	600	1.5	0	122.24	0.000304	1	13.86
May-05	102.09	0.5	Esf.	800	1.5	0	102.45	0.000405	1	0.35
Oct-01	25.00	0.5	Esf.	1000	1.5	0	55.21	0.000507	1	120.84
Ago-05	15.00	0.5	Esf.	450	1.5	0	12.63	0.000228	1	-15.83
Jul-04	70.00	0.5	Esf.	850	1.5	0	99.16	0.000431	1	41.66
Nov-04	75.00	0.5	Esf.	130	1.5	0	71.09	0.000066	1	-5.21
May-02	168.00	0.5	Esf.	25	1.5	0	224.11	0.000013	1	33.40
Ene-04	17.00	0.5	Esf.	120	1.5	0	26.54	0.000061	1	56.15
Jul-06	10.00	0.5	Esf.	600	1.5	0	29.24	0.000304	1	192.41

FIGURA A6.41

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P3 TOTALIZADOR CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P3 TOTALIZADOR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Nov-05	104.95	2	107.82	2.73
Mar-04	138.00	2	154.08	11.65
Jul-01	120.00	2	142.86	19.05
Abr-07	135.00	2	134.43	-0.42
Mar-05	100.00	2	111.15	11.15
Feb-05	115.00	2	103.68	-9.84
Ago-02	83.00	2	102.08	22.98
Jul-02	40.00	2	53.25	33.13
Feb-03	50.00	2	58.22	16.43
Dic-06	65.00	2	56.71	-12.76

FIGURA A6.42

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P3 TOTALIZADOR CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P3 TOTALIZADOR MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm2)	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm2)	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m2)	Sum. pesos	Error (%)
Nov-05	104.95	0.5	Esf.	360	1.5	0	110.94	0.000224	1	5.71
Mar-04	138.00	0.5	Esf.	4000	1.5	0	154.42	0.002491	1	11.90
Jul-01	120.00	0.5	Esf.	1800	1.5	0	139.83	0.001121	1	16.53
Abr-07	135.00	0.5	Esf.	600	1.5	0	142.90	0.000374	1	5.86
Mar-05	100.00	0.5	Esf.	500	1.5	0	110.06	0.000311	1	10.06
Feb-05	115.00	0.5	Esf.	350	1.5	0	102.46	0.000218	1	-10.90
Ago-02	83.00	0.5	Esf.	2000	1.5	0	97.31	0.001246	1	17.24
Jul-02	40.00	0.5	Esf.	500	1.5	0	51.30	0.000311	1	28.25
Feb-03	50.00	0.5	Esf.	750	1.5	0	54.17	0.000467	1	8.33
Dic-06	65.00	0.5	Esf.	380	1.5	0	63.64	0.000237	1	-2.09

FIGURA A6.43

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P4 ANTISANA CON EL MÉTODO IDW

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)				
ESTACIÓN A ESTIMAR: P4 ANTISANA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: IDW				
Fecha	Precipitación Real (mm)	Beta	Precipitación Estimada (mm)	Error (%)
Sep-01	80.00	2	57.51	-28.11
May-03	160.00	2	109.73	-31.42
May-04	180.00	2	149.39	-17.01
Abr-05	274.13	2	230.49	-15.92
Dic-03	150.00	2	106.68	-28.88
Nov-03	48.00	2	40.17	-16.31
Jun-01	121.00	2	87.98	-27.29
Abr-06	120.00	2	118.29	-1.43
Mar-03	180.00	2	148.29	-17.62
Oct-05	40.00	2	47.20	18.01

FIGURA A6.44

## EJERCICIO 3C - ESTIMACIÓN DE P4 ANTISANA CON EL MÉTODO KO

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P4 ANTISANA MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO										
Fecha	Precipitación Real (mm)	Tam. Inter.	Mod. Teór.	Meseta (mm <sup>2</sup> )	Alcance (km)	Efect. Pep. (mm <sup>2</sup> )	Precipitación Estim. (mm)	Varianza de Error (m <sup>2</sup> )	Sum. pesos	Error (%)
Sep-01	80.00	0.5	Esf.	200	1	0	61.36	0.00024	1	-23.30
May-03	160.00	0.5	Esf.	600	1	0	116.24	0.000719	1	-27.35
May-04	180.00	0.5	Esf.	200	1	0	150.75	0.00024	1	-16.25
Abr-05	274.13	0.5	Esf.	600	1	0	232.40	0.000719	1	-15.22
Dic-03	150.00	0.5	Esf.	130	1	0	109.07	0.000156	1	-27.29
Nov-03	48.00	0.5	Esf.	0.3	1	0	40.09	0	1	-16.48
Jun-01	121.00	0.5	Esf.	260	1	0	92.94	0.000311	1	-23.19
Abr-06	120.00	0.5	Esf.	30	1	0	119.11	0.000036	1	-0.74
Mar-03	180.00	0.5	Esf.	30	1	0	149.11	0.000036	1	-17.16
Oct-05	40.00	0.5	Esf.	4	1	0	46.79	0.000005	1	16.97

**ANEXO N°7**  
**RESULTADOS DETALLADOS DE LA ESTIMACIÓN**  
**EN P6 HUMBOLDT**

Los valores de P6 Humboldt se estimaron con las estaciones M002 La Tola, M003 Izobamba, M024 Quito INAMHI – Iñaquito, M343 El Quinche - Pichincha, M346 Yaruquí INAMHI y P3 Totalizador; y se compararon los errores obtenidos en los meses en que P6 Humboldt contaba con datos de precipitación durante el periodo 1995 a 2007.

**FIGURA A7.1 ESTIMACIÓN DE P6 HUMBOLDT (1)**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)  ESTACIÓN A ESTIMAR: P6 HUMBOLDT MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO DIRECCIONADO											
Fecha	Precipitación	Tam.	Mod.	Meseta	Alcance	Efect. Pep.	Precipitación	Varianza de	Sum.	Error	
	Real (mm)	Inter.	Teór.	(mm <sup>2</sup> )	(km)	(mm <sup>2</sup> )	Estim. (mm)	Error (m <sup>2</sup> )	pesos	(%)	
Ene-95	10.00	6	Esf.	40	48	0	1.21	0.000017	1	-87.86	
Feb-95	40.00	6	Esf.	1800	48	0	83.28	0.000787	1	108.19	
Mar-95	45.00	6	Esf.	2000	48	0	63.79	0.000874	1	41.75	
Abr-95	55.00	6	Esf.	3500	48	0	99.48	0.00153	1	80.87	
May-95	60.00	6	Esf.	2000	48	0	80.27	0.000874	1	33.79	
Jun-95	70.00	6	Esf.	1500	48	0	80.70	0.000656	1	15.28	
Jul-95	60.00	6	Esf.	2300	48	0	97.79	0.001005	1	62.98	
Ago-95	60.00	6	Esf.	1000	48	0	39.93	0.000437	1	-33.46	
Sep-95	30.00	6	Esf.	220	48	0	25.92	0.0000096	1	-13.61	
Oct-95	30.00	6	Esf.	4500	48	0	53.79	0.001967	1	79.30	
Nov-95	108.00	6	Esf.	7000	48	0	96.45	0.003059	1	-10.69	
Dic-95	37.00	6	Esf.	1800	48	0	26.55	0.000787	1	-28.25	
Ene-96	40.00	6	Esf.	3000	48	0	46.17	0.001311	1	15.42	
Feb-96	119.00	6	Esf.	1500	48	0	113.75	0.000656	1	-4.41	
Mar-96	120.00	6	Esf.	3000	48	0	86.00	0.001311	1	-28.33	
Abr-96	121.00	6	Esf.	7000	48	0	229.24	0.003059	1	89.46	
May-96	90.00	6	Esf.	1400	48	0	127.60	0.000612	1	41.77	
Jun-96	55.00	6	Esf.	600	48	0	72.98	0.000262	1	32.69	
Jul-96	115.00	6	Esf.	800	48	0	58.73	0.00035	1	-48.93	
Ago-96	15.00	6	Esf.	700	48	0	45.45	0.000306	1	203.02	
Sep-96	135.00	6	Esf.	1200	48	0	85.46	0.000524	1	-36.69	
Oct-96	40.00	6	Esf.	6000	48	0	42.01	0.002622	1	5.02	
Nov-96	25.00	6	Esf.	150	48	0	29.96	0.000066	1	19.84	
Dic-96	55.00	6	Esf.	85	48	0	42.27	0.000037	1	-23.15	

FIGURA A7.2 ESTIMACIÓN DE P6 HUMBOLDT (2)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL										
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL										
ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P6 HUMBOLDT										
MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO DIRECCIONADO										
Fecha	Precipitación	Tam.	Mod.	Meseta	Alcance	Efect. Pep.	Precipitación	Varianza de	Sum.	Error
	Real (mm)	Inter.	Teór.	(mm2)	(km)	(mm2)	Estim. (mm)	Error (m2)	pesos	(%)
Ene-97	57.00	6	Esf.	2400	48	0	135.17	0.001049	1	137.14
Feb-97	93.00	6	Esf.	7000	48	0	120.48	0.003059	1	29.55
Mar-97	73.00	6	Esf.	5000	48	0	106.24	0.002185	1	45.53
Abr-97	72.00	6	Esf.	700	48	0	76.09	0.000306	1	5.68
May-97	78.00	6	Esf.	2000	48	0	96.44	0.000874	1	23.63
Jun-97	77.00	6	Esf.	1700	48	0	94.95	0.000743	1	23.31
Jul-97	50.00	6	Esf.	500	48	0	30.33	0.000219	1	-39.35
Ago-97	20.00	6	Esf.	90	48	0	12.86	0.000039	1	-35.68
Sep-97	43.00	6	Esf.	1400	48	0	61.58	0.000612	1	43.22
Oct-97	42.00	6	Esf.	3000	48	0	63.82	0.001311	1	51.96
Nov-97	67.00	6	Esf.	8600	48	0	37.22	0.003758	1	-44.45
Dic-97	68.00	6	Esf.	1800	48	0	70.87	0.000787	1	4.22
Ene-98	25.00	6	Esf.	1400	48	0	101.21	0.000612	1	304.86
Feb-98	25.00	6	Esf.	750	48	0	77.57	0.000328	1	210.28
Mar-98	95.00	6	Esf.	1200	48	0	75.73	0.000524	1	-20.28
Abr-98	95.00	6	Esf.	7000	48	0	179.24	0.003059	1	88.67
May-98	110.00	6	Esf.	3000	48	0	98.28	0.001311	1	-10.65
Jun-98	155.00	6	Esf.	12000	48	0	150.95	0.005244	1	-2.61
Jul-98	88.00	6	Esf.	5500	48	0	117.47	0.002404	1	33.49
Ago-98	87.00	6	Esf.	2000	48	0	76.15	0.000874	1	-12.48
Sep-98	42.00	6	Esf.	900	48	0	41.69	0.000393	1	-0.73
Oct-98	43.00	6	Esf.	1800	48	0	53.49	0.000787	1	24.39
Nov-98	109.00	6	Esf.	3200	48	0	156.61	0.001398	1	43.68
Dic-98	109.00	6	Esf.	350	48	0	42.87	0.000153	1	-60.67
Ene-00	50.00	6	Esf.	3400	48	0	99.74	0.001486	1	99.47
Feb-00	93.00	6	Esf.	1200	48	0	118.90	0.000524	1	27.85
Mar-00	27.00	6	Esf.	2000	48	0	75.62	0.000874	1	180.09
Abr-00	110.00	6	Esf.	3900	48	0	147.54	0.001704	1	34.12
Ago-00	100.00	6	Esf.	4000	48	0	86.02	0.001748	1	-13.98
Sep-00	95.00	6	Esf.	1300	48	0	84.84	0.000568	1	-10.69
Oct-00	50.00	6	Esf.	580	48	0	31.42	0.000253	1	-37.16
Nov-00	20.00	6	Esf.	2200	48	0	76.17	0.000961	1	280.84
Ene-01	35.00	6	Esf.	1200	48	0	66.80	0.000524	1	90.87

FIGURA A7.3 ESTIMACIÓN DE P6 HUMBOLDT (3)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL										
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL										
ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P6 HUMBOLDT										
MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO DIRECCIONADO										
Fecha	Precipitación	Tam.	Mod.	Meseta	Alcance	Efect. Pep.	Precipitación	Varianza de	Sum.	Error
	Real (mm)	Inter.	Teór.	(mm <sup>2</sup> )	(km)	(mm <sup>2</sup> )	Estim. (mm)	Error (m <sup>2</sup> )	pesos	(%)
Feb-01	55.00	6	Esf.	600	48	0	49.49	0.000262	1	-10.02
Mar-01	43.00	6	Esf.	4000	48	0	80.03	0.001754	1	86.13
Abr-01	127.00	6	Esf.	12000	48	0	165.73	0.005244	1	30.49
May-01	35.00	6	Esf.	1000	48	0	57.89	0.000437	1	65.39
Jun-01	122.00	6	Esf.	3000	48	0	77.62	0.001311	1	-36.38
Jul-01	100.00	6	Esf.	4000	48	0	106.01	0.001748	1	6.01
Ago-01	71.00	6	Esf.	600	48	0	34.22	0.000262	1	-51.80
Sep-01	56.00	6	Esf.	1300	48	0	62.10	0.000568	1	10.89
Oct-01	23.00	6	Esf.	450	48	0	26.85	0.000197	1	16.75
Nov-01	52.00	6	Esf.	2000	48	0	73.50	0.000874	1	41.35
Dic-01	50.00	6	Esf.	2200	48	0	60.89	0.000961	1	21.78
Ene-02	30.00	6	Esf.	80	48	0	26.48	0.000035	1	-11.72
Feb-02	50.00	6	Esf.	9000	48	0	163.32	0.003933	1	226.64
Mar-02	30.00	6	Esf.	2000	48	0	56.81	0.000874	1	89.37
Abr-02	120.00	6	Esf.	8000	48	0	125.98	0.003496	1	4.99
May-02	110.00	6	Esf.	15000	48	0	207.23	0.006555	1	88.39
Jun-02	90.00	6	Esf.	300	48	0	44.71	0.000131	1	-50.33
Jul-02	80.00	6	Esf.	500	48	0	35.39	0.000219	1	-55.76
Ago-02	47.00	6	Esf.	2500	48	0	72.84	0.001093	1	54.98
Sep-02	9.00	6	Esf.	250	48	0	21.94	0.000109	1	143.74
Oct-02	56.00	6	Esf.	2200	48	0	66.24	0.000961	1	18.28
Nov-02	80.00	6	Esf.	2500	48	0	119.13	0.001093	1	48.91
Dic-02	48.00	6	Esf.	4000	48	0	63.31	0.001748	1	31.89
Ene-03	28.00	6	Esf.	45	48	0	30.49	0.00002	1	8.91
Feb-03	30.00	6	Esf.	550	48	0	50.22	0.00024	1	67.41
Mar-03	75.00	6	Esf.	4000	48	0	134.24	0.001748	1	78.98
Abr-03	55.00	6	Esf.	7000	48	0	100.13	0.003059	1	82.05
May-03	45.00	6	Esf.	3800	48	0	98.99	0.001661	1	119.98
Jun-03	55.00	6	Esf.	1800	48	0	86.28	0.000787	1	56.87
Jul-03	70.00	6	Esf.	600	48	0	44.29	0.000262	1	-36.73
Ago-03	15.00	6	Esf.	150	48	0	13.32	0.000066	1	-11.22
Sep-03	22.00	6	Esf.	900	48	0	30.70	0.000393	1	39.56
Oct-03	103.00	6	Esf.	1500	48	0	81.09	0.000656	1	-21.28

FIGURA A7.4 ESTIMACIÓN DE P6 HUMBOLDT (4)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL										
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL										
ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P6 HUMBOLDT										
MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO DIRECCIONADO										
Fecha	Precipitación	Tam.	Mod.	Meseta	Alcance	Efect. Pep.	Precipitación	Varianza de	Sum.	Error
	Real (mm)	Inter.	Teór.	(mm2)	(km)	(mm2)	Estim. (mm)	Error (m2)	pesos	(%)
Nov-03	39.00	6	Esf.	5000	48	0	55.56	0.002193	1	42.46
Dic-03	67.00	6	Esf.	3000	48	0	102.36	0.001312	1	52.78
Ene-04	9.00	6	Esf.	800	48	0	24.22	0.00035	1	169.11
Feb-04	40.00	6	Esf.	550	48	0	37.73	0.00024	1	-5.67
Mar-04	61.00	6	Esf.	3500	48	0	127.56	0.00153	1	109.11
Abr-04	104.00	6	Esf.	5000	48	0	124.94	0.002185	1	20.13
May-04	90.00	6	Esf.	7000	48	0	137.78	0.003059	1	53.08
Jun-04	60.00	6	Esf.	700	48	0	44.11	0.000306	1	-26.49
Jul-04	110.00	6	Esf.	3000	48	0	77.73	0.001311	1	-29.34
Ago-04	60.00	6	Esf.	350	48	0	25.75	0.000153	1	-57.09
Sep-04	20.00	6	Esf.	1800	48	0	37.14	0.000787	1	85.68
Oct-04	50.00	6	Esf.	800	48	0	62.85	0.00035	1	25.70
Nov-04	20.00	6	Esf.	3000	48	0	76.90	0.001311	1	284.50
Dic-04	50.00	6	Esf.	1200	48	0	66.69	0.000524	1	33.39
Ene-05	15.00	6	Esf.	700	48	0	24.83	0.000306	1	65.56
Feb-05	85.27	6	Esf.	4300	48	0	110.04	0.001879	1	29.05
Mar-05	70.59	6	Esf.	2500	48	0	96.28	0.001093	1	36.39
Abr-05	152.52	6	Esf.	13000	48	0	212.88	0.005681	1	39.58
May-05	65.65	6	Esf.	1400	48	0	82.82	0.000612	1	26.16
Jun-05	60.00	6	Esf.	8000	48	0	138.94	0.003496	1	131.57
Jul-05	100.00	6	Esf.	650	48	0	37.03	0.000284	1	-62.97
Ago-05	25.00	6	Esf.	110	48	0	18.97	0.000048	1	-24.10
Sep-05	26.55	6	Esf.	180	48	0	29.84	0.000079	1	12.38
Oct-05	90.00	6	Esf.	2300	48	0	50.94	0.001005	1	-43.40
Nov-05	38.66	6	Esf.	1400	48	0	97.22	0.000612	1	151.47
Dic-05	186.34	6	Esf.	2500	48	0	165.31	0.001093	1	-11.28
Ene-06	30.00	6	Esf.	6000	48	0	155.57	0.002622	1	418.57
Feb-06	30.00	6	Esf.	2000	48	0	49.94	0.000874	1	66.47
Mar-06	85.00	6	Esf.	3500	48	0	135.27	0.00153	1	59.14
Abr-06	81.00	6	Esf.	8000	48	0	118.46	0.003496	1	46.25
May-06	54.00	6	Esf.	1800	48	0	58.12	0.000787	1	7.62
Jun-06	120.00	6	Esf.	2500	48	0	107.77	0.001093	1	-10.19
Jul-06	26.17	6	Esf.	34	48	0	9.67	0.000015	1	-63.05

FIGURA A7.5 ESTIMACIÓN DE P6 HUMBOLDT (5)

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL										
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL										
ESTIMACIÓN DE LA PRECIPITACIÓN MENSUAL (mm)										
ESTACIÓN A ESTIMAR: P6 HUMBOLDT										
MÉTODO DE ESTIMACIÓN: KO DIRECCIONADO										
Fecha	Precipitación	Tam.	Mod.	Meseta	Alcance	Efect. Pep.	Precipitación	Varianza de	Sum.	Error
	Real (mm)	Inter.	Teór.	(mm2)	(km)	(mm2)	Estim. (mm)	Error (m2)	pesos	(%)
Ago-06	30.00	6	Esf.	340	48	0	25.94	0.000149	1	-13.52
Sep-06	69.00	6	Esf.	10000	48	0	148.01	0.00437	1	114.51
Oct-06	46.00	6	Esf.	1700	48	0	73.40	0.000743	1	59.57
Nov-06	100.00	6	Esf.	6000	48	0	84.16	0.002622	1	-15.84
Dic-06	100.00	6	Esf.	4500	48	0	78.18	0.001967	1	-21.82
Ene-07	20.00	6	Esf.	350	48	0	51.13	0.000153	1	155.65
Feb-07	35.00	6	Esf.	800	48	0	30.69	0.00035	1	-12.32
Mar-07	45.00	6	Esf.	2500	48	0	79.30	0.001098	1	76.22
Abr-07	90.00	6	Esf.	1500	48	0	133.41	0.000656	1	48.24
May-07	55.00	6	Esf.	1600	48	0	84.12	0.000699	1	52.95
Jun-07	187.00	6	Esf.	22000	48	0	216.41	0.009615	1	15.73
Jul-07	43.00	6	Esf.	460	48	0	34.63	0.000201	1	-19.46
Ago-07	95.00	6	Esf.	2000	48	0	70.76	0.000874	1	-25.51
Sep-07	54.00	6	Esf.	60	48	0	10.29	0.000026	1	-80.94

**ANEXO No8**  
**CORRELACIONES ENTRE PRECIPITACIÓN Y**  
**VARIABLES FÍSICO-GEOGRÁFICAS**

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL												
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL												
CORRELACIÓN: ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN VS ANOMALÍAS DE VIENTO												
PRECIPITACIÓN: P3												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Viento zonal 500mb	-0.23	-0.24	-0.32	<b>-0.36</b>	-0.34	-0.30	-0.23	-0.16	-0.12	-0.08	-0.05	-0.04
Viento zonal 600mb	-0.03	-0.07	-0.16	-0.25	<b>-0.26</b>	-0.24	-0.19	-0.13	-0.07	-0.03	0.00	0.03
Viento meridional 500mb	-0.01	0.09	0.10	0.18	<b>0.22</b>	0.22	0.21	0.13	0.06	-0.03	-0.05	-0.07
Viento meridional 600mb	0.01	0.12	0.16	<b>0.20</b>	0.20	0.16	0.10	0.01	-0.05	-0.09	-0.09	-0.08
Viento (módulo) 500mb	0.24	0.24	0.32	<b>0.35</b>	0.33	0.29	0.22	0.16	0.12	0.09	0.05	0.04
Viento (módulo) 600mb	0.03	0.06	0.15	0.24	<b>0.25</b>	0.23	0.19	0.13	0.08	0.05	0.01	-0.01
PRECIPITACIÓN: P6												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Viento zonal 500mb	-0.28	-0.29	<b>-0.36</b>	-0.36	-0.32	-0.27	-0.20	-0.16	-0.14	-0.13	-0.13	-0.14
Viento zonal 600mb	-0.11	-0.16	-0.25	<b>-0.29</b>	-0.26	-0.23	-0.17	-0.13	-0.09	-0.07	-0.06	-0.06
Viento meridional 500mb	-0.02	0.07	0.09	0.11	0.10	0.09	0.04	-0.04	-0.10	<b>-0.15</b>	-0.15	-0.15
Viento meridional 600mb	-0.01	0.05	0.08	0.06	0.03	-0.03	-0.09	-0.16	-0.19	<b>-0.21</b>	-0.19	-0.17
Viento (módulo) 500mb	0.28	0.30	<b>0.36</b>	0.36	0.32	0.27	0.20	0.16	0.14	0.14	0.13	0.14
Viento (módulo) 600mb	0.12	0.17	0.25	<b>0.29</b>	0.27	0.23	0.18	0.14	0.11	0.09	0.08	0.07
PRECIPITACIÓN: P3-2												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Viento zonal 500mb	-0.11	-0.22	-0.31	-0.39	<b>-0.42</b>	-0.39	-0.32	-0.24	-0.17	-0.12	-0.07	-0.05
Viento zonal 600mb	0.07	-0.01	-0.11	-0.23	-0.30	<b>-0.30</b>	-0.26	-0.19	-0.12	-0.06	-0.01	0.03
Viento meridional 500mb	-0.09	0.00	0.07	0.14	0.22	<b>0.25</b>	0.24	0.19	0.09	-0.01	-0.09	-0.11
Viento meridional 600mb	0.00	0.07	0.15	0.21	<b>0.24</b>	0.22	0.15	0.06	-0.04	-0.10	-0.14	-0.13
Viento (módulo) 500mb	0.11	0.22	0.31	0.39	<b>0.41</b>	0.38	0.32	0.23	0.17	0.12	0.08	0.05
Viento (módulo) 600mb	-0.08	0.00	0.10	0.21	0.28	<b>0.28</b>	0.25	0.19	0.12	0.07	0.02	-0.01
PRECIPITACIÓN: P6-2												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Viento zonal 500mb	-0.21	-0.32	-0.39	<b>-0.44</b>	-0.43	-0.38	-0.30	-0.24	-0.20	-0.18	-0.17	-0.18
Viento zonal 600mb	-0.04	-0.14	-0.24	-0.32	<b>-0.34</b>	-0.31	-0.25	-0.19	-0.14	-0.11	-0.09	-0.08
Viento meridional 500mb	-0.11	-0.02	0.05	0.08	0.10	0.09	0.05	-0.03	-0.12	-0.19	<b>-0.22</b>	-0.22
Viento meridional 600mb	-0.04	0.01	0.06	0.07	0.04	-0.01	-0.09	-0.18	-0.24	<b>-0.28</b>	-0.28	-0.25
Viento (módulo) 500mb	0.21	0.32	0.40	<b>0.44</b>	0.43	0.38	0.31	0.24	0.21	0.19	0.18	0.19
Viento (módulo) 600mb	0.05	0.14	0.24	0.33	<b>0.34</b>	0.31	0.26	0.21	0.16	0.13	0.11	0.10
PRECIPITACIÓN: P3-9												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Viento zonal 500mb	0.22	0.25	0.21	0.13	0.05	-0.03	-0.09	-0.14	-0.17	<b>-0.17</b>	-0.15	-0.10
Viento zonal 600mb	0.29	0.34	0.33	0.28	0.22	0.15	0.09	0.05	0.02	0.01	0.02	<b>0.05</b>
Viento meridional 500mb	-0.33	-0.40	-0.45	-0.47	-0.44	-0.39	-0.34	-0.31	-0.29	-0.30	-0.33	<b>-0.36</b>
Viento meridional 600mb	-0.41	-0.45	-0.44	-0.41	-0.36	-0.31	-0.28	-0.27	-0.28	-0.31	-0.34	<b>-0.39</b>
Viento (módulo) 500mb	-0.20	-0.23	-0.18	-0.11	-0.03	0.05	0.11	0.15	0.18	<b>0.19</b>	0.16	0.12
Viento (módulo) 600mb	-0.25	-0.30	-0.30	-0.25	-0.19	-0.13	-0.07	-0.03	0.00	<b>0.02</b>	0.02	-0.01
PRECIPITACIÓN: P6-9												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Viento zonal 500mb	-0.06	-0.10	-0.17	-0.24	-0.31	-0.38	-0.42	-0.45	-0.48	<b>-0.48</b>	-0.47	-0.44
Viento zonal 600mb	0.06	0.05	0.00	-0.07	-0.12	-0.17	-0.21	-0.23	-0.25	<b>-0.26</b>	-0.26	-0.23
Viento meridional 500mb	-0.29	-0.32	-0.34	-0.34	-0.32	-0.30	-0.29	-0.30	-0.32	-0.35	-0.39	<b>-0.43</b>
Viento meridional 600mb	-0.35	-0.37	-0.36	-0.34	-0.32	-0.31	-0.32	-0.35	-0.38	<b>-0.42</b>	-0.46	<b>-0.49</b>
Viento (módulo) 500mb	0.08	0.12	0.19	0.27	0.34	0.40	0.44	0.47	0.49	<b>0.50</b>	0.48	0.45
Viento (módulo) 600mb	-0.02	-0.01	0.04	0.10	0.15	0.20	0.24	0.27	0.29	<b>0.30</b>	0.29	0.27

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y AMBIENTAL  
CORRELACIÓN: ANOMALÍAS DE PRECIPITACIÓN VS ANOMALÍAS DE VARIABLES FÍSICO-GEOGRÁFICAS

PRECIPITACIÓN: P3												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura 500mb	0.06	0.01	-0.04	-0.10	-0.15	-0.21	-0.24	-0.25	<b>-0.25</b>	-0.23	-0.21	-0.19
Temperatura 600mb	-0.01	-0.01	-0.08	-0.11	-0.14	-0.17	-0.19	-0.21	<b>-0.22</b>	-0.21	-0.20	-0.18
Humedad 500mb	<b>0.22</b>	0.18	0.12	0.00	-0.07	-0.07	-0.02	0.03	0.03	0.01	0.01	0.02
Humedad 600mb	0.13	0.08	0.03	-0.11	-0.18	<b>-0.19</b>	-0.16	-0.05	0.02	0.06	0.05	0.06
Niño 3.4	0.05	0.06	0.05	0.02	0.00	-0.03	-0.06	-0.09	-0.13	-0.15	<b>-0.16</b>	-0.15
SOI	0.13	0.08	0.11	0.11	0.11	0.14	0.15	0.16	0.17	0.18	<b>0.18</b>	0.18
PRECIPITACIÓN: P6												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura 500mb	-0.17	-0.21	-0.22	-0.27	-0.31	-0.35	<b>-0.35</b>	-0.35	-0.35	-0.34	-0.32	-0.31
Temperatura 600mb	-0.23	-0.23	-0.27	-0.30	-0.32	-0.34	-0.33	-0.34	-0.35	<b>-0.35</b>	-0.33	-0.32
Humedad 500mb	<b>0.21</b>	0.15	0.06	-0.06	-0.09	-0.04	-0.02	0.01	0.02	-0.02	-0.04	-0.02
Humedad 600mb	0.06	0.04	-0.01	-0.12	<b>-0.15</b>	-0.13	-0.06	0.02	0.07	0.07	0.05	0.02
Niño 3.4	-0.04	-0.06	-0.10	-0.14	-0.17	-0.19	-0.22	-0.24	-0.27	<b>-0.28</b>	-0.28	-0.26
SOI	0.19	0.18	0.20	0.23	0.22	0.26	0.27	0.28	0.28	<b>0.29</b>	0.29	0.29
PRECIPITACIÓN: P3-2												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura 500mb	0.14	0.09	0.03	-0.05	-0.12	-0.19	-0.25	-0.28	<b>-0.29</b>	-0.28	-0.26	-0.23
Temperatura 600mb	0.06	0.03	-0.02	-0.08	-0.13	-0.17	-0.20	-0.23	-0.25	<b>-0.25</b>	-0.24	-0.22
Humedad 500mb	0.13	<b>0.19</b>	0.16	0.05	-0.07	-0.10	-0.06	0.01	0.04	0.02	0.01	0.02
Humedad 600mb	0.18	0.16	0.10	-0.03	-0.16	<b>-0.21</b>	-0.19	-0.10	0.02	0.08	0.10	0.11
Niño 3.4	0.01	0.05	0.06	0.04	0.01	-0.02	-0.06	-0.10	-0.14	-0.17	<b>-0.19</b>	-0.19
SOI	0.14	0.13	0.13	0.15	0.15	0.16	0.19	0.20	0.22	0.23	0.24	<b>0.24</b>
PRECIPITACIÓN: P6-2												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura 500mb	-0.12	-0.20	-0.24	-0.29	-0.36	-0.41	-0.44	-0.44	<b>-0.44</b>	-0.44	-0.42	-0.40
Temperatura 600mb	-0.18	-0.25	-0.29	-0.34	-0.37	-0.40	-0.42	-0.42	-0.43	<b>-0.44</b>	-0.43	-0.42
Humedad 500mb	0.16	<b>0.19</b>	0.12	-0.01	-0.10	-0.08	-0.04	0.00	0.02	0.00	-0.03	-0.03
Humedad 600mb	0.11	0.09	0.04	-0.07	-0.16	<b>-0.16</b>	-0.10	-0.01	0.08	0.11	0.10	0.07
Niño 3.4	-0.09	-0.09	-0.11	-0.16	-0.20	-0.23	-0.27	-0.30	-0.33	-0.36	<b>-0.37</b>	-0.36
SOI	0.21	0.24	0.25	0.28	0.29	0.32	0.35	0.36	0.37	0.38	<b>0.38</b>	0.38
PRECIPITACIÓN: P3-9												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura 500mb	0.04	0.08	0.11	0.13	0.12	0.09	0.04	-0.02	-0.10	-0.17	-0.22	<b>-0.26</b>
Temperatura 600mb	0.01	0.03	0.03	0.02	0.00	-0.03	-0.07	-0.12	-0.17	-0.22	-0.27	<b>-0.29</b>
Humedad 500mb	0.21	0.26	0.27	0.24	0.19	0.13	0.11	0.11	<b>0.11</b>	0.10	0.08	0.07
Humedad 600mb	0.30	0.41	0.49	0.51	0.48	0.43	0.38	0.36	<b>0.36</b>	0.37	0.37	<b>0.38</b>
Niño 3.4	-0.31	-0.30	-0.30	-0.29	-0.29	-0.28	-0.28	-0.28	-0.29	-0.32	-0.35	<b>-0.39</b>
SOI	0.22	0.25	0.27	0.29	0.30	0.32	0.34	0.36	<b>0.38</b>	0.41	0.44	<b>0.46</b>
PRECIPITACIÓN: P6-9												
Tiempo de desfase:	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Temperatura 500mb	-0.07	-0.09	-0.10	-0.13	-0.17	-0.23	-0.29	-0.36	-0.42	-0.48	-0.52	<b>-0.54</b>
Temperatura 600mb	-0.15	-0.17	-0.21	-0.25	-0.30	-0.35	-0.39	-0.45	<b>-0.50</b>	-0.54	-0.57	<b>-0.60</b>
Humedad 500mb	0.23	0.25	0.24	0.20	0.15	0.10	0.08	0.08	<b>0.08</b>	0.06	0.03	0.03
Humedad 600mb	0.20	0.25	0.26	0.24	0.19	0.14	0.12	0.12	<b>0.13</b>	0.14	0.14	<b>0.15</b>
Niño 3.4	-0.47	-0.47	-0.48	-0.50	-0.51	-0.52	-0.53	-0.55	<b>-0.57</b>	-0.61	-0.64	<b>-0.67</b>
SOI	0.35	0.41	0.44	0.47	0.49	0.51	0.54	0.57	<b>0.60</b>	0.63	0.65	<b>0.68</b>

Resumen de las mejores correlaciones encontradas entre las anomalías de precipitación y variables físico-geográficas :

#### Precipitación y Viento

Se toma como variable independiente al módulo del viento 500mb (Vmod500), para tratar de describir así el comportamiento de la precipitación (P6-9), obteniéndose:

Coefficiente de Correlación = 0.497235

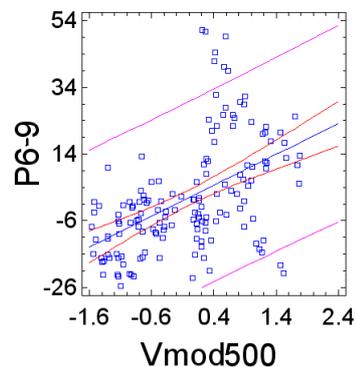
$R^2 = 24.7242 \%$

Error estándar de estimación = 14.5573

La ecuación del modelo ajustado es:  $P6-9 = 0.92503 + 9.25201 \cdot Vmod500$

Existe relación estadísticamente significativa entre P6-9 y Vmod500 para un nivel de confianza del 99%.

Gráfico del Modelo Ajustado



#### Precipitación y Temperatura

Se toma como variable independiente a la temperatura 600mb (T600), para tratar de describir así el comportamiento de la precipitación (P6-9), obteniéndose:

Coefficiente de Correlación = -0.598838

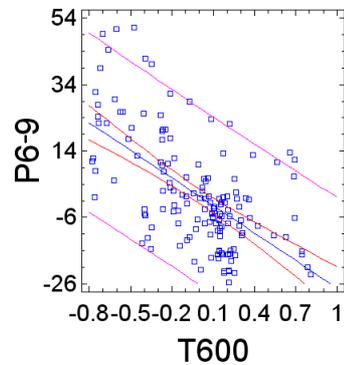
$R^2 = 35.8607 \%$

Error estándar de estimación = 13.4374

La ecuación del modelo ajustado es:  $P6-9 = 0.342424 - 27.6488 \cdot T600$

Existe relación estadísticamente significativa entre P6-9 y T600 para un nivel de confianza del 99%.

Gráfico del Modelo Ajustado



#### Precipitación y Humedad

Se toma como variable independiente a la humedad 600mb (H600), para tratar de describir así el comportamiento de la precipitación (P3-9), obteniéndose:

Coefficiente de Correlación = -0.380633

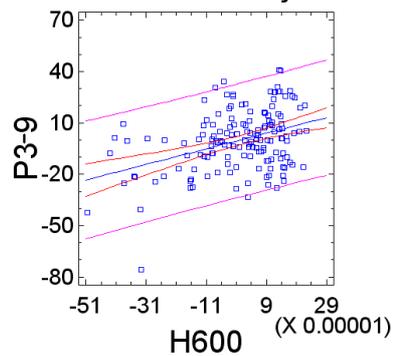
$R^2 = 14.4882 \%$

Error estándar de estimación = 16.7374

La ecuación del modelo ajustado es:  $P3-9 = -0.149111 + 45473.9 \cdot H600$

Existe relación estadísticamente significativa entre P3-9 y H600 para un nivel de confianza del 99%.

Gráfico del Modelo Ajustado



#### Precipitación y Niño 3.4

Se toma como variable independiente al Niño 3.4, para tratar de describir así el comportamiento de la precipitación (P6-9), obteniéndose:

Coefficiente de Correlación = -0.667115

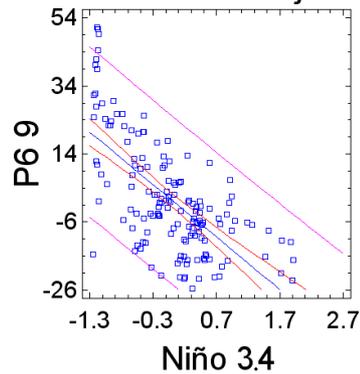
$$R^2 = 44.5042 \%$$

Error estándar de estimación = 12.4992

La ecuación del modelo ajustado es:  $P6-9 = 0.327001 - 15.3956 * \text{Niño } 3.4$

Existe relación estadísticamente significativa entre P6-9 y Niño 3.4 para un nivel de confianza del 99%.

Gráfico del Modelo Ajustado



#### Precipitación y SOI

Se toma como variable independiente al Niño 3.4, para tratar de describir así el comportamiento de la precipitación (P6-9), obteniéndose:

Coefficiente de Correlación = 0.67628

$$R^2 = 45.7354 \%$$

Error estándar de estimación = 12.3598

La ecuación del modelo ajustado es:  $P6-9 = 0.619659 + 10.7266 * \text{SOI}$

Existe relación estadísticamente significativa entre P6-9 y SOI para un nivel de confianza del 99%.

Gráfico del Modelo Ajustado

