

# **ESCUELA POLITECNICA NACIONAL**

## **ESCUELA DE INGENIERIA**

**SISTEMA DE INFORMACION PARA LA INTERPOLACION  
ESPACIAL Y TEMPORAL DE DATOS SOBRE EL TIEMPO  
ATMOSFERICO Y EL CLIMA DEL ECUADOR**

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCION DEL TITULO DE INGENIERO  
AMBIENTAL**

**RICARDO JOSÉ MOREANO VITERI**

**DIRECTOR: DR. LAUREANO ANDRADE CHAVEZ**

**Quito, Julio 2008**

**([landrade@server.epn.edu.ec](mailto:landrade@server.epn.edu.ec); [rjmoreano@hotmail.com](mailto:rjmoreano@hotmail.com))**

## DECLARACIÓN

Yo, Ricardo José Moreano Viteri, 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.

---

**Ricardo José Moreano Viteri**

## **CERTIFICACIÓN**

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Ricardo José Moreano Viteri, bajo mi supervisión.

---

**DR. LAUREANO ANDRADE CHÁVEZ**  
**DIRECTOR DE PROYECTO**

## **AGRADECIMIENTOS**

Agradezco al Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) y a la Dirección de Aviación Civil (DAC), quienes facilitaron la información de los anuarios meteorológicos, así como también, a la Ingeniera Susana Arciniegas y al Instituto Geográfico Militar (IGM) quienes, a su vez, proporcionaron el Modelo Digital de Terreno del Ecuador.

Un profundo agradecimiento para el Dr. Laureano Andrade, director del proyecto, por sus consejos y guías, y a mi amigo Emilio Casa, por su valioso aporte en la programación del Sistema.

## **DEDICATORIA**

El esfuerzo que significó la realización de esta tesis de grado se lo dedico a mi madre y a mi hermana, quienes representan todo en mi vida y a quienes les debo mucho. Quiero incluir, también, a todas las personas que de una u otra forma me han brindado su confianza y de las cuales he recibido un apoyo incondicional.

## CONTENIDO

DECLARACIÓN.....	2
CERTIFICACIÓN.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
DEDICATORIA.....	5
CONTENIDO.....	6
LISTADO DE FIGURAS.....	9
LISTADO DE TABLAS.....	13
RESUMEN.....	15
PRESENTACION.....	16
CAPITULO 1: OBJETIVOS Y METODOLOGIA.....	1
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	18
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS.....	18
1.3. METODOLOGIA.....	18
CAPITULO 2: ANALISIS CRITICO DE LOS METODOS DE INTERPOLACION Y EXTRAPOLACION DISPONIBLES.....	20
2.1 MEDIA ARITMETICA.....	23
2.2 IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTED).....	24
2.3 METODO MODIFICADO DE SHEPARD.....	26
2.4 SPLINE.....	27
2.5 POLIGONOS DE THIESSEN.....	28
2.6 KRIGING.....	30
2.6.1.KRIGING SIMPLE.....	31
2.6.2.KRIGING ORDINARIO.....	32
2.6.3.KRIGING UNIVERSAL.....	39

CAPITULO 3: SINTESIS DE LAS APLICACIONES EXITOSAS PARA CONDICIONES CLIMATICAS TROPICALES Y MONTAÑOSAS.....	40
3.1 COMPARACION DE VARIOS METODOS PARA LA REPRESENTACION CARTOGRAFICA DE INFORMACION CLIMATICA EN ZONAS ALTAS DEL ESTADO DE LARA.....	40
3.2 DISTRIBUCION ESPACIAL Y CICLOS ANUAL Y SEMIANUAL DE LA PRECIPITACION EN COLOMBIA.....	41
3.3 COMPARACION DE METODOS DE INTERPOLACION PARA LA REALIZACION DE MAPAS DE PRECIPITACION PARA EL ACUIFERO ICOD-CAÑADAS EN TENERIFE, ISLAS CANARIAS.....	44
3.4 CASO-ESTUDIO DE APLICACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACION RADAR A LA ESTIMACION DE CAMPO DE PRECIPITACIONES CON FINES CLIMATOLOGICOS.....	47
CAPITULO 4: CONFORMACION DE LA BASE DE DATOS CLIMATICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION .....	50
4.1 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS.....	50
4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACION CLIMATICO-EPN.....	53
CAPITULO 5: IMPLEMENTACION DE LOS METODOS DE INTERPOLACION.....	54
5.1 IMPLEMENTACION DEL METODO IDW.....	54
5.2 IMPLEMENTACION DEL METODO MODIFICADO DE SHEPARD.....	56
5.3 IMPLEMENTACION DEL METODO DE KRIGING ORDINARIO.....	57
CAPITULO 6: VALIDACION DE LOS MODELOS DE INTERPOLACION A LAS CONDICIONES ECUATORIALES Y MONTAÑOSAS.....	59
6.1 VALIDACION CRUZADA DE LOS METODOS DE INTERPOLACION PARA EL ECUADOR.....	62
6.2 RESUMEN DE LOS ERRORES DE VALIDACION.....	64

6.3 VALIDACION CRUZADA PARA EL MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL INSTITUTO GEOGRAFICO MILITAR.....	71
CAPITULO 7: SISTEMA DE INFORMACION CLIMATICO.....	73
7.1 CARACTERISTICAS GENERALES DEL SISTEMA E INGRESO DE COORDENADAS.....	74
7.2 RESULTADOS DE LA INTERPOLACION POR EL METODO IDW.....	78
7.3 RESULTADOS DE LA INTERPOLACION POR EL METODO MODIFICADO DE SHEPARD.....	80
7.4 RESULTADOS DE LA INTERPOLACION POR EL METODO DE KRIGING.....	81
7.5 LIMITACIONES DEL SISTEMA DE INFORMACION CLIMATICO-EPN.....	87
CAPITULO 8: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	88
ANEXOS.....	93
VALIDACION DE LA ESTACION CAYAPAS.....	103
VALIDACION DE LA ESTACION CHONE.....	107
VALIDACION PARA LA ESTACION EL PROGRESO GUAYAS.....	111
VALIDACION PARA LA ESTACION MIRA FAO.....	115
VALIDACION PARA LA ESTACION BANNOS.....	119
VALIDACION PARA LA ESTACION LA ARGELIA LOJA.....	123
VALIDACION PARA LA ESTACION LUMBAQUI.....	127



## LISTADO DE FIGURAS

FIGURA 2.1 EJEMPLO DEL USO DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN EN UN ÁREA DETERMINADA.....	3
FIGURA 2.2 EJEMPLO DE INTERPOLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO IDW.....	6
FIGURA 2.3 EJEMPLO DE INTERPOLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO IDW.....	8
FIGURA 2.4 EJEMPLO DE INTERPOLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD.....	10
FIGURA 2.5 TRAZADO DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN PARA UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.....	12
FIGURA 2.6 MODELO DE VARIOGRAMA Y SUS COMPONENTES.....	18
FIGURA 2.7 MODELO DE VARIOGRAMA PEPITA PURO.....	19
FIGURA 2.8 MODELO DE VARIOGRAMA ESFÉRICO.....	20
FIGURA 2.9 MODELO DE VARIOGRAMA EXPONENCIAL .....	21
FIGURA 2.10 MODELO DE VARIOGRAMA GAUSSIANO.....	2
<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
FIGURA 3.1 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA, EL TAMAÑO DEL ROMBO DEFINE LA PROPORCIÓN RESPECTO A LA ESTACIÓN CON MAYOR REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL.....	6
<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
FIGURA 3.2 SEMIVARIOGRAMA DE LAS ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN TODA COLOMBIA, LA LÍNEA CONTINUA ES LA ESTRUCTURA DE LOS DATOS, Y LAS OTRAS DOS DE LOS MODELOS AJUSTADOS. DIRECCIÓN DE BÚSQUEDA N30E.....	7
<b>¡Error! Marcador no definido.</b>	
FIGURA 3.3 MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO EN EL QUE SE REPRESENTAN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN GRUPOS HOMOGÉNEOS DE	

COMPORTAMIENTO DE PRECIPITACIÓN.....¡Error!

**Marcador no definido.9**

FIGURA 3.4 DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES.....3¡Error!

**Marcador no definido.**

FIGURA 4.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DIFERENCIADA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS USADAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....35

FIGURA 4.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS USADAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....¡Error!

**Marcador no definido.6**

FIGURA 6.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS USADAS EN LA VALIDACIÓN CRUZADA.....45

FIGURA 6.2 UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS USADAS EN LA VALIDACIÓN CRUZADA EN EL MODELO DIGITAL DE TERRENO ESCALA 1:250.000.....56

FIGURA 7.1 DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DEL SIC-EPN.....57

FIGURA 7.2 VENTANA GENERAL DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....58

FIGURA 7.3 VENTANA DE AYUDA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....59

FIGURA 7.4 MENÚ DE ARCHIVO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....60

FIGURA 7.5 VENTANA DE CÁLCULO DE DISTANCIAS CON COORDENADAS GEOGRÁFICAS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....61

FIGURA 7.6 VENTANA DE CÁLCULO DE DISTANCIAS CON COORDENADAS DECIMALES DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....62

FIGURA 7.7 VENTANA DEL MÉTODO IDW DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....63

FIGURA 7.8 VENTANA DEL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....64

FIGURA 7.9 VENTANA DE CÁLCULO DE SEMIVARIANZAS DEL MÉTODO KRIGING ORDINARIO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....	65
FIGURA 7.10 VENTANA DE CÁLCULO DE SEMIVARIANZAS E INTERVALOS DEL MÉTODO KRIGING ORDINARIO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....	66
FIGURA 7.11 VENTANA DEL SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y SU AJUSTE A UN MODELO TEÓRICO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....	67
FIGURA 7.12 VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO ESFÉRICO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....	68
FIGURA 7.13 VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO EXPONENCIAL DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....	68
FIGURA 7.14 VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....	69
FIGURA 7.15 VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO EFECTO PEPITA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO...	69
FIGURA 7.16 VENTANA DE CÁLCULO DE LAS MATRICES DEL MÉTODO KRIGING DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.....	70



## LISTADO DE TABLAS

TABLA 3.1 PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LA ZONA Y VALORES DE R <sup>2</sup> PARA LA RELACIÓN DE PRECIPITACIÓN CON LA ALTURA PARA LA TOTALIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO, PARA LA VERTIENTE NORTE Y PARA LA VERTIENTE SUR.....	30
TABLA 3.2 ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS OBTENIDOS CON CADA UNO DE LOS MÉTODOS.....	33
TABLA 4.1 VARIABLES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS EN EL SIC.....	34
TABLA 6.1 INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS QUE FORMARON PARTE DEL PROCESO DE VALIDACIÓN CRUZADA.....	44
TABLA 6.2 PISOS ZOOGEOGRÁFICOS DEL ECUADOR .....	47
TABLA 6.3 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN CAYAPAS. ....	48
TABLA 6.4 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN CHONE.....	49
TABLA 6.5 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN EL PROGRESO GUAYAS..	49
TABLA 6.6 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN MIRA FAO.....	50
TABLA 6.7 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN BANNOS.....	50
TABLA 6.8 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN LA ARGELIA LOJA.....	51

TABLA 6.9 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN LUMBAQUI.....	51
TABLA 6.10 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE LA REGIÓN COSTA.....	52
TABLA 6.11 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE LA REGIÓN SIERRA.....	52
TABLA 6.12 COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS TOTALES CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA TODAS LAS ESTACIONES QUE FORMARON PARTE DE LA VALIDACIÓN.....	53
TABLA 6.13 RESUMEN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS USADAS.....	54
TABLA 6.14 ALTURA REAL, ALTURA ESTIMADA Y ERROR MEDIO CUADRÁTICO DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LA VALIDACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO ESCALA 1:250.000.....	55

## RESUMEN

El proyecto consistió en tomar datos de 126 estaciones meteorológicas disponibles, tanto del Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) como de la Dirección de Aviación Civil (DAC), y crear una base de datos con valores de precipitación y temperatura para todo el Ecuador.

A partir de esa base de datos se hizo un programa con el lenguaje Basic incorporando tres métodos de interpolación, el IDW, el Modificado de Shepard y el Kriging Ordinario, los cuales permitieron una comparación de la eficiencia de los mismos en condiciones montañosas y ecuatoriales. La región insular no formó parte de este análisis ya que no se cuenta con suficiente información climática.

La bondad de los métodos fue analizada mediante el método de validación cruzada para lo cual se escogieron tres estaciones de la costa, tres de la sierra y una del oriente ecuatoriano.

Los resultados determinaron que el Método IDW y el Kriging Ordinario son claramente superiores al Método Modificado de Shepard, y a su vez, el Kriging Ordinario fue ligeramente mejor que el IDW, especialmente para valores de la variable temperatura. Para valores de precipitación el mejor resultado lo arrojó el IDW con filtro de distancia entre 0-200 km.

## PRESENTACION

El presente proyecto de titulación se relaciona con el análisis de algunos métodos de interpolación y extrapolación de variables espacialmente distribuidas, como son el Método Inverso de la Distancia (IDW), el Método Modificado de Shepard, y Kriging Ordinario, así como también, de su potencial utilidad para la mejora del conocimiento del clima en el Ecuador.

Estos métodos son ampliamente usados en la práctica ingenieril universal con los mismos fines y su fortaleza ha sido demostrada extensamente, sin embargo es necesario analizar su aplicabilidad en zonas tropicales y montañosas como las de nuestro país, y evaluar las ventajas y limitaciones de estas herramientas.

El proyecto fue motivado como respuesta a la falta de un Sistema de Información rápido y oportuno que satisfaga las necesidades de información del clima a través de consultas vía teléfono, fax o internet, sobre las condiciones meteorológicas históricas o pasadas para cualquier lugar del país, incluso de sitios en donde la cobertura de estaciones es insuficiente. Por otro lado, existe el interés científico técnico de probar y validar los métodos de interpolación y extrapolación para las diferentes regiones que constituyen el territorio nacional, ya que la variabilidad del clima así lo requiere.

Las variables seleccionadas fueron la precipitación y temperatura por ser las de mayor demanda y por su incidencia directa sobre el ciclo del agua y la obtención del balance hídrico de una cuenca:

$$hp - hv = he$$

Donde:

<i>hp</i>	Lámina de precipitación
<i>hv</i>	Lámina de evaporación
<i>he</i>	Lámina de escurrimiento



De esta manera se evidencia la importancia de la precipitación ya que está presente de forma directa en la ecuación del balance hídrico, y de la temperatura que constituye un parámetro fundamental para calcular la evaporación de una cuenca hidrográfica.

# **CAPÍTULO 1**

## **OBJETIVOS Y METODOLOGÍA**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar e implementar un Sistema de Información de consulta rápida sobre pluviosidad y temperatura mensuales, aplicable para todo el país, y proveer a la comunidad científica de una herramienta útil para la caracterización climática del país.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- i) Mejorar el conocimiento sobre el clima del Ecuador;
- ii) Conformar una base de datos del clima;
- iii) Analizar, probar y validar los métodos de interpolación espacial y temporal disponibles de mayor uso en la práctica ingenieril nacional y regional, y recomendar su aplicabilidad, tomando en cuenta las características físico – geográficas del Ecuador, las limitaciones propias de la información, y valorar los errores.
- iv) Dar uso y valor agregado a los anuarios meteorológicos que se entrega a las instituciones públicas y privadas para consulta del clima.

### **1.3.METODOLOGÍA**

La metodología que se empleó consistió en crear una base de datos con valores de precipitación y temperatura, a partir de la información de los anuarios meteorológicos proporcionados por el INAMHI y la DAC para los años 2000-2005. Posteriormente, se programó el Sistema de Información Climático donde se incorporaron los métodos de interpolación y extrapolación, Inverso de la Distancia (IDW), Modificado de Shepard, y Kriging Ordinario.

La validación se la realizó a través del método de validación cruzada escogiendo al azar siete estaciones, tres pertenecientes a la costa, tres a la sierra, y una al oriente ecuatoriano. Por último, se analizaron los resultados obtenidos teniendo en cuenta las condiciones climáticas y topográficas del país.

## CAPÍTULO 2

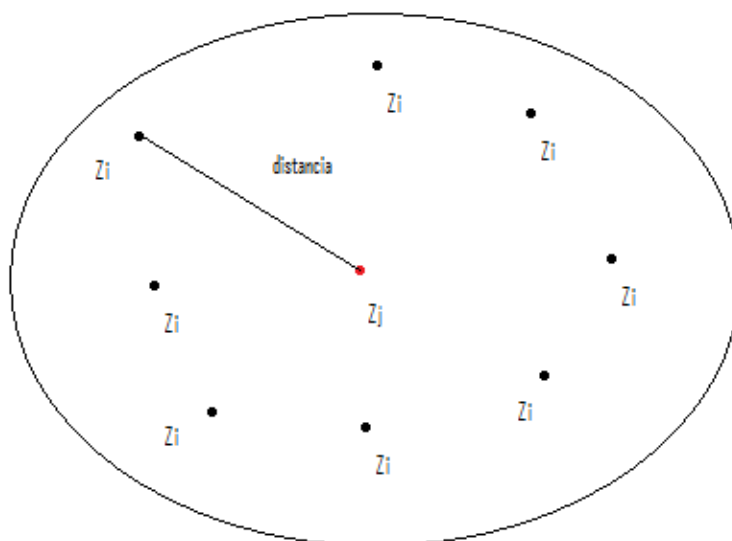
### ANÁLISIS CRÍTICO DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN DISPONIBLES.

La interpolación es un procedimiento matemático utilizado para determinar el valor de un atributo en una localización precisa a partir de valores del atributo obtenidos de puntos vecinos ubicados al interior de la misma región. A la estimación del valor de un atributo en lugares fuera de la región cubierta por las observaciones se le llama *extrapolación*. (FAO, 2003)

Se utiliza la interpolación para transformar un número finito de observaciones obtenidas de ubicaciones geográficas precisas, en un espacio continuo de manera que el patrón espacial presentado por las observaciones puntuales pueda ser comparado con los patrones espaciales de los valores generados. (FAO, 2003)

#### FIGURA 2.1

#### EJEMPLO DEL USO DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN Y EXTRAPOLACIÓN EN UN ÁREA DETERMINADA



ELABORACIÓN: Ricardo José Moreano

Existen diversas formas de clasificar a los métodos de interpolación y extrapolación, sin embargo, de forma general se concluye que existen dos grandes grupos:

- Métodos Globales
- Métodos Locales

Los métodos globales utilizan todos los datos disponibles para efectuar una estimación válida para toda la región de interés; en cambio los métodos locales operan dentro de una pequeña zona alrededor de la ubicación donde se desea obtener un valor interpolado. Los métodos globales son utilizados más bien para examinar y eliminar posibles tendencias presentes en los datos, más que para efectuar una interpolación. Una vez que los efectos globales han sido eliminados, los valores residuales de las variaciones globales son interpolados usando un método local. (FAO, 2003)

Los métodos locales de interpolación utilizan la información proveniente de los vecinos para calcular el valor del atributo. Ejemplos de Interpolación Local son los polígonos de Thiessen o Voronoi, métodos basados en un peso lineal e inversamente proporcional a la distancia y métodos basados en funciones polinomiales suavizadas (splines). (FAO, 2003)

Otra aproximación de interpolación viene dado por la teoría de los métodos geo-estadísticos, la cual se basa en el concepto de correlación espacial de los datos geográficos. Es usada principalmente cuando la variación del atributo es tan irregular y la densidad de puntos es tan grande que los dos grupos de métodos mencionados anteriormente no se pueden aplicar. La geo-estadística proporciona estimaciones probabilísticas de la calidad de la interpolación. (FAO, 2003)

Existen otras clasificaciones de los métodos de interpolación, tales como: (Brovelli, s.f.)

a) Métodos Determinísticos y Métodos Estocásticos

Los primeros no usan la teoría de probabilidad ya que la relación causa-efecto es conocida en su totalidad, mientras que los métodos estocásticos están basados en la aleatoriedad de las variables.

b) Métodos Exactos y Métodos Inexactos

Los métodos exactos son aquellos cuya superficie de interpolación pasa a través de todos los puntos conocidos. Los métodos inexactos, por el contrario, aproximan estos valores minimizando el error, por ejemplo, a través de mínimos cuadrados ordinarios.

Si bien estas clasificaciones son diferentes, no son excluyentes entre sí, por ejemplo se menciona, que los métodos IDW y Kriging (que serán explicados a detalle a continuación en este mismo capítulo) pueden caer dentro del grupo de interpoladores exactos o inexactos de acuerdo al tratamiento que se le dé a la función de interpolación. El IDW es un método determinístico también. (Golden Software Surfer Help, 1999)

Los métodos que se mencionarán a continuación trabajan con numerosas y diferentes variables, por lo cual se hace la siguiente recopilación de las mismas:

$\bar{x}$	Valor medio de la variable
$x_i$	Valor de la variable para la estación conocida $i$
$Z^*(x_0)$	Valor estimado de la variable
$Z(x_0)$	Valor real o conocido de la variable
$\lambda_i$	Peso de la estación $i$
$d_{ij}$	Distancia geométrica entre la estación y el punto a interpolar
$\beta$	Coefficiente de ponderación

$R$	Distancia geométrica de la estación más lejana y el punto a interpolar
$E[ ]$	Valor esperado
$\delta^2(x_0)$	Varianza de Kriging
$m$	Media de la función aleatoria
$C(u_1 - u_2)$	Relaciones entre las observaciones (Covarianzas)
$\gamma(u_1 - u_2)$	Semivarianza del intervalo $h$

A continuación se describen los métodos de interpolación y extrapolación utilizados en el presente proyecto de titulación:

## 2.1 MEDIA ARITMÉTICA

Es el único método que no requiere de un conocimiento previo de la ubicación geográfica de cada dato conocido. Consiste en realizar la suma de los valores registrados y dividirla por el número total de datos, siendo el valor hallado, una media. Se trata de un método de resolución rápida y que conlleva un grado de precisión muy relativo, el cual depende del número de datos conocidos y de la ubicación general de los mismos en la región. (Universidad Nacional del Nordeste, s.f.)

La ecuación del método es la siguiente:

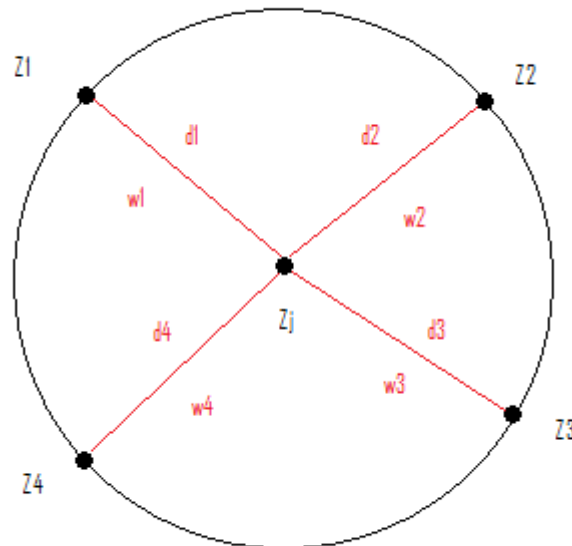
$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (2.1)$$

Donde:

$\bar{x}$	Valor medio de la variable
$x_i$	Valor de la variable para la estación conocida $i$
$n$	Número de estaciones vecinas

FIGURA 2.2

## EJEMPLO DE INTERPOLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO IDW



ELABORACION: Ricardo José Moreano

## 2.2 IDW (INVERSE DISTANCE WEIGHTED)

El método IDW combina el concepto de vecindad entre sitios con disponibilidad de datos con un cambio gradual de las superficies definidas con una tendencia. Se supone que el valor del atributo Z en una posición donde el valor del atributo no es conocido es un promedio de los valores de sus vecinos pero donde los vecinos más cercanos tienen más peso o importancia que los más alejados. (FAO, 2003)

La ecuación general del método es:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \times Z(x)_i) \quad (2.2)$$

Donde:

$Z^*(x)$  Valor estimado de la variable

$Z(x)_i$  Valor de la variable en el punto conocido i



$\lambda_i$	Peso de la estación $i$
$n$	Número de estaciones vecinas

Los pesos se calculan en función de la distancia entre las estaciones y el punto a interpolar, de la siguiente forma:

$$\lambda_i = \frac{\frac{1}{d_{ij}^\beta}}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\beta}} \quad (2.3)$$

Donde

$\lambda_i$	Peso de la estación $i$
$d_{ij}$	Distancia geométrica entre la estación y el punto a interpolar
$\beta$	Coefficiente de ponderación

Mientras más alto es el valor de  $\beta$ , el peso de las estaciones más cercanas será mayor. Para la optimización de este coeficiente se tiene que minimizar el error medio cuadrático (EMC) a través de una validación cruzada (Brovelli, s.f.), la cual será analizada posteriormente, en el capítulo 6. Sin embargo como valor predeterminado se usa 2 (elagrimensor.net, s.f.)

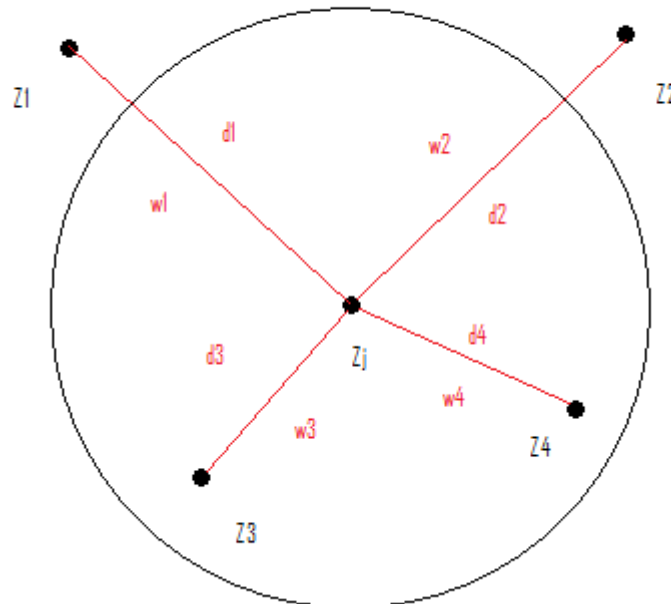
$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Z^*(x) - Z(x))^2}{n}} \quad (2.4)$$

Donde:

$Z^*(x)$	Valor estimado
$Z(x)$	Valor real
$n$	Muestra total

FIGURA 2.3

## EJEMPLO DE INTERPOLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO IDW



ELABORACION: Ricardo José Moreano

### 2.3 MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD

El Método Modificado de Shepard sigue la misma línea del IDW variando únicamente en su forma de distribuir los pesos de los datos vecinos. Para esto utiliza una función que depende, no solo de la distancia entre el punto a interpolar y los datos vecinos, sino también de la distancia del punto a interpolar y el dato más alejado. (EMS, 2008)

Los pesos se calculan con la relación:

$$\lambda_i = \frac{\left[ \frac{R - d_{ij}}{R \times d_{ij}} \right]^2}{\sum \left[ \frac{R - d_{ij}}{d_{ij}} \right]^2} \quad (2.5)$$

Donde:

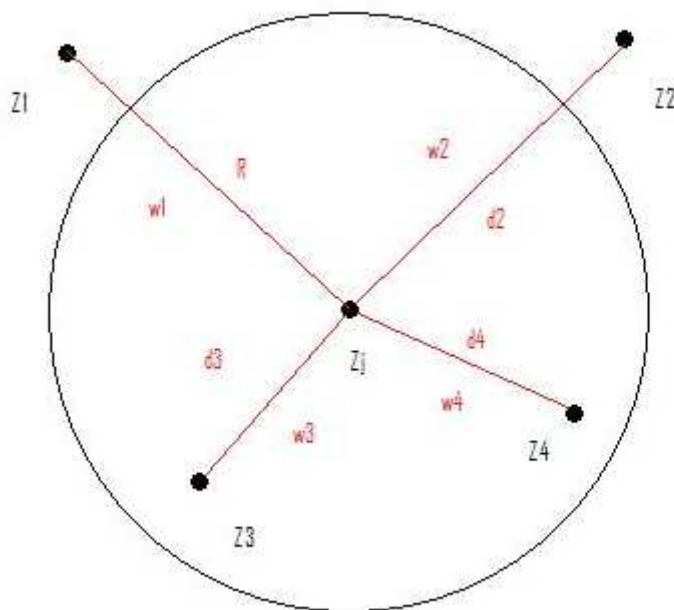
$R$  Distancia geométrica de la estación más lejana y el punto a interpolar

$d_{ij}$  Distancia geométrica entre la estación y el punto a interpolar

Este método es muy usado en modelación de aguas subterráneas (GMS, por sus siglas en inglés) (EMS, 2008)

#### FIGURA 2.4

#### EJEMPLO DE INTERPOLACIÓN MEDIANTE EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD



ELABORACION: Ricardo José Moreano

## 2.4 SPLINES

La idea de la interpolación segmentaria o por Splines, es que en vez de usar un solo polinomio para interpolar los datos, podemos usar segmentos de polinomios y unirlos de la mejor forma posible para formar nuestro polinomio de interpolación.

Así, para los datos:

$$\begin{array}{c|c|c|c|c} x & x_0 & x_1 & \cdots & x_n \\ \hline y & y_0 & y_1 & \cdots & y_n \end{array}$$

Donde se asume que:

$$x_1 < x_2 < x_3 < \dots < x_n$$

Siendo  $k$ , un número positivo tal que una función spline de interpolación grado  $k$  ( $s(x)$ ), cumpla:

- i.  $S(x_i) = y_i$ , para todo  $i = 1, 2, 3, \dots, n$
- ii.  $S(x)$ , es un polinomio de grado  $\leq k$ , en cada subintervalo  $[x_{i-1}, x_i]$
- iii.  $S(x)$  tiene derivada continua hasta de orden  $k - 1$  hasta  $[x_0, x_n]$

La función  $S(x)$  queda explicada de la siguiente manera:

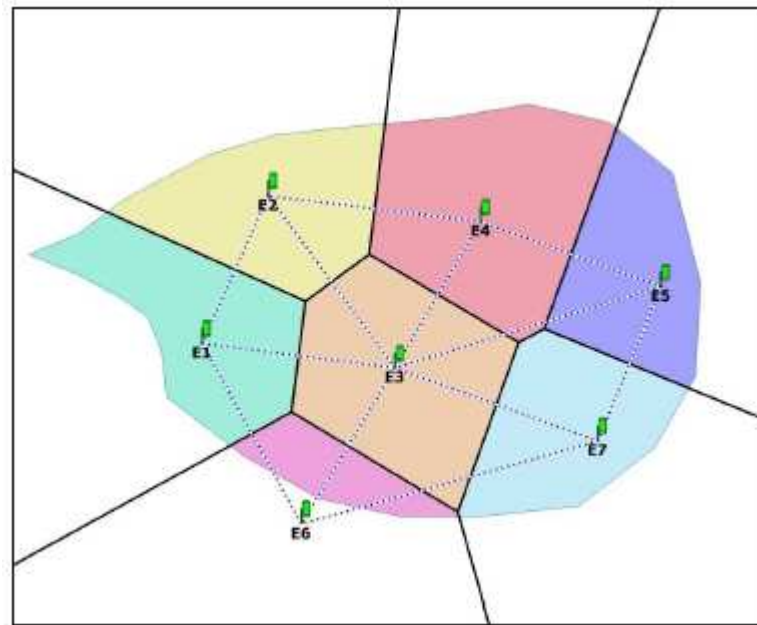
$$s(x) = \begin{cases} s_1(x) & \text{si } x \in [x_0, x_1] \\ s_2(x) & \text{si } x \in [x_1, x_2] \\ \vdots & \\ s_n(x) & \text{si } x \in [x_{n-1}, x_n] \end{cases} \quad (2.6)$$

## 2.5 POLÍGONOS DE THIESSEN

Los polígonos de Thiessen es uno de los métodos de interpolación más simples, siendo especialmente apropiado cuando las variables son cualitativas. Está basado en las áreas de influencias de las estaciones, que se crean al unir las entre sí, trazando las mediatrices de los segmentos de unión. Las intersecciones de estas mediatrices determinan una serie de polígonos en un espacio bidimensional alrededor de un conjunto de puntos de control (estaciones).

**FIGURA 2.5**

**TRAZADO DE LOS POLÍGONOS DE THIESSEN PARA UNA CUENCA HIDROGRÁFICA.**



FUENTE: Universidad Nacional del Nordeste, s.f.

A partir de los polígonos creados, simplemente se asignan pesos como segmentos del área de influencia sobre el área total. (Zimmerman y Silber, s.f.)

Los polígonos de Thiessen fueron creados para el análisis de datos meteorológicos (estaciones pluviométricas) aunque en la actualidad han sido aprovechados de mejor manera en estudios en los que hay que determinar áreas de influencia (centros hospitalarios, estaciones de bomberos, bocas de metro, centros comerciales, control del tráfico aéreo, telefonía móvil, análisis de poblaciones de especies vegetales, etc.).

## 2.6 KRIGING

Este método pertenece al grupo de los métodos geo-estadísticos ya que describe la correlación tanto espacial como temporal entre los valores de un atributo. Tradicionalmente se ha utilizado en las llamadas geo-ciencias (geofísica, hidrogeología, etc.), sin embargo, sus principios se aplican cada vez más en una amplia variedad de campos científicos como pesquerías, silvicultura, ingeniería civil, procesamiento de imágenes, cartografía, meteorología, etc. (FAO, 2003)

La Geo-estadística asume que los datos están correlacionados y que la continuidad se puede establecer para puntos, bloques o volúmenes. Por lo tanto, en esta disciplina, se utiliza el concepto de variable regional que describe fenómenos con una distribución geográfica y con una cierta continuidad espacial. Kriging es el método de cálculo de una variable regional en un punto, al interior de un área usando un criterio de minimización de la estimación de la varianza. Para ello se resuelve un conjunto de ecuaciones con información presente en un gráfico denominado variograma y las distancias relativas entre los datos y la posición del punto, donde el valor interpolado es requerido. (FAO, 2003)

Los planteamientos básicos del método de kriging son que el estimador sea insesgado o imparcial y que la varianza de la estimación sea mínima. La condición de varianza mínima viene dada por la ecuación 2.7:

$$\delta^2(x_0) = E[(Z^*(x_0) - Z(x_0))^2] = \min \quad (2.7)$$

Donde:

$E[ ]$	Valor esperado
$\delta^2(x_0)$	Varianza de Kriging
$Z^*(x_0)$	Valor estimado
$Z(x_0)$	Valor real

Existen varios métodos de Kriging entre los cuales se mencionan: Kriging Simple, Kriging Ordinario y Kriging Universal.

### 2.6.1. KRIGING SIMPLE

El método de Kriging simple se basa en la hipótesis de que la media de la función aleatoria ( $m$ ) es conocida.

$$E[Z(x)] = m \quad (2.8)$$

( $m$  es conocida)

Donde:

$E[ ]$  Valor esperado

$Z(x)$  Valor real

$m$  Media de la función aleatoria

Dadas estas condiciones se pueden tener dos alternativas:

$$\begin{aligned} m &= 0 \\ m &\neq 0 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Si  $m = 0$  se asegura el insesgamiento del estimador de la siguiente manera:

$$E[Z^*(x)] = 0 = E[Z(x)] \quad (2.10)$$

Y si  $m \neq 0$  se consideran nuevas funciones aleatorias con media igual a cero para utilizar el procedimiento anterior y, también asegurar el insesgamiento del estimador:

$$Y(x) = Z(x) - m \quad (2.11)$$

Donde se asume que  $Y(x)$  es una función con media igual a cero.

Para cualquiera de las dos situaciones, el resultado del Kriging Simple son las siguientes ecuaciones estructuradas de forma matricial:

$$\begin{bmatrix} C(0) & C(u_1 - u_2) & \dots & C(u_1 - u_N) \\ C(u_2 - u_1) & C(0) & \dots & C(u_2 - u_N) \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots \\ C(u_N - u_1) & C(u_N - u_2) & \dots & C(0) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(u_1 - u) \\ C(u_2 - u) \\ \vdots \\ C(u_N - u) \end{bmatrix}$$

Donde:

$C(u_n - u_m)$  Relaciones entre las observaciones (Covarianzas)

$C(u_n - u)$  Relaciones entre las observaciones y el punto a interpolar (Covarianzas)

$\lambda_i$  Peso de la estación  $i$

Análogamente:

$$[A][\lambda] = [B] \quad (2.12)$$

Donde:

$[A]$  Matriz de relaciones entre las observaciones

$[\lambda]$  Matriz de Pesos

$[B]$  Matriz de relaciones entre las observaciones y los valores del punto a interpolar

Mediante algebra matricial se resuelve la matriz de pesos, así:

$$[\lambda] = [A]^{-1}[B] \quad (2.13)$$

### 2.6.2. KRIGING ORDINARIO

Para el Kriging Ordinario la media es también constante, pero desconocida.

$$E[Z(x)] = m \quad (2.14)$$

( $m$  es desconocida)

Donde:

$E[ ]$  Valor esperado

$Z(x)$  Valor real

$m$  Media de la función aleatoria



Por lo cual ya no es únicamente necesario determinar los pesos que minimicen la varianza sino que también satisfagan la condición de insesgamiento, es decir que su suma sea igual a uno, restricción que se ha añadido debido a que la media de la función aleatoria es desconocida.

$$\sum \lambda_i = 1 \quad (2.15)$$

Estos problemas se resuelven empleando los multiplicadores de Lagrange, con lo cual se incorporan las restricciones de los pesos en las ecuaciones formuladas.

En consecuencia se definen las ecuaciones en forma matricial, que nos permitan determinar los pesos para la interpolación.

$$\begin{bmatrix} C(0) & C(u_1 - u_2) & \dots & C(u_1 - u_N) & 1 \\ C(u_2 - u_1) & C(0) & \dots & C(u_2 - u_N) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ C(u_N - u_1) & C(u_N - u_2) & \dots & C(0) & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} C(u - u_1) \\ C(u - u_2) \\ \vdots \\ C(u - u_N) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Donde:

$C(u_n - u_m)$  Relaciones entre las observaciones (Covarianzas)

$C(u_n - u)$  Relaciones entre las observaciones y el punto a interpolar (Covarianzas)

$\lambda_i$  Peso de la estación  $i$

Las filas y columnas de ceros y unos son la condición matemática para filtrar el valor desconocido de  $m$ .

Sin embargo, el método de Kriging Ordinario no está completo sino hasta la incorporación del semivariograma en las ecuaciones anteriores.

El semivariograma es un gráfico que analiza el comportamiento espacial de una variable casual sobre un área definida. En el eje de las abscisas van las distancias entre los datos y en el eje de las ordenadas van las semivarianzas, definidas por la siguiente función:

$$E[Z(x+h) - Z(x)] = 2\gamma(h) \quad (2.16)$$

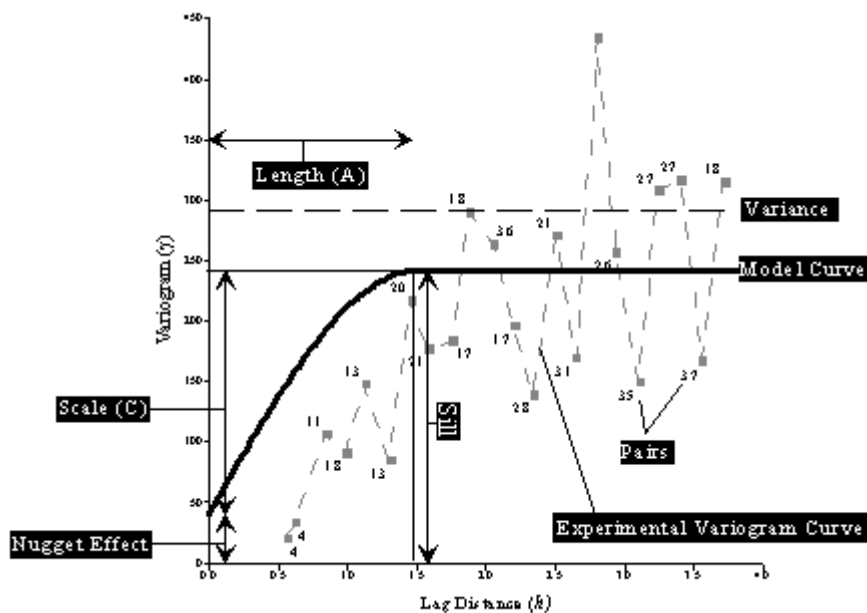
$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(x) - Z(x+h)]^2 \quad (2.17)$$

Donde:

$E[ ]$	Valor esperado
$\gamma(h)$	Semivarianza del intervalo h
$Z(x)$	Valor de la variable
$Z(x+h)$	Valor de la variable acumulada hasta el intervalo h
$N$	Número de observaciones

**FIGURA 2.6**

### MODELO DE VARIOGRAMA Y SUS COMPONENTES



FUENTE: Golden Software Surfer Help, 1999

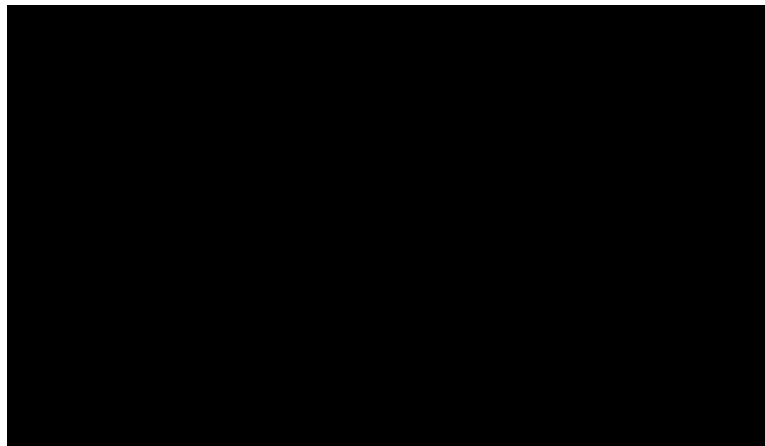
Debido a que el variograma experimental no satisface las condiciones que debe cumplir un variograma, es necesario asumir un modelo teórico de variograma. (Quintín, s.f). Esta validación se la hace de forma visual e interactiva, con lo cual se obtienen los parámetros meseta (o sill), alcance (o range), y el efecto pepita (o nugget effect).

A partir de estos parámetros del variograma, se escoge el modelo teórico que mejor se ajusta al modelo experimental. Los modelos más usados según Quintín, son:

### 2.6.2.1. Modelo Efecto Pepita Puro

#### FIGURA 2.7

#### MODELO DE VARIOGRAMA PEPITA PURO



FUENTE: Quintín, s.f.

$$\gamma(h) = \begin{cases} 0 & \text{si } |h|=0 \\ s & \text{si } |h|\neq 0 \end{cases} \quad (2.18)$$

Donde:

$s$             Meseta (sill)

$h$             Distancia geométrica entre los pares formados en la combinación de estaciones, y por el punto a interpolar y las mismas estaciones.

Este modelo, representado en la figura 2.7, presenta un comportamiento completamente aleatorio en el cual no se muestra ningún tipo de correlación espacial, sin importar cuán cerca estén los pares formados por las estaciones.

### 2.6.2.2. Modelo Esférico

#### FIGURA 2.8

#### MODELO DE VARIOGRAMA ESFÉRICO



FUENTE: Quintín, s.f.

$$\gamma(h) = \begin{cases} s \left( \frac{3}{2} \frac{|h|}{a} - \frac{1}{2} \frac{|h|^3}{a^3} \right) & \text{si } |h| \leq a \\ s & \text{si } |h| > a \end{cases} \quad (2.19)$$

Donde:

$s$  Meseta (sill)

$a$  Alcance (range)

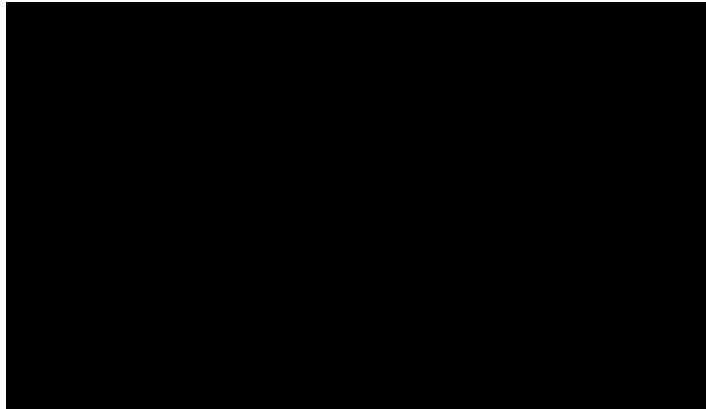
$h$  Distancia geométrica entre los pares formados en la combinación de estaciones, y por el punto a interpolar y las mismas estaciones.

En la figura 2.8 se describe el modelo esférico cuya forma polinomial es simple, y su comportamiento al inicio es lineal; a continuación, a cierta distancia finita del origen, se alcanza la meseta. La línea tangente en el origen encuentra a la meseta a 2/3 del alcance en el eje de las abscisas.

### 2.6.2.3. Modelo Exponencial

#### FIGURA 2.9

#### MODELO DE VARIOGRAMA EXPONENCIAL



FUENTE: Quintin.s.f.

$$\gamma(h) = s \left( 1 - \exp\left(-\frac{|h|}{a}\right) \right) \quad (2.20)$$

Donde:

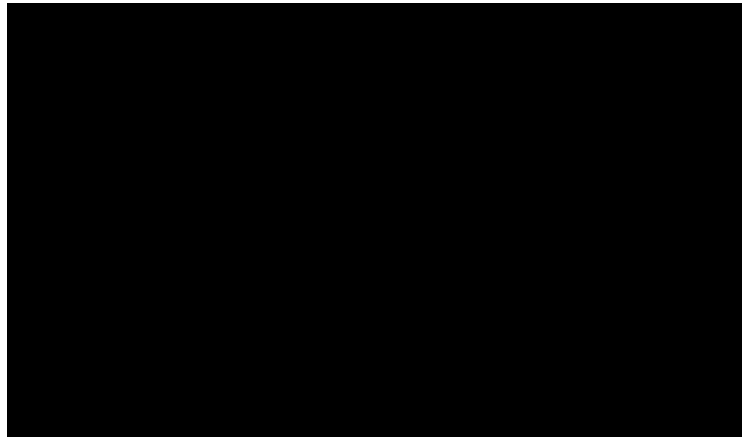
- $s$             Meseta (sill)
- $a$             Alcance (range)
- $h$             Distancia geométrica entre los pares formados en la combinación de estaciones, y por el punto a interpolar y las mismas estaciones.

El modelo exponencial (ver figura 2.9), crece en su inicio y alcanza la meseta de forma asintótica. Como la meseta no se alcanza a una distancia finita se usa con fines prácticos el “alcance efectivo”, que es un valor referencial alcanzado en el 95% de la meseta real. La tangente en el origen encuentra a la meseta a 1/3 del alcance efectivo.

#### 2.6.2.4. Modelo Gaussiano

##### FIGURA 2.10

##### MODELO DE VARIOGRAMA GAUSSIANO



FUENTE: Quintin, s.f.

$$\gamma(h) = s \left( 1 - \exp\left(-\frac{|h|^2}{a^2}\right) \right) \quad (2.21)$$

Donde:

- $s$             Meseta (sill)
- $a$             Alcance (range)
- $h$             Distancia geométrica entre los pares formados en la combinación de estaciones, y por el punto a interpolar y las mismas estaciones.

El modelo gaussiano, representado en la figura 2.10, tiene un comportamiento parabólico en su inicio, y al igual que el modelo exponencial se alcanza la meseta de forma asintótica. El alcance efectivo tiene un valor de 1.73 del alcance total.

Una vez obtenido el modelo teórico que mejor se ajusta al experimental, se obtiene  $\gamma(h)$  para cada distancia del número total de pares usados en la creación del variograma experimental.

Y la matriz queda conformada de la siguiente forma:

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma(u_1 - u_2) & \dots & \gamma(u_1 - u_N) & 1 \\ \gamma(u_2 - u_1) & 0 & \dots & \gamma(u_2 - u_N) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \gamma(u_N - u_2) & \gamma(u_N - u_2) & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(u - u_1) \\ \gamma(u - u_2) \\ \vdots \\ \gamma(u - u_N) \\ 1 \end{bmatrix}$$

$$[\lambda] = [A]^{-1} [B] \quad (2.22)$$

Donde:

$\gamma(u_n - u_m)$  Semivarianzas entre las observaciones

$\gamma(u_n - u)$  Semivarianzas entre las observaciones y el punto a interpolar

$\lambda_i$  Peso de la estación  $i$

$\varphi$  Multiplicador de Lagrange

Los multiplicadores de Lagrange son herramientas que se usan en funciones de varias variables con el fin de optimizarles, es decir, maximizar o minimizar algún valor deseado. En este caso se trata de minimizar la varianza de Kriging e introducir la restricción de que los pesos sumen uno (ver Ecuación 2.15)

### 2.6.3. KRIGING UNIVERSAL

El Kriging Universal asume que hay una tendencia principal en los datos (por ejemplo, un viento predominante), y puede ser modelado por una función determinística, un polinomio. Este método sólo debería ser usado cuando se sabe que hay una tendencia en los datos y se puede dar una justificación científica para describirla. (FAO, 2003)

Para fines de este proyecto de tesis, el método de Kriging Universal no tendría aplicación ya que para variables climatológicas es muy difícil establecer una tendencia que esté representada matemáticamente, como por ejemplo, por un polinomio.

## **CAPÍTULO 3**

# **SÍNTESIS DE LAS APLICACIONES EXITOSAS PARA CONDICIONES CLIMÁTICAS TROPICALES Y MONTAÑOSAS**

La falta de información y la poca fiabilidad que se tiene sobre los datos, ha hecho que la comunidad científica dedique grandes esfuerzos a suplir esa deficiencia a través de varias herramientas, entre las cuales se encuentran numerosos métodos de interpolación y extrapolación. A continuación se presentan algunos casos de estudio disponibles para regiones con similares características que las ecuatorianas.

### **3.1 COMPARACIÓN DE VARIOS MÉTODOS PARA LA REPRESENTACIÓN CARTOGRÁFICA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICA EN ZONAS ALTAS DEL ESTADO DE LARA**

Este primer estudio corresponde a una comparación de métodos realizada en el estado de Lara, Venezuela, en el cual se usaron conjuntamente a) la representación analógica (en papel), b) Mapas digitalizados de coberturas mediante el software para Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcInfo, y c) Modelos numéricos interpolados mediante software de aplicación geoestadística (Surfer).

Los objetivos del trabajo incluyeron la representación y comparación visual de métodos analógicos, representados en formato digital mediante un sistema de información geográfico y un mapa elaborado mediante el uso de un interpolador geoestadístico, esencialmente, Kriging. (López et al, 2001)



Los resultados a partir de cartografía analógica (manual), arrojaron muchos problemas en la variación altitudinal de temperatura debido a los escasos registros de esta variable en la región, (López et al, 2001). De la misma forma el mapa analógico de precipitaciones que posteriormente fue digitalizado, requiere el criterio de un experto para definir la acción del relieve sobre la precipitación. (López et al, 2001)

Con relación a los resultados obtenidos para la cartografía climática mediante métodos geoestadísticos y su respectiva comparación a través de la superposición de mapas, presentan una considerable similitud en lo que se refiere a la dirección y sentido del trazado de isolíneas de precipitación. En cambio, el mapa de isotermas, refleja mayor complejidad debido al método Kriging y existe una mayor densidad de líneas, lo cual significa un mayor detalle en la descripción de la variable. (López et al, 2001)

En términos de precisión en el trazado y continuidad de las isolíneas de temperatura y los polígonos de pisos térmicos, el método Kriging permitió el mejoramiento de los resultados obtenidos, gracias a la elaboración de un modelo digital del terreno, el cual apoyó con un número considerable de puntos de altitud dentro de la zona de trabajo (López et al, 2001). El mayor detalle en la trama de isolíneas de temperatura en el mapa Kriging, respondió directamente al apoyo de un modelo digital de terreno, derivado de la transformación de la cobertura de curvas de nivel a puntos de coordenadas UTM. (López et al, 2001)

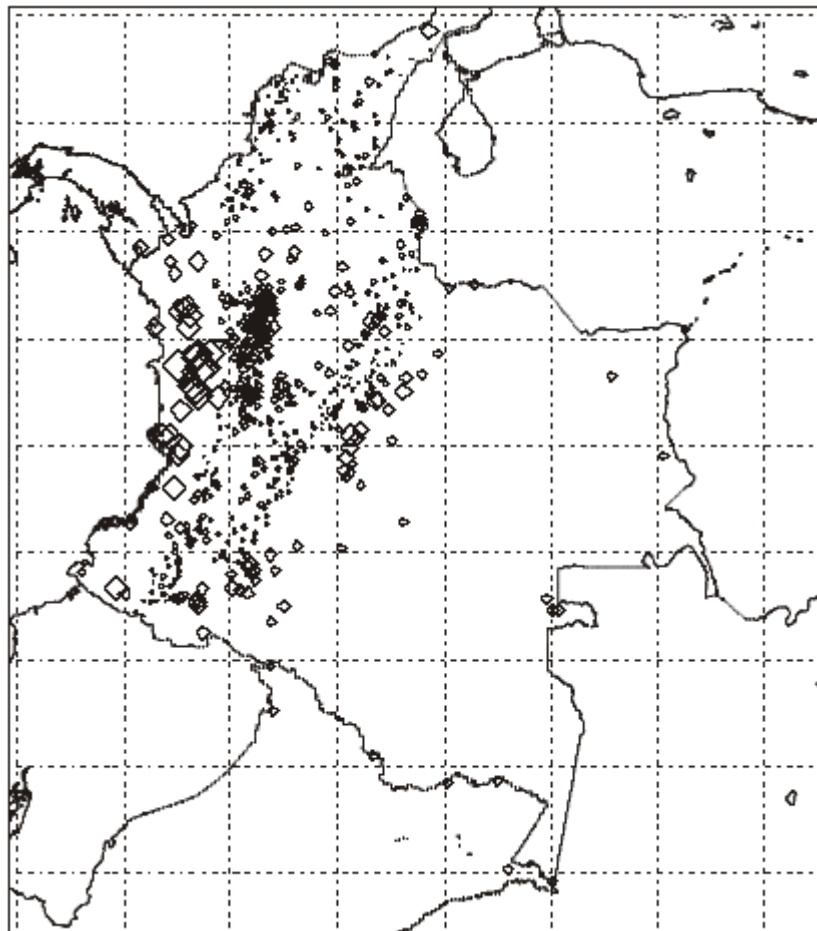
### **3.2 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL Y CICLOS ANUAL Y SEMIANUAL DE LA PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA**

Un segundo caso describe el análisis de la distribución espacial y ciclos anual y semianual de la precipitación en todo el territorio colombiano, el cual arrojó un mapa de isoyetas apoyado en registros de estaciones, estudios climáticos a mayor escala y métodos de interpolación (Mejía et al, s.f.).

Para la elaboración de los mapas de precipitación media anual y mensual se utilizó variaciones en el método de Kriging con datos de 588 estaciones, mientras que para los ciclos anual y semianual se recurrió a la transformada rápida de Fourier. (Mejía et al, s.f.).

### FIGURA 3.1

**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LAS ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN COLOMBIA, EL TAMAÑO DEL ROMBO DEFINE LA PROPORCIÓN RESPECTO A LA ESTACIÓN CON MAYOR REGISTRO DE PRECIPITACIÓN MEDIA ANUAL**

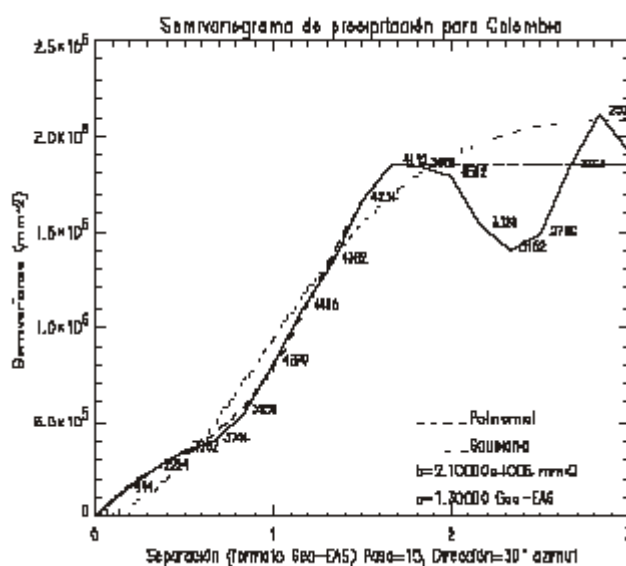


FUENTE: Mejía et al, s.f.

Los modelos de semivariograma se estimaron para los datos de precipitación anual y mensual, de allí se obtuvieron los parámetros requeridos por el método con respecto a la variabilidad espacial de la precipitación (la meseta, el rango y el efecto pepita), que se pueden apreciar en la figura 3.2. (Mejía et al, s.f.).

### FIGURA 3.2

**SEMIVARIOGRAMA DE LAS ESTACIONES DE PRECIPITACIÓN EN TODA COLOMBIA, LA LÍNEA CONTINUA ES LA ESTRUCTURA DE LOS DATOS, Y LAS OTRAS DOS DE LOS MODELOS AJUSTADOS. DIRECCIÓN DE BÚSQUEDA N30E.**



FUENTE: Mejía et al, s.f.

Los diferentes métodos de interpolación suavizan los campos y pueden introducir extrapolaciones no deseadas, pues los campos en la realidad pueden ser más irregulares. En particular para este tipo de variable, que es caracterizada por una gran variabilidad espacio-temporal, incluso para escalas de tiempo mensual o estacional, la interpolación con estos métodos no garantiza resultados que conserven o describan lo que ocurre con ella en cada instante y en cada lugar. (Mejía et al, s.f.)

Las ventajas del método Kriging es que permite tomar la forma de una variable y conservar la información primaria (mediciones) y tomar en consideración la correlación espacial. (Mejía et al, s.f.)

Sin embargo, los resultados son consistentes y aceptables. En algunas regiones el balance hidrológico permite concluir la necesidad de mejorar en la observación y estimación de la precipitación, (Mejía et al, s.f.), por lo que se concluye que la principal limitante del presente trabajo es la información base por su escasez y calidad. Buena parte de Colombia está desprovista de estaciones de medición de todo tipo y las que existen están concentradas cerca a las tres grandes ciudades. La Amazonía colombiana no tiene información confiable suficientemente extensa, a pesar de su importancia climática, ambiental y de biodiversidad para el país.

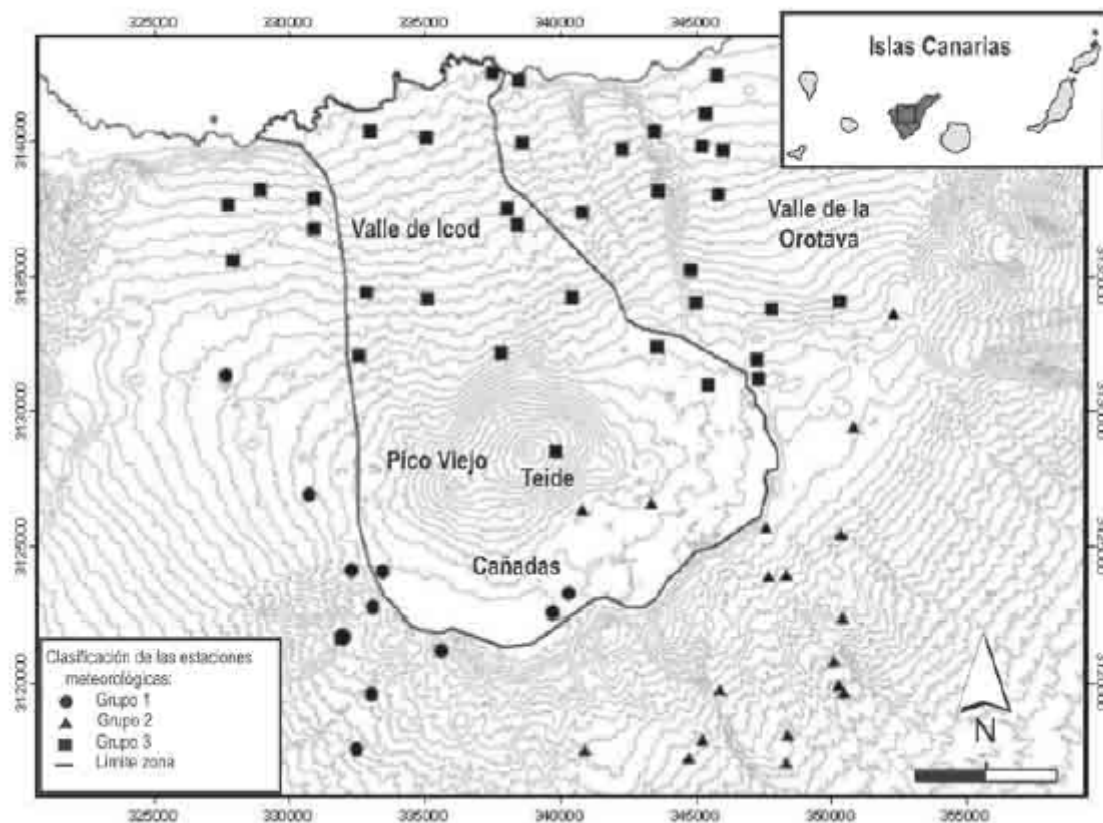
### **3.3 COMPARACIÓN DE MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA REALIZACIÓN DE MAPAS DE PRECIPITACIÓN PARA EL ACUÍFERO ICOD-CAÑADAS EN TENERIFE, ISLAS CANARIAS**

Este trabajo fue realizado en España, país de características climáticas muy diferentes a las nuestras, pero, donde estos métodos de interpolación han sido usados ampliamente y desde hace mucho tiempo, razón por la cual es de gran utilidad conocer tales experiencias.

El estudio hace una comparación de métodos para la elaboración de mapas de precipitación en una pequeña zona en las Islas Canarias. (Ver Figura 3.3) (T. Izquierdo y A. Márquez, 2006)

FIGURA 3.3

MAPA DE LOCALIZACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO EN EL QUE SE REPRESENTAN LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN GRUPOS HOMOGÉNEOS DE COMPORTAMIENTO DE PRECIPITACIÓN.



FUENTE: T. Izquierdo y A. Márquez, 2006

Para el primer método utilizado, kriging ordinario, se calculó el variograma de forma que la dependencia espacial de los datos quedaba incluida en la interpolación. La ventaja teórica de este método es precisamente la posibilidad de modelar la dependencia espacial de los datos, por lo que aporta los mejores resultados entre los métodos puramente espaciales en la interpolación de la precipitación. (T. Izquierdo y A. Márquez, 2006)

El segundo método utilizado fue la modelización de la precipitación mediante una regresión lineal que explique la variación de la precipitación con la altura en la totalidad de la zona de estudio. Para ello, se calculó la regresión lineal de la precipitación media mensual y se aplicó al Modelo Digital de Elevación. (T. Izquierdo y A. Márquez, 2006)

Debido a las características climáticas de la zona de estudio, la regresión lineal de la precipitación con la altura para el conjunto de las 64 estaciones utilizadas, ofrece correlaciones muy bajas con  $r^2$  siempre por debajo de 0,4 y en la mayoría de los casos por debajo de 0,1. La modelación realizada separando las vertientes Norte y Sur aporta mejores resultados, especialmente en la vertiente norte, con  $r^2$  por encima de 0,4 en 7 meses. A pesar de ello, sólo en 4 meses son estadísticamente significativas las correlaciones de ambas vertientes.

**TABLA 3.1**

**PRECIPITACIÓN MEDIA MENSUAL DE LA ZONA Y VALORES DE R2 PARA LA RELACIÓN DE PRECIPITACIÓN CON LA ALTURA PARA LA TOTALIDAD DE LA ZONA DE ESTUDIO, PARA LA VERTIENTE NORTE Y PARA LA VERTIENTE SUR.**

	Octubre	Noviembre	Diciembre	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre
P media (mm)	42,1	63,5	90	62,3	43,5	61,1	20	8,2	4,8	1,7	1,9	9,3
$r^2$ regresión lineal	0,1203	<b>0,0907</b>	0,0557	<b>0,068</b>	<b>0,082</b>	0,0389	<b>0,1968</b>	<b>0,3051</b>	<b>0,2409</b>	<b>0,3962</b>	0,0008	0,00001
$r^2$ regresión Norte	<b>0,264</b>	<b>0,711</b>	<b>0,475</b>	<b>0,674</b>	<b>0,415</b>	0,46	<b>0,596</b>	<b>0,51</b>	<b>0,273</b>	<b>0,536</b>	0,023	<b>0,201</b>
$r^2$ regresión Sur	0,133	<b>0,21</b>	0,06	<b>0,537</b>	0,02	<b>0,463</b>	0,003	0,178	<b>0,244</b>	0,001	<b>0,25</b>	0,00008

FUENTE: T. Izquierdo y A. Márquez, 2006

Los resultados obtenidos para el primer método indican que el uso de los datos de altitud en la elaboración de mapas de precipitación en el acuífero de Icod-Cañadas produce resultados de menor calidad que los métodos espaciales como el kriging, incluso teniendo en cuenta las especiales características climáticas de la zona. (T. Izquierdo y A. Márquez, 2006)

En los últimos años diversos autores han mostrado la utilidad de métodos geoestadísticos complejos en la interpolación de datos de precipitación, utilizando la correlación entre precipitación y altitud como una variable externa en la interpolación por kriging universal. Sin embargo, este método no está implementado en los programas más comunes de análisis e interpolación de datos espaciales (Surfer, ArcGIS), y sólo aporta errores más bajos que el kriging ordinario cuando las correlaciones entre precipitación y altitud son buenas, lo que no sucede en el caso del acuífero de Icod-Cañadas. (T. Izquierdo y A. Márquez, 2006)

En resumen, los resultados de este trabajo indican que la introducción del parámetro de la altitud en la elaboración de mapas de precipitación de la Zona Hidrogeológica III de Tenerife (acuífero de Icod-Cañadas) no aporta beneficios respecto a los métodos espaciales como el kriging, incluso teniendo en cuenta las especiales características climáticas de la zona en la modelación de la relación precipitación-altitud. (T. Izquierdo y A. Márquez, 2006)

### **3.4 CASO-ESTUDIO DE APLICACIÓN DE DATOS DE PRECIPITACIÓN RADAR A LA ESTIMACIÓN DE CAMPO DE PRECIPITACIONES CON FINES CLIMATOLÓGICOS**

Por último, se menciona una investigación en una zona cercana a Madrid pero para un período pequeño de tiempo, el mes de diciembre de 1996, con el fin de estimar un campo de precipitaciones utilizando datos de un radar meteorológico, una regresión lineal y un modelo de interpolación mediante Kriging Simple.

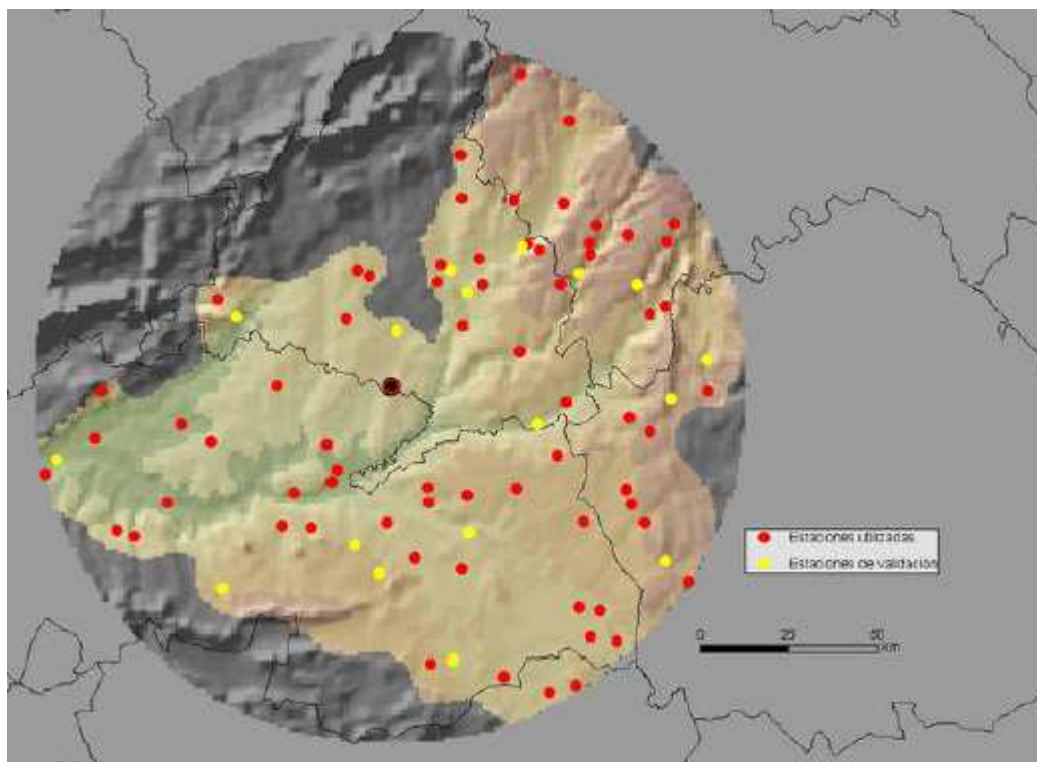
Los datos de precipitación calculados por el radar meteorológico están sujetos a una gran cantidad de errores debidos a la naturaleza y a las condiciones en las que opera el sistema de observación. Hay que considerar que la magnitud que se mide es la intensidad del eco de retorno y que de ella se deduce como dato básico  $Z$ , el factor de reflectividad para la precipitación, que solo queda bien determinado para el caso de precipitación en fase líquida. (Chazarra et al, 2002),

$Z$  es un parámetro que representa la suma de los diámetros elevados a la sexta potencia de los dispersores (gotitas de agua, por lo general) que existen en la unidad de volumen atmosférico de donde proviene la medida. (Chazarra et al, 2002)

El valor de  $Z$  permitiría deducir la intensidad de precipitación  $R$  si se conociera en cada punto la distribución de tamaño de las gotas y el espectro de sus velocidades de caída pero, como eso no es posible, el radar meteorológico aplica una relación fija  $Z = R^{1.6}$ , que elimina, de cierta manera, la notable variabilidad observada. (Chazarra et al, 2002)

#### FIGURA 3.4

#### DELIMITACIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO Y LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES.



FUENTE: Chazarra et al, 2002



Como resultado de la comparación del método basado en la altitud con el método basado en datos radar para estimar el campo de precipitación total mensual en el área de Madrid en diciembre de 1996 se deduce que el error cuadrático medio es ligeramente inferior (alrededor de un 10 %) para el método que usa datos radar (y ambos claramente mejores que el krigeado simple). Dada la particularidad de la muestra seleccionada hay que tomar este resultado con un valor orientativo solamente. Cabe afirmar entonces que los datos radar son en principio competitivos a la hora de estimar el campo espacial de precipitaciones y que la modulación de la estructura en pequeña escala de este campo que ofrece es potencialmente útil a este efecto. (Chazarra et al, 2002)

**TABLA 3.2**

**ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS OBTENIDOS CON CADA UNO DE LOS MÉTODOS.**

	Kriging	Regresión con la altitud + anomalías	Regresión con precipitación radar + anomalías
ECM (mm <sup>2</sup> )	1498.6	1052.6	947.7

FUENTE: T. Chazarra et al, 2002

En la Tabla 3.2 se aprecia una gran superioridad del método con radar a pesar de conocer la poca fiabilidad de sus datos por las condiciones propias de operación que ya se mencionaron. Por lo tanto, hay que entender este resultado como un valor referencial ya que se están usando valores de precipitación para un período muy corto de tiempo, insuficientes para sacar conclusiones sobre la aplicabilidad del método.

## CAPÍTULO 4

### CONFORMACIÓN DE LA BASE DE DATOS CLIMÁTICA Y DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN

#### 4.1 DISEÑO DE LA BASE DE DATOS

La base de datos climática se construyó a partir de los datos publicados por el Instituto Nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) en sus anuarios meteorológicos, y de los reportes obtenidos de la Dirección de Aviación Civil (DAC), correspondientes a los años 2000 al 2005, período suficiente para diferenciar los procesos climáticos del país, en particular en valores mensuales y estacionales.

Las variables manejadas en este proceso fueron las siguientes:

**TABLA 4.1**

#### VARIABLES CLIMATOLÓGICAS UTILIZADAS EN EL SIC

Suma de Precipitación Mensual
Suma Precipitación Anual
Temperatura Mínima Mensual
Temperatura Mínima Anual
Temperatura Máxima Mensual
Temperatura Máxima Anual
Temperatura Media Mensual
Temperatura Media Anual

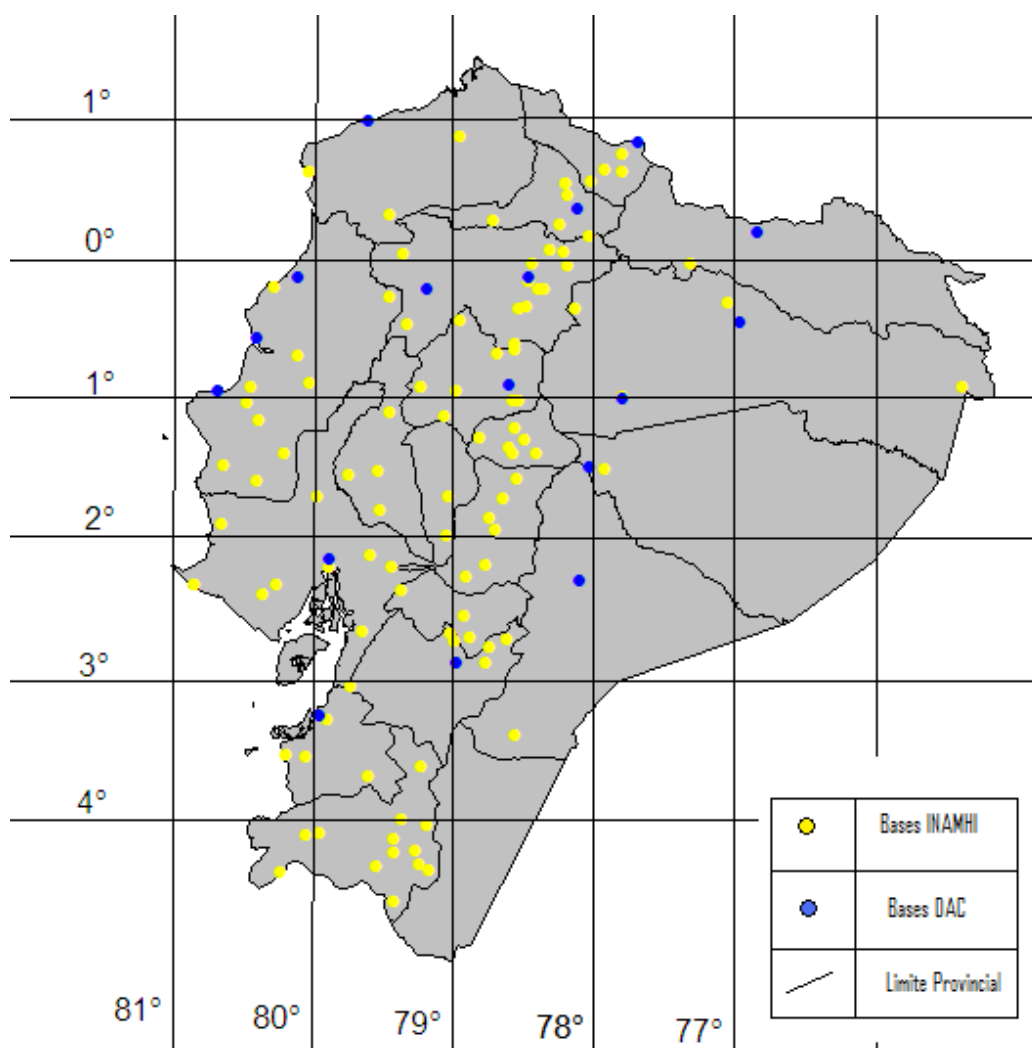
PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

Cabe mencionar que no todas las estaciones tienen información para los seis años con los que se trabajó, lo que muestra una deficiencia en la calidad de la información climática del país. El Anexo 1 presenta un resumen de las estaciones con información disponible para cada año, y el Anexo 2 es una compilación de todas las estaciones usadas para la creación de la base de datos.

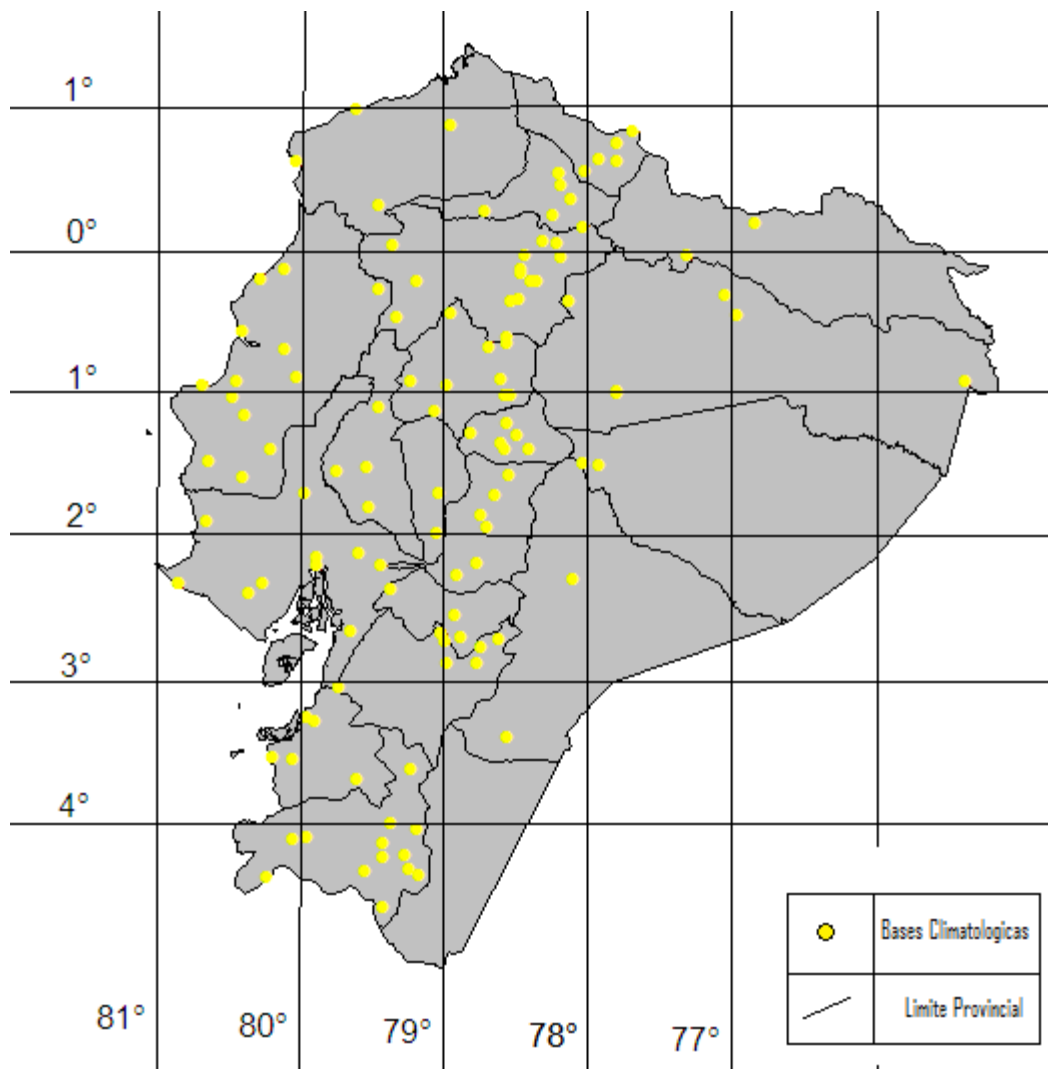
La figura 4.1 muestra la ubicación de las estaciones meteorológicas del INAMHI y de la DAC diferenciándose por su color. La figura 4.2 muestra todas las estaciones meteorológicas sin diferenciarlas.

#### FIGURA 4.1

#### UBICACIÓN GEOGRÁFICA DIFERENCIADA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS USADAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO



**FIGURA 4.2**  
**UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS**  
**USADAS EN EL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.**



PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

El proceso de diseño y construcción de la base de datos tuvo lugar en la plataforma Microsoft Access 2007, con lo cual se logra una compatibilidad con los sistemas operativos Microsoft Windows XP y Microsoft Windows Vista, únicamente. Otra de sus características es que es del tipo relacional, hecho que permite que el Sistema de Información capture los datos de precipitación y temperatura de manera rápida y eficiente, así también será para una futura incorporación de datos diarios de las variables consideradas, además de los datos mensuales y anuales.

## **4.2 DISEÑO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO-EPN**

El Sistema de Información Climático fue desarrollado bajo la plataforma Microsoft Visual Studio 6.0 con el lenguaje de programación Visual Basic, usando controles comunes de Microsoft como botones, campos de texto, etiquetas, menús desplegables, además de controles del tipo ActiveX, como ListViews. Su interfaz principal es un contenedor que permite ver las ventanas de aplicación dentro de otra más grande, haciendo fácil su administración.

La conexión con la base de datos se la hace a través de objetos ADO utilizando un driver ODBC para lograr portabilidad en la misma, esto significa, que cuando la aplicación sea ejecutada en cualquier otro ordenador, solo será necesario cargar el driver ODBC para lograr la mencionada conexión.

El Sistema de Información Climático fue diseñado para ingresar las coordenadas geográficas o decimales de un punto en el territorio ecuatoriano, buscando las estaciones más cercanas. A partir de allí escoger uno de los métodos de interpolación incorporados y de manera rápida obtener un valor estimado para las diferentes variables climatológicas.

## CAPÍTULO 5

# IMPLEMENTACIÓN DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN

Los métodos que se implementaron en el Sistema de Información fueron el IDW o Inverso de la Distancia, el Método Modificado de Shepard y el Método de Kriging Ordinario. Los dos primeros se escogieron por su relativa sencillez de aplicación y los buenos resultados que presentan en diferentes campos de la ingeniería como lo señala León et al. Y, el Método de Kriging Ordinario por ser un BLUE (Best Linear Unbiased Estimator), es decir, el mejor estimador lineal imparcial, lo que lo convierte en la técnica óptima para la interpolación de cualquier tipo de variable espacial (Domínguez, 1999). Además, como se mencionó anteriormente, es un interpolador exacto lo cual significa que para cada punto de medida  $x$ , el sistema da:

$$Z^*(x) = Z(x) \quad (5.1)$$

Y la varianza de Kriging  $\delta^2_k(x)$  será mínima, lo que elimina cualquier tipo de incertidumbre del punto medio, a comparación de otros métodos que no darán nunca un valor cierto así como tampoco proveen de información sobre la varianza de la estimación. (Domínguez, 1999)

### 5.1 IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO IDW

La base para la incorporación de este método al Sistema de Información Climático son las distancias euclidianas o geométricas entre los puntos de las estaciones y el punto con datos de la variable del clima no conocidos. Para esto se usó el siguiente algoritmo de cálculo:

$$D = ACOS(\text{sen}(\text{lat}1) \times \text{sen}(\text{lat}2) + \cos(\text{lat}1) \times \cos(\text{lat}2) \times \cos(\text{long}1 - \text{lon}2)) \times 111,95 \quad (5.2)$$

Donde:

$D$  Distancia entre dos puntos de la Tierra, en km

Una vez obtenidas las distancias en km. se calculan los pesos correspondientes con la fórmula también revisada anteriormente:

$$\lambda_i = \frac{1}{\frac{d_{ij}^\beta}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_{ij}^\beta}}} \quad (5.3)$$

Donde

$\lambda_i$  Peso de la estación  $i$

$d_{ij}$  Distancia geométrica entre la estación y el punto a interpolar

$\beta$  Coeficiente de ponderación

Luego, el valor desconocido se obtiene a partir de la sumatoria de la multiplicación del peso con el valor de la variable de la estación conocida, ya sea esta precipitación o temperatura:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \times Z(x)_i) \quad (5.4)$$

Donde:

$Z^*(x)$  Valor estimado de la variable

$Z(x)_i$  Valor de la variable en el punto conocido  $i$

$\lambda_i$  Peso de la estación  $i$

$n$  Número de estaciones vecinas

## 5.2 IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD

Este método es muy similar al anterior, ya que considera también, una media ponderada, siendo diferente la forma en que se calculan los pesos:

$$\lambda_i = \frac{\left[ \frac{R - dij}{R \times dij} \right]^2}{\sum \left[ \frac{R - dij}{dij} \right]^2} \quad (5.5)$$

Donde

$\lambda_i$             Peso de la estación  $i$

$R$                 Distancia geométrica de la estación más lejana y el punto a interpolar

$dij$              Distancia geométrica entre la estación y el punto a interpolar

A partir de estos pesos, se obtiene el valor desconocido con la misma ecuación que se usó para el IDW:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \times Z(x)_i) \quad (5.6)$$

Donde:

$Z^*(x)$         Valor estimado de la variable

$Z(x)_i$         Valor de la variable en el punto conocido  $i$

$\lambda_i$              Peso de la estación  $i$

$n$                 Número de estaciones vecinas



### 5.3 IMPLEMENTACIÓN DEL MÉTODO DE KRIGING ORDINARIO

Al ser un método geo estadístico, el Kriging Ordinario necesita la creación de un gráfico denominado semivariograma, o simplemente variograma, con lo cual establece la relación espacial entre los puntos de las estaciones meteorológicas conocidas. Este gráfico se genera a través del cálculo de la semivarianza. (Ver ecuación 5.7)

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N} \sum_{i=1}^N [Z(xi) - Z(xi+h)]^2 \quad (5.7)$$

Donde:

$\gamma(h)$  Semivarianza del intervalo h

$Z(x)$  Valor de la variable

$Z(x+h)$  Valor de la variable acumulada hasta el intervalo h

$N$  Número de observaciones

Cuando se ha obtenido el variograma experimental es necesario adaptar un variograma teórico a través de los parámetros descritos anteriormente, la meseta (o sill), el alcance (o range) y el efecto pepita (o nugget effect). El modelo teórico que mejor se ajusta se lo obtiene de forma visual, y a partir de este se obtienen las matrices propias de Kriging Ordinario.

$$\begin{bmatrix} 0 & \gamma(u_1 - u_2) & \dots & \gamma(u_1 - u_N) & 1 \\ \gamma(u_2 - u_1) & 0 & \dots & \gamma(u_2 - u_N) & 1 \\ \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ \gamma(u_N - u_2) & \gamma(u_N - u_2) & \dots & 0 & 1 \\ 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \lambda_1 \\ \lambda_2 \\ \vdots \\ \lambda_N \\ \varphi \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \gamma(u - u_1) \\ \gamma(u - u_2) \\ \vdots \\ \gamma(u - u_N) \\ 1 \end{bmatrix}$$

Donde:

$\gamma(u_n - u_m)$  Semivarianzas entre las observaciones

$\gamma(u_n - u)$  Semivarianzas entre las observaciones y el punto a interpolar

$\lambda_i$	Peso de la estación $i$
$\varphi$	Multiplicador de Lagrange

Equivalente a:

$$[A][\lambda] = [B] \quad (5.8)$$

Para la resolución de este sistema fue necesaria la incorporación del algoritmo de obtención de la matriz inversa aplicada a  $[A]$ , así:

$$[\lambda] = [A]^{-1}[B] \quad (5.9)$$

Una vez obtenida la matriz de pesos  $[\lambda]$ , el valor interpolado es calculado a través de la fórmula ya conocida:

$$Z^*(x) = \sum_{i=1}^n (\lambda_i \times Z(x)_i) \quad (5.10)$$

Donde:

$Z^*(x)$	Valor de la variable en el punto a interpolar
$Z(x)$	Valor de la variable en el punto conocido $i$
$\lambda_i$	Peso de la estación $i$
$n$	Número de estaciones vecinas

## CAPÍTULO 6

# VALIDACIÓN DE LOS MODELOS DE INTERPOLACIÓN A LAS CONDICIONES ECUATORIALES Y MONTAÑOSAS

Existen varios métodos de validación o ajuste para datos espaciales como por ejemplo, el Método de Papadakis el cual sugiere un análisis de covarianza a partir de valores residuales calculados entre el valor estimado y el valor real. Este método es muy usado en agricultura debido a su fácil interpretación en términos de productividad del suelo.

Otro método disponible es el Bloques Móviles de Wilkinson donde el valor residual de cada par es corregido por la media de los residuales de todos los pares para después realizar un análisis de covarianza de los resultados. Es un método poco recomendable para variables climatológicas.

El método escogido para este proyecto fue la Validación Cruzada debido a su sencillez en la aplicación y a la facilidad de interpretación de resultados para variables climatológicas. Consiste en eliminar el *i*-ésimo valor medido y estimarlo a partir del resto de datos. (Quintín, s.f).

La Validación Cruzada permite dividir una estructura de datos en secciones y probar de forma iterativa los modelos para cada sección de datos. Al comparar las medidas de los modelos generados para cada sección se aprecia el grado de confiabilidad del modelo respecto al conjunto total de datos.

Por tal razón, se dividió en tres zonas a la región costa, tres zonas a la región sierra, y una única zona a la región amazónica debido al escaso número de estaciones en la misma. Cada una de las zonas tendrá una estación de validación escogida al azar, es decir que tendremos tres validaciones para la costa, tres para la sierra, y una para el oriente, sumando un total de siete. (Ver Tabla 6.1)

La región insular no entró a formar parte de este proceso porque en la base de datos se cuenta con solamente dos estaciones, que además no tienen información completa (Ver Anexo 1).

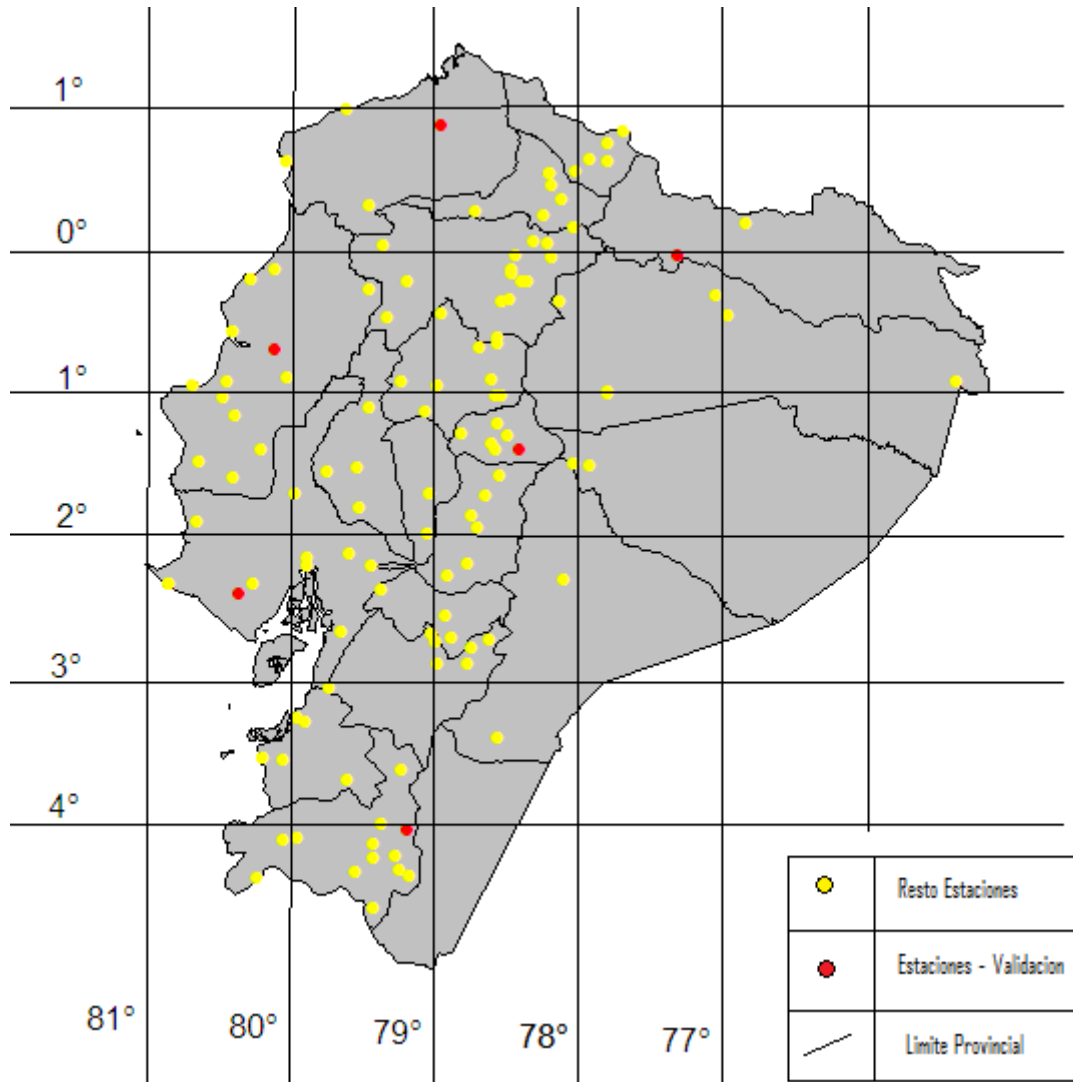
**TABLA 6.1**

**INFORMACIÓN DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS QUE FORMARON PARTE DEL PROCESO DE VALIDACIÓN CRUZADA.**

<u>Región</u>	<u>Zona</u>	<u>Nombre Estación</u>	<u>Latitud</u>	<u>Longitud</u>	<u>Altura</u>
Costa	Norte	Cayapas	0°51'18''N	78°57'54''W	75
	Centro	Chone	0°42'18''S	80°6'31''W	20
	Sur	El Progreso Guayas	2°24'0''S	80°22'0''W	80
Sierra	Norte	Mira FAO	0°32'0''N	78°2'0''W	2270
	Centro	Bannos	1°23'29''S	78°25'5''W	1846
	Sur	La Argelia Loja	4°2'11''S	79°12'4''W	2160
Amazonia	Única	Lumbaqui	0°2'19''S	77°20'2''W	580

ELABORADO: Ricardo José Moreano

**FIGURA 6.1**  
**UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS**  
**USADAS EN LA VALIDACIÓN CRUZADA**



PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

El error medio cuadrático es el parámetro que se usa normalmente para evaluar la efectividad estadística de cualquier variable, (León et al, 2004), y cuya fórmula es:

$$EMC = \sqrt{\frac{\sum_{j=1}^n (Z^*(x) - Z(x))^2}{n}} \quad (6.1)$$

Donde:

$Z^*(x)$	Valor estimado
$Z(x)$	Valor real
$n$	Tamaño de la muestra

## **6.1 VALIDACIÓN CRUZADA DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA EL ECUADOR**

La validación de los métodos de interpolación en el Ecuador se realizó individualmente para cada estación para un mes y año escogidos al azar. Se tomaron en cuenta las cuatro variables climatológicas disponibles en el Sistema, es decir, suma de precipitación, temperatura máxima, temperatura mínima, y temperatura mensual (media).

Los filtros de distancia para los métodos IDW y Modificado de Shepard, serán dos, uno entre los 0-100 km, y el otro entre 0-200 km, con el fin de comparar la influencia de las estaciones más cercanas en cada uno de los métodos y también para ver la diferencia que existe si se tiene una cantidad mayor de información en la interpolación.

Los filtros de altura van a estar determinados por la tabla de pisos zoogeográficos presentados por Albuja et al, s.f. que se muestra a continuación:

TABLA 6.2

## PISOS ZOOGEOGRÁFICOS DEL ECUADOR

<u>Pisos</u>	<u>Ubicación</u>	<u>Altitud</u>
Tropical Noroccidental	Noroccidente	0 a 800 y 1000
Tropical Suroccidental	Suroccidente	0 a 800 y 1000
Tropical Oriental	Oriente	0 a 800 y 1000
Subtropical Occidental	Occidente	800 y 1000 a 1800 y 2000
Subtropical Oriental	Oriente	800 y 1000 a 1800 y 2000
Temperado	Estribaciones y Valles	1800 y 2000 a 2800 y 3000
Altoandino	Altos Andes	3000 hasta el nivel nival
Galápagos	Océano Pacifico	0 a 1707

FUENTE: Albuja et al, s.f.

Por lo tanto las estaciones de la Costa tendrán filtro entre 0 – 1800 msnm ya que pertenecen a los pisos tropical y subtropical occidental, las estaciones de la Sierra pertenecen al piso temperado, es decir, entre 1800 – 3000 msnm, y la estación que se ubica en la Amazonía pertenece al piso tropical y subtropical oriental, 0 – 1800 msnm.

Para la validación del Método de Kriging Ordinario se tomará en cuenta el mismo criterio del filtro determinado por la Tabla 6.2, pero para el filtro de distancia se lo considerará variable con el fin de obtener un aproximado de 30 puntos graficados en el semivariograma, valor que es considerado el mínimo aceptable para que dicho gráfico permita identificar las correlaciones espaciales.

## 6.2 RESUMEN DE LOS ERRORES DE VALIDACIÓN

En esta parte del capítulo se presenta un resumen de los errores cuadráticos medios de los diferentes modelos de interpolación. La validación completa se encuentra en el Anexo 3.

**TABLA 6.3**

### COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN CAYAPAS.

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Prec. Suma	138.9	141.6	152.1	158.4	159.3	143.9	13.8
T. Máxima	0	1.2	1.0	1.9	0.6	0.1	5.0
T. Mínima	5.2	2.2	4.4	1.4	2.4	2.4	6.3
T. Mensual	0.9	0	0.0	0.7	0.7	1.0	0.1
	69.5	70.8	76.0	79.2	79.6	71.9	7.9

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano



**TABLA 6.4**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN CHONE.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Prec. Suma	67.4	73.7	94.9	94.9	124.3	130.1	109.6
T. Máxima	1.1	0.7	0.2	0.2	0.5	0.5	1.1
T. Mínima	1.3	1.0	0.6	0.6	0.1	0.1	0.2
T. Mensual	0.3	0	0.4	0.4	0.5	0.4	0.9
	33.7	36.8	47.4	47.4	62.1	65.0	54.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 6.5**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN EL PROGRESO GUAYAS.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Prec. Suma	193.8	233.2	188.3	209.9	167.2	173.4	177.8
T. Máxima	1.2	0	28.6	30.1	0.7	0.6	9.5
T. Mínima	2.2	0.7	21.7	22.8	1.2	0.8	1.2
T. Mensual	1.7	0.4	24.9	26.4	0.2	0.2	2.0
	96.9	116.6	96.6	107.4	83.6	86.7	89.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 6.6**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN MIRA FAO.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Prec. Suma	13.3	14.4	37.6	39.9	10.7	17.4	106.1
T. Máxima	4.1	4.1	8.0	8.7	0	0	5.6
T. Mínima	1.6	1.6	3.5	3.5	2.6	2.5	8.0
T. Mensual	0.1	0.1	3.2	3.5	0.2	0	2.3
	7.0	7.5	19.3	20.5	5.5	8.7	53.2

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 6.7**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN BANNOS.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Prec. Suma	25.1	26.7	67.4	68.7	28.5	28.2	3.1
T. Máxima	4.3	4.4	15.7	16.1	4.2	4.2	11.3
T. Mínima	7.6	7.8	11.8	11.9	7.8	7.9	18.8
T. Mensual	4.8	4.9	12.4	12.7	4.7	4.7	0.2
	13.5	14.2	35.6	36.3	15.1	14.9	11.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 6.8**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN LA ARGELIA LOJA.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Prec. Suma	49.4	56.8	66.5	69.3	40.2	39.9	1.5
T. Máxima	9.5	10.5	19.0	21.2	0.2	0.2	0.7
T. Mínima	5.4	5.7	9.9	11.0	0.6	0.9	7.3
T. Mensual	6.7	7.7	13.7	15.3	0.4	0.5	11.9
	25.5	29.2	35.5	37.4	20.1	19.9	7.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 6.9**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LA ESTACIÓN LUMBAQUI.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-150 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-150 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Prec. Suma	30.9	31.8	315.2	335.3	77.8	76.8	189.8
T. Máxima	2.2	4.7	26.9	29.0	4.4	4.9	34.3
T. Mínima	1.5	0.1	17.0	18.1	0.3	0.9	10.5
T. Mensual	0.1	1.7	21.8	23.3	1.8	2.2	18.4
	15.5	16.0	158.7	168.9	38.9	38.4	97.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 6.10**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE LA REGIÓN COSTA.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Cayapas	69.5	70.8	76.0	79.2	79.6	71.9	7.9
Chone	33.7	36.8	47.4	47.4	62.1	65.0	54.8
El Progreso Guayas	96.9	116.6	96.6	107.4	83.6	86.7	89.0
	71.5	81.5	76.0	81.7	75.6	75.0	60.5

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 6.11**

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LAS ESTACIONES DE LA REGIÓN SIERRA.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Mira FAO	7.0	7.5	19.3	20.5	5.5	8.7	53.2
Bannos	13.5	14.2	35.6	36.3	15.1	14.9	11.0
La Argelia Loja	25.5	29.2	35.5	37.4	20.1	19.9	7.0
	17.1	19.2	31.0	32.3	14.8	15.2	31.6

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 6.12

**COMPARACIÓN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS TOTALES CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA TODAS LAS ESTACIONES QUE FORMARON PARTE DE LA VALIDACIÓN.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Cayapas	69.5	70.8	76.0	79.2	79.6	71.9	7.9
Chone	33.7	36.8	47.4	47.4	62.1	65.0	54.8
El Progreso Guayas	96.9	116.6	96.6	107.4	83.6	86.7	89.0
Mira FAO	7.0	7.5	19.3	20.5	5.5	8.7	53.2
Bannos	13.5	14.2	35.6	36.3	15.1	14.9	11.0
La Argelia Loja	25.5	29.2	35.5	37.4	20.1	19.9	7.0
Lumbaqui	15.5	16.0	158.7	168.9	38.9	38.4	97.0
	48.5	55.1	80.5	85.9	52.5	52.2	57.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 6.13

**RESUMEN DE ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN PARA LAS VARIABLES CLIMATOLÓGICAS USADAS.**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Suma Precipitación	96.8	110.2	159.1	169.7	105.1	104.3	114.0
Temperatura Máxima	4.3	4.9	17.7	19.0	2.3	2.4	14.4
Temperatura Mínima	4.2	3.8	12.1	12.6	3.2	3.3	9.4
Temperatura Mensual	3.2	2.2	14.3	15.3	1.9	2.0	8.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

### 6.3 VALIDACIÓN CRUZADA PARA EL MODELO DIGITAL DE TERRENO DEL INSTITUTO GEOGRÁFICO MILITAR

**TABLA 6.14**

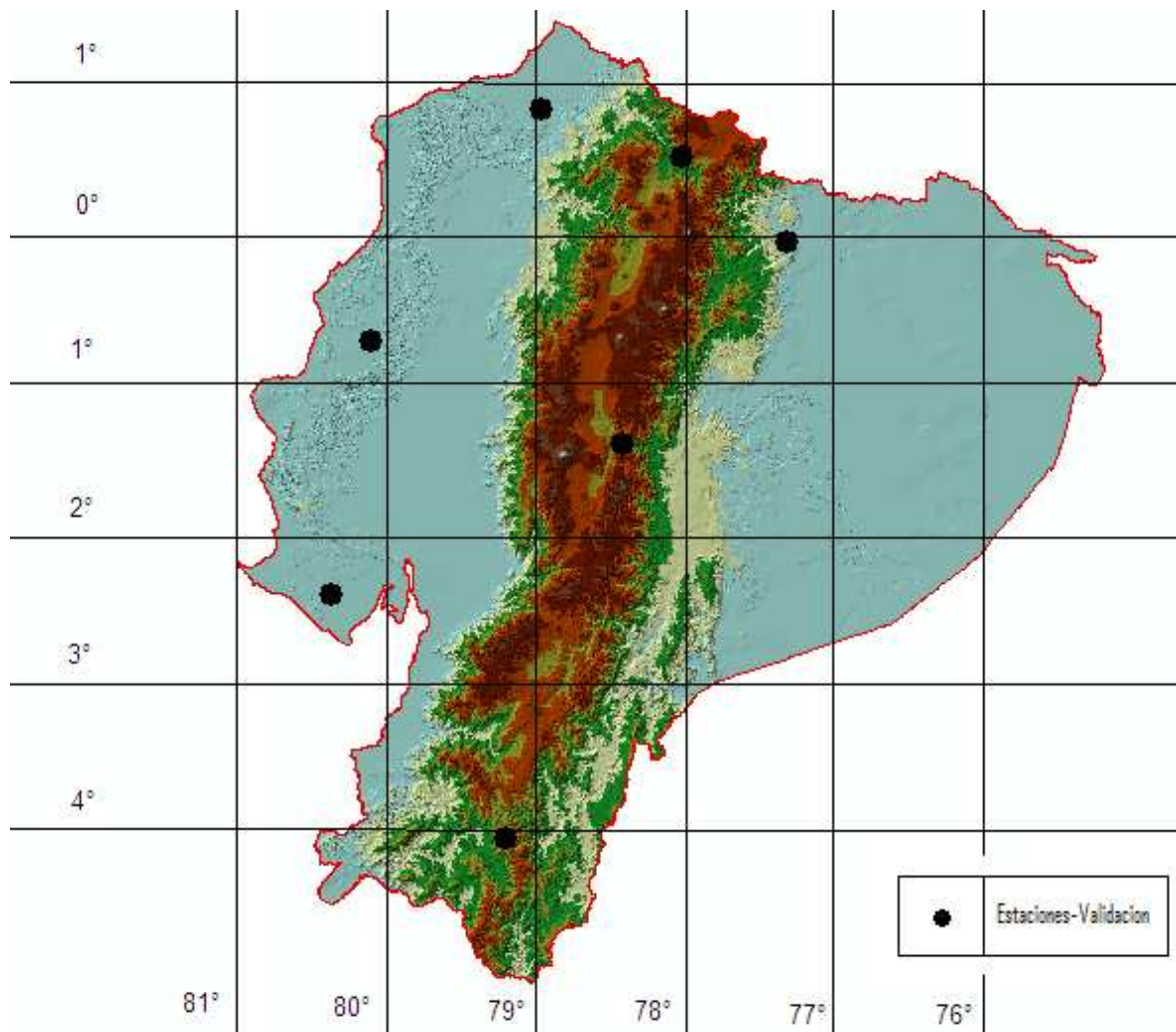
**ALTURA REAL, ALTURA ESTIMADA Y ERROR MEDIO CUADRÁTICO DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS EN LA VALIDACIÓN DEL MODELO DIGITAL DE TERRENO ESCALA 1:250.000.**

<u>Región</u>	<u>Zona</u>	<u>Nombre Estación</u>	<u>Altura real</u>	<u>Altura estimada</u>	<u>EMC individual</u>	<u>EMC Región</u>	<u>EMC Total</u>
	Norte	Cayapas	75	131,21	56,21	109.4	156,96
Costa	Centro	Chone	20	200	180		
	Sur	El Progreso Guayas	80	100	20		
	Norte	Mira FAO	2270	1914,49	355,51	208.2	
Sierra	Centro	Bannos	1846	1800	46		
	Sur	La Argelia Loja	2160	2200	40		
Amazonia	Única	Lumbaqui	580	500	80	80	

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

FIGURA 6.2

UBICACIÓN GEOGRÁFICA DE LAS ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS  
USADAS EN LA VALIDACIÓN CRUZADA EN EL MODELO DIGITAL DE  
TERRENO ESCALA 1:250.000



PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano



## CAPITULO 7

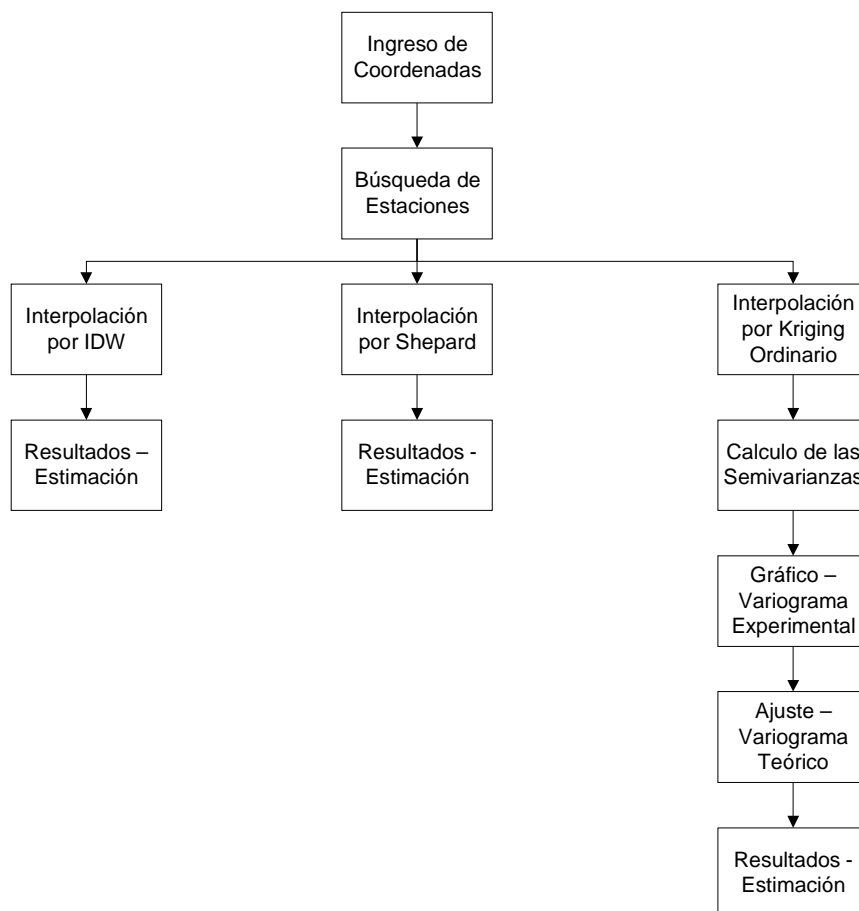
### SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO

Este capítulo se presenta en términos de Manual de Usuario del programa “Sistema de Información Climático-EPN”, que es el resultado del proyecto de titulación.

En primera instancia el programa se instala en cualquier ordenador mediante el acceso a su archivo SET UP, que está en el CD adjunto. Una vez seguido el proceso normal de instalación del software, éste se encuentra listo para usarse ya que la conexión a la base de datos se crea automáticamente.

**FIGURA 7.1**

**DIAGRAMA DE LA ESTRUCTURA DEL SIC-EPN**



ELABORACIÓN: Ricardo José Moreano

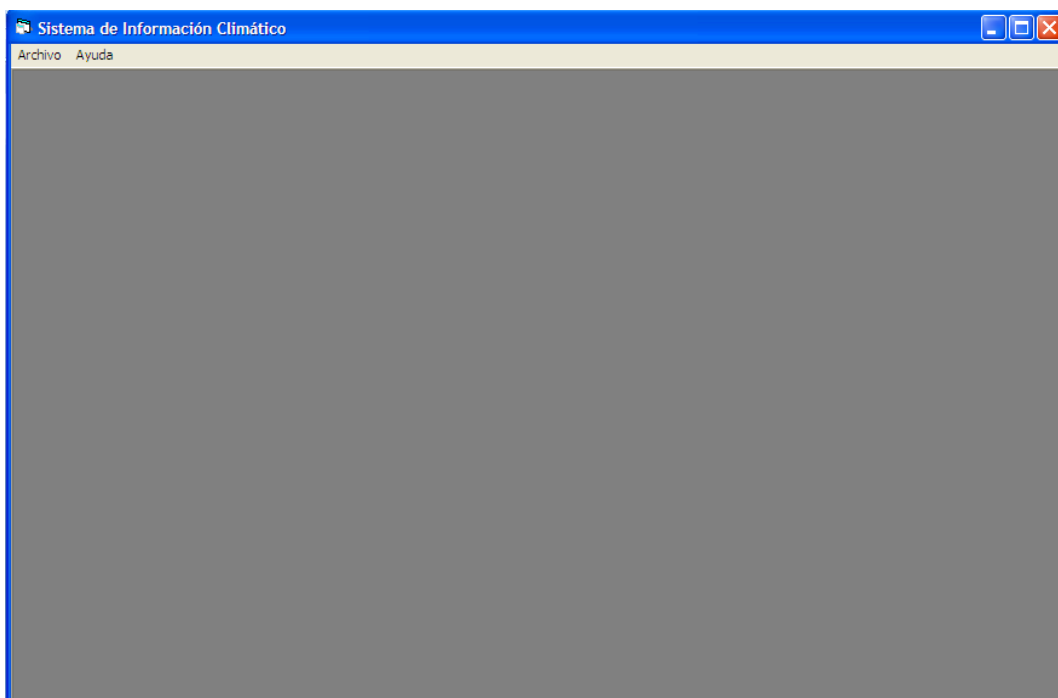
La Figura 7.1 muestra un esquema de cómo está estructurado el Sistema de Información Climático - EPN

## **7.1 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL SISTEMA E INGRESO DE COORDENADAS**

La Figura 7.2 muestra la ventana general de presentación del Sistema de Información Climático.

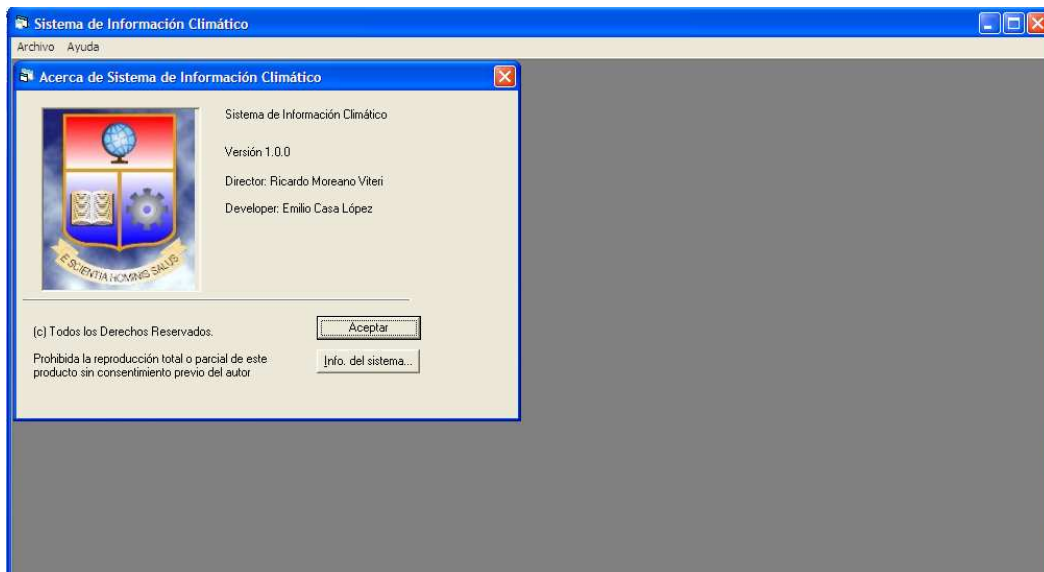
### **FIGURA 7.2**

#### **VENTANA GENERAL DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO**



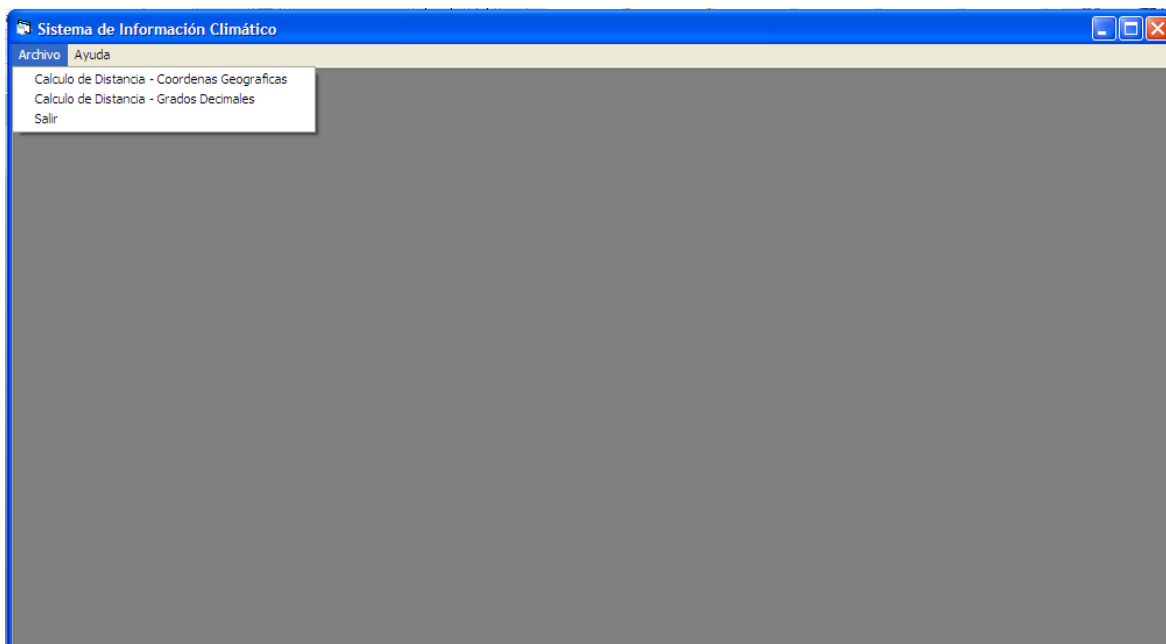
PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

Existen dos menús desplegables en la ventana general del programa. El menú de ayuda (Ver Figura 7.3) permite el ingreso a la información del sistema.

**FIGURA 7.3****VENTANA DE AYUDA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO**

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

Y el menú de archivo despliega tres opciones (Ver Figura 7.4). La primera abrirá una ventana para calcular las distancias desde un punto de latitud y longitud conocidas, a las diferentes estaciones almacenadas en la base de datos, a través de valores de coordenadas geográficas, la segunda hará lo propio a través de coordenadas decimales, y la tercera opción cerrará la aplicación.

**FIGURA 7.4****MENÚ DE ARCHIVO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO**

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

El siguiente paso es ingresar las coordenadas del punto que va a ser estimado. En la Figura 7.5, se aprecian los campos de texto para ubicar los datos de latitud y longitud con su respectivo hemisferio.

En la parte derecha de la ventana se ubican los rangos de altitud y distancia entre los cuales escogeremos que se busque a las estaciones climatológicas presentes en la base de datos. El botón BUSCAR es el que permitirá que ese proceso se lleve a cabo, mientras que el botón LIMPIAR, eliminará cualquier valor en los campos de texto antes mencionados.

**FIGURA 7.5**  
**VENTANA DE CÁLCULO DE DISTANCIAS CON COORDENADAS**  
**GEOGRÁFICAS DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO**

Calculo de Distancia - Coordenadas Geográficas

Latitud: 2 ° 33 ' 45 " Sur  Altura:  Distancia:  Buscar  
 Longitud: 78 ° 45 ' 56 " Oeste Entre: 0 y 3500 Entre: 0 y 100 Limpiar

Codigo	Nombre	Altitud	Distancia	Latitud	Hemisferio	Longitud	Meridiano
<input type="checkbox"/> M031	Cannar	3083	19.140071	2.551389	Sur	78.9375	Oeste
<input type="checkbox"/> M045	Palmas - Azuay	2400	22.790147	2.716111	Sur	78.62972222	Oeste
<input type="checkbox"/> M130	Chillanes	2330	73.171704	1.975556	Sur	79.06333333	Oeste
<input type="checkbox"/> M133	Guaslan	2750	94.305102	1.720833	Sur	78.66111111	Oeste
<input type="checkbox"/> M134	Guamote	3020	70.170126	1.933333	Sur	78.71666667	Oeste
<input type="checkbox"/> M136	Chunchi	2245	36.446125	2.275278	Sur	78.92361111	Oeste
<input type="checkbox"/> M137	Biblian	2640	21.475141	2.708889	Sur	78.89166666	Oeste
<input type="checkbox"/> M138	Paute	2289	23.918166	2.7775	Sur	78.75888889	Oeste
<input type="checkbox"/> M139	Gualaceo	2360	35.540676	2.881944	Sur	78.77638889	Oeste
<input type="checkbox"/> M141	El Labrado	3260	32.924554	2.732778	Sur	79.00805556	Oeste
<input type="checkbox"/> M176	Naranjal	30	99.57171	2.662222	Sur	79.65638889	Oeste
<input type="checkbox"/> M189	Gualaquiza IN...	750	95.70797	3.4	Sur	78.56666666	Oeste
<input type="checkbox"/> M218	Ingenio San Ca...	35	85.382118	2.2	Sur	79.44305556	Oeste
<input type="checkbox"/> MA2U	Ingenio Aztra - ...	50	70.779985	2.374167	Sur	79.37416667	Oeste
<input type="checkbox"/> MA41	Chanlud	3440	32.153577	2.676944	Sur	79.03138889	Oeste
<input type="checkbox"/> MA60	Shiry XII	3028	79.244573	1.85	Sur	78.75	Oeste

Método Interpolación: IDW

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

La ventana de Coordenadas Decimales tiene la misma forma y funciones que la ventana de Coordenadas Geográficas. (Ver Figura 7.6)

FIGURA 7.6

## VENTANA DE CÁLCULO DE DISTANCIAS CON COORDENADAS DECIMALES DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO

Codigo	Nombre	Altitud	Distancia	Latitud	Hemisferio	Longitudud	Meridiano
<input type="checkbox"/>	M031	Cannar	3083	19.140133	Sur	78.9375	Deste
<input type="checkbox"/>	M045	Palmas - Azuay	2400	22.790106	Sur	78.62972222	Deste
<input type="checkbox"/>	M130	Chillanes	2330	73.171732	Sur	79.06333333	Deste
<input type="checkbox"/>	M133	Guastan	2750	94.305094	Sur	78.66111111	Deste
<input type="checkbox"/>	M134	Guamote	3020	70.170122	Sur	78.71666667	Deste
<input type="checkbox"/>	M136	Chunchi	2245	36.446154	Sur	78.92361111	Deste
<input type="checkbox"/>	M137	Biblian	2640	21.475181	Sur	78.89166666	Deste
<input type="checkbox"/>	M138	Paute	2289	23.918164	Sur	78.75888889	Deste
<input type="checkbox"/>	M139	Gualaeco	2360	35.540679	Sur	78.77638889	Deste
<input type="checkbox"/>	M141	El Labrado	3260	32.924604	Sur	79.00805556	Deste
<input type="checkbox"/>	M176	Naranjal	30	99.571771	Sur	79.65638889	Deste
<input type="checkbox"/>	M189	Gualaquiza IN...	750	95.707956	Sur	78.56666666	Deste
<input type="checkbox"/>	M218	Ingenio San Ca...	35	85.382172	Sur	79.44305556	Deste
<input type="checkbox"/>	MA2U	Ingenio Aztra -...	50	70.780044	Sur	79.37416667	Deste
<input type="checkbox"/>	MA41	Chanlud	3440	32.153633	Sur	79.03138889	Deste
<input type="checkbox"/>	MA60	Shiry XII	3028	79.244572	Sur	78.75	Deste

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

La selección de las estaciones se puede hacer de manera individual haciendo clic en el cuadrado a la izquierda del código de cada estación, o de forma total, haciendo clic en el botón de SELECCIONAR TODO. Una vez escogidas las estaciones, se selecciona el método de interpolación en el menú inferior izquierdo y se presiona el botón INTERPOLAR.

## 7.2 RESULTADOS DE LA INTERPOLACIÓN POR EL MÉTODO DE IDW

Cuando se escoge el método IDW se abre una ventana como la mostrada en la Figura 7.7.

FIGURA 7.7

## VENTANA DEL MÉTODO IDW DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO

The screenshot shows a software window titled "Interpolacion - IDW". At the top, there are three input fields: "Beta:" with the value "2", "Zi:" with the value "64.666403", and a button labeled "Interpolar". Below these are two dropdown menus: "Año:" set to "2002" and "Mes:" set to "Junio".

On the left, there is a section titled "Opciones" with four radio buttons: "Temperatura Máxima", "Temperatura Mínima", "Temperatura Mensual", and "Precipitacion Suma", which is selected.

In the center, there is a list box titled "Bases CON datos para la interpolación escogida" containing the following stations: Cannar, Palmas - Azuay, Chillanes, Guaslan, Chunchi, Paute, Gualaceo, El Labrado, Naranjal, and Gualaquiza INMAHI.

On the right, there is another list box titled "Bases SIN datos para la interpolación escogida" containing the following stations: Guamate, Biblian, and Ingenio San Carlos.

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

Se ingresa el coeficiente de ponderación beta (normalmente igual a dos), y se escoge el año, el mes y la variable climatológica a ser estimada. Los resultados arrojados después de presionar el botón INTERPOLAR, serán, por un lado, el valor estimado para las condiciones escogidas anteriormente, una lista con las estaciones que no cuentan con información para ese mes, ese año y esa variable, y otra con las estaciones que si tienen información.

### 7.3 RESULTADOS DE LA INTERPOLACIÓN POR EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD

La ventana que resulta de escoger el método modificado de Shepard (Figura 7.8) es muy similar a la mostrada para el método IDW (Figura 7.7), pero no cuenta con el campo para ingresar el valor del coeficiente beta.

**FIGURA 7.8**

#### VENTANA DEL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO

Interpolación - Modificado de Shepard

Año: 2002 Zi: 55.295594 Interpolar

Mes: Junio

Opciones:

- Temperatura Máxima
- Temperatura Mínima
- Temperatura Mensual
- Precipitación Suma

Bases CON datos para la interpolación escogida:

- Cannar
- Palmas - Azuay
- Chillanes
- Guaslan
- Chunchi
- Paute
- Gualaceo
- El Labrado
- Naranjal
- Gualaquiza INMAHI

Bases SIN datos para la interpolación escogida:

- Guamote
- Biblian
- Ingenio San Carlos

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano



## 7.4 RESULTADOS DE LA INTERPOLACIÓN POR EL MÉTODO DE KRIGING

El método de Kriging Ordinario muestra una ventana más compleja mostrada en la Figura 7.9.

**FIGURA 7.9**  
**VENTANA DE CÁLCULO DE SEMIVARIANZAS DEL MÉTODO KRIGING ORDINARIO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO**

The screenshot shows the 'Interpolacion Kriging' application window. It includes the following elements:

- Year (Año):** 2002
- Month (Mes):** Junio
- Options (Opciones):**
  - Temperatura Máxima
  - Temperatura Mínima
  - Temperatura Mensual
  - Precipitación Suma
- Calculate Button:** Calcular Distancias y Semi-varianzas
- Table of Pairs (Pares):**

Pares	Distancias	Semi-varianzas
Cannar y Palmas - Azuay	38.784304	10892.880901
Cannar y Chillanes	65.537789	480.5
Cannar y Guastan	97.325347	37.845007
Cannar y Chunchi	30.740635	322.580002
Cannar y Paute	32.026793	131.220012
Cannar y Gualaceo	40.880246	0.979999
Cannar y El Labrado	21.638442	300.125
Cannar y Naranjal	80.798795	188.179993
Cannar y Gualaquiza INMAHI	102.954168	14078.420512
Cannar y Ingenio Aztra - La Troncal	52.359646	139.445013
Cannar y Chanlud	17.426211	1099.805072
Cannar y Shiry XII	80.724891	4.5
Cannar y Aeropuerto Cuenca Lamar	37.626856	33.620006
Cannar y Aeropuerto Macas Macas	95.078749	11597.645465
Palmas - Azuay y Chillanes	95.401774	15948.98109
Palmas - Azuay y Guastan	110.723882	9646.605742
Palmas - Azuay y Chunchi	58.895067	14964.501072
- Excluded Stations (Estaciones que NO están contempladas para la formación de parejas):**
  - Guamate
  - Biblian
  - Ingenio San Carlos
  - Aeropuerto Guayaquil Olmedo

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

Después de haber escogido el mes, el año y la variable climatológica, se hace clic en el botón CALCULAR DISTANCIAS Y SEMIVARIANZAS, con lo cual el sistema calcula todos los pares posibles entre las estaciones escogidas en el paso anterior, sus respectivas distancias y las semivarianzas.

Para poder graficar el semivariograma es necesario ordenar las distancias de los pares entre las estaciones en forma ascendente, por lo que se da un clic en la pestaña de DISTANCIAS, y el programa inicia ese proceso. Una vez hecho esto, se abrirá un cuadro adicional en la misma ventana, que calculará los intervalos de distancias (o lags) dentro de los cuales se ubicarán las semivarianzas acumuladas. El programa permite ingresar el tamaño del intervalo.

FIGURA 7.10

## VENTANA DE CÁLCULO DE SEMIVARIANZAS E INTERVALOS DEL MÉTODO KRIGING ORDINARIO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.

Interpolacion Kriging

Año: 2002  
Mes: Junio

Opciones:  
 Temperatura Máxima  
 Temperatura Mínima  
 Temperatura Mensual  
 Precipitación Suma

Calcular Distancias y Semi-varianzas

Pares	Distancias	Semi-varianzas
El Labrado y Chanlud	6.72762	250.880034
Paute y Gualaceo	11.775047	154.880007
Palmas - Azuay y Paute	15.887253	8632.980702
El Labrado y Aeropuerto Cuenca Lamar	17.330413	534.645025
Cannar y Chanlud	17.426211	1099.805072
Guaslan y Shiry XII	17.432182	16.245004
Cannar y El Labrado	21.638442	300.125
Gualaceo y Aeropuerto Cuenca Lamar	22.987829	23.120008
Chanlud y Aeropuerto Cuenca Lamar	23.9229	1518.005126
Palmas - Azuay y Gualaceo	24.603889	11100.500853
Paute y Aeropuerto Cuenca Lamar	27.724958	297.680037
Paute y El Labrado	28.117055	34.444934
Gualaceo y El Labrado	30.611925	335.40499
Cannar y Chunchi	30.740635	322.580002
Cannar y Paute	32.026793	131.220012
Paute y Chanlud	32.265354	471.245023
Gualaceo y Chanlud	36.355002	1168.445055

Estaciones que NO están contempladas para la formación de parejas:  
Guamote  
Biblian  
Ingenio San Carlos  
Aeropuerto Guayaquil Olmedo

Tamaño del Intervalo: 2

Calcular Lags

Graficar

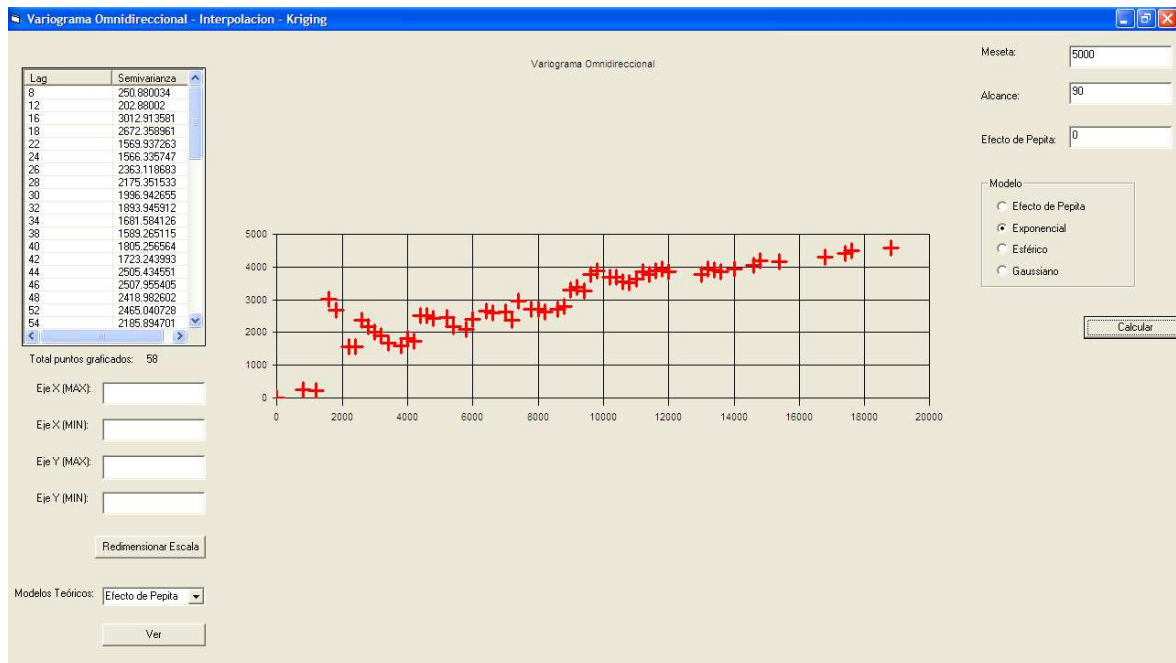
Lag	Intervalo	Numero Pares ...	Numero Pares ...	Semivarianza
2	0 - 2	0	0	0
4	2 - 4	0	0	0
6	4 - 6	0	0	0
8	6 - 8	1	1	250.880034
10	8 - 10	0	1	250.880034
12	10 - 12	1	2	202.88002
14	12 - 14	0	2	202.88002
16	14 - 16	1	3	3012.913581
18	16 - 18	3	6	2672.358961
20	18 - 20	0	6	2672.358961
22	20 - 22	1	7	1569.937263
24	22 - 24	2	9	1566.335747
26	24 - 26	1	10	2363.118683

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

Al dar clic en el botón GRAFICAR (Ver Figura 7.10), el Sistema de Información Climático, ubica los puntos en un sistema de coordenadas xy, donde en el eje de las abscisas se colocan los intervalos (lags) y en el eje de las ordenadas las semivarianzas acumuladas. Los resultados se presentan en otra ventana.

FIGURA 7.11

### VENTANA DEL SEMIVARIOGRAMA EXPERIMENTAL Y SU AJUSTE A UN MODELO TEÓRICO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.



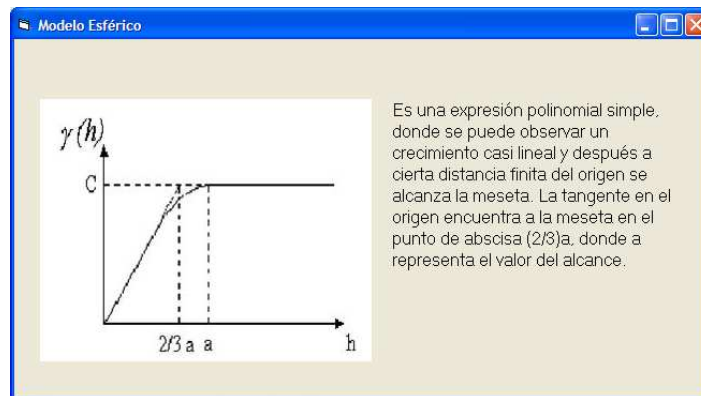
PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

La información que se despliega en esta ventana (Figura 7.11) está relacionada con el variograma experimental. En la parte superior izquierda se presenta una lista de los intervalos (lags) graficados con sus respectivas semivarianzas. Más abajo se encuentra una opción que permite redimensionar la escala del gráfico con el fin de apreciar mejor la dispersión de los puntos.

En la parte inferior izquierda se tienen los modelos teóricos y un botón VER, el cual abrirá sus respectivos diagramas para una comparación con el modelo experimental. (Ver Figuras 7.12, 7.13, 7.14, y 7.15)

FIGURA 7.12

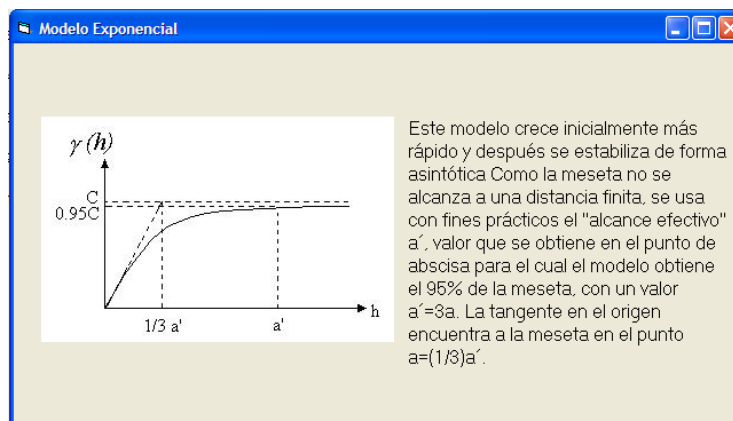
### VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO ESFÉRICO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.



PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

FIGURA 7.13

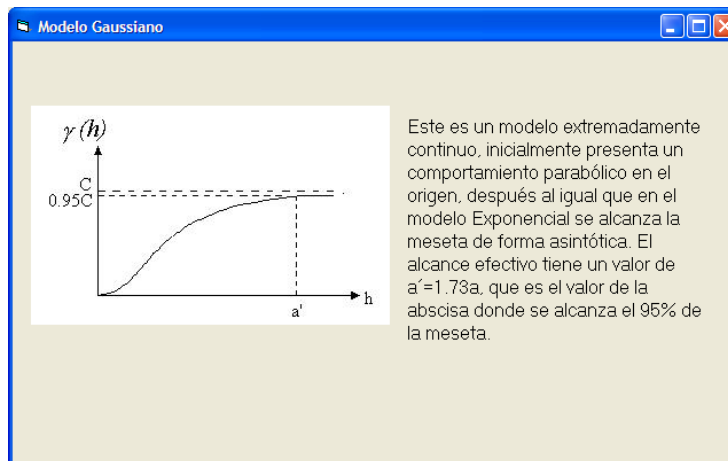
### VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO EXPONENCIAL DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.



PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

FIGURA 7.14

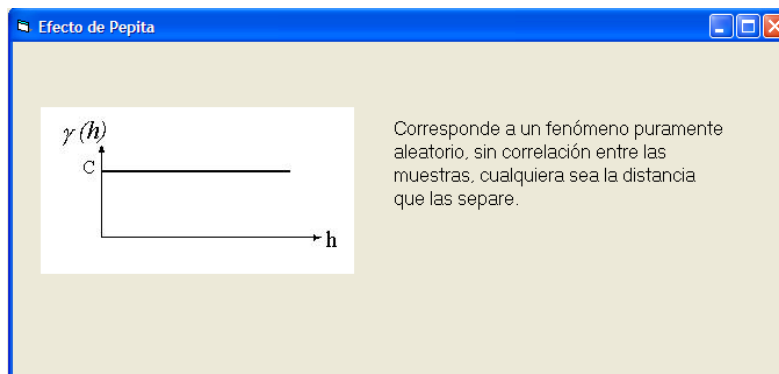
### VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO GAUSSIANO DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.



PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

FIGURA 7.15

### VENTANA DE COMPARACIÓN DEL MODELO EFECTO PEPITA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.

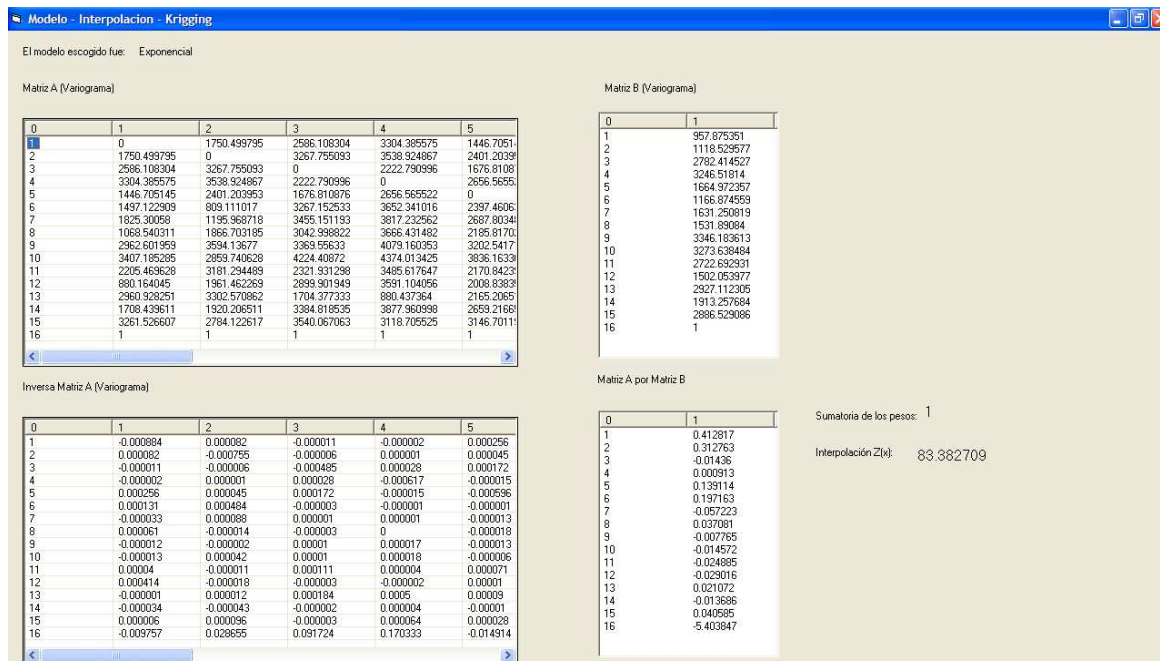


PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

En la parte superior derecha de la ventana, se pondrán los valores de la meseta (o sill), alcance (o range) y efecto pepita (nugget effect) que serán el resultado del análisis visual del semivariograma experimental. Se escoge también el modelo teórico previamente comparado y se hace clic en CALCULAR para dar paso a la formación de las matrices del método.

FIGURA 7.16

## VENTANA DE CÁLCULO DE LAS MATRICES DEL MÉTODO KRIGING DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO.



PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

Las matrices presentes en esa ventana (Figura 7.16), son las que se mencionaron en el Capítulo 3 del presente proyecto, es decir, en la parte superior están  $[A]$  y  $[B]$ , y en la parte inferior  $[A]^{-1}$  y  $[C]$ , que es el resultado de la multiplicación de  $[A]^{-1} \cdot [B]$ .

Existe, también, información del dato estimado  $Z(x)$ , y de la sumatoria de los pesos  $\lambda_i$  (valores presentes en la matriz C), que tienen que ser igual a la unidad.

## **7.5 LIMITACIONES DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN CLIMÁTICO-EPN**

La única limitación del Sistema de Información Climático-EPN es un error relacionado con el gráfico en el método de Kriging Ordinario. Este algoritmo, llamado Microsoft Chart, únicamente permite graficar hasta 145 puntos, valor que de ser sobrepasado determinará un error de OVERFLOW.

El mismo error puede aparecer si existe una gran diferencia entre los valores máximos y mínimos de la semivarianzas, ya que el espacio determinado por el sistema para el gráfico es finito y depende las escalas tanto en el eje de las abscisas como en el de las ordenadas.

## CAPÍTULO 8

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

- La limitante más grande de este proyecto es, sin lugar a dudas, la poca y deficiente información climática en el país, provocada por la mala distribución de las estaciones climatológicas. Estas se ubican en zonas cercanas a las ciudades principales, así como también en la serranía a lo largo de la Cordillera de los Andes, dejando grandes vacíos en regiones como la amazónica, que está totalmente desprovista de datos fiables, a pesar de la importancia económica que tiene la zona para el país. En provincias donde son constantes las inundaciones como Esmeraldas, Manabí y Guayas, tampoco existe una densidad de estaciones que permita crear una base de datos de buena calidad.
- Pero no sólo es la poca cantidad de estaciones meteorológicas, sino la calidad de información de las mismas. Como se ve en el Anexo 1, no todas cuentan con información para todos los años, provocando discontinuidad en los datos y vacíos en los registros históricos lo cual limita considerablemente cualquier intento de predicción, y la utilización de métodos de interpolación como los vistos a lo largo de este trabajo.
- Comparando los métodos que dependen directamente de la distancia, es decir el IDW y el Modificado de Shepard, se determinó que las estimaciones arrojan mejores resultados con filtros de distancia mayores, como se aprecia en la Tabla 6.12, cuando se consideró un rango entre 0-200 km y 0-100 km.
- La Tabla 6.12 nos permite concluir que los métodos IDW y Kriging Ordinario son claramente superiores al Modificado de Shepard de acuerdo a los valores de los errores medios cuadráticos totales.



- La Tabla 6.13 muestra una clara diferencia entre el Método de Kriging Ordinario y el IDW, siendo mejor el primero, en especial para valores de temperatura. Para valores de precipitación el IDW con filtro de distancia entre 0-200 km presentó el valor de error más bajo.
- Considerándose que para la validación de Kriging Ordinario se utilizaron alrededor de 30 puntos para el gráfico del semivariograma, siendo este, el mínimo de puntos recomendado, se concluye que este método fue el que mejores resultados presentó.
- La validación del Modelo Digital de Terreno arrojó errores bajos para la región de la Costa y el Oriente, mientras que para la Sierra se registraron errores altos (Ver Tabla 6.14)
- Para un uso más eficiente del Sistema de Información Climático, se recomienda incorporar el Modelo Digital de Terreno a la programación del código fuente, para no perder tiempo al utilizar los dos software paralelamente. Se podría, también, alcanzar un mejor detalle obteniendo el MDT de escala 1:50.000 de los archivos del IGM.
- Se recomienda, también, aumentar un método de mínimos cuadrados en el ajuste del variograma experimental al variograma teórico, para evitar los errores del observador/interpolador en la determinación de la meseta, alcance y efecto pepita.
- Un análisis más detallado en la interpolación de Kriging Ordinario se puede lograr a través de la elaboración de variogramas con dirección, y no solo omnidireccionales, para lo cual es necesario añadir a la base de datos los ángulos entre las estaciones en los ejes xyz (tres dimensiones).

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aguilar Torres, FJ et al, (2002), Efectos de la Morfología del Terreno, Densidad Muestral y Métodos de Interpolación en la Calidad de los Modelos Digitales de Elevaciones  
<http://www.google.com.ec/search?hl=es&q=DISTRIBUCI%C3%93N+ESPACIAL+Y+CICLOS+ANUAL+Y+SEMIANUAL+DE+LA&meta=>
- Albuja, L. Ibarra, M. Urgilés, J. Barriga, R. (s.f.) Estudio Preliminar de los Vertebrados Ecuatorianos. Quito, Ecuador, Escuela Politécnica Nacional.
- Alcalá Navarro, J, (1997), TIN vs. IDW. Análisis de las Diferencias entre los Modelos Digitales de Elevación  
<http://www6.uniovi.es/~feli/Invitados/alcala/texto.html>
- Brovelli, M. (s.f.), Interpolation,  
[http://geomatica.como.polimi.it/corsi/sist\\_informativi/disp2007/111\\_interpolation.pdf](http://geomatica.como.polimi.it/corsi/sist_informativi/disp2007/111_interpolation.pdf)
- Chazarra Bernabé, A. López Díaz, JA. Agudo Encabo, F, (2002?), Caso Estudio de Aplicación de Datos de Precipitación Radar a la Estimación del Campo de Precipitaciones con Fines Climatológicos  
<http://www.aeclim.org/3congr/chazarra2.pdf>
- Cruzado, JH. (2004), Algoritmos de Estimación e Interpolación de Parámetros Geofísicos <http://grad.uprm.edu/tesis/cruzadojapan.pdf>
- Díaz, M. Herrera, G. Valdés, A. (2002), Estimación de la Precipitación en el Valle de México usando Datos de Pluviómetros y Radar Meteorológico  
<http://www.mmc.igeofcu.unam.mx/cursos/gest/Presentaciones/Ejemplo%20Precipitacion.pdf>
- Domínguez Izquierdo, P, (1999), Cuantificación Geoestadística de la contaminación por mercurio en el distrito minero de Pablo Enríquez (Provincia del Azuay), y evaluación de los impactos en el Medio Ambiente, Quito, Ecuador.
- Elagrimensor.net. (s.f.) Capitulo 6 Interpolación a partir de puntos es isolíneas, <http://www.elagrimensor.net/elearning/lecturas/sig-capitulo%206.pdf>
- EMS, Inc. (2008), Shepards Method, [http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation\\_Schemes/Inverse\\_Distance\\_Weighted/Shepards\\_Method.htm](http://www.ems-i.com/gmshelp/Interpolation/Interpolation_Schemes/Inverse_Distance_Weighted/Shepards_Method.htm)
- ESRI Arc Map 9.2 (programa de cómputo). 2006. Interpolating Help. 1 disco compacto 8 mm.

- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), (2001), Manejo Forestal. El Uso de Computadoras, Programas e Instrumentos Electrónicos en la Planificación y Seguimiento de Planes de Manejo del Bosque Húmedo Tropical – Un Caso en Costa Rica  
<http://www.fao.org/docrep/003/x8763s/x8763s0a.htm>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación), (2003), Manual Curso Análisis Espacial Arcview 8.2  
[http://www.rlc.fao.org/proyecto/139jpn/document/2ordenam/talleres/tfaoa\\_e/doctae/mmae.pdf](http://www.rlc.fao.org/proyecto/139jpn/document/2ordenam/talleres/tfaoa_e/doctae/mmae.pdf)
- Gallardo, A. (2006), Geoestadística  
<http://www.revistaecosistemas.net/pdfs/431.pdf>
- García León, J. Felicísimo, AM. Martínez, JJ. (2004?), A Methodological Proposal for Improvement of Digital Surface Models Generated by Automatic Stereo Matching of Convergent Image Networks  
<http://www.cartesia.org/geodoc/isprs2004/comm5/papers/522.pdf>
- Golden Software Surfer 7.0 (programa de cómputo). 1999. Interpolators Help. 1 disco compacto 8 mm.
- Imai, NN. De Lima, DL. (s.f.), Representación de la Variabilidad Espacial en el Ingreso de Cultura Agrícolas  
[http://www.cartografia.cl/index.php?option=com\\_content&task=view&id=132&Itemid=75](http://www.cartografia.cl/index.php?option=com_content&task=view&id=132&Itemid=75)
- Izquierdo, T. Márquez, A. (2006), Comparación de Métodos de Interpolación para la Realización de Mapas de Precipitación para el Acuífero de Icod-Cañadas (Tenerife, Islas Canarias)  
[http://biblioteca.universia.net/html\\_bura/ficha/params/id/26353064.html](http://biblioteca.universia.net/html_bura/ficha/params/id/26353064.html)
- Lopez Marquez, J. Sanchez, J. Andressen, R, (2001), Comparación de Varios Métodos para la Representación Cartográfica de Información Climática en Zonas Altas del Estado de Lara  
[http://pegasus.ucla.edu/ve/BIOAGRO/Rev13\(1\)/6.%20Comparación%20de%20varios.pdf](http://pegasus.ucla.edu/ve/BIOAGRO/Rev13(1)/6.%20Comparación%20de%20varios.pdf)
- López, S. (2003), Desarrollo de un Modelo de Geoide para la C.A.M.  
[http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id\\_articulo=209](http://www.mappinginteractivo.com/plantilla-ante.asp?id_articulo=209)
- Mejía, F. et al. (s.f.) Distribución Espacial y Ciclos Anual y Semianual de la Precipitación en Colombia  
[http://hidraulica.unalmed.edu.co/~ojmesa/hidrologia/documentos/Dyna\\_127\\_1999\\_DISTRIB\\_CICLO\\_PPT\\_COL.pdf](http://hidraulica.unalmed.edu.co/~ojmesa/hidrologia/documentos/Dyna_127_1999_DISTRIB_CICLO_PPT_COL.pdf)
- Monografías. (s.f.) Elementos de Geoestadística  
<http://www.monografias.com/trabajos14/geoestadistica/geoestadistica.shtml>
- Moreno, GJ. Gómez, J. (2005?), Estimación de Temperatura Potencial y Salinidad Promedio de la Superficie de la Región Sureña de la corriente de California por el Método de Análisis Objetivo  
<http://www.ugm.org.mx/ugm/geos/2005/vol25-3/pdf/GilbertoJeronimoMoreno-geos25-3.pdf>

- Moreno Serrano, R. Vayá Valcarce, E. (s.f.) Técnicas Econométricas para el Tratamiento de Datos Espaciales: La Econometría Espacial, [http://books.google.com.ec/books?id=Udh\\_wcm75GwC&pg=PA48&lpg=PA48&dq=pares+en+el+variograma&source=web&ots=9DXQS3qIRb&sig=oyCTWQrHHfClhr-ulnCYm6jNwKk&hl=es#PPP1,M1](http://books.google.com.ec/books?id=Udh_wcm75GwC&pg=PA48&lpg=PA48&dq=pares+en+el+variograma&source=web&ots=9DXQS3qIRb&sig=oyCTWQrHHfClhr-ulnCYm6jNwKk&hl=es#PPP1,M1)
- Pérez, E. García, ML. Álvarez, R. Díaz, M. (s.f.) Selección Óptima del Método de Interpolación en el Tratamiento de las Bases de Datos: Una Aplicación en la Construcción de Cartas Magnéticas [http://www.medioambiente.cu/iga/Revista/num\\_01/art\\_1-05/interpol.html](http://www.medioambiente.cu/iga/Revista/num_01/art_1-05/interpol.html)
- Quintín, J. (s.f.) Elementos de Geoestadística, <http://www.monografias.com/trabajos14/geoestadistica/geoestadistica2.shtml>
- Quiñonero, JM. Alonso Sarría, F. (2007?), Creación de Modelos Digitales de Elevaciones a partir de Diferentes Métodos de Interpolación para la Determinación de Redes de Drenaje <http://www.sigte.udg.es/jornadassiglibre2007/comun/present/2.3.pdf>
- Sutton, R. (1997), Radial Basis Functions <http://www.cs.ualberta.ca/~sutton/book/8/node7.html>
- Universidad Nacional del Nordeste. (s.f.), Procesamiento de Datos de Precipitación <http://ing.unne.edu.ar/pub/hidrologia/hidro-tp2.pdf>
- Zimmermann, E. Silber, M. (s.f.) Algoritmo para la Representación de Campos de Precipitación, <http://www.fceia.unr.edu.ar/curiham/Secciones/Publicaciones/Hidrometeorologia/Zimmermann%20y%20Silber%202002.pdf>

## **ANEXOS**

**ANEXO No1**

**RESUMEN ANUAL DE INFORMACIÓN DE LAS  
ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS USADAS**

<b>Código</b>	<b>Nombre</b>	<b>2000</b>	<b>2001</b>	<b>2002</b>	<b>2003</b>	<b>2004</b>	<b>2005</b>
M001	Inguincho	X	X	x	X	x	x
M002	La Tola	X	X	x	X	x	x
M003	Izobamba	X	X	x	X	x	x
M004	Rumipamba Salcedo	X	X	x	X	x	x
M005	Portoviejo UTM	X	X	x	X	x	x
M006	Pichilingue	X	X	x	X	x	x
M007	Nuevo Rocafuerte	X	X	x	X	x	x
M008	Puyo	X	X	x	X	x	x
M009	La Victoria INERHI	X	X	x	X	x	x
M023	Olmedo Pichincha	x	X	x	X		
M024	Quito INAMHI	x	X	x	X	x	x
M025	La Concordia	x	X	x	X	x	x
M026	Puerto Ila	x	X	x	X	x	x
M029	Bannos		X	x	X	x	
M031	Cannar	x	X	x	X	x	x
M033	La Argelia – Loja	x	X	x	X	x	x
M037	Milagro Ingenio Valdez	x	X	x	X	x	x
M041	Sangay Pto Santa Ana	x	X	x	X	x	x
M045	Palmas Azuay	x	X	x	X	x	x
M051	Babahoyo UTB	x	X	x	X	x	x
M070	Tena	x					
M082	Chalpatan	x	X	x	X	x	
M102	El Ángel	x	X	x	X	x	x
M103	San Gabriel	x	X	x	X	x	x
M104	Mira FAO Granja La Portada	x					x
M105	Otavalo	x	X	x	X	x	x
M107	Cahuasqui FAO	x		x		x	x
M111	Malchingui INAMHI	x	X	x	X		x
M114	Tumbaco	x		x			
M118	INIAP Suplementaria Porcinas	x					
M120	Cotopaxi Minitrak	x	X	x	x		
M121	El Refugio Cotopaxi	x					
M122	Pilaló	x	X				x
M123	El Corazón	x	X	x	x	x	x
M124	San Juan La Mana	x	X	x	x	x	x
M126	Patate		X	x	x		
M127	Píllaro	x		x			
M128	Pedro Fermín Cevallos	x		x	X	x	x
M130	Chillanes	x	X	x	X	x	x
M133	Guaslan	x	X	x			
M134	Guamote	x					
M135	Pachama – Tixan	x					
M136	Chunchi	x	X	x	X	x	
M137	Biblián	x			X	x	x
M138	Paute	x	X	x	X	x	x
M139	Gualaceo		X	x	X	x	x
M141	El Labrado	x	X	x	X	x	x
M142	Saraguro	x	X	x	X	x	x
M143	Malacatos		X	x	X	x	x
M145	Quinara INAMHI		X	x	X	x	
M146	Cariamanga	x	X	x	X	x	x
M147	Yangana	x			X	x	x
M148	Celica	x	X	x	x	x	x

M149	Gonzanamá	x					
M150	Amaluza INAMHI			x	x	x	x
M151	Zapotillo	x					
M153	Muisne	x	X	x	x	x	x
M154	Cayapas	x	X	x	x	x	x
M156	Quinindé Convento				x	x	x
M160	El Carmen	x		x			
M162	Chone	x	X	x	x	x	x
M165	Rocafuerte	x	X	x	x	x	x
M166	Olmedo Manabí	x	X	x	x	x	x
M167	Jama	x	X	x	x	x	
M169	Julcuy	x	X	x	x	x	x
M171	Camposano #2	x	X	x	x	x	x
M172	Pueblo Viejo	x	X	x	x	x	x
M174	Ancón	x					
M175	El Progreso Guayas	x		x	x		
M176	Naranjal	x	X	x	x	x	x
M179	Arenillas						x
M180	Zaruma	x	X	x	x	x	x
M185	Machala UTM	x					
M188	Papallacta				x	x	x
M189	Gualaquiza UTM	x	X	x	x	x	x
M191	Charles Darwin INAMHI	x	X	x	x	x	x
M192	Bellavista Isla Sta Cruz	x	X	x	x	x	x
M194	Puerto Villamil Isla Isabela			x	x	x	
M218	Ingenio San Carlos	x					
M221	San Cristóbal Galápagos		X	x	x	x	x
M243	Pungales	x					
M245	El Suspiro	x					
M250	La Capilla CEDEGE	x					
M258	Querochaca UTA	x	X	x	x	x	x
M292	Granja Santa Ines UTM				x	x	x
M293	Palmoriente Huashito	x					
M311	Cahuasqui				x		
M362	Las Pampas						x
M466	Vinces INAMHI	x	X	x	x		x
M482	Chacras	x	X			x	x
M784	San Isidro Guayas	x					
MA1V	Cotopilalo Convenio INAMHI CESA	x	x	x	x	x	
MA1Y	Calamaca Convenio INAMHI HCPT	x	x	x	x	x	x
MA2T	Tomalon Tabacundo	x	x	x	x	x	x
MA2U	Ingenio Aztra La Troncal	x	x	x	x	x	x
MA2V	Guayaquil Radio Sonda	x	x	x	x	x	x
MA41	Chanlud	x	x	x	x	x	x
MA47	Instituto Tecnico 3 Marzo		x	x		x	x
MA60	Shiry XII			x			
MB06	Santa Elena Universidad				x	x	x
MB74	Pomasqui	x			x		
MB75	Chiriyacu	x		x			
MB77	Lumbaqui					x	x
MB81	Nobol			x	x		x
MB82	La Teodomira			x	x	x	x



MB87	Pozul Colegio Agrop Rodriguez							x
MB88	Nambacola Colegio Agrop Cueva							x
S/C	Aeropuerto Ambato	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Coca	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Cuenca	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Guayaquil	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Ibarra	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Latacunga	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Macas	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Machala	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Manta	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Nueva Loja	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Portoviejo	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Quito	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Santo Domingo	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Shell Mera	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto San Vicente	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Tena				x	x	x	x
S/C	Aeropuerto La Toma	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Esmeraldas	x	x	x	x	x	x	x
S/C	Aeropuerto Tulcán	x	x	x	x	x	x	x

**ANEXO No2****LISTA DE ESTACIONES CLIMATOLÓGICAS USADAS**

<b><i>Código</i></b>	<b><i>Nombre</i></b>
M001	Inguincho
M002	La Tola
M003	Izobamba
M004	Rumipamba Salcedo
M005	Portoviejo UTM
M006	Pichilingue
M007	Nuevo Rocafuerte
M008	Puyo
M009	La Victoria INERHI
M023	Olmedo Pichincha
M024	Quito INAMHI
M025	La Concordia
M026	Puerto Ila
M029	Bannos
M031	Cannar
M033	La Argelia – Loja
M037	Milagro Ingenio Valdez
M041	Sangay Pto Santa Ana
M045	Palmas Azuay
M051	Babahoyo UTB
M070	Tena
M082	Chalpatan
M102	El Angel
M103	San Gabriel
M104	Mira FAO Granja La Portada
M105	Otavalo
M107	Cahuasqui FAO
M111	Malchingui INAMHI
M114	Tumbaco
M118	INIAP Suplementaria Porcinas
M120	Cotopaxi Minitrak
M121	El Refugio Cotopaxi
M122	Pilalo
M123	El Corazon
M124	San Juan La Mana
M126	Patate
M127	Pillaro
M128	Pedro Fermin Cevallos
M130	Chillanes
M133	Guaslan
M134	Guamote
M135	Pachama – Tixan
M136	Chunchi
M137	Biblian
M138	Paute
M139	Gualaceo
M141	El Labrado
M142	Saraguro
M143	Malacatos
M145	Quinara INAMHI
M146	Cariamanga
M147	Yangana
M148	Celica

M149	Gonzanama
M150	Amaluza INAMHI
M151	Zapotillo
M153	Muisne
M154	Cayapas
M156	Quininde Convento
M160	El Carmen
M162	Chone
M165	Rocafuerte
M166	Olmedo Manabi
M167	Jama
M169	Julcuy
M171	Camposano #2
M172	Pueblo Viejo
M174	Ancon
M175	El Progreso Guayas
M176	Naranjal
M179	Arenillas
M180	Zaruma
M185	Machala UTM
M188	Papallacta
M189	Gualaquiza UTM
M191	Charles Darwin INAMHI
M192	Bellavista Isla Sta Cruz
M194	Puerto Villamil Isla Isabela
M218	Ingenio San Carlos
M221	San Cristobal Galapagos
M243	Pungales
M245	El Suspiro
M250	La Capilla CEDEGE
M258	Querochaca UTA
M292	Granja Santa Ines UTM
M293	Palmoriente Huashito
M311	Cahuasqui
M362	Las Pampas
M466	Vinces INAMHI
M482	Chacras
M784	San Isidro Guayas
MA1V	Cotopilalo Convenio INAMHI CESA
MA1Y	Calamaca Convenio INAMHI HCPT
MA2T	Tomalon Tabacundo
MA2U	Ingenio Aztra La Troncal
MA2V	Guayaquil Radio Sonda
MA41	Chanlud
MA47	Instituto Tecnico 3 Marzo
MA60	Shiry XII
MB06	Santa Elena Universidad
MB74	Pomasqui
MB75	Chiriyacu
MB77	Lumbaqui
MB81	Nobol
MB82	La Teodomira
MB87	Pozul Colegio Agrop Rodriguez
MB88	Nambacola Colegio Agrop Cueva

S/C	Aeropuerto Ambato
S/C	Aeropuerto Coca
S/C	Aeropuerto Cuenca
S/C	Aeropuerto Guayaquil
S/C	Aeropuerto Ibarra
S/C	Aeropuerto Latacunga
S/C	Aeropuerto Macas
S/C	Aeropuerto Machala
S/C	Aeropuerto Manta
S/C	Aeropuerto Nueva Loja
S/C	Aeropuerto Portoviejo
S/C	Aeropuerto Quito
S/C	Aeropuerto Santo Domingo
S/C	Aeropuerto Shell Mera
S/C	Aeropuerto San Vicente
S/C	Aeropuerto Tena
S/C	Aeropuerto La Toma
S/C	Aeropuerto Esmeraldas
S/C	Aeropuerto Tulcán

**ANEXO No3**

**TABLAS DEL PROCESO DE VALIDACIÓN**

## VALIDACIÓN DE LA ESTACIÓN CAYAPAS

Para esta estación se escogió el mes de Noviembre y año 2003.

**TABLA 1**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	208.4	69.5	138.9
Temperatura Máxima	30.6	30.6	0.0
Temperatura Mínima	23.0	17.8	5.2
Temperatura Mensual	26.4	25.5	0.9

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 2**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	208.4	66.8	141.6
Temperatura Máxima	30.6	31.8	1.2
Temperatura Mínima	23.0	20.8	2.2
Temperatura Mensual	26.4	26.4	0.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 3

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	208.4	56.3	152.1
Temperatura Máxima	30.6	29.6	1.0
Temperatura Mínima	23.0	18.6	4.4
Temperatura Mensual	26.4	24.6	0.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 4

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	208.4	50.0	158.4
Temperatura Máxima	30.6	32.5	1.9
Temperatura Mínima	23.0	21.6	1.4
Temperatura Mensual	26.4	27.1	0.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano



TABLA 5

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (31 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 18000	208.4	49.1	64.5	194.6	159.3
Alcance: 146					143.9
Efecto Pepita: 6000					13.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 6

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (31 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 6	30.6	31.2	30.5	35.6	0.6
Alcance: 92					0.1
Efecto Pepita: 26					5.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 7

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACION CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (20 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1.5	23.0	20.6	20.6	16.7	2.4
Alcance: 98					2.4
Efecto Pepita: 1.5					6.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 8

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MENSUAL PARA LA ESTACION CAYAPAS, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (31 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 2	26.4	25.7	25.4	26.3	0.7
Alcance: 96					1.0
Efecto Pepita: 0					0.1

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

## VALIDACIÓN DE LA ESTACIÓN CHONE

Para esta estación se escogió el mes de Noviembre y año 2003.

**TABLA 9**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	10.7	78.1	67.4
Temperatura Máxima	31.8	30.7	1.1
Temperatura Mínima	21.3	20.0	1.3
Temperatura Mensual	26.3	26.0	0.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 10**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	10.7	84.4	73.7
Temperatura Máxima	31.8	31.1	0.7
Temperatura Mínima	21.3	20.3	1.0
Temperatura Mensual	26.3	26.3	0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 11

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	10.7	105.6	94.9
Temperatura Máxima	31.8	32.0	0.2
Temperatura Mínima	21.3	20.7	0.6
Temperatura Mensual	26.3	26.7	0.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 12

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	10.7	105.6	94.9
Temperatura Máxima	31.8	32.0	0.2
Temperatura Mínima	21.3	20.7	0.6
Temperatura Mensual	26.3	26.7	0.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 13

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (30 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 18000	10.7	135.0	140.8	120.3	124.3
Alcance: 110					130.1
Efecto Pepita: 4000					109.6

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 14

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (26 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 2.2	31.8	32.3	32.3	32.9	0.5
Alcance: 48					0.5
Efecto Pepita: 0					1.1

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 15

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (26 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 0.3	21.3	21.4	21.2	21.5	0.1
Alcance: 52					0.1
Efecto Pepita:					0.2

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 16

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MENSUAL PARA LA ESTACIÓN DE CHONE, NOVIEMBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (30 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1.1	26.3	26.8	26.7	27.2	0.5
Alcance: 50					0.4
Efecto Pepita: 0					0.9

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

## VALIDACION PARA LA ESTACIÓN EL PROGRESO GUAYAS

Para esta estación se escogió el mes de Febrero y año 2002.

**TABLA 17**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	214.5	408.3	193.8
Temperatura Máxima	30.3	29.1	1.2
Temperatura Mínima	23.0	20.8	2.2
Temperatura Mensual	26.4	24.7	1.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 18**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	214.5	447.7	233.2
Temperatura Máxima	30.3	30.3	0
Temperatura Mínima	23.0	22.3	0.7
Temperatura Mensual	26.4	26.0	0.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 19

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	214.5	26.2	188.3
Temperatura Máxima	30.3	1.7	28.6
Temperatura Mínima	23.0	1.3	21.7
Temperatura Mensual	26.4	1.5	24.9

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 20

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	214.5	4.6	209.9
Temperatura Máxima	30.3	0.2	30.1
Temperatura Mínima	23.0	0.2	22.8
Temperatura Mensual	26.4	0.2	26.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano



TABLA 21

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (34 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 23000	214.5	381.7	387.9	392.3	167.2
Alcance: 190					173.4
Efecto Pepita: 0					177.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 22

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (34 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 2.8	30.3	31.0	30.9	20.8	0.7
Alcance: 120					0.6
Efecto Pepita: 0					9.5

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 23

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACIÓN EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (34 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1.7	23.0	21.8	22.2	24.2	1.2
Alcance: 108					0.8
Efecto Pepita: 0					1.2

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 24

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MENSUAL PARA LA ESTACIÓN EL PROGRESO GUAYAS, FEBRERO 2002, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (34 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 0.6	26.4	26.2	26.2	28.4	0.2
Alcance: 194					0.2
Efecto Pepita: 0					2.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

## VALIDACIÓN PARA LA ESTACIÓN MIRA FAO

Para esta estación se escogió el mes de Marzo y año 2000.

**TABLA 25**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE MIRA FAO, MARZO 2000, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	124.0	110.7	13.3
Temperatura Máxima	20.3	16.2	4.1
Temperatura Mínima	11.2	9.6	1.6
Temperatura Mensual	15.1	15.0	0.1

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 26**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE MIRA FAO, MARZO 2000, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	124.0	109.6	14.4
Temperatura Máxima	20.3	16.2	4.1
Temperatura Mínima	11.2	9.6	1.6
Temperatura Mensual	15.1	15.0	0.1

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 27

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE MIRA FAO, MARZO 2000, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	124.0	86.4	37.6
Temperatura Máxima	20.3	12.3	8.0
Temperatura Mínima	11.2	7.7	3.5
Temperatura Mensual	15.1	11.9	3.2

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 28

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE MIRA FAO, MARZO 2000, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	124.0	84.1	39.9
Temperatura Máxima	20.3	11.6	8.7
Temperatura Mínima	11.2	7.7	3.5
Temperatura Mensual	15.1	11.6	3.5

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 29

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN MIRA FAO, MARZO 2000, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (32 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1800	124.0	113.3	106.6	17.9	10.7
Alcance: 45					17.4
Efecto Pepita: 0					106.1

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 30

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN MIRA FAO, MARZO 2000, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (27 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 4	20.3	20.3	20.3	25.9	0.0
Alcance: 70					0.0
Efecto Pepita: 4					5.6

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 31

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACIÓN MIRA FAO, MARZO 2000, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (28 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 7	11.2	8.6	8.7	3.2	2.6
Alcance: 54					2.5
Efecto Pepita: 7					8.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 32

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MENSUAL PARA LA ESTACIÓN MIRA FAO, MARZO 2000, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-80 KM (32 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 2	15.1	14.9	15.1	17.4	0.2
Alcance: 54					0.0
Efecto Pepita: 0					2.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

### VALIDACIÓN PARA LA ESTACIÓN BANNOS

Para esta estación se escogió el mes de Abril y año 2004.

**TABLA 33**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE BANNOS, ABRIL 2004, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	102.4	77.3	25.1
Temperatura Máxima	25.3	21.0	4.3
Temperatura Mínima	15.2	7.6	7.6
Temperatura Mensual	18.8	14.0	4.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 34**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE BANNOS, ABRIL 2004, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	102.4	75.7	26.7
Temperatura Máxima	25.3	20.9	4.4
Temperatura Mínima	15.2	7.4	7.8
Temperatura Mensual	18.8	13.9	4.9

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 35

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE BANNOS, ABRIL 2004, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	102.4	35.0	67.4
Temperatura Máxima	25.3	9.6	15.7
Temperatura Mínima	15.2	3.4	11.8
Temperatura Mensual	18.8	6.4	12.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 36

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE BANNOS, ABRIL 2004, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	102.4	33.7	68.7
Temperatura Máxima	25.3	9.2	16.1
Temperatura Mínima	15.2	3.3	11.9
Temperatura Mensual	18.8	6.1	12.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano



TABLA 37

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN BANNOS, ABRIL 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (19 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1400	102.4	73.9	74.2	99.3	28.5
Alcance: 110					28.2
Efecto Pepita: 0					3.1

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 38

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN BANNOS, ABRIL 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (19 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 10	25.3	21.1	21.1	36.6	4.2
Alcance: 50					4.2
Efecto Pepita: 0					11.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 39

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACIÓN BANNOS, ABRIL 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (19 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 5	15.2	7.4	7.3	-3.6	7.8
Alcance: 56					7.9
Efecto Pepita: 0					18.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 40

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MENSUAL PARA LA ESTACIÓN BANNOS, ABRIL 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-120 KM (19 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1.3	18.8	14.1	14.1	18.6	4.7
Alcance: 50					4.7
Efecto Pepita: 0					0.2

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

### VALIDACIÓN PARA LA ESTACIÓN LA ARGELIA LOJA

Para esta estación se escogió el mes de Octubre y año 2003.

**TABLA 41**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	73.3	23.9	49.4
Temperatura Máxima	23.9	14.4	9.5
Temperatura Mínima	12.3	6.9	5.4
Temperatura Mensual	17.2	10.5	6.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 42**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	73.3	16.5	56.8
Temperatura Máxima	23.9	13.4	10.5
Temperatura Mínima	12.3	6.6	5.7
Temperatura Mensual	17.2	9.5	7.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 43

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	73.3	6.8	66.5
Temperatura Máxima	23.9	4.9	19.0
Temperatura Mínima	12.3	2.4	9.9
Temperatura Mensual	17.2	3.5	13.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 44

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 100 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	73.3	4.0	69.3
Temperatura Máxima	23.9	2.7	21.2
Temperatura Mínima	12.3	1.3	11.0
Temperatura Mensual	17.2	1.9	15.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 45

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (27 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1500	73.3	33.1	33.4	71.8	40.2
Alcance: 60					39.9
Efecto Pepita: 0					1.5

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 46

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (23 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 4	23.9	23.7	23.7	24.6	0.2
Alcance: 108					0.2
Efecto Pepita: 0					0.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 47

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACIÓN LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (27 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 6	12.3	11.7	11.4	19.6	0.6
Alcance: 98					0.9
Efecto Pepita: 0					7.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 48

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MENSUAL PARA LA ESTACIÓN LA ARGELIA LOJA, OCTUBRE 2003, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-200 KM (27 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 1.3	17.2	16.8	16.7	5.3	0.4
Alcance: 110					0.5
Efecto Pepita: 0					11.9

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

## VALIDACIÓN PARA LA ESTACIÓN LUMBAQUÍ

Para esta estación se escogió el mes de Agosto y año 2004.

**TABLA 49**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LUMBAQUI, AGOSTO 2004, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	335.6	304.7	30.9
Temperatura Máxima	29.1	31.3	2.2
Temperatura Mínima	18.2	16.7	1.5
Temperatura Mensual	23.4	23.5	0.1

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

**TABLA 50**

**VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LUMBAQUÍ, AGOSTO 2004, CON EL MÉTODO IDW Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 150 KM.**

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(IDW)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	335.6	303.8	31.8
Temperatura Máxima	29.1	33.8	4.7
Temperatura Mínima	18.2	18.3	0.1
Temperatura Mensual	23.4	25.1	1.7

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 51

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LUMBAQUÍ, AGOSTO 2004, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 200 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	335.6	20.6	315.0
Temperatura Máxima	29.1	2.2	26.9
Temperatura Mínima	18.2	1.2	17.0
Temperatura Mensual	23.4	1.6	21.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 52

VALORES REALES, ESTIMADOS Y ERRORES CUADRÁTICOS MEDIOS PARA LA ESTACIÓN DE LUMBAQUÍ, AGOSTO 2004, CON EL MÉTODO MODIFICADO DE SHEPARD Y CON UN FILTRO DE DISTANCIA ENTRE 0 – 150 KM.

<u>Variable</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado(Shepard)</u>	<u>EMC</u>
Precipitación Suma	335.6	0.3	335.3
Temperatura Máxima	29.1	0.03	29.0
Temperatura Mínima	18.2	0.01	18.1
Temperatura Mensual	23.4	0.02	23.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano



TABLA 53

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE PRECIPITACIÓN PARA LA ESTACIÓN LUMBAQUÍ, AGOSTO 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-220 KM (19 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 18000	335.6	257.8	258.8	525.4	77.8
Alcance: 280					76.8
Efecto Pepita: 0					189.8

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 54

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA LA ESTACIÓN LUMBAQUÍ, AGOSTO 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-220 KM (15 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 12	29.1	33.5	34.0	63.4	4.4
Alcance: 290					4.9
Efecto Pepita: 0					34.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 55

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA LA ESTACIÓN LUMBAQUÍ, AGOSTO 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-220 KM (19 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 8	18.2	18.5	19.1	7.7	0.3
Alcance: 294					0.9
Efecto Pepita: 0					10.5

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 56

PARÁMETROS DEL VARIOGRAMA OMNIDIRECCIONAL DE TEMPERATURA MENSUAL PARA LA ESTACIÓN LUMBAQUÍ, AGOSTO 2004, VALOR REAL, VALORES ESTIMADOS CON LOS DIFERENTES MÉTODOS, Y ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS, CON UN FILTRO DE DISTANCIA 0-220 KM (13 PUNTOS GRAFICADOS)

<u>Parámetros Variograma</u>	<u>Valor Real</u>	<u>Valor Estimado (Exponencial)</u>	<u>Valor Estimado (Esférico)</u>	<u>Valor Estimado (Gaussiano)</u>	<u>ECM</u>
Meseta: 6	23.4	25.2	25.6	41.8	1.8
Alcance: 306					2.2
Efecto Pepita: 0					18.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 57

**ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS DE PRECIPITACIÓN PARA TODAS LAS ESTACIONES DE LA VALIDACIÓN CON LOS DIFERENTES MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Cayapas	138.9	141.6	152.1	158.4	159.3	143.9	13.8
Chone	67.4	73.7	94.9	94.9	124.3	130.1	109.6
El Progreso Guayas	193.8	233.2	188.3	209.9	167.2	173.4	177.8
Mira FAO	13.3	14.4	37.6	39.9	10.7	17.4	106.1
Bannos	25.1	26.7	67.4	68.7	28.5	28.2	3.1
La Argelia Loja	49.4	56.8	66.5	69.3	40.2	39.9	1.5
Lumbaqui	30.9	31.8	315.2	335.3	77.8	76.8	189.8
	96.8	110.2	159.1	169.7	105.1	104.3	114.0

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 58

**ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS DE TEMPERATURA MÁXIMA PARA  
TODAS LAS ESTACIONES DE LA VALIDACIÓN CON LOS DIFERENTES  
MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Cayapas	0	1.2	1.0	1.9	0.6	0.1	5.0
Chone	1.1	0.7	0.2	0.2	0.5	0.5	1.1
El Progreso Guayas	1.2	0	28.6	30.1	0.7	0.6	9.5
Mira FAO	4.1	4.1	8.0	8.7	0	0	5.6
Bannos	4.3	4.4	15.7	16.1	4.2	4.2	11.3
La Argelia Loja	9.5	10.5	19.0	21.2	0.2	0.2	0.7
Lumbaqui	2.2	4.7	26.9	29.0	4.4	4.9	34.3
	4.3	4.9	17.7	19.0	2.3	2.4	14.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 59

**ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS DE TEMPERATURA MÍNIMA PARA  
TODAS LAS ESTACIONES DE LA VALIDACIÓN CON LOS DIFERENTES  
MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Cayapas	5.2	2.2	4.4	1.4	2.4	2.4	6.3
Chone	1.3	1.0	0.6	0.6	0.1	0.1	0.2
El Progreso Guayas	2.2	0.7	21.7	22.8	1.2	0.8	1.2
Mira FAO	1.6	1.6	3.5	3.5	2.6	2.5	8.0
Bannos	7.6	7.8	11.8	11.9	7.8	7.9	18.8
La Argelia Loja	5.4	5.7	9.9	11.0	0.6	0.9	7.3
Lumbaqui	1.5	0.1	17.0	18.1	0.3	0.9	10.5
	4.2	3.8	12.1	12.6	3.2	3.3	9.4

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano

TABLA 60

**ERRORES MEDIOS CUADRÁTICOS DE TEMPERATURA MENSUAL PARA  
TODAS LAS ESTACIONES DE LA VALIDACIÓN CON LOS DIFERENTES  
MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN**

	IDW (0-200 km)	IDW (0-100 km)	Shepard (0-200 km)	Shepard (0-100 km)	Kriging (Exp.)	Kriging (Esf.)	Kriging (Gaus.)
Cayapas	0.9	0	0.0	0.7	0.7	1.0	0.1
Chone	0.3	0	0.4	0.4	0.5	0.4	0.9
El Progreso Guayas	1.7	0.4	24.9	26.4	0.2	0.2	2.0
Mira FAO	0.1	0.1	3.2	3.5	0.2	0	2.3
Bannos	4.8	4.9	12.4	12.7	4.7	4.7	0.2
La Argelia Loja	6.7	7.7	13.7	15.3	0.4	0.5	11.9
Lumbaqui	0.1	1.7	21.8	23.3	1.8	2.2	18.4
	3.2	2.2	14.3	15.3	1.9	2.0	8.3

PROCESAMIENTO: Ricardo José Moreano