

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL



**ANALISIS DE REDUCCIÓN ÁREAL DE LLUVIAS  
INTENSAS EN EL SALVADOR**

PRESENTADO POR:

**VERÓNICA DANIELA MANCUSO FIGUEROA**

**ROCÍO YAMILETH VALENCIA AZAHAR**

PARA OPTAR AL TITULO DE:

**INGENIERO(A) CIVIL**

CIUDAD UNIVERSITARIA, JUNIO 2017

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

RECTOR:

**MSC. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIO GENERAL:

**MSc. CRISTOBAL HERNAN RIOS BENITEZ**

**FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA**

DECANO:

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCON SANDOVAL**

SECRETARIO:

**ING. CARLOS ALBERTO ESCOBAR FLORES**

**ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL**

DIRECTOR:

**ING. JORGE OSWALDO RIVERA FLORES**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERIA CIVIL

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO(A) CIVIL**

Título:

**ANALISIS DE REDUCCIÓN ÁREAL DE LLUVIAS  
INTENSAS EN EL SALVADOR**

Presentado por:

**VERÓNICA DANIELA MANCUSO FIGUEROA**

**ROCÍO YAMILETH VALENCIA AZAHAR**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. EDWIN SALTUAGO ESCOBAR RIVAS  
ING. JOAQUIN MARIANO SERRANO CHOTO  
ING. ROBERTO ADOLFO CERON PINEDA

SAN SALVADOR, JUNIO 2017

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docentes Asesores:

ING. EDWIN SANTIAGO ESCOBAR RIVAS

ING. JOAQUIN MARIANO SERRANO CHOTO

ING. ROBERTO ADOLFO CERON PINEDA

## DEDICATORIA

A Dios gracias infinitamente por este logro alcanzado y por muchos más que estén siempre en Su voluntad. Sin Él nada de lo que se hizo se pudiese haber hecho. He podido ver Su plan para mi vida desde mi nacimiento y años vividos en Estados Unidos hasta traerme al presente país de El Salvador en el año 1998. Pues fue en este país que reconocí al Señor Jesús como mi único y suficiente Salvador personal y fue aquí donde la esperanza de continuar con mis estudios se hizo una realidad. Quiero agradecer también a mi madre, Zoila de Mancuso, quien estuvo a mi lado en cada momento no solo como madre, sino también como mi mejor amiga y hasta compañera de trabajo. Doy gracias a Dios por ella y también por mi padre Antonio Carmine Mancuso. Gracias a los dos que soy como soy junto con los cambios que Dios ha hecho en mí, día con día. Agradezco también a mi Tía Marta de Andrade quien fue una gran ayuda en momentos de necesidad.

También Dios me dio el privilegio de contar con una amiga quien fue y sigue siendo para mí como mi segunda madre; a Marina Medrano, quien fue mi mentora en muchas áreas de mi vida, especialmente en lo espiritual. También a una amiga muy especial a quien conozco desde mi infancia; Wendy Figueroa quien es casi como una hermana para mí y fue de gran apoyo moral durante mis momentos de mayor dolor y compartiendo también mis momentos de alegría junto con toda su familia. A mis primos Pablo y Xiomara con quienes tengo los mejores recuerdos de mi juventud.

A mis amigos Francisco, Eliezar Gil, Rocío Yamileth Azahar, Lisandra Soriano, Fredy Alvarenga, Karla de Leon, Carlos Godofredo Bardales y Daniel Peña con

quienes compartimos momentos olvidables durante nuestras carreras; algunos salieron antes que yo pero de igual manera nunca dejaron de creer en mí.

A todos les agradezco por su apoyo, amistad, y por sus oraciones. Que Dios siga bendiciendo a cada uno de ustedes y que podamos seguir compartiendo muchos momentos juntos por delante.

Verónica Daniela Mancuso Figueroa

## DEDICATORIA

Durante este largo camino recorrido, se vienen a mi mente tantos recuerdos de momentos vividos, aventuras con amigos y de anécdotas que se llevan en el corazón, con todo eso no cabe más que agradecer a tantas personas involucradas que con su cariño y apoyo han estado en toda esta etapa.

Primero agradecer a Dios Todopoderoso que me mantuvo de su mano durante toda esta etapa estudiantil, que gracias a su sabiduría y protección estoy culminando.

A los docentes que nos acompañaron en este proceso que con su guía nos acompañaron a poder alcanzar esta meta. Ing. Santiago Escobar, Ing. Roberto Cerón, Ing. Mariano Choto; gracias por su apoyo y por su guía.

A mis padres Francisco y Victoria que siempre han estado ahí para mí, por su apoyo incondicional y por siempre los que creyeron en mí y me han apoyado para poder alcanzar esta meta.

A mis hermanos Verónica, Xiomara y Francisco por ser siempre un apoyo en todo sentido en mi vida, gracias por no solo ser mis hermanos sino también mis amigos, por siempre ser ese sostén que necesito, de igual manera espero poder compensar ese amor.

A Gerardo Alegría por ser no solo mi esposo sino mi amigo y compañero de aventuras, gracias Amor por siempre estar ahí, porque tu ayuda ha sido súper valiosa e importante en mi vida, este es un éxito personal pero que también comparto contigo, tu apoyo en época de desvelos y de sacrificios ha sido como ninguna, siempre estuviste ahí y creíste en este proyecto, Te Amo.

A mi hijo Mateo eres una pieza clave en mi vida, gracias por ser mi compañero de estudio desde que estaba embarazada de ti, has sido y seguirás siendo mi motivo de ser una mejor mamá y una mejor persona para poder presentarte un mundo mejor y ser lo mejor para ti.

A toda mi familia en general porque cada uno de ustedes han creído y me han apoyada de distintas maneras y que gracias a ese apoyo se culmina una meta en mi vida.

A mi compañera Verónica Mancuso que no solo eres mi compañera de Trabajo de Grado sino que eres mi amiga, gracias por tu dedicación y apoyo en toda esta etapa, sé que en alguna ocasión me quisiste jalar las orejas pero sé que sin tu apoyo esto no sería una realidad, gracias Vero por ser mi amiga.

Rocío Yamileth Valencia Azahar

## INDICE GENERAL

CAPITULO 1 GENERALIDADES.....	18
1.0 INTRODUCCIÓN.....	19
1.1 ANTECEDENTES.....	20
1.1.1 Historia del Servicio Meteorológico de El Salvador .....	21
1.1.2 Servicio Meteorológico Nacional en la actualidad .....	23
1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	28
1.3 OBJETIVOS.....	30
General: .....	30
Específicos:.....	30
1.4 ALCANCES.....	32
1.5 LIMITACIONES.....	33
1.6 JUSTIFICACIÓN.....	34
CAPITULO 2  METODOS DE ESTIMACIÓN ESPACIAL .....	36
2.0 INTRODUCCIÓN.....	37
2.1 <b>MÉTODOS DE ESTIMACIÓN ESPACIAL</b> .....	39
A.  Interpoladores Exactos .....	39
B.  Interpoladores Aproximados .....	40

2.2 ELEMENTOS PARA LA INTERPOLACIÓN.....	41
2.2.1 La Malla de Interpolación (Grid) .....	41
2.2.2 Sectores de Búsqueda .....	42
2.2.3 Proceso de ponderación de los pesos a cada punto de valor conocido	45
2.3 INTRODUCCIÓN A LOS INTERPOLADORES EXISTENTES EN EL PROGRAMA GEOESPACIAL DE SURFER 9.0.....	47
2.3.1 Distancia Inversa Ponderada .....	49
2.3.2 Interpolador Geo Estadístico Kriging.....	51
2.3.3 Curvatura Mínima.....	55
2.3.4 Método Modificado de Shepard.....	57
2.3.5 Vecino Natural.....	58
2.3.6 Vecino más Cercano .....	60
2.3.7 Regresión Polinómica.....	61
2.3.8 Funciones de Base Radial.....	62
2.3.9 Triangulación con Interpolación Lineal. ....	64
2.3.10 Ponderados Móviles .....	66
2.3.11 Datos Métricos .....	67
2.3.12 Polinomio Local .....	69

2.4 DELIMITACIÓN PRELIMINAR DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN	71
2.5 VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN A UTILIZAR.....	82
2.5.1 Validación Cruzada .....	82
CAPITULO 3    CLIMATOLOGÍA GENERAL Y SU INFLUENCIA EN LAS	
PRECIPITACIONES DE ELSALVADOR .....	84
3.0 INTRODUCCIÓN.....	85
3.1 GENERALIDADES METEOROLÓGICAS.....	86
3.1.1 La Atmósfera y su Interacción con la Energía Proveniente del Sol y la	
Superficie Terrestre.....	86
3.1.2 El viento.....	88
3.1.3. Circulación General del Viento.....	96
3.1.4 La Rotación Terrestre y sus efectos sobre la circulación de la	
Atmósfera.....	98
3.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS .....	105
3.2.1. Presión Atmosférica .....	105
3.2.2. Radiación Solar .....	107
3.2.3. Temperatura del Aire.....	109
3.2.4. Humedad.....	110

3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES .....	113
3.3.1 Rasgos Generales.....	113
3.3.2. Parámetros que Caracterizan la Lluvia.....	115
3.3.3. Clasificación Según la Intensidad.....	117
3.3.4. Clasificación Según su Estado Acuoso .....	117
3.3.5. Clasificación Según su Origen o Nubosidad .....	119
3.3.6. Tipos de Frentes .....	122
3.4 MEDICIÓN DE LA LLUVIA .....	126
3.4.1 Estación Meteorológica .....	127
3.5 CLIMATOLOGÍA DE EL SALVADOR .....	128
3.5.1. Ubicación Geográfica .....	129
3.5.2 Orografía; Características Geográficas .....	129
3.5.3 Vulcanología.....	136
3.5.4 Regiones Climáticas de El Salvador .....	138
3.5.5 Vientos Predominantes .....	142
3.5.6 Comportamiento de las Precipitaciones .....	143
3.5.7 Red Climatológica .....	146
3.5.8 Ubicación Geográfica de las Estaciones Meteorológicas Principales	148

CAPITULO 4	TRATAMIENTO ESTADÍSTICO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN Y GENERACIÓN DE MAPAS PARA LLUVIAS DIARIAS Y HORARIAS .....	151
4.0	INTRODUCCIÓN .....	152
4.1	Clasificación de las Lluvias predominantes en el país según la Dirección General del Observatorio Ambiental .....	153
4.2	Delimitación del tamaño muestral de la base de datos para lluvia diaria..	155
4.3	Descripción de los Aspectos de Calificación Cuantitativa y Cualitativa reflejados en la Matriz Evaluativa. ....	163
4.3.1	Calificación Cuantitativa .....	163
4.3.1.1	Estadística Descriptiva.....	163
4.3.1.2	<b>Validación Cruzada</b> .....	164
4.3.2	Calificación Cualitativa .....	164
4.3.3	Eventos Especiales; Evaluación de los Casos de Lluvia Horaria. ....	166
4.4	Análisis de datos y Generación de Mapas por los Métodos de Interpolación Seleccionados.....	167
4.4.1	Cuadro Resumen Datos Estadísticos y Validación Cruzada .....	167
4.4.1.1	Lluvias Aisladas .....	167
4.4.1.2	Lluvias Dispersas.....	169

4.4.1.3 Lluvias Generalizadas.....	171
4.4.1.4 Lluvia Horaria; Eventos Especiales.....	173
4.4.2 Matriz Evaluativa .....	175
4.4.2.1 Lluvia Diaria.....	178
4.4.2.1.1 Aisladas .....	178
4.4.2.1.2 Dispersas.....	179
4.4.2.1.3 Generalizadas.....	180
4.4.2.4 Lluvia Horaria .....	181
4.5 Mapas Seleccionados .....	183
4.5.1 Lluvias Aisladas.....	183
4.5.2 Lluvias Dispersas .....	185
4.5.3 Lluvias Generalizadas .....	187
4.5.4 Lluvia Horaria (Eventos).....	189
4.5.4.1 Huracán STAN.....	191
4.5.4.2 Huracán IDA .....	195
4.5.4.3 Tormenta Tropical AGATHA .....	199
4.5.4.3 Depresión Tropical 12-E .....	203
CAPITULO 5 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....	207
5.0 CONCLUSIONES .....	208

5.1 RECOMENDACIONES .....	216
5.1.1 Proceso Evaluativo para la Selección del Método.....	216
5.1.2 Uso de los Métodos incluidos en el Programa de Surfer 9.0.....	217
BIBLIOGRAFIA.....	220
ANEXOS .....	223
<b>Anexo 1. Perfiles Climatológicos de El Salvador</b> .....	224
ANEXO 2: Ejemplo de Tabla de Registro de Lluvia Diaria .....	238
ANEXO 3: Hoja de Registro de Lluvias Diarias, con sus Estaciones y Coordenadas Geodésicas y Valores de Precipitación. Para cada año de Análisis .....	239
ANEXO 4: Ejemplo de Reportes Generados por los Métodos de Interpolación, dentro del Programa Geo Espacial Surfer 9.0.....	249

## INDICE DE FIGURAS

Figura 2. 1 Ejemplo de una malla de interpolación con los valores de Z conocidos y ya graficados con sus respectivas coordenadas (X,Y).....	41
Figura 2. 2 Ejemplo de los puntos ya interpolados con los nuevos valores de Z encontrados en la intersección de cada nodo.....	42
Figura 2. 3 Sectores de Búsqueda.....	44
Figura 2. 4 Mapa de Isoyetas con efecto “Ojo de buey” utilizando el método de interpolación de Distancia Inversa Ponderada.....	50
Figura 2. 5 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Kriging. ....	55
Figura 2. 6 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Curvatura Mínima. ....	56
Figura 2. 7 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el Método Modificado de Shepard .....	57
Figura 2. 8 Ejemplo gráfico del “Área prestada” formado por los vecinos naturales alrededor del nuevo punto de control.....	59
Figura 2. 9 Comparación de las curvas de contorno.....	59
Figura 2. 10 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Vecino más Cercano. ....	61

Figura 2. 11 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método Regresión Polinómica .....	62
Figura 2. 12 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa de Surfer 9.0 para el método de (A) Kriging en comparación con (B) Funciones de Base Radial. ....	63
Figura 2. 13 Triangulación óptima de Delauney.....	64
Figura 2. 14 Ejemplo de un nodo dentro de un triángulo generado por los puntos de datos. ....	65
Figura 2. 15 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Triangulación con Interpolación Lineal.....	65
Figura 2. 16 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método Ponderados Móviles (Moving Average).....	66
Figura 2. 17 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Datos Métricos para Estadísticos sin el uso de opciones avanzadas.....	68
Figura 2. 18 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Polinomio Local. ....	70

Figura 3. 1 Interacción de la radiación solar con la Atmósfera y la Superficie Terrestre. ....	87
Figura 3. 2 Rosa de los Vientos. La dirección se suele referir al punto más próximo de la rosa de los vientos que consta de ocho rumbos principales. Se mide con la veleta. ....	89
Figura 3. 3 Vector que representan la velocidad del viento .....	91
Figura 3. 4 Representación de dirección del viento en el plano cartesiano .....	92
Figura 3. 5 Ejemplos de un Anemómetro (A) y una Veleta (B) .....	93
Figura 3. 6 Proceso de formación de las brisas térmicas .....	95
Figura 3. 7 Vientos alisios y celdas de Hadley, Ferrel, y Polares.....	97
Figura 3. 8 Fuerza de Gradiente de Presión.....	98
Figura 3. 9 Ilustración de la Fuerza de Coriolis.....	100
Figura 3. 10 Balance de fuerza producidas por el viento geostrófico (hemisferio norte). ....	101
Figura 3. 11 Efecto de la fuerza centrífuga .....	104
Figura 3. 12 Esquema de la Presión Atmosférica.....	106
Figura 3. 13 Piranómetro, instrumento de medición de la Radiación Solar ....	107
Figura 3. 14 Comportamiento de la radiación solar en la Tierra .....	108
Figura 3. 15 Termómetro .....	110
Figura 3. 16 Higrómetro, instrumento de medición de la humedad.....	112
Figura 3. 17 Lluvia por convección .....	120
Figura 3. 18 Lluvia Orográfica.....	121

Figura 3. 19 Lluvia Frontal o Ciclónica.....	122
Figura 3. 20 Fenómeno de Oclusión de una tormenta formada por el paso de un cumulonimbo.....	125
Figura 3. 21 Ejemplos de un Pluviógrafo (Figura de la izquierda) y un Pluviómetro (Figura de la derecha).....	126
Figura 3. 22 Mapa de Relieve en El Salvador.....	135
Figura 3. 23 Mapa los Volcanes de El Salvador. Fuente SNET.....	137
Figura 3. 24 Mapa de temperatura anual (°C) en El Salvador .....	139
Figura 3. 25 Ejemplo de sistemas de masa de aire que controlan el comportamiento de las precipitaciones en el país. ....	144
Figura 3. 26 Red de estaciones meteorológicas de El Salvador. Fuente: DGOA .....	150
Figura 4. 1 Mapa Resultante de Lluvia Aislada por Método Kriging .....	184
Figura 4. 2 Mapa Resultante de Lluvia Dispersa por Método Kriging .....	186
Figura 4. 3 Mapa Resultante de Lluvia Generalizada por Método Kriging .....	188
Figura 4. 4 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 1 hora acumulada por Método Kriging .....	191
Figura 4. 5 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 6 horas acumuladas por Método Kriging.....	192
Figura 4. 6 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 12 horas acumuladas por Método Kriging.....	193

Figura 4. 7 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 24 horas acumuladas por Método Kriging.....	194
Figura 4. 8 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 1 hora acumulada por Método Kriging.....	195
Figura 4. 9 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 6 horas acumuladas por Método Kriging .....	196
Figura 4. 10 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 12 horas acumuladas por Método Kriging .....	197
Figura 4. 11 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 24 horas acumuladas por Método Kriging .....	198
Figura 4. 12 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 1 hora acumulada por Método Kriging .....	199
Figura 4. 13 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 6 horas acumuladas por Método Kriging .....	200
Figura 4. 14 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 12 horas acumuladas por Método Kriging .....	201
Figura 4. 15 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 24 horas acumuladas por Método Kriging .....	202
Figura 4. 16 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 1 hora acumulada por Método Kriging.....	203
Figura 4. 17 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 6 horas acumuladas por Método Kriging .....	204

Figura 4. 18 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 12 horas acumuladas por Método Kriging ..... 205

Figura 4. 19 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 6 horas acumuladas por Método Kriging ..... 206

## INDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Datos de las estaciones meteorológicas del país proporcionados por la Dirección General del Observatorio Ambiental para fecha 30 de mayo de 2010. .....	73
Tabla 3. 1 Clasificación de la precipitación según la intensidad .....	117
Tabla 3. 2 Regiones Climáticas según KOPPEN Y SAPPER-LAUER.....	140
Tabla 3. 3 Datos básicos de la región climática Sabana Tropical Caliente de El Salvador.....	140
Tabla 3. 4 Datos básicos de las regiones climáticas Sabana Tropical Calurosa a Tierras Templadas y Frías de El Salvador.....	141
Tabla 3. 5 Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas convencionales a nivel nacional. ....	149
Tabla 4. 1 Rangos de clasificación de los tipos de lluvias según La Dirección General del Observatorio Ambiental .....	153
Tabla 4. 2 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2010.....	156
Tabla 4. 3 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2011 .....	157
Tabla 4. 4 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2012.....	158

Tabla 4. 5 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2013.....	159
Tabla 4. 6 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2014.....	160
Tabla 4. 7 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2015.....	161
Tabla 4. 8 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Aisladas, para los Años 2010, 2011 y 2012.....	167
Tabla 4. 9 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Aisladas, para los Años 2013, 2014 y 2015.....	168
Tabla 4. 10 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Dispersas, para los Años 2010, 2011 y 2012 .....	169
Tabla 4. 11 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Dispersas, para los Años 2013, 2014 y 2015 .....	170
Tabla 4. 12 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Generalizadas, para los Años 2010, 2011 y 2012 .....	171
Tabla 4. 13 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Generalizadas, para los Años 2013, 2014 y 2015 .....	172
Tabla 4. 14 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Horarias, para Tormentas Stan (2005), Ida (2009).....	173
Tabla 4. 15 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Horarias, para Tormentas Agatha (2010), DT 12-E (2011).....	174

Tabla 4. 16 Ejemplo de Valores Estadísticos a Comparar para Lluvia Aislada con fecha 14 de mayo de 2010 .....	176
Tabla 4. 17 Matriz de Resultados para Lluvias Aisladas, Métodos Mínima Curvatura y Kriging .....	178
Tabla 4. 18 Matriz de Resultados para Lluvias Aisladas, Métodos Distancia Inversa Ponderada y Funciones de Base Radial .....	178
Tabla 4. 19 Matriz de Resultados para Lluvias Dispersas, Métodos Mínima Curvatura y Kriging .....	179
Tabla 4. 20 Matriz de Resultados para Lluvias Dispersas Métodos Distancia Inversa Ponderada y Funciones de Base Radial .....	179
Tabla 4. 21 Matriz de Resultados para Lluvias Generalizadas, Métodos Mínima Curvatura y Kriging .....	180
Tabla 4. 22 Matriz de Resultados para Lluvias Generalizadas, Métodos Distancia Inversa Ponderada y Funciones de Base Radial .....	180
Tabla 4. 23 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Mínima Curvatura .....	181
Tabla 4. 24 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Kriging.....	181
Tabla 4. 25 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Distancia Inversa Ponderada .....	182
Tabla 4. 26 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Funciones de Base Radial .....	182

Tabla 4. 27 Cuadro resumen del Método más apropiado para cada tipo de evento.

..... 190

# CAPITULO 1

# GENERALIDADES

## 1.0 INTRODUCCIÓN

El análisis y evaluación de los eventos climáticos y recursos hídricos de un país, es una cuestión de suma importancia a nivel socioeconómico, en especial para los planes de desarrollo territorial y para la industria en general. Los datos necesarios para su realización procederían de los registros de variables hidrológicas como las precipitaciones registradas en Estaciones Meteorológicas, los caudales registrados en estaciones Hidrométricas y otros, que en la práctica muchas veces resultan insuficientes para contemplar la variabilidad espacial y temporal del ciclo hidrológico.

De las más de 100 estaciones de monitoreo, entre meteorológicas, pluviométricas e hidrométricas que registran lluvia en el país, se obtiene información, tanto de cantidades como de intensidades de las tormentas, las cuales son usadas para la generación de mapas de Isoyetas, que muestran su distribución areal aproximada sobre el territorio, de acuerdo con su ocurrencia. Estos mapas son trabajados y elaborados por el personal técnico de la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) del Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), quienes para ello hacen uso del Software Surfer 9, el cual contiene 12 diferentes métodos de interpolación de datos, siendo “Kriging” el método de interpolación generalmente utilizado.

En el presente Trabajo de Graduación se presenta una propuesta de investigación orientada a evaluar cuál de los métodos de interpolación

actualmente utilizados para trazar Isoyetas, es el más adecuado para cada tipo de precipitación, que se presentan en las diferentes áreas de nuestro país

## 1.1 ANTECEDENTES

El conjunto de los diferentes estados, procesos y caminos por los que, desde sus orígenes, pasa el agua en el Planeta, constituye el campo científico de la Hidrología. Una importante cantidad de agua en diferentes estados, circula entre la atmósfera y la tierra; siendo un elemento imprescindible para la vida y para las actividades del hombre. Con el avance de la ciencia, la tecnología y otros factores se han generado modificaciones a algunos Ciclos de elementos naturales, dando paso al Cambio Climático, y el Ciclo del agua (Ciclo Hidrológico) no ha sido la excepción.

En la Tierra el agua en su forma natural puede encontrarse en los 3 estados de la materia: gaseoso, sólido y líquido; siendo este último el que más le interesa a la Ingeniería, por sus efectos destructivos en eventos como tormentas fuertes y huracanes, que generan inundaciones, deslizamientos de tierra y otros.

Los registros de alturas de precipitación en el país, cuentan con datos desde los años 70's, utilizando pluviómetros convencionales para su medición, los cuales han venido evolucionando hasta las Plataformas Colectoras de Datos y

Pluviómetros Electrónicos, los cuales son utilizados en los diferentes tipos de estaciones de monitoreo con potencialidad telemétrica, que transmiten datos en tiempo real.

Sin embargo, para diferentes usos en la Ingeniería, no es de utilidad el conocimiento del dato de precipitación en un punto específico, sino más bien tener una distribución espacial de la lluvia, por lo que es muy importante obtener mapas de Isoyetas mostrando la distribución areal de la lluvia en todo el territorio nacional, lo más apegados a la realidad.

En respuesta a esta demanda, se propuso el trazo de líneas isoyetas seleccionando la metodología de interpolación de Kriging, por conveniencia del momento. Este método de interpolación mencionado es un método ordinario sin ninguna modificación.

### 1.1.1 Historia del Servicio Meteorológico de El Salvador

La historia del Servicio Meteorológico de El Salvador virtualmente ha reflejado el desarrollo técnico de los países desarrollados y también la magnitud del apoyo dado en el país a la tecnología y la ciencia. En 1889, durante la Presidencia del visionario General Francisco Menéndez, precisamente el 1° de enero, se efectuaron las primeras observaciones meteorológicas en el Observatorio ubicado en el Instituto Nacional de San Salvador. Al Doctor Darío González le correspondió el honor de dar estos pasos iniciales en la medición de algunos

elementos atmosféricos de suprema importancia en la supervivencia y actividades de los seres humanos.

La década 1950–1960 es notable porque, entre otros eventos, se instalan estaciones de medición de lluvia, temperatura y viento a escala nacional, se funda el Servicio Meteorológico Nacional por el Presidente Coronel Oscar Osorio el 1° de enero de 1953, adscrito al Ministerio de Defensa, y se capacita a nivel académico algunos becarios Salvadoreños en Alemania, Argentina y México y se incorporan algunos meteorólogos alemanes dentro de la misión alemana del Año Geofísico Internacional.

En 1955 El Salvador se adhiere a la Organización Meteorológica Mundial al ratificar el convenio de la misma el 16 de marzo. En 1967, la Organización Meteorológica Mundial comenzó la ejecución del Proyecto Hidrometeorológico Centroamericano financiado por el Programa de las Naciones para el Desarrollo, lo que hizo posible la ampliación de las redes hidrométricas y meteorológicas, la investigación, la capacitación de técnicos y la cooperación con la comunidad meteorológica/hidrológica internacional.

El desastre dejado por el Huracán Mitch en el año 1998 desnudó las limitantes y necesidades de las instituciones a cargo del monitoreo meteorológico e hidrológico, pues no contaban con los recursos necesarios para llevar a cabo un adecuado monitoreo, vigilancia y alertamiento.

Posterior a MITCH se recibió apoyo en especial para el área de Hidrología, quien montó el primer Centro de Pronóstico Hidrológico. Posteriormente a los

terremotos de enero y febrero del 2001 la Cooperación Internacional apoyo en la formación del Servicio Nacional de Estudios Territoriales adscrito al Ministerio de Medio Ambiente, el cual en el año 2007 se convirtió en una Dirección General, desde entonces se fortaleció con una adecuada conexión en red de todas sus área de trabajo, internet dedicado las 24 horas, sostenibilidad de la red de monitoreo existente, mejora de ISO, Software y Hardware, entre otros.

En el 2000 se recibe información de 14 estaciones telemétricas. En 2002 se da la creación del SERVICIO NACIONAL DE ESTUDIOS TERRITORIALES (SNET).

### 1.1.2 Servicio Meteorológico Nacional en la actualidad

Desde el año de 2007, el SNET se convierte en la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), y el área encargada de realizar el monitoreo sobre las condiciones Atmosférica en nuestro país es la Gerencia de Meteorología. Esta Gerencia está constituida en tres áreas:

1. Centro de Pronóstico Meteorológico (CPM).
2. Centro de Información y Agro meteorología (CIAGRO) y
3. Centro de Predicción Climática (CPC)

El Servicio Meteorológico, ahora como Gerencia de Meteorología, es la entidad gubernamental en el ámbito nacional, reconocida por la Organización

Meteorológica Mundial de (OMM), para realizar el monitoreo y la vigilancia de las situaciones Atmosféricas en todo el país a través de la Red Nacional de Estaciones Meteorológicas del MARN, así como las condiciones regionales o de escala sinóptica (Observación que se efectúa cada hora y se remite a un centro recolector de datos, mediante mensajes codificados por la vía de comunicación más rápida) y planetarias para evaluar posibles sistemas atmosféricos con potencial de afectar el país, tales como: Tormentas Tropicales, Huracanes y fenómenos El Niño y La Niña.

Este monitoreo consiste en obtener la información que genera cada una de las estaciones meteorológicas de la Red, (5 Estaciones Sinópticas entre Automáticas y Convencionales con una cobertura de 100 kilómetros cada una, 25 Estaciones Climatológicas Convencionales, 34 Estaciones Pluviométricas Telemétricas, 34 Estaciones Hidrométricas Telemétricas que reportan lluvia y 72 Pluviométricas, (Éstas últimas registran sólo las precipitaciones) y es transmitida por observadores en las estaciones al Centro de Pronóstico Meteorológico (CPM), donde son ingresados los datos al Sistema de transmisión y recepción de información Satelital, conocido como STAR 4, y enviados cada hora, con el Sistema Satelital al Centro Mundial de Meteorología, con sede en Washington, para la alimentación de la base mundial de datos, los cuales son procesados y distribuidos por canales exclusivos a todos los usuarios, incluyendo El Salvador. Los productos son emitidos en formatos diferentes, tales como: Mapas Numéricos Meteorológicos de variables como: Humedad, Viento, Precipitación.

Así mismo, en el CPM se obtiene imágenes satelitales en diversos canales (Visible, Infrarroja y Vapor de Agua). Las aplicaciones de la información incluyen fines Aeronáuticos, Marítimos, Agrícolas, Prevención y Mitigación de Desastres, entre otros.

De igual forma se dispone de sistemas especializados de monitoreo ambiental, como el RAMSDIS (Sistema Meteorológico de Interpretación y despliegue avanzado de imágenes), con el cual el SNET en su Centro de Pronóstico Meteorológico elabora los diagnósticos y pronósticos divulgados diariamente a través de diversos medios de comunicación a instituciones de servicio y emergencia. El propósito es que estos usuarios dispongan de suficiente información que les permita tomar decisiones adecuadas y orientadas como medidas hacia la prevención y contingencia.

Es importante puntualizar y destacar que los productos del Centro Mundial Meteorológico de Washington, es reflejo de la actividad permanente de alimentación de cada uno de los países, incluyendo nuestra red de estaciones. Esa información está disponible a cualquier institución o persona, también, por medio del acceso a la red amplia mundial conocida como Internet. De ahí la importancia de nuestra Red de monitoreo y vigilancia.

En el Centro de Información y Agro Climatología (CIAGRO) es donde se actualiza constantemente, la base de datos sobre precipitaciones, intensidad (Cantidad de Lluvia), temperaturas (Máximas, Promedio y Mínimas), humedad relativa, viento (Velocidad y Dirección), Presión Atmosférica, Luz Solar, radiación solar, cálculo de marea (Pronóstico Altas y Bajas), salida y puesta de la luna, salida y puesta del sol, eclipses, equinoccios (Duración del día igual a la noche), solsticio (Día más largo), La mayor parte de esta información sustenta los pronósticos meteorológicos de 24, 48 horas y semanales que el SNET difunde cada día.

Se elaboran boletines mensuales climáticos y agros meteorológicos, mapas climáticos nacionales, así como boletines semanales de lluvia acumulada, el Almanaque Meteorológico y Astronómico y se brinda atención a diversos públicos que visitan las oficinas del SNET o por teléfono.

El Centro de Predicción Climática (CPC) es donde se elaboran las perspectivas de la lluvia y la temperatura en el país a mediano plazo (3 Meses de Anticipación) y estacional (6 Meses Siguietes), monitorea y publica las perspectivas de los índices del Océano Pacífico y Atlántico Norte para vigilancia del ENOS (El Niño-Oscilación del Sur), la predicción de fechas de inicio de la época lluviosa, posibilidades de desarrollo, magnitud y fechas de canícula en Julio y/o agosto, comportamiento de la temporada de huracanes y sus efectos en nuestro país, periodo de finalización de época lluviosa, informes-resumen de temperaturas y

acumulados mensuales de lluvia en 11 estaciones meteorológicas, comparaciones de lluvia anual versus Normal (Tablas y Gráficos), asesoría especializada y/o personalizada a usuarios internos (SNET) y externos (ONG's, Gobierno, Empresa Privada, etc.), elaboración de certificaciones técnicas y judiciales a sectores como Fiscalía General de la República, profesionales de derecho particulares y compañías aseguradoras y estudio de la tendencia pluviométrica en El Salvador durante los últimos 40 años, entre otras.

## 1.2 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Hasta la fecha, no se ha realizado una investigación en el país sobre el método de interpolación ideal para generar líneas Isoyetas de las lluvias de las que se tienen registro. Se conoce de diferentes tipos de lluvias en El Salvador que son: “Convectivas”, lluvias aisladas que caen en zonas restringidas del país; “De corta duración”, “De duración extendida” (Hasta por 6 horas), y “Temporales” (Que se distribuyen en casi todo el territorio nacional y duran más de 24 horas). Para cada tipo de lluvia se debe de aplicar un método diferente de interpolación.

Históricamente los registros en cada estación se han tratado de forma estadística. Más sin embargo, no se conocían precipitaciones en zonas intermedias entre estaciones. En función de ello, se comenzó a trabajar desde el año 2003, en mapas de distribución de la precipitación, para tener una idea de las zonas en donde se carece de registros pluviométricos.

Con la ocurrencia de la tormenta Stan en octubre del 2005, se comenzó a formalizar de manera pública estas distribuciones, sin haber realizado un estudio acerca de la metodología de interpolación que se debe utilizar para la cada tipo de distribuciones de lluvia.

En algunos casos como lluvias aisladas o concentradas en la estación, el método Kriging que se utiliza por defecto, ha dado buenos resultados. Pero en otros

casos como en la depresión tropical 12-E, no ha sido de mucho provecho, ya que no presenta unos mapas apegados a la realidad, ya que utiliza el método Kriging general y no le dan un uso específico para cada tormenta. El método actual concentra la lluvia donde ha habido registros, dejando vacíos cercanos a la estación. En estos casos se ha tenido que eliminar el dato que genera vacíos para tener una distribución más uniforme en el mapa. Con esto, la confiabilidad de los resultados se pierde. Es por ello que se debe realizar una investigación sobre la metodología más apropiada para elaborar las líneas Isoyetas para los diferentes tipos de lluvia.

## 1.3 OBJETIVOS

### General:

- Realizar un Análisis de Reducción Areal de Lluvias Intensas en El Salvador para proponer las metodologías de interpolación adecuadas para cada tipo de lluvia con el fin de generar mapas de distribución de precipitaciones de mayor eficacia y precisión.

### Específicos:

- Investigar acerca de las intensidades de las lluvias de tipos temporales y aislados de duraciones de 1, 6, 12 y 24 horas.
- Realizar un análisis de las intensidades para lluvias diarias de cada mes y año dentro del periodo de estudio; 2010 – 2015 y para lluvia horaria de los eventos destructivos Stan 2005, Ida 2009, Agatha 2010 y 12-E 2011.
- Evaluar las diferentes metodologías que se puedan adecuar a las lluvias aisladas o distribuidas para obtener una distribución de precipitaciones en forma de curvas Isoyetas para cada tipo de lluvia del país, asegurando la calidad de resultados a través de la aplicación del método de interpolación más adecuado para cada caso.

- Analizar cuál metodología de interpolación de datos se aplica de mejor manera para cada tipo, intensidad y duración de lluvia.

## 1.4 ALCANCES

- Se trabajará con datos de registros de lluvias diarias dentro del periodo de 2010 al 2015, por ser los más confiables y con registros de lluvia horaria para los eventos específicos Stan 2005, Ida 2009, Agatha 2010, y 12-E 2011.
- Se pondrá un especial énfasis en las tormentas destructivas como: Stan (2005), Ida (2009), Agatha (2010) y 12-E (2011) para conocer su comportamiento real en lo que respecta a su distribución areal, trabajando con datos de lluvia horaria.
- Se probarán estadísticamente los distintos métodos de interpolación para los datos de lluvia que proporcione el MARN.
- Se investigarán los distintos métodos de interpolaciones existentes y accesibles para sus aplicaciones a los datos de precipitación que proporcionará la Dirección General del Observatorio Ambiental del Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales (MARN).

## 1.5 LIMITACIONES

Una de las limitaciones de mayor relevancia con las que cuenta este trabajo de investigación es que para poder aplicar un análisis de reducción areal de lluvias, es necesario enfocarse en los métodos con los que cuenta el Software Surfer 9.0, ya que este Software es utilizado en el Ministerio de Medio Ambiente y Recursos Naturales (MARN), para el análisis que se realiza actualmente.

Al realizar una investigación más profunda acerca de otros modelos computacionales existentes, para la aplicación de los métodos de interpolación en el análisis de reducción areal de lluvias, se tendría que extender esta investigación de tal forma que, sería imposible finalizar el trabajo en el tiempo requerido para su realización. También se tendría que adquirir la licencia para el uso de un nuevo producto de Software, la cual elevaría los costos de la investigación de manera que ya no sería posible su seguimiento y finalización. El análisis de cada uno de los métodos se realizará dentro de los 30 días que el Software brinda gratuitamente para no incurrir en la compra del mismo.

Por lo tanto, será necesario limitarse al uso del Software ya disponible, usado y proporcionado por el Observatorio Ambiental del MARN, para proponer un mejor uso de los métodos de interpolación existentes en el programa para cada caso de lluvias existentes en el país.

## 1.6 JUSTIFICACIÓN

En forma histórica se ha manejado la información de las estaciones pluviométricas de forma estadística, obteniendo sus máximos, mínimos y la cantidad en promedio de lluvia en ese punto, por lo que es necesario saber que sucede en las zonas intermedias entre cada estación registradora.

Existen vacíos de información que hacen menos precisos los resultados en cuanto a la distribución de lluvia en el territorio. Teniendo en cuenta que todas las actividades económicas, principalmente las de agricultura y ganadería como también las de hidroelectricidad, obras de paso, e incluso los aspectos legales, están enfocadas en la distribución de la lluvia, así como la importancia que tiene en la modelación hidrológica.

Por esta razón es de mucha importancia tener una distribución más precisa para la planificación y aprovechamiento de este recurso en zonas donde se tiene una mayor precipitación. En fin, para todo aspecto social e ingenieril, es importante saber cómo se distribuye la lluvia en el territorio.

En El Salvador anualmente se tiene un registro promedio de 1800mm de lluvia, pero la interrogante que se formula es: ¿Cómo se distribuyen estos 1800mm de precipitación, especialmente en todo el territorio nacional? Tener el dato de forma puntual de la estación, da una idealización de la lluvia en la zona, pero es de mayor importancia y aprovechamiento tener la regionalización de la precipitación.

Debido a esto, es importante realizar una investigación para conocer el método de interpolación más apropiado para cada tipo de lluvia en el país.

**CAPITULO 2**

**METODOS DE**

**ESTIMACIÓN ESPACIAL**

## 2.0 INTRODUCCIÓN

El proceso de interpolación espacial consiste en la estimación de los valores que alcanza una variable  $Z$  en un conjunto de puntos definidos por un par de coordenadas  $(x, y)$ , partiendo de los valores medidos en una muestra de puntos situados en la misma área de estudio. Fuera del área de estudio, el proceso de interpolación se denomina extrapolación.

Los interpoladores espaciales tienen distintas clasificaciones dependiendo del manejo necesario que se requiere dar al conjunto de datos a interpolar. El proceso de interpolación puede ser de manera puntal o sectorial. La interpolación puntal se da cuando se trabaja con datos puntuales recolectados de estaciones meteorológicas u otros puntos de registro. La interpolación sectorial es utilizada para datos de agrupación como por ejemplo censos poblacionales, u otra información acumulada en sectores específicos.

Los diferentes métodos de interpolación pueden ser categorizados de manera global o local, exacta o aproximada, gradual o abrupta, y estadístico o determinístico.

Con el fin de dar una perspectiva más práctica a la investigación, se hará énfasis en las dos categorías integradas en el programa computacional bajo estudio (Surfer 9.0), las cuales son Interpoladores Exactos y Aproximados.

El término “interpolador” se utilizará con mayor frecuencia para referirse a un método de interpolación en específico, en donde en este capítulo se investigan

de manera básica, doce diferentes métodos de interpolación, que a su vez son parte del programa geoespacial Surfer 9.0.

Con la información presentada, luego se hará una delimitación o selección preliminar de los métodos más convenientes para el análisis comparativo visual que se realizará en el Capítulo 4. Dicha delimitación se hará en base a los mapas generados por cada uno de los métodos, a partir de datos de lluvia diaria tomados aleatoriamente que han sido proporcionados por la Dirección General del Observatorio Ambiental, comparándolos entre sí y mostrando los métodos seleccionados. Junto con la comparación visual, siempre resulta conveniente realizar un análisis estadístico del error de estimación de cada interpolador. Dicho análisis estadístico se denomina la Validación Cruzada.

## 2.1 MÉTODOS DE ESTIMACIÓN ESPACIAL

Los métodos de interpolación incorporados en el programa se dividen en dos categorías principales: interpoladores exactos y aproximados.

Debe tomarse en cuenta que algunos métodos de interpolación exactos pueden funcionar como interpoladores aproximados al incluir un factor que suaviza las curvas generadas por los diferentes algoritmos matemáticos de cada método.

### A. Interpoladores Exactos

Los interpoladores exactos estiman nuevos valores de Z respetando los datos sobre los cuales se basa la interpolación. La superficie pasa a través de todos los puntos de los cuales se conoce su valor. En algunas aplicaciones es importante respetar los puntos conocidos como en el caso del Análisis Espacial de las Lluvias. Los Métodos interpoladores exactos son:

- 1) Distancia Inversa Ponderada
- 2) Kriging
- 3) Vecino Más Cercano
- 4) Funciones de Base Radial
- 5) Método Modificado de Shepard
- 6) Triangulación con Interpolación Lineal
- 7) Vecino Natural

## B. Interpoladores Aproximados

Los métodos de interpolación aproximados son utilizados cuando existe incertidumbre sobre los datos conocidos, o cuando se sospecha de la presencia de tendencias globales. La superficie no pasa necesariamente a través de todos los puntos de los cuales se conoce su valor. Presentan un efecto de suavizado con el fin de reducir el error en la superficie resultante.

Los Métodos con interpoladores aproximados son:

- 1) Distancia Inversa Ponderada
- 2) Kriging
- 3) Regresión Polinómica
- 4) Funciones de Base Radial
- 5) Método Modificado de Shepard
- 6) Polinomio Local
- 7) Ponderados Móviles

## 2.2 ELEMENTOS PARA LA INTERPOLACIÓN

### 2.2.1 La Malla de Interpolación (Grid)

Una malla es una cuadrícula o región rectangular compuesta por filas y columnas de separaciones iguales. La intersección de una fila con una columna se denomina como nodo. Cada método de interpolación genera un valor de Z en cada nodo de cuadrícula por medio de la interpolación de los valores.

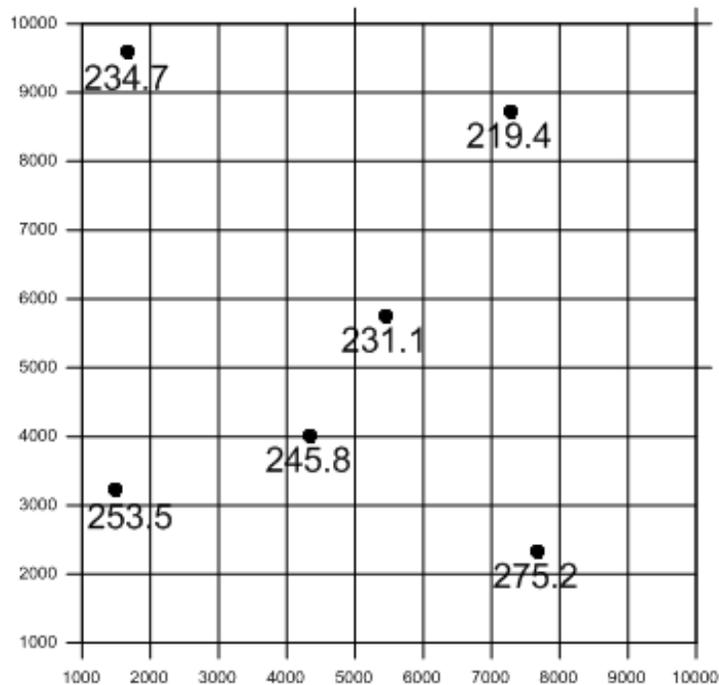


Figura 2. 1 Ejemplo de una malla de interpolación con los valores de Z conocidos y ya graficados con sus respectivas coordenadas (X,Y).

(Fuente: Tutorial de Surfer 9.0)

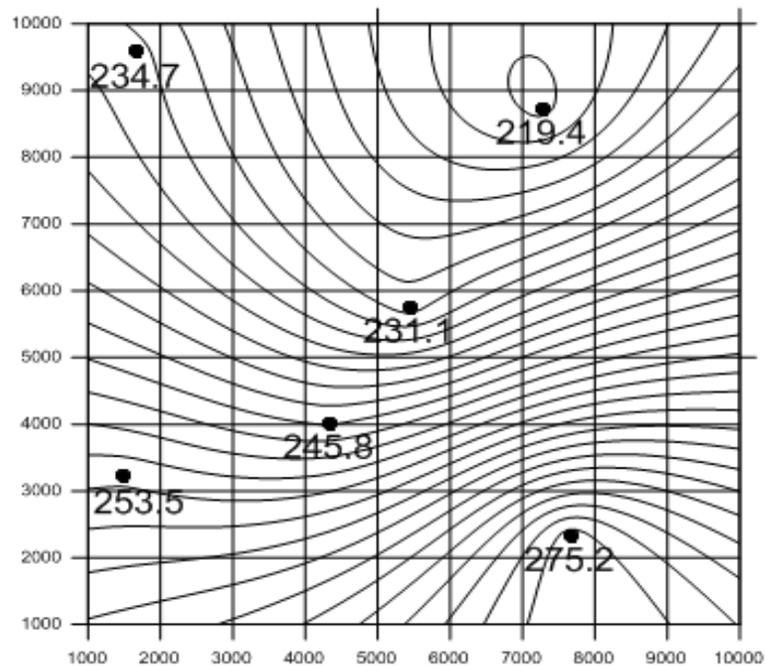


Figura 2. 2 Ejemplo de los puntos ya interpolados con los nuevos valores de Z encontrados en la intersección de cada nodo.

Estos valores son guardados en un archivo de malla, el cual produce las líneas isoyetas del mapa como se ve en el ejemplo. (Fuente: Tutorial de Surfer 9.0)

### 2.2.2 Sectores de Búsqueda

El establecimiento de sectores de búsqueda consiste en la delimitación de la cantidad de datos a usar para la estimación del valor "Z" para cada nodo. Este sector se define con los siguientes parámetros:

1. El radio (Sin considerar anisotropía) o la elipse (Considerando anisotropía) de búsqueda.
2. El número de secciones de búsqueda para cada nodo.

Con el radio o elipse de búsqueda, se establece la distancia máxima a considerar desde cada nodo a los datos que lo rodea. Cuando se considera anisotropía en los sectores de búsqueda, se está considerando la influencia de procesos naturales que ocasionan una tendencia en la distribución de los datos del fenómeno bajo estudio; que en nuestro caso son las lluvias. Estos procesos pueden ser la dirección del viento como la influencia de la Orografía.

El número de secciones para cada nodo divide el área de búsqueda en sectores más pequeños donde se debe establecer la cantidad máxima y mínima de datos a ser considerados por cada cuadrante.

La definición de los sectores de búsqueda es muy importante ya que de estos depende fuertemente el resultado de la interpolación cuando se analiza cada interpolador por separado. Sin embargo, cuando no se tiene definido el interpolador adecuado para cierta serie de datos y resulta de interés realizar una evaluación comparativa previa entre diferentes interpoladores, se recomienda el uso de todos los puntos graficados para la interpolación de los valores de Z para cada nodo.

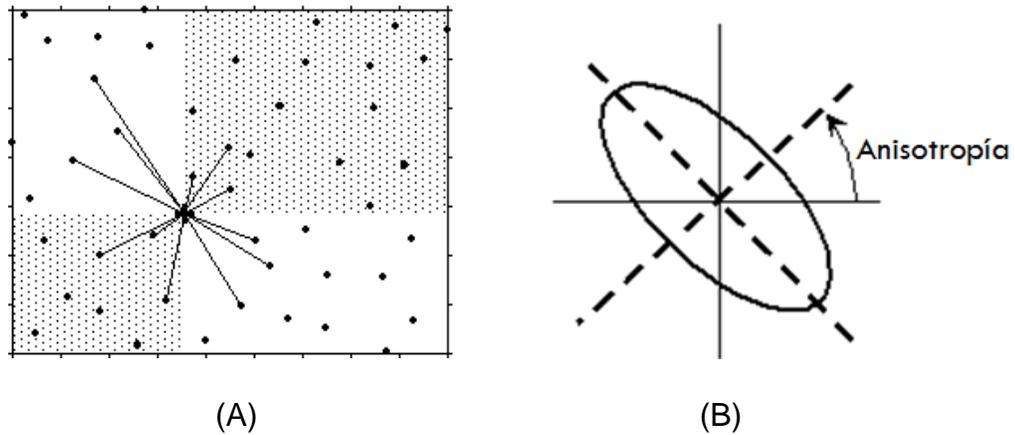


Figura 2. 3 Sectores de Búsqueda

En la figura (A) se muestra un sector de 4 secciones de búsqueda para cada nodo de la cuadrícula. Los tres puntos más cercanos en cada cuadrante son usados para la interpolación del nodo. En la figura (B) se muestra la elipse de búsqueda mayormente utilizada para incluir tendencias de anisotropía. (Fuente: Tutorial de Surfer 9.0)

El método estándar de búsqueda del programa Surfer es el “*No Search*”, en donde todos los datos son utilizados para la estimación de los nuevos valores de Z y según el manual de uso, es el más apropiado y recomendado para series de datos menores de 250 puntos como en nuestro caso de estudio.

### 2.2.3 Proceso de ponderación de los pesos a cada punto de valor conocido

Los métodos de interpolación incluidos en el programa geoespacial Surfer 9.0 usan algoritmos matemáticos que calculan los “Pesos” o valores de influencia que cada dato ejerce sobre los nodos durante la interpolación. Entre más cerca este un punto a un nodo de la malla, mayor peso se le asignará para la determinación del valor de Z en ese nodo.

Existen ciertos parámetros para cada método, que al ser modificados influyen de igual forma el proceso de cálculo de estos pesos. Por lo tanto, mantener los parámetros en modalidad estándar durante todo el proceso resulta muy necesario cuando se requiere realizar una comparación entre métodos. Cada método de interpolación difiere en el cálculo y asignación de pesos a los datos.

Para una mayor comprensión de como los pesos son promediados y aplicados en los puntos, se tiene el siguiente cálculo general:

Dado un valor de N puntos a interpolar:

$$(Z_1, Z_2, \dots Z_N)$$

Para cualquier de los doce métodos encontrados en el programa geoespacial Surfer 9.0, el nuevo valor interpolado en cualquier nodo de malla ( $G_j$ ), puede ser calculado como el promedio de pesos de los puntos más cercanos al nodo dependiendo del método de búsqueda (En nuestro caso se toman en cuenta la serie completa de datos graficados sobre la malla).

$$G_j = \sum_{i=1}^N w_{ij} Z_i$$

Dónde:

$G_j$  = valor interpolado en cada nodo ( $j$ ) de la cuadrícula.

$N$  = número de puntos usados en la interpolación de cada nodo.

$Z_i$  = el valor de  $Z$  en el punto  $i$ .

$W_{ij}$  = el peso asociado con el dato en el punto  $i$  mientras se calcula  $G_j$ .

Considerando que  $0 < W_{ij} < 1$

La ecuación general presentada anteriormente es fundamental para los doce métodos de interpolación. Lo que hace que difieren los resultados son los procesos y algoritmos usados para el cálculo de la variable  $W_{ij}$  de cada método.

## 2.3 INTRODUCCIÓN A LOS INTERPOLADORES EXISTENTES EN EL PROGRAMA GEOESPACIAL DE SURFER 9.0

Los parámetros de cada interpolador controlan los procedimientos de interpolación. Cuando se crea una malla de nuevos valores estimados de Z en los nodos, usualmente resulta ser aceptable utilizar el método de interpolación estándar (Kriging) para ello y producir un mapa aceptable.

Cada método difiere por los algoritmos matemáticos utilizados por cada uno para el cálculo de los pesos sobre los puntos de datos conocidos durante la interpolación. Cada método puede generar una representación gráfica distinta de los datos. Resulta de mayor ventaja probar cada método con la misma serie de datos para determinar el método que provea una mejor interpretación de los mismos.

Una vez se selecciona el interpolador más adecuado para un grupo de datos específicos, se puede proceder a un análisis más detallado del método con el uso de parámetros avanzados que lo controlan, y así mejorar la representación gráfica (Mapa de Isoyetas) de los resultados.

Ciertos métodos de interpolación permiten la modificación de parámetros avanzados tales como el Variograma (En otras lecturas se refieren al Semi Variograma), la Correlación Espacial, y la inclusión de la influencia de

Anisotropía, para el mejoramiento de la representación gráfica de los datos. Estas tienen su base en la Geo-estadística.

Con ello se puede lograr una representación gráfica más real de la distribución espacial del fenómeno meteorológico. Sin embargo, por ser la Geoestadística una ciencia muy amplia, donde se requiere un estudio más profundo de sus diferentes áreas, nos limitaremos al uso de los parámetros estándar de cada interpolador y así facilitar la comparación visual y el análisis de valores residuales por el procedimiento de validación cruzada entre los diferentes métodos. Esto permitirá mantener un enfoque más práctico a la investigación donde a la vez se explicará de manera general cada interpolador.

Los interpoladores que se encuentran en el programa Geo espacial Surfer 9.0 son los siguientes:

- 1) Distancia Inversa Ponderada (IDW)
- 2) Kriging
- 3) Curvatura Mínima
- 4) Método Modificado de Shepard
- 5) Vecino Natural
- 6) Vecino Más Cercano
- 7) Regresión Polinómica
- 8) Funciones de Base Radial
- 9) Triangulación con Interpolación Lineal
- 10) Ponderaciones Móviles

11) Datos Métricos

12) Polinomio Local

### 2.3.1 Distancia Inversa Ponderada

También conocido como IDW por sus siglas en inglés. Este método supone que la influencia que ejerce el valor observado disminuye a medida que aumenta la distancia entre el punto “Real” y el punto estimado (Nodo). El punto del dato conocido es asignado a un peso a través de un ponderador que controla la velocidad a la que se pierde información conforme aumenta la distancia de un punto conocido a un nodo de la cuadrícula.

La fórmula general de este método es:

$$z_j = \sum_{i=1}^n k_{ij} * z_i$$

Dónde:

- $k_{ij}$  : es el peso asociado al dato “i” en el cálculo del nodo “j”
- $z_j$ : es el valor estimado en el punto  $j$
- $n$ : es el número de puntos usados en la interpolación
- $z_i$ : es el valor en el punto  $i$ -ésimo y

Los pesos  $k_{ij}$  varían entre 0 y un máximo de 1 para cada dato y la suma total de ellos es la unidad.

Normalmente, este método funciona como interpolador exacto. Cuando se calculan los valores de los nodos de la malla, los datos son asignados en valores de peso de tal manera que la sumatoria de los pesos de todos los puntos es igual a la unidad. Cuando una observación en particular coincide con un nodo, la distancia entre el nodo y el dato es 0.0, y por lo tanto el peso dado tiene valor de 1.0 y los demás puntos son asignados a valores de peso de 0.0; esto ocasiona error en la estimación.

Para evitar este problema, se dispone de un parámetro suavizante que incorpora un valor de incertidumbre asociado con los datos. Esto permite que la influencia de datos vecinos al nodo sea minimizado de tal manera que ninguno de los pesos asignado a todos los datos sea igual a la unidad.

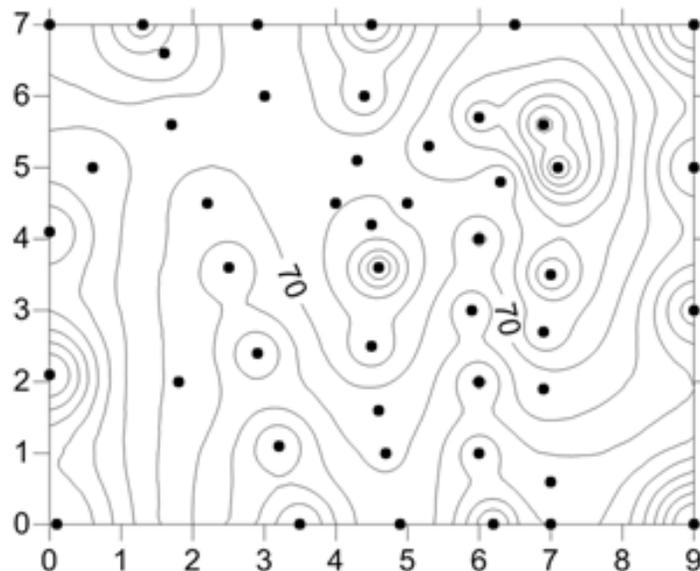


Figura 2. 4 Mapa de Isoyetas con efecto "Ojo de buey" utilizando el método de interpolación de Distancia Inversa Ponderada

(Fuente: Tutorial Surfer 9.0)

Este método funciona rápidamente con menos de 500 puntos de observación con la desventaja de la tendencia de generar isoyetas tipo “Bull’s Eyes” (Ojo de buey) rodeando la posición de las observaciones dentro del área de la cuadrícula por ser un método de interpolación exacta. Dicho efecto puede ser suavizado el mismo parámetro suavizador aplicable al método. Este método no realiza extrapolaciones de datos fuera del rango de datos.

### 2.3.2 Interpolador Geo Estadístico Kriging

El interpolador Kriging supone que la distancia entre los puntos de muestra refleja una correlación espacial que puede utilizarse para explicar la variación en la superficie. La herramienta Kriging ajusta una función matemática a una cantidad específica de puntos o a todos los puntos dentro de un radio específico para determinar el valor de salida para cada ubicación. Kriging es un proceso que tiene varios pasos, entre los que se incluyen, el análisis estadístico exploratorio de los datos, el modelado de variogramas, la creación de la superficie y (Opcionalmente) la exploración de la superficie de varianza. Este método es más adecuado cuando se sabe que hay una influencia direccional o de la distancia correlacionada espacialmente en los datos.

- **Fórmula Matemática**

El método Kriging es similar al de IDW (Distancia Inversa Ponderada) en que pondera los valores medidos circundantes para calcular una predicción de una ubicación sin mediciones. La fórmula general para ambos interpoladores se forma como una ponderada de los datos.

$$\hat{Z}(s_0) = \sum_{i=1}^N \lambda_i Z(s_i)$$

Dónde:

- $Z(s_i)$  = es el valor medido en la ubicación  $i$
- $\lambda_i$  = es la asignación de peso para el valor medido en la ubicación  $i$
- $s_0$  = la ubicación de la predicción
- $N$  = la cantidad de valores medidos

Sin embargo con el método Kriging, las ponderaciones están basadas no solo en la distancia entre los puntos medidos y la ubicación de la predicción, sino también en la disposición espacial general de los puntos medidos. Para utilizar la disposición espacial en las ponderaciones, la correlación espacial debe estar cuantificada.

Por lo tanto, en un Kriging ordinario (Es el más general y más utilizado de los métodos Kriging y es el predeterminado), la ponderación  $\lambda_i$ , depende de un modelo ajustado (Variograma) a los puntos medidos, la distancia a la ubicación de la predicción y las relaciones espaciales entre los valores medidos alrededor de la ubicación de la predicción. Kriging atraviesa un proceso de dos pasos:

1. Crea los variogramas y las funciones de covarianza para calcular los valores de dependencia estadística (Denominada auto correlación espacial) que dependen del modelo de auto correlación (Ajustar un modelo).
2. Estima los valores desconocidos de Z.

La misma serie de datos se utilizan dos veces en este método debido a estas dos tareas bien distintivas: la primera vez, para calcular el auto correlación espacial de los datos, y la segunda, para hacer las predicciones.

- **Tipos de Kriging**

Existen dos tipos Kriging utilizados en Surfer:

**A) Kriging Ordinario:** Presupone que el valor medio constante es desconocido.

Esa es una presunción razonable a menos que haya una razón científica para rechazarla.

**B) Kriging Universal:** Presupone que hay una tendencia de invalidación en los datos, por ejemplo, un viento prevaleciente, y puede modelarse a través de la función determinística polinómica. Esta función polinómica se resta de los puntos medidos originalmente y la autocorrelación se modela a partir de los errores aleatorios. Una vez que el modelo se ajusta a los errores aleatorios y antes de realizar una predicción, se vuelve a sumar la función polinómica a las predicciones para obtener resultados significativos. Kriging universal solo se debe utilizar si se conoce una tendencia en los datos y se puede dar una justificación científica para describirla.

Al final, el método Kriging es uno de los métodos más flexibles para cualquier tipo de registro de datos. Para la mayoría de series, Kriging es muy efectivo utilizando el variograma estándar. En general, se recomienda el uso de este método por el tipo de mapas que se generan, sin embargo para series de datos más extensos, el método puede tomar más tiempo en los cálculos pero puede extrapolar datos fuera de los rangos establecidos de Z.

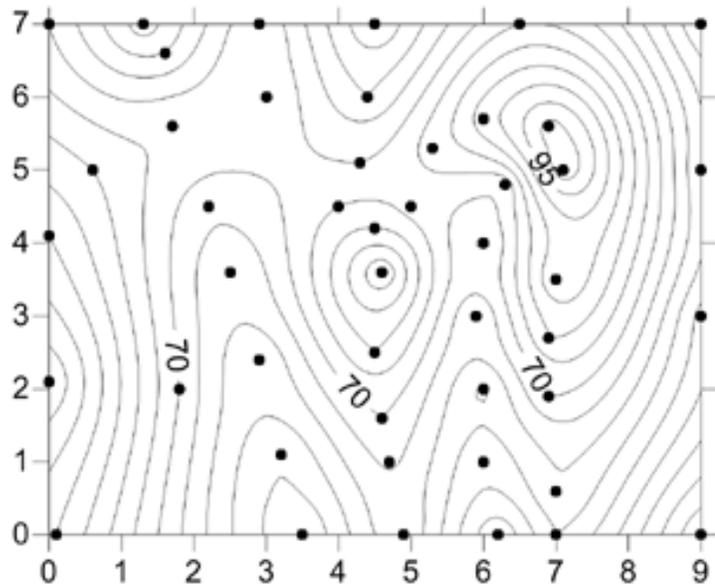


Figura 2. 5 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Kriging.

(Fuente: Tutorial Surfer 9.0)

### 2.3.3 Curvatura Mínima

El método de Curvatura Mínima se usa de manera amplia en las ciencias geológicas. La malla interpolada que se genera es análoga a una placa delgada linealmente elástica que pasa por cada valor de dato con un mínimo de dobleces abruptos. El método intenta generar una superficie más continua y curvada mientras respeta de manera posible los datos; sin embargo no siempre se logra respetar los datos en su totalidad por ser un interpolador aproximado.

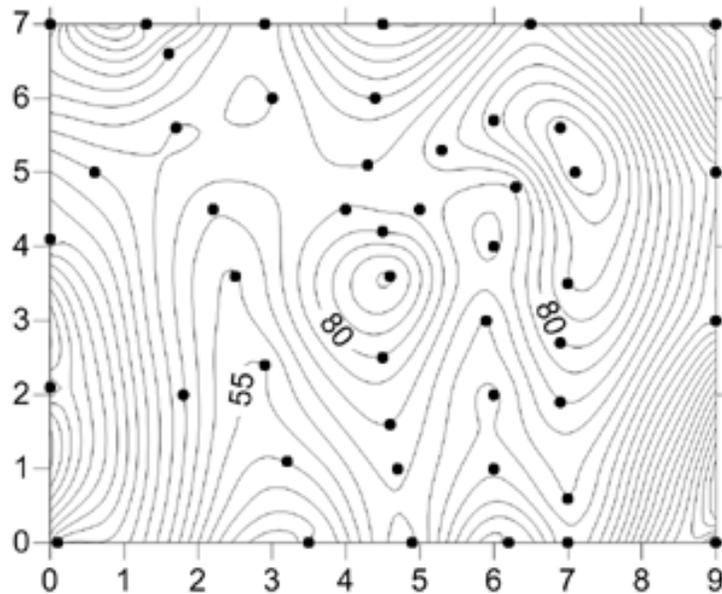


Figura 2. 6 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Curvatura Mínima.

Este método calcula de manera rápida las iteraciones para la mayoría de series aplicadas, pero puede crear valores muy elevados en áreas donde no existen puntos.

Curvatura Mínima extrapola valores afuera del rango de valores de Z en la malla. En el programa Surfer 9.0, el método de la mínima curvatura fue definido siguiendo el enfoque de Briggs (1974) et Smith et Wessel (1990).

### 2.3.4 Método Modificado de Shepard

El Método Modificado de Shepard utiliza el algoritmo matemático de mínimos cuadrados para la asignación de pesos a los datos sobre la malla. Esencialmente es muy similar al método Inverso de la Distancia, utilizando la inversa de la distancia entre los nodos y los puntos cercanos, pero el uso de algoritmos de mínimos cuadrados disminuye el efecto "Ojos de buey". El método puede ser exacto o aproximado dependiendo de si se aplica el parámetro de suavizado.

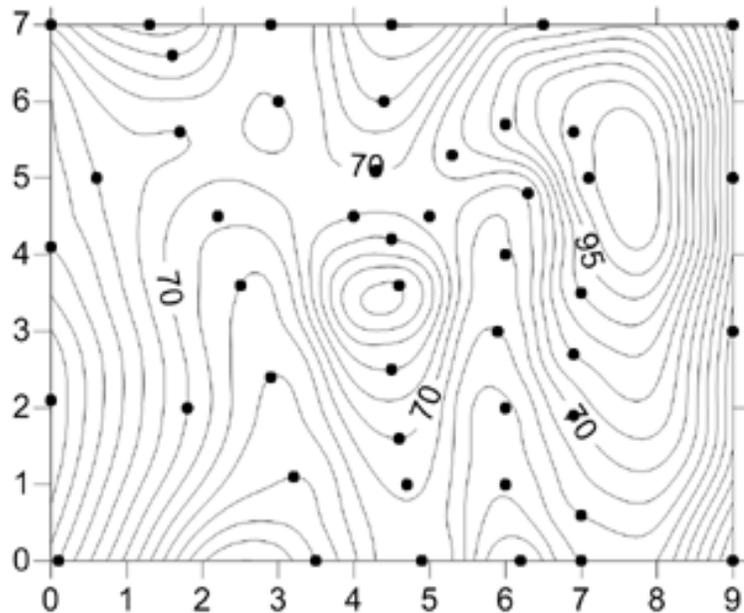


Figura 2. 7 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el Método Modificado de Shepard

### 2.3.5 Vecino Natural

El algoritmo utilizado por la herramienta de interpolación de Vecino Natural halla el subconjunto de datos más cercano a un nodo y aplica ponderaciones sobre éstas basándose en áreas proporcionales para interpolar un valor (Sibson, 1981). También se conoce como interpolación de Sibson o de "Robo de área", su propiedad básica es que utiliza sólo un subconjunto de datos que circundan a un punto de consulta y asegura que las alturas interpoladas estarán dentro del rango de las muestras utilizadas.

No infiere tendencias ni produce picos, depresiones, crestas o valles que no estén ya representados por los datos. La superficie pasa por los datos de entrada y es suave en todas partes, excepto en las ubicaciones de los datos.

Los vecinos naturales de un punto son aquellos que están asociados con los polígonos de Thiessen adyacentes. Al principio, se construye un diagrama de Thiessen de todos los puntos dados, representados por los polígonos de color verde oliva. Después se crea un nuevo polígono de Thiessen, en color beige, alrededor del punto de interpolación (Estrella roja). La proporción de superposición entre este polígono nuevo y los polígonos iniciales se utiliza como ponderaciones.

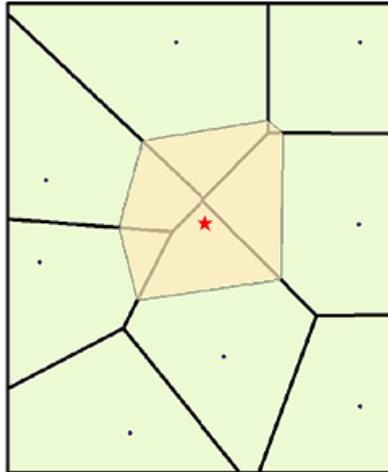


Figura 2. 8 Ejemplo gráfico del “Área prestada” formado por los vecinos naturales alrededor del nuevo punto de control.

Este método no extrapola isoyetas afuera del rango de los valores dados como se puede mostrar a continuación:

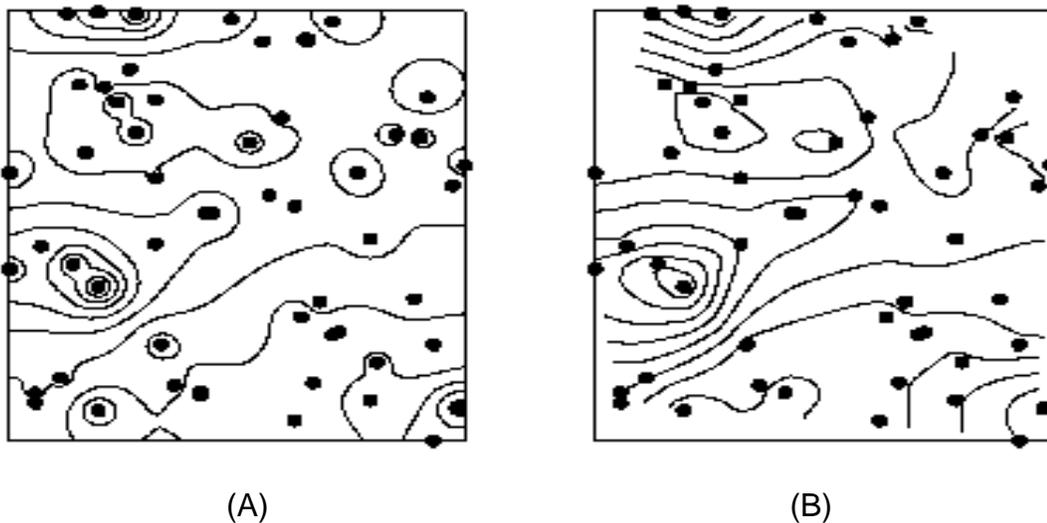


Figura 2. 9 Comparación de las curvas de contorno.

(Fuente: Tutorial Surfer 9.0)

La figura de la izquierda (A) muestra las curvas isoyetas generadas por el método de Distancia Inversa Ponderada y la de la derecha (B) muestra las curvas generadas por el método Vecino Natural. Las curvas en este método no son extrapoladas fuera de los límites de los polígonos de Thiessen como se muestra en la figura (A).

### 2.3.6 Vecino más Cercano

Esta técnica simplemente asigna el dato más cercano para cada nodo que se calcula. Es útil para datos homogéneamente espaciados pero deben ser convertidos en una malla del programa computacional. En casos donde los puntos están cerca de los nodos con pocos datos faltantes este método es efectivo para el relleno de los espacios vacíos en los datos. En otras palabras es muy útil para el relleno de datos faltantes.

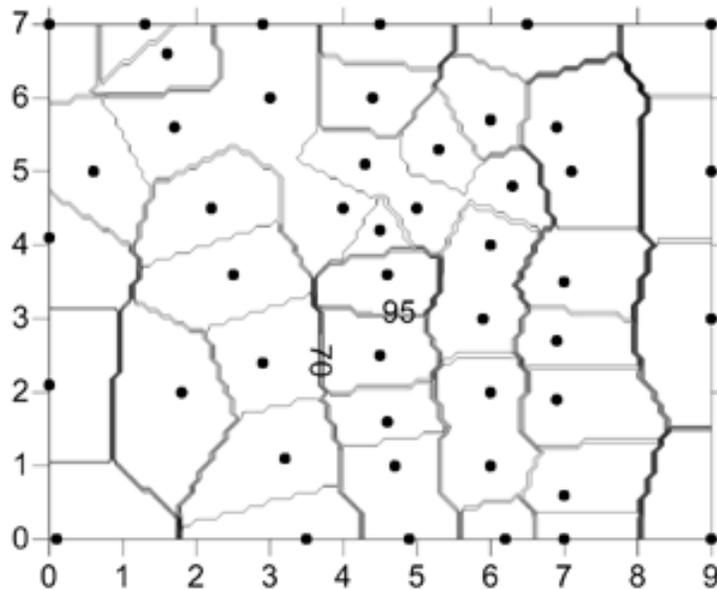


Figura 2. 10 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Vecino más Cercano.

### 2.3.7 Regresión Polinómica

Este método es usado para conocer tendencias a gran escala y patrones de comportamiento de los datos. La Regresión Polinómica no es realmente un interpolador porque no trata de calcular los valores desconocidos de Z. Este método procesa los datos para el análisis de tendencias en la superficie. Su versión computacional es muy veloz para el procesamiento de cualquier rango y tamaño de datos muestrales, pero para datos locales, mucha información se pierde en la cuadrícula generada.

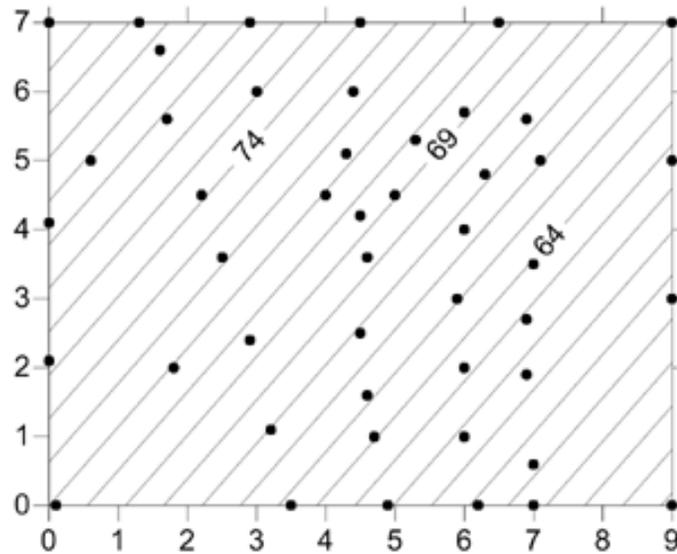


Figura 2. 11 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método Regresión Polinómica

### 2.3.8 Funciones de Base Radial

Las funciones de base radial (Con sus siglas en inglés RBF) son una serie de técnicas de interpolación exacta, es decir: la superficie debe pasar por cada valor de muestra medido. Hay cinco funciones diferentes en este método que calculan pesos que se asignan a los datos. Cada función tiene una forma diferente y genera una superficie de interpolación distinta. Los métodos RBF son un caso especial de Splines y son análogas en comparación a los variogramas de Kriging. Es por ello que sus líneas isoyetas generadas es asimilan en muchos aspectos como podemos ver a continuación:

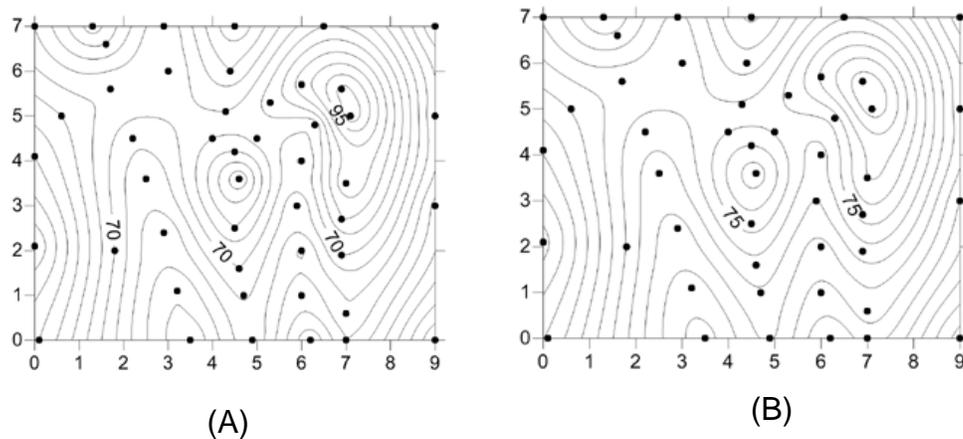


Figura 2. 12 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa de Surfer 9.0 para el método de (A) Kriging en comparación con (B) Funciones de Base Radial.

Las RBF se usan para generar superficies suaves a partir de un gran número de datos. Las funciones producen buenos resultados para superficies con una variación suave como la elevación.

Sin embargo, las técnicas no son adecuadas cuando se producen grandes cambios de los valores de la superficie en distancias cortas o cuando se sospecha que los datos de la muestra son proclives a los errores de medición o a las incertidumbres.

### 2.3.9 Triangulación con Interpolación Lineal.

Es un método exacto de interpolación basado en la triangulación óptima de Delaunay. El algoritmo crea triángulos dibujando líneas entre los puntos de datos. Los puntos originales se conectan de una manera que ningún lado de los triángulos se intercepta con los vértices de los otros triángulos cuyos vértices coinciden con los puntos conocidos.

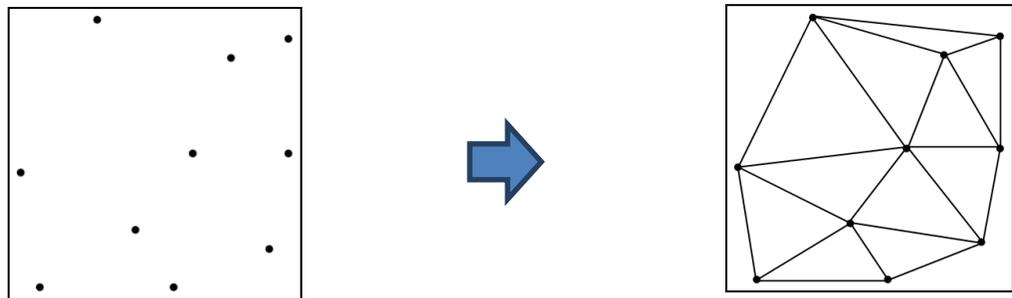


Figura 2. 13 Triangulación óptima de Delauney

Cada triángulo define un plano sobre los nodos de la malla que se encuentran dentro del triángulo. El triángulo es definido con la inclinación y la elevación determinada por los tres puntos originales de datos que definen el mismo. Todos los nodos adentro del triángulo son definidos por la superficie triangular, debido a que los datos originales son usados para definir estos triángulos. Aquí, los datos son respetados a la exactitud.

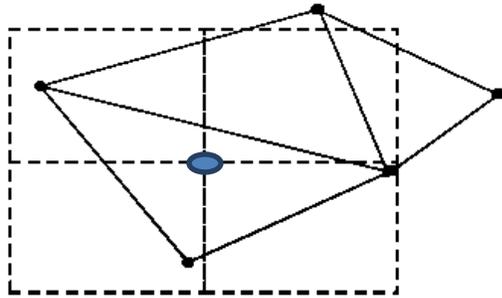


Figura 2. 14 Ejemplo de un nodo dentro de un triángulo generado por los puntos de datos.

Este método trabaja de mejor manera si los puntos de los datos tienen una distribución homogénea entre sí. Series de datos que contienen sectores de mayor densidad de puntos, dan un resultado de isoyetas muy trianguladas como podemos ver a continuación:

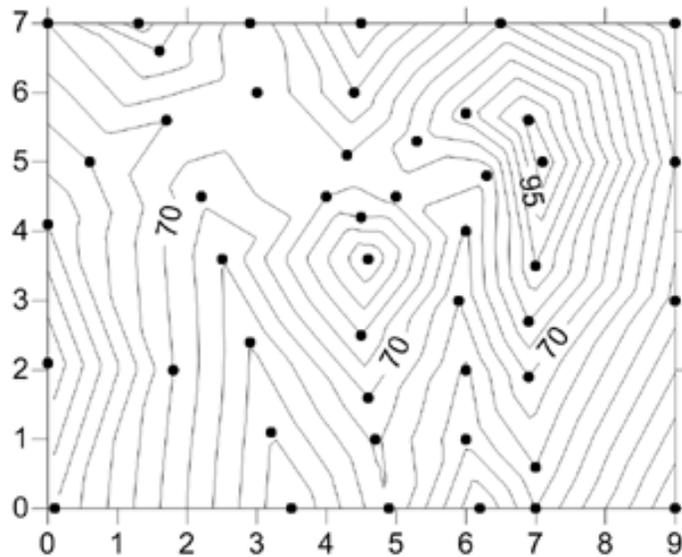


Figura 2. 15 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Triangulación con Interpolación Lineal.

### 2.3.10 Ponderados Móviles

El método de ponderados móviles asigna valores a los nodos ponderando los datos dentro del sector de búsqueda del programa. Sin embargo el uso de este método no es recomendado para series de datos de tamaños moderados, pero es una buena herramienta para series de datos arriba de los 1000 puntos en territorios muy extensos. En caso contrario, se generan isoyetas que poca utilidad para interpretar la distribución espacial del fenómeno bajo estudio como se puede observar en el siguiente mapa:

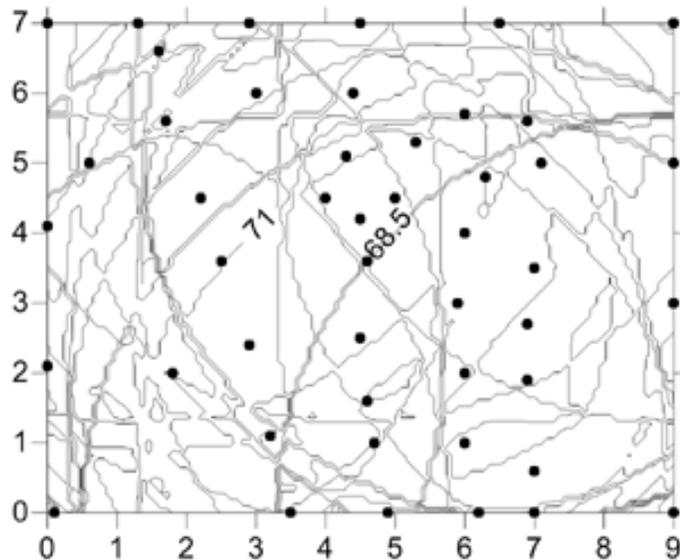


Figura 2. 16 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método Ponderados Móviles (Moving Average).

Este procedimiento involucra el cálculo de un nuevo valor para cada región establecida en base al rango de valores asociados con los puntos más vecinos. El nuevo valor será un promedio o promedio ponderado de todos los puntos dentro de la región definida previamente.

Sin embargo, muchas críticas han sido hechas a propósito de la interpolación por el método de ponderados móviles: sensibilidad al tamaño del vecindario, sensibilidad a las distribuciones anisotrópicas de los puntos muestrales, producción de superficies con múltiples núcleos, incapacidad de representar los detalles lineales, en ausencia de la estimación de la incertidumbre asociada a las estimaciones de Z, como se puede contemplar en el mapa anterior.

### 2.3.11 Datos Métricos

El método de Datos Métricos es mayormente utilizado para graficar parámetros estadísticos de una serie de datos. Este método difiere de los otros métodos porque no estima nuevos valores de Z en la cuadrícula sino que genera mapas de parámetros estadísticos de una serie de datos como podemos ver a continuación:

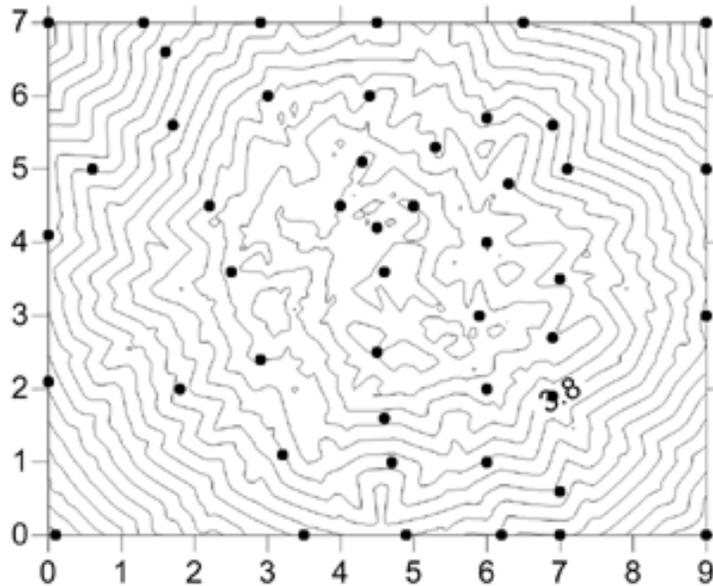


Figura 2. 17 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Datos Métricos para Estadísticos sin el uso de opciones avanzadas.

Con el uso de este método, es recomendado usar los mismos ajustes y lineamientos utilizados en los otros métodos de interpolación.

Existen 5 módulos avanzados dentro del método las cuales son:

- 1) Estadísticos de Orden para valores de Z (Z Order Statistics)
- 2) Estadísticos de Momento para valores de Z (Z Moment Statistics)
- 3) Otros Estadísticos para valores de Z (Other Z Statistics)
- 4) Estadísticos de Ubicación (Data Location Statistics)
- 5) Estadísticos del Terreno (Terrain Statistics)

Cada módulo se distingue en base a los parámetros estadísticos que se analizan en las series de datos. Para cada parámetro estadístico (Moda, Varianza, Desviación Típica, etc.), los datos o puntos con coordenadas geográficas son agrupados en diferentes sectores o regiones de búsqueda donde los cálculos serán generados según los nodos. El resultado del cálculo para cada región será asignado al nodo de la cuadrícula que se encuentra sobre esa misma región. Se puede obtener la siguiente información de los datos de entrada:

- 1) La cantidad de puntos utilizados para la estimación de cada nodo.
- 2) Los estadísticos de: desviación estándar, varianza, coeficiente de variación, la mediana, media, moda, valores mínimos, máximos, etc.
- 3) La distancia del punto más cercano al nodo.

### 2.3.12 Polinomio Local

El método de interpolación Polinomio Local funciona mejor con los conjuntos de datos que son relativamente parejos en los sectores búsqueda. Este método ajusta un polinomio de orden con el uso de los puntos dentro de una zona definida.

Los diferentes polinomios permiten diferentes ajustes en la superficie que atraviesa los datos. Por ejemplo:

- Un polinomio de un solo orden se ajusta a una sola superficie en los datos
- Uno de segundo orden se ajusta a una superficie con una curva
- Uno de tercer orden se permite acomodar la superficie a dos dobleces, y así sucesivamente.

El programa geoespacial Surfer 9.0 permite que los polinomios sean de orden 1, 2 y 3.

Si la superficie que se está formando es de formas múltiples, tales como pendientes repetitivas y nivelación, entonces lo mejor es utilizar planos polinómicos múltiples que representarían la superficie con mayor precisión. Este método es útil con grandes conjuntos de datos, porque la velocidad de cálculo no se ve afectada por el tamaño del conjunto de datos.

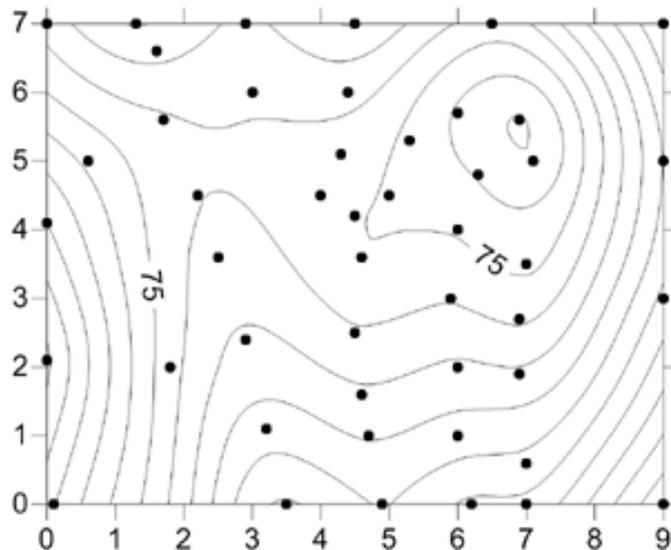


Figura 2. 18 Mapa de Isoyetas con el uso de los datos de DEMOGRID.DAT en el folder de ejemplos del programa Surfer 9.0 para el método de Polinomio Local.

## 2.4 DELIMITACIÓN PRELIMINAR DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN

Para nuestro estudio de Análisis de Reducción Áreal de Lluvias Intensas en El Salvador se han visto anteriormente los doce métodos de interpolación incluidos en el programa Geoespacial de Surfer 9.0 de manera general y los mapas generados por cada uno de ellos.

Con el objetivo de conocer el método más adecuado para cada tipo de lluvias que se generan en nuestro país, resulta necesario realizar una delimitación preliminar a través de la comparación visual de los mapas generados por estos métodos.

El mapa de isoyetas resultante debe de respetar los datos de entrada con mayor exactitud posible, generando las curvas necesarias que den representatividad a los datos sin comprometer la aceptación visual del lector, obteniendo isoyetas realistas, continuas y sin puntos de quiebre.

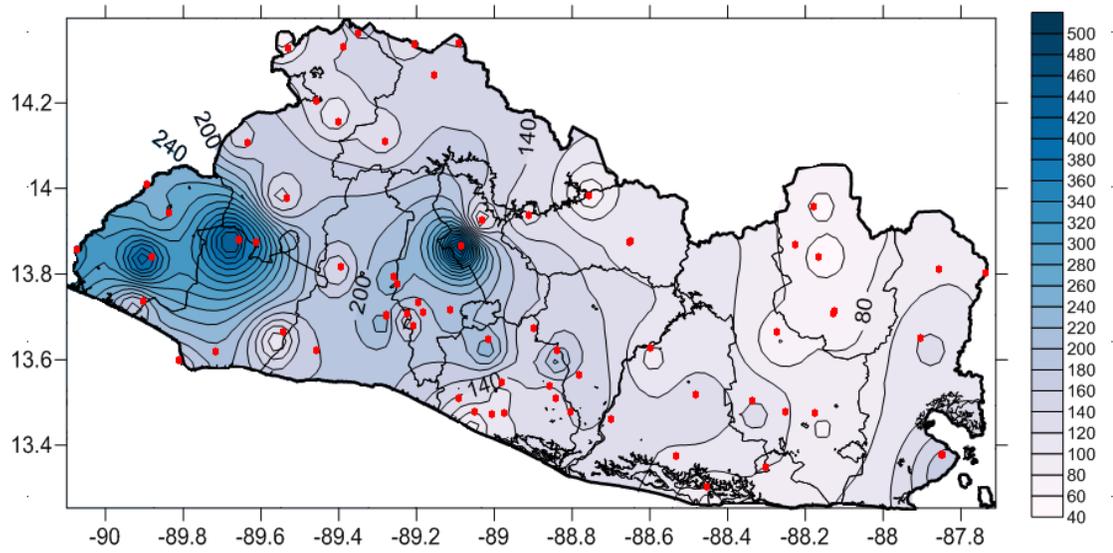
Con el fin de obtener una delimitación real de los métodos, se seleccionó de manera aleatoria datos de lluvia acumulada diaria con fecha 30 de Mayo de 2010, en la tabla 2.1 se muestran los datos de cada estación meteorológica proporcionados por la Dirección General del Observatorio Ambiental, obteniendo como resultado los siguientes mapas de precipitación diaria:

INDICE		ESTACION	DEPARTAMENTO	LATITUD	LONGITUD	MAYO 30
A	15	GUIJA	Santa Ana	14,228	-89,47	137,4
A	18	FINCA LOS ANDES	Santa Ana	13,870	-89,628	364
A	27	C. DE LA FRONTERA	Santa Ana	14,120	-89,652	147,4
A	31	PLANES DE MONTECRISTO	Santa Ana	14,398	-89,36	201,6
A	37	SANTA ANA-UNICAES	Santa Ana	13,982	-89,548	148,2
B	1	CH. DEL GUAYABO	Cabañas	13,987	-88,755	66,4
B	6	SENSUNTEPEQUE	Cabañas	13,937	-88,913	112
B	10	CERRON GRANDE	Cabañas	13,870	-88,647	106,7
C	3	SUCHITOTO, Alcaldía	Cuscatlán	13,927	-89,035	100
C	9	COJUTEPEQUE SM	Cuscatlán	13,720	-89,927	168,8
G	3	NUEVA CONCEPCION	Chalatenango	14,125	-89,29	123,2
G	4	LA PALMA	Chalatenango	14,292	-89,162	150,3
G	13	LAS PILAS	Chalatenango	14,3733	-88,078	145,7
H	8	AHUACHAPAN SM	Ahuachapán	13,9433	-89,86	252,9
H	14	LA HACHADURA	Ahuachapán	13,86	-89,09	483
L	4	SAN ANDRES	La Libertad	13,8083	-89,407	138,9
L	27	CHILTIUPAN	La Libertad	13,5967	-89,47	179,3
L	48	PROCAFE	La Libertad	13,6867	-89,288	
L	49	PARQUE WALTER DEININNGER	La Libertad			
M	24	S. MIGUEL UES	San Miguel	13,4383	-88,158	77,6
N	2	LA UNION/CPI	La Unión	13,3327	-87,827	178
N	6	SANTA ROSA DE LIMA	La Unión	13,6267	-87,883	124
N	23	NUEVA ESPARTA	La Unión	13,800	-87,833	
P	16	A. EL SALVADOR	La Paz	13,44	-89,055	68,5
P	18	LOS NOVILLOS	La Paz	13,4338	-89,008	
S	10	A. ILOPANGO	San Salvador	13,6983	-89,118	207,4
S	30	SNET-MARN	San Salvador	13,6883	-89,232	148,8
T	6	ACAJUTLA, PTO NUEVO	Sonsonate	13,5733	-89,833	144,9
T	24	LOS NARANJOS	Sonsonate	13,875	-89,675	449
U	6	SANTIAGO DE MARIA	Usulután	13,485	-88,472	139,7
U	11	BENEFICIO LA CARRERA	Usulután	13,33	-88,525	
U	14	PUERTO PARADA	Usulután	13,2533	-88,443	72,8
V	6	SANTA CRUZ PORRILLO	San Vicente	13,44	-88,803	
V	9	PUENTE CUSCATLAN	San Vicente	13,6017	-88,593	93,9
Z	2	SAN FCO. GOTERA	Morazán	13,6967	-88,107	93,7
Z	3	PERQUIN	Morazán	13,9583	-88,162	56,3
Z	9	VILLA EL ROSARIO	Morazán	13,865	-88,212	

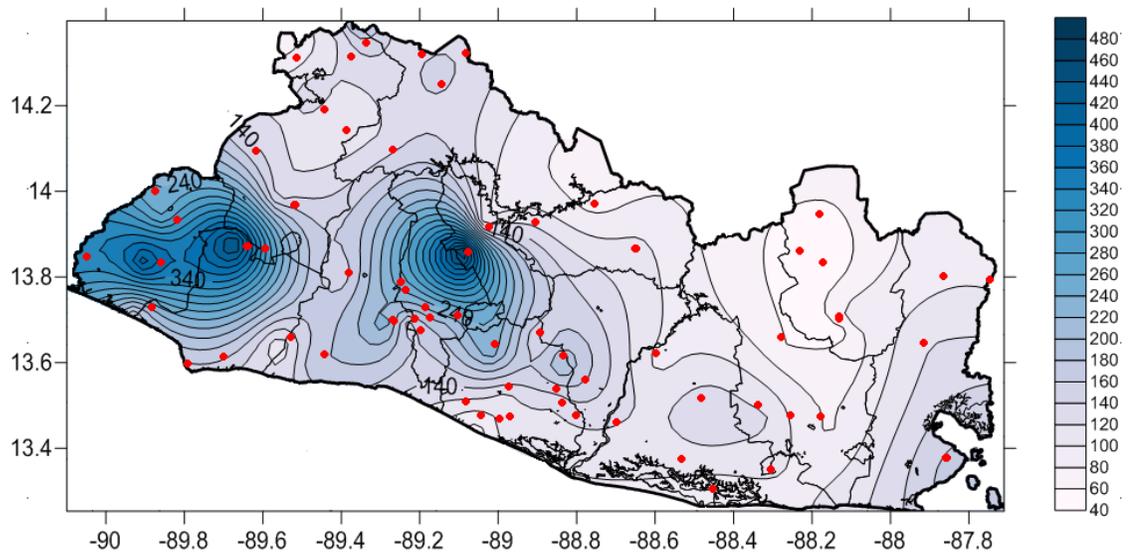
RED HIDROTELEMETRICA		LATITUD	LONGITUD	MAYO 30
Ataco	Ahuachapán	13,834	-89,903	416,8
Boquerón	La Libertad	13,784	-89,267	240
Chapeltique	San Miguel	13,6424	-88,261	59
Cítala	Chalatenango	14,3708	-89,213	107,2
Concep Oriente	La Unión	13,7914	-87,71	95,8
El Jobo	Ahuachapán	14,0167	-89,917	247,1
El Pacayal	San Miguel	13,469	-88,323	124,4
El Zapotillo	Santa Ana	14,175	-89,413	96,8
Hachadura	Ahuachapán	13,85	-90,1	346,2
Ishuatan	Sonsonate	13,643	-89,558	101,6
Jerusalem	La Paz	13,653	-88,9	136,8
La Ceiba	La Unión			85,6
Las Pilas	Chalatenango	14,371	-89,096	136
Los Naranjos	Sonsonate	13,8763	-89,674	454,4
Metapán	Santa Ana	14,3595	-89,545	58,5
Montecristo	Santa Ana	14,3625	-89,4	124,6
Osicala	Morazán	13,8332	-88,15	46
PROCAFE	La Libertad	13,684	-89,287	233,4
Puente Viejo	La Paz	13,5167	-88,983	109,5
San Fco Gotera	Morazán	13,6908	-88,11	55
Santa Ana	Santa Ana	13,9825	-89,549	115
Santiago Nonual	La Paz	13,4374	-88,978	114,2
San Vicente	San Vicente	13,596	-88,839	205,2
Tamarindo	San Salvador			
Tecoluca	San Vicente	13,5334	-88,781	151,8
Tepezontes	La Paz	13,6234	-89,02	235,8
Vado Marin	San Miguel	13,3015	-88,29	97,2
Volcan San Miguel	San Miguel	13,4426	-88,238	
Zacatecoluca	La Paz	13,5082	-88,858	123,4

Tabla 2. 1 Datos de las estaciones meteorológicas del país proporcionados por la Dirección General del Observatorio Ambiental para fecha 30 de mayo de 2010.

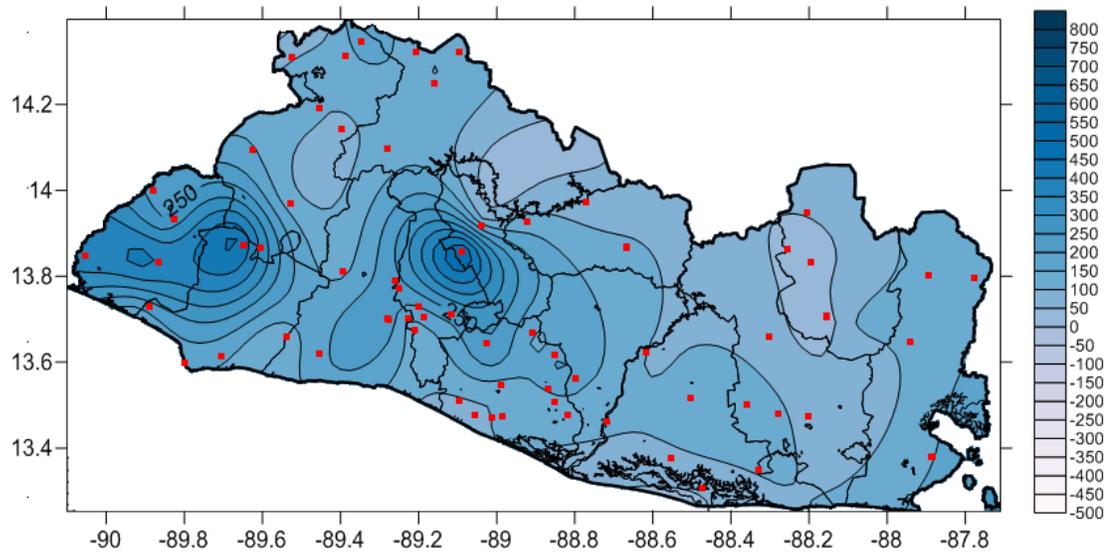
a) Mapa generado por el método de Distancia Inversa Ponderada



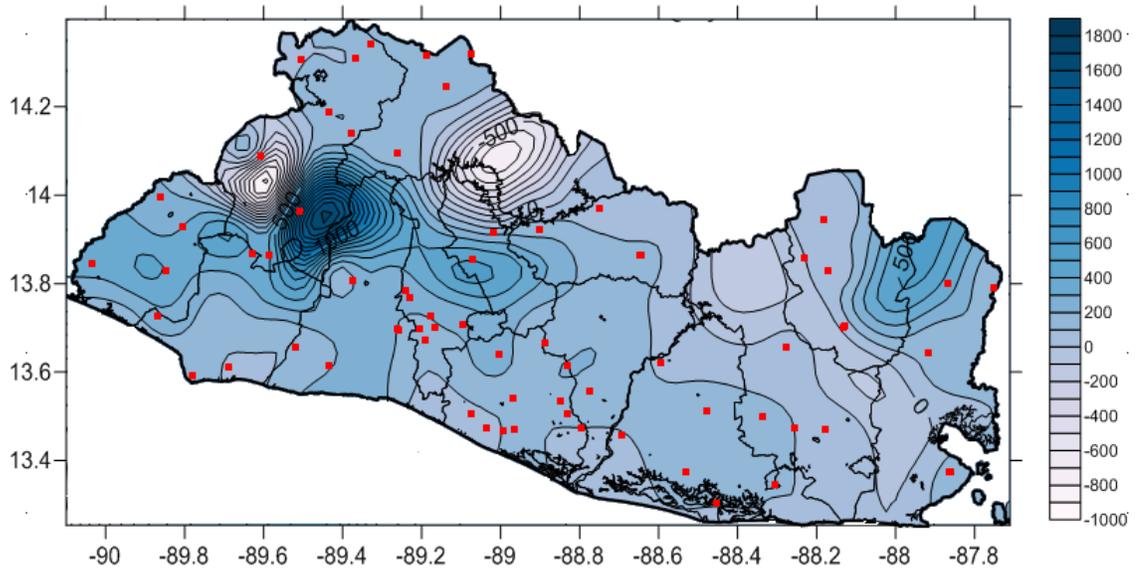
b) Mapa generado por el método de Kriging



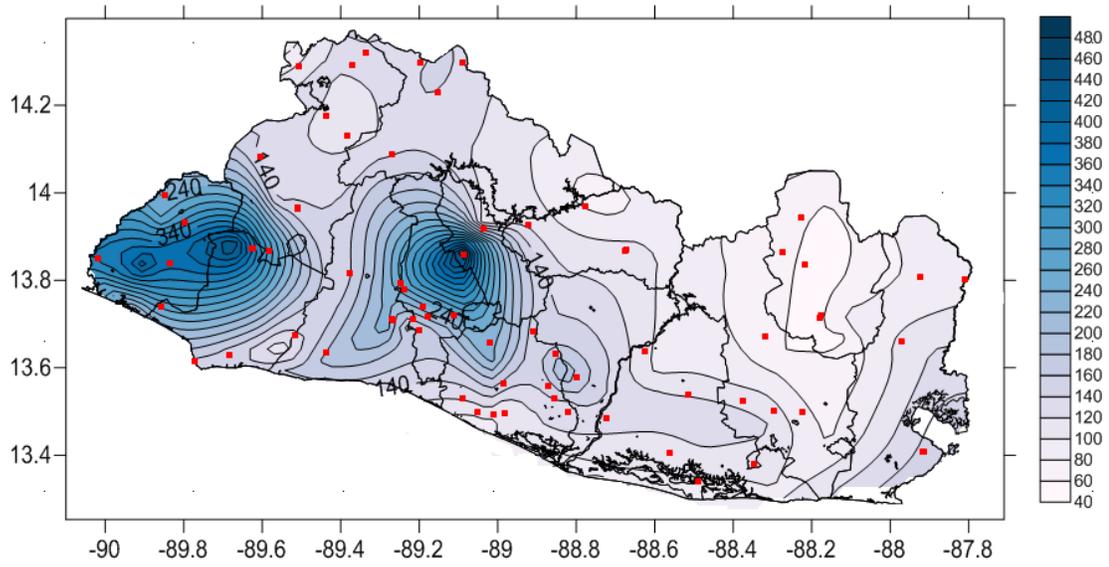
c) Mapa generado por el método de Curvatura Mínima



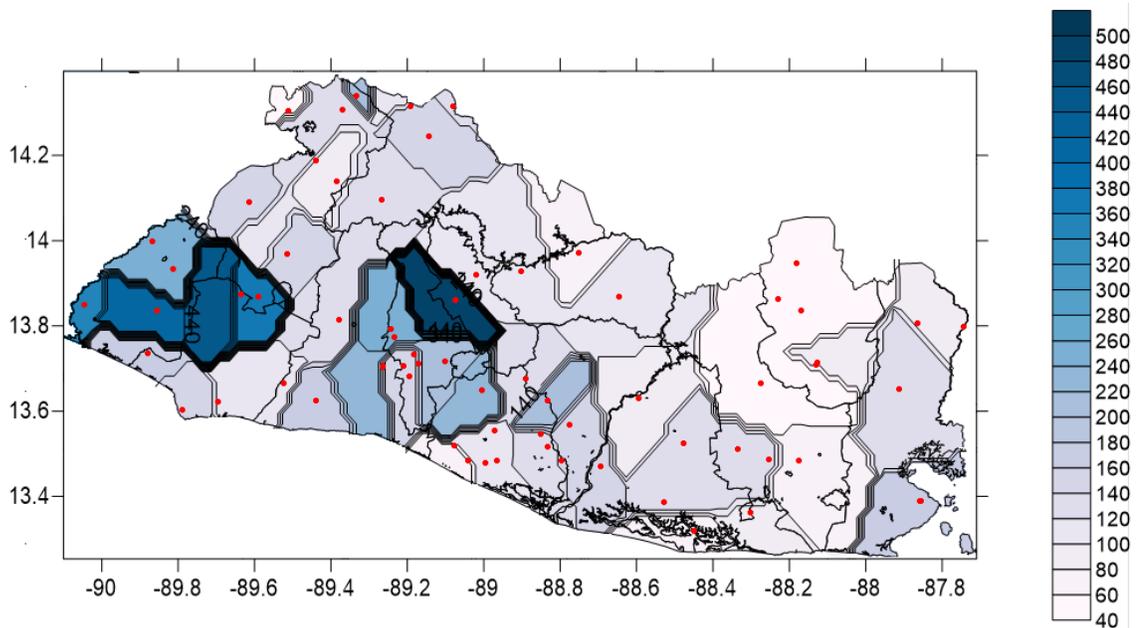
d) Mapa generado por el método de Modificado de Shepard



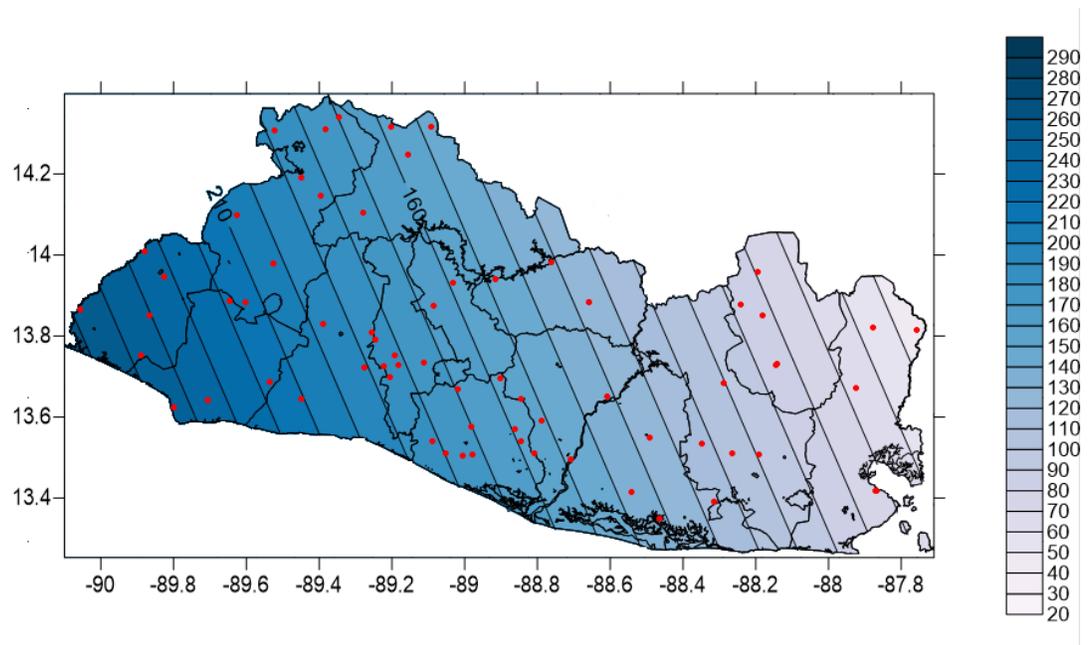
e) Mapa generado por el método de Vecino Natural



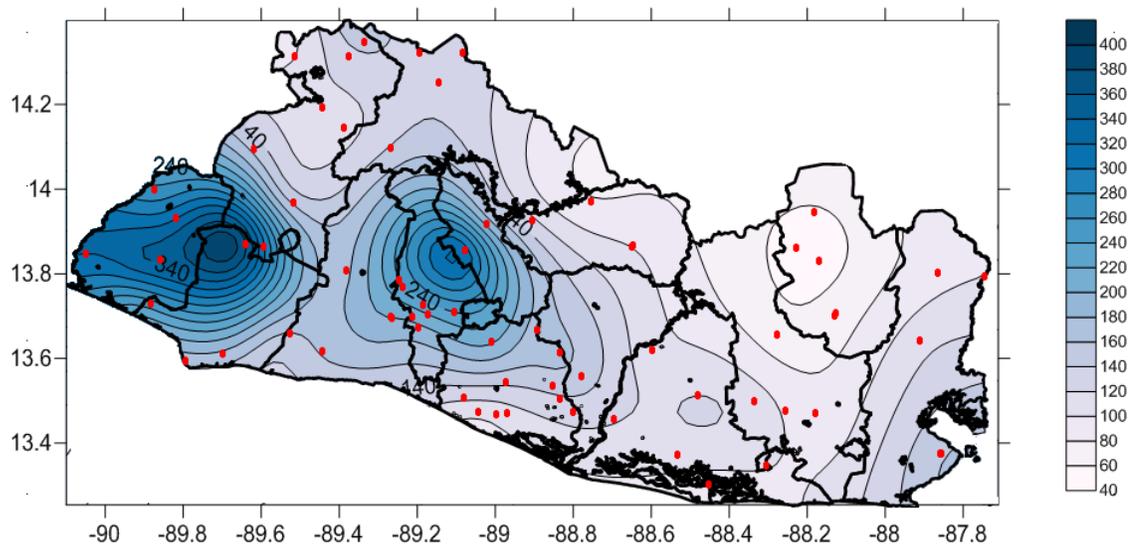
f) Mapa generado por el método de Vecino más Cercano



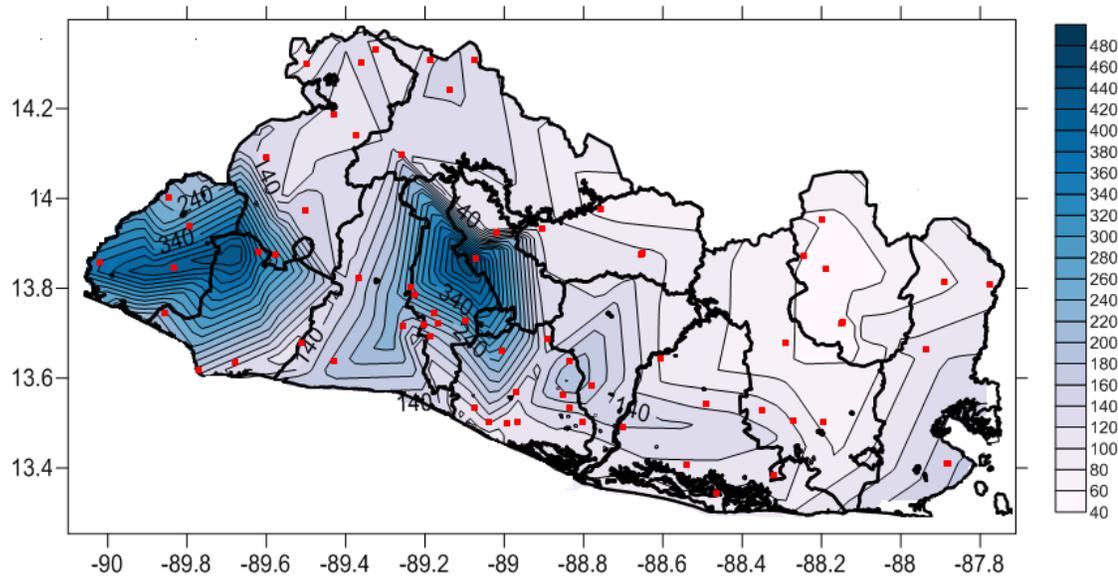
g) Mapa generado por el método de Regresión Polinómica



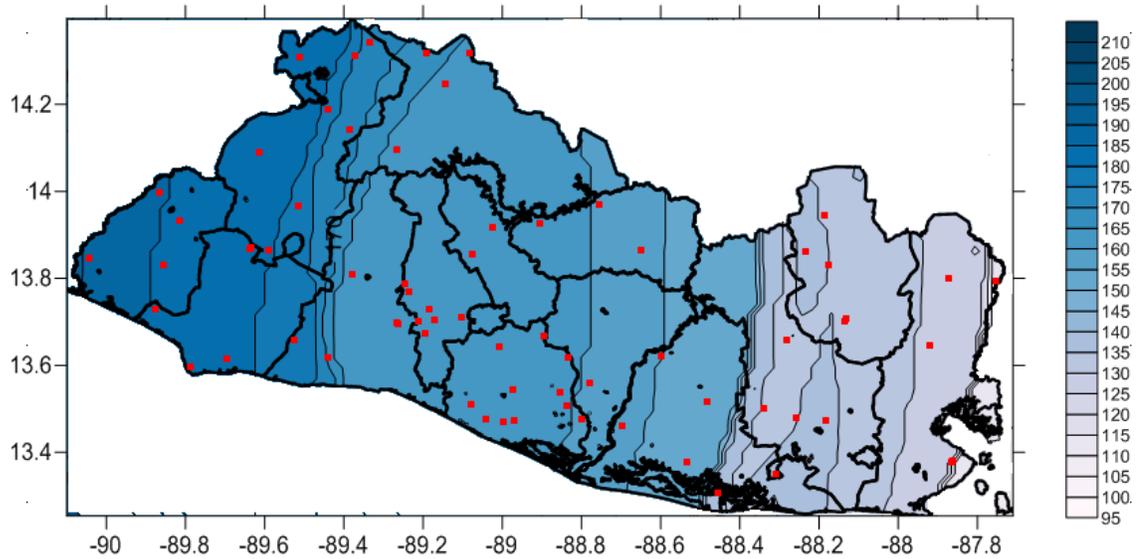
h) Mapa generado por el método de Funciones de Base Radial



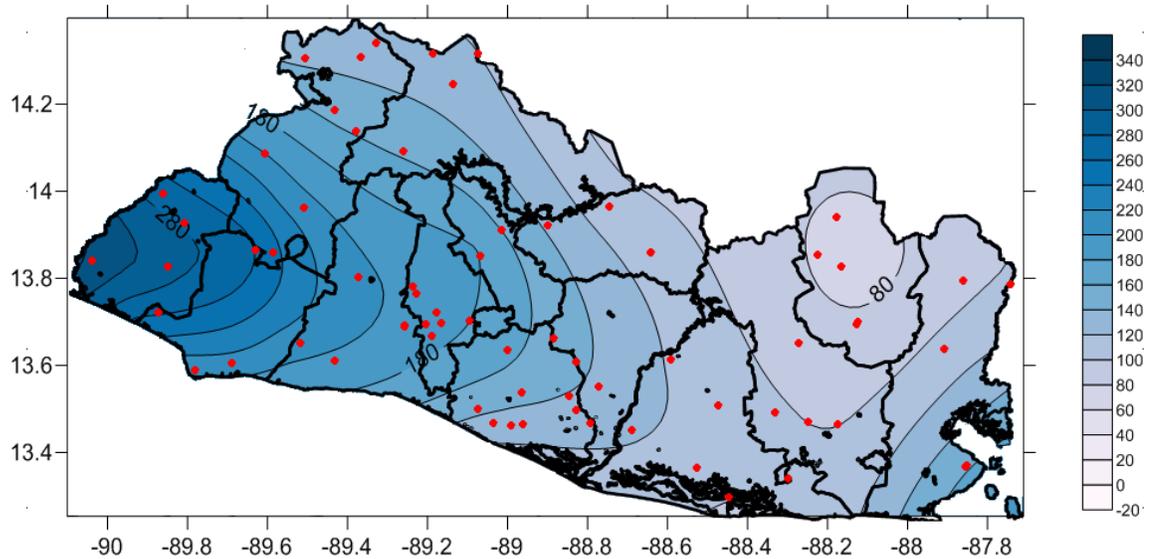
i) Mapa generado por el método de Triangulación con Interpolación Lineal



j) Mapa generado por el método de Ponderados Móviles



k) Mapa generado por el método de Polinomio Local

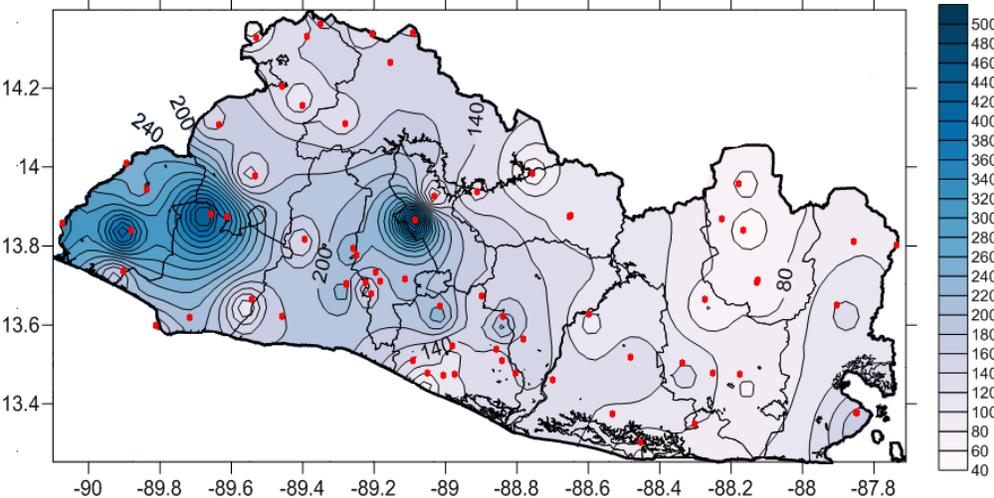


l) Mapa generado por Datos Métricos

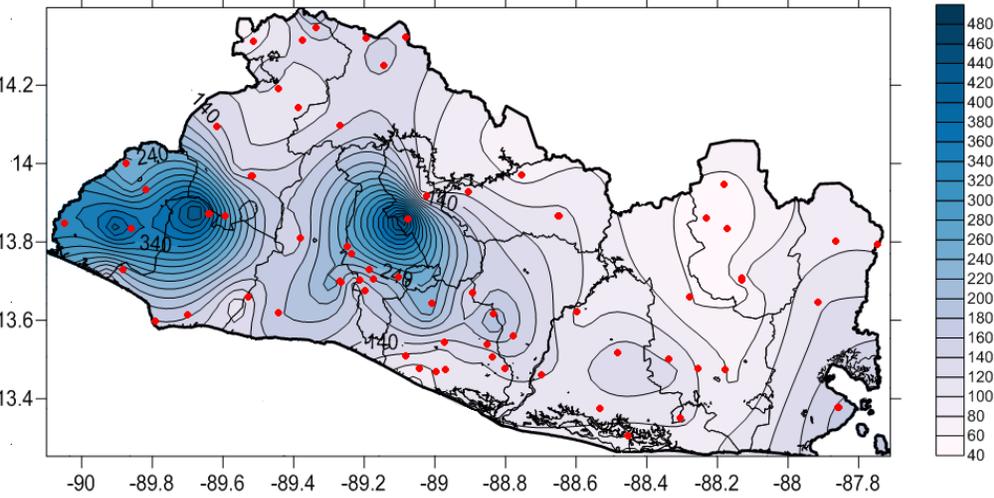
En el momento de generar mapas con este método para esta fecha en especial y para otras fechas (Meses y Años) siempre se nos generó un error por lo que se hace imposible generar estos mapas con los datos generales de Surfer 9.0 y para ello se debe hacer una aplicación más en específico sobre estadística, por lo que se sale de la limitación de esta investigación. Por lo tanto se descarta la aplicabilidad de este método para este estudio.

Como resultado de esta práctica se puede concluir que los métodos a analizar para registro de lluvia serian en principio los métodos de:

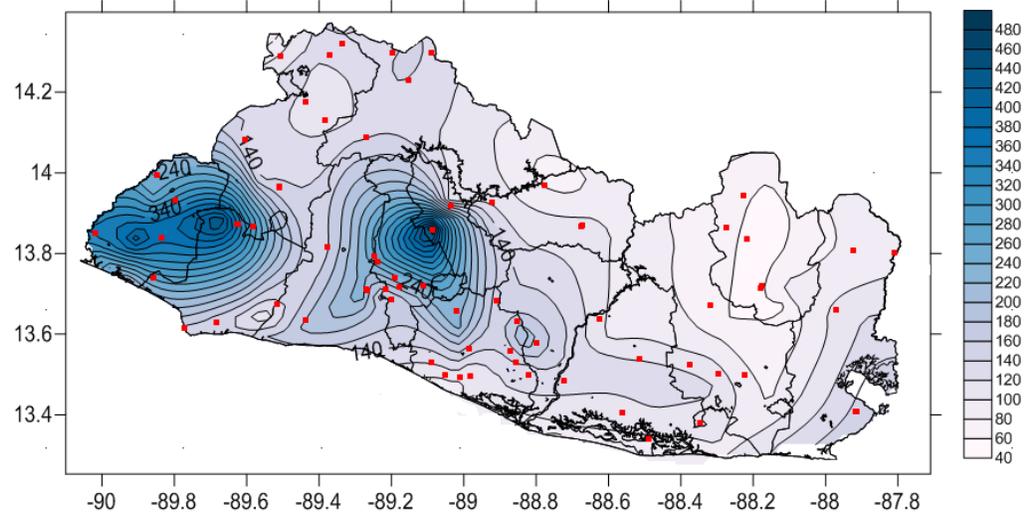
1. Distancia Ponderada



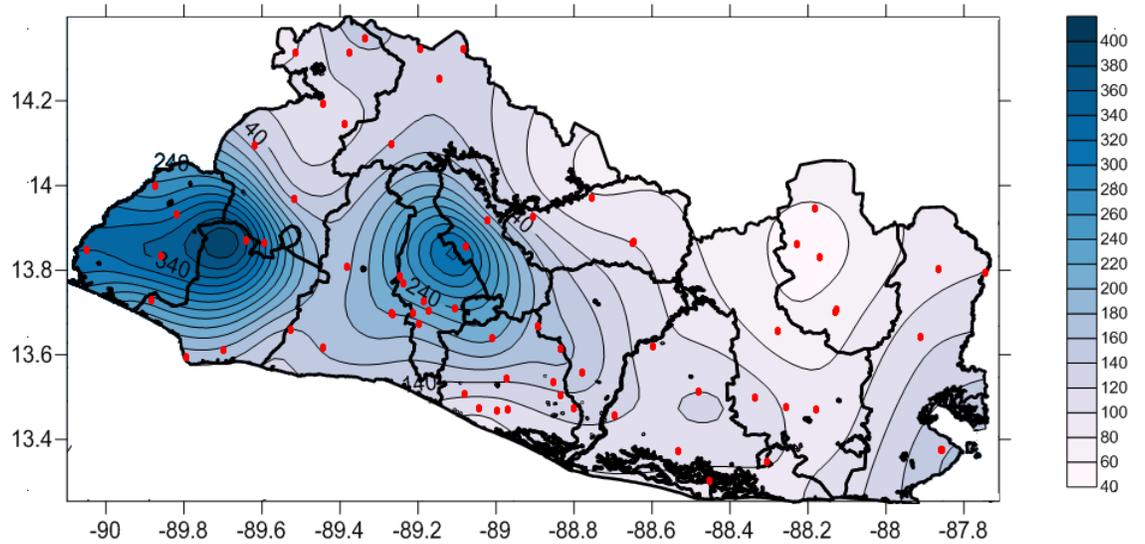
2. Kriging



### 3. Mínima Curvatura



### 4. Funciones de Base Radial



## 2.5 VALIDACIÓN DE LOS MÉTODOS DE INTERPOLACIÓN A UTILIZAR

Una vez delimitados los métodos de manera visual, resulta conveniente realizar una revisión estadística con el procedimiento de **validación cruzada**. Este consiste en la estimación del valor de la variable Z, con el procedimiento de interpolación que quiere validarse, en cada uno de los puntos de muestreo, aunque sin incluir dicho punto de muestro. De esta manera se conoce para cada punto de muestreo tanto el valor real como el valor estimado de forma que puede llevarse a cabo el análisis estadístico de errores antes mencionado.

### 2.5.1 Validación Cruzada

El proceso de Validación Cruzada puede ser utilizado para cada interpolador del programa. Resulta conveniente su análisis de manera estadística para una segunda comprobación de la comparación visual. Esta función compara el valor real Z medido en el punto conocido con uno estimado en el mismo punto, es decir calcula el error de estimación (Residuo) con la siguiente ecuación:

$$\varepsilon = Z_a^0 - Z_a$$

Donde:

- $Z_a^0$  es el valor estimado en el punto a
- $Z_a$  es el valor medido en el mismo punto.

Los residuos calculados para cada punto conocido son tabulados en una hoja de Excel a la par de los datos estimados en el archivo guardado para cada interpolador. El análisis estadístico consiste en calcular el valor de la media de los residuos. Como pueden existir valores negativos y positivos, el programa toma el valor real y es por ello que el conjunto de residuos cuya media esté más cercana a cero, será el que mejor represente los datos de manera gráfica, porque las diferencias se compensan entre sí.

CAPITULO 3

CLIMATOLOGÍA GENERAL Y SU  
INFLUENCIA EN LAS  
PRECIPITACIONES DE  
ELSALVADOR

### 3.0 INTRODUCCIÓN

El clima es el resultado del funcionamiento de un sistema dinámico y abierto de interacciones entre distintas variables meteorológicas de una región específica, siendo esta alimentada por una energía procedente del Sol y constituido por elementos relacionados e interdependientes, como la Atmósfera, los Océanos, la Superficie cubierta por los Hielos, la Superficie Terrestre y la Biosfera. Las Precipitaciones, junto con las Temperaturas, son el elemento climático que de manera más directa influye en la configuración del medio natural.

Por lo tanto, para tener una mejor comprensión del comportamiento y distribución de las lluvias en nuestro país, es necesario tener un conocimiento básico de la Climatología de El Salvador, la circulación general de la Atmósfera y su interacción con el Sol y la Superficie Terrestre, las variables meteorológicas, la clasificación y los procesos de medición de precipitaciones en el tiempo real, como se presenta a continuación.

## 3.1 GENERALIDADES METEOROLÓGICAS

### 3.1.1 La Atmósfera y su Interacción con la Energía Proveniente del Sol y la Superficie Terrestre.

La Atmósfera Terrestre es un elemento dinámico cuyas variaciones constantes están vinculadas a la energía proveniente del sol en el espacio exterior en forma de longitudes de onda corta luminosas. También algunos procesos geológicos internos pueden intervenir en el calentamiento o enfriamiento de la Atmósfera, pero sus efectos son casi insignificantes a escala global, aunque localmente pueden tener cierta relevancia.

Al llegar estas ondas luminosas a la Magnetósfera de la Tierra, ciertas longitudes de onda corta son absorbidas por el plasma que presenta la capa magnética que envuelve al Planeta, de tal forma que la radiación solar que llega a la superficie de la Atmósfera Terrestre, es muy reducida en comparación a la emitida. De no ser así, la vida en la Tierra probablemente no sería posible.

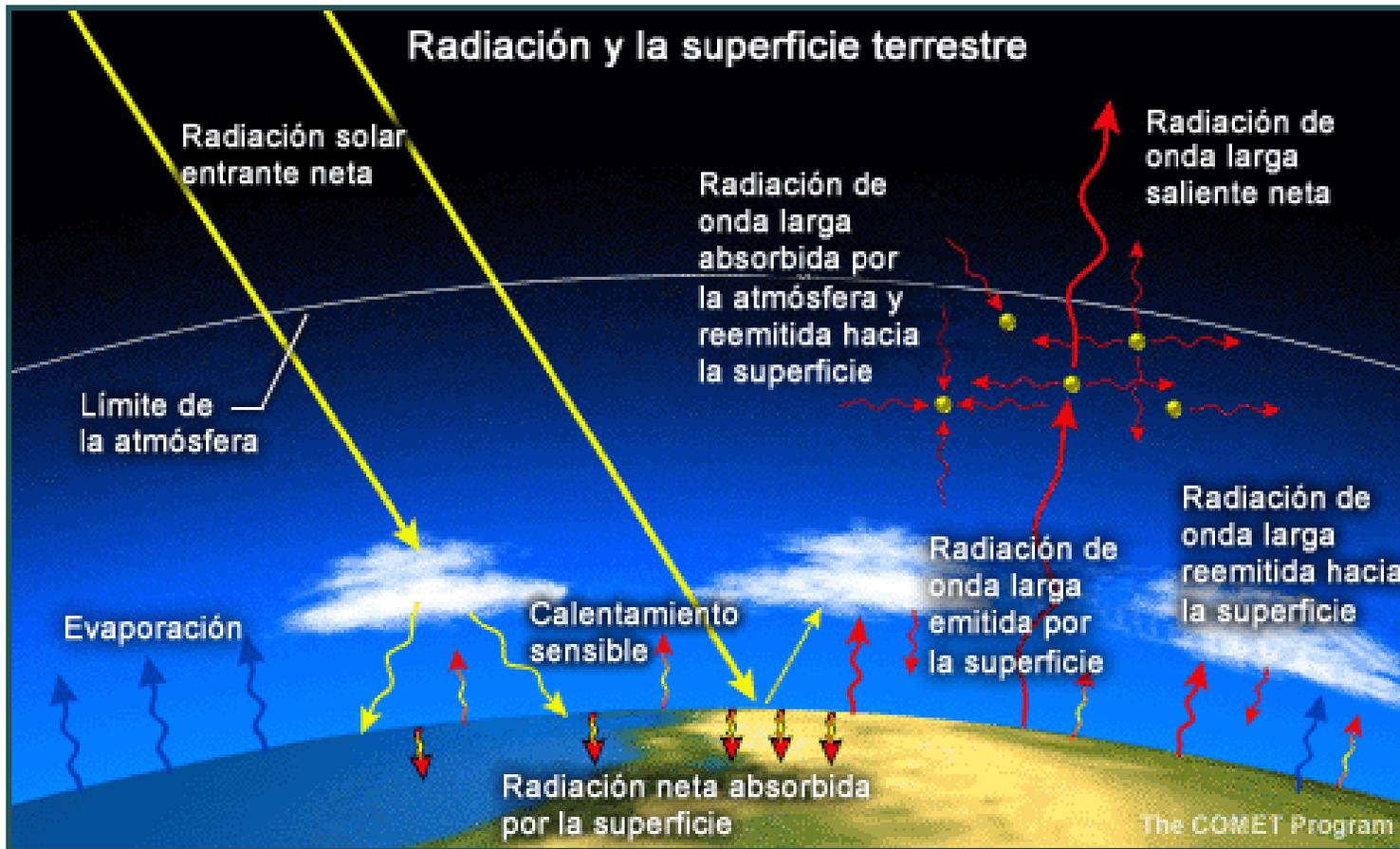


Figura 3. 1 Interacción de la radiación solar con la Atmósfera y la Superficie Terrestre.

Gran parte de la radiación solar atraviesa el aire sin calentarlo significativamente hasta llegar a las capas inferiores en contacto con la Superficie Terrestre, las cuales se calientan debido al calor reflejado por la Superficie Terrestre y Marina. El aire casi no absorbe el calor de los rayos solares incidentes debido al fenómeno llamado Diatermancia.

La Superficie Terrestre y Oceánica reenvía hacia la Atmósfera una radiación infrarroja, lo que se conoce como calor oscuro (Rayos Infrarrojos o Rayos de Calor, que son invisibles al ojo humano). Los rayos infrarrojos calientan el aire por ser de onda larga y este proceso resulta favorecido por la mayor presión de la Atmósfera al nivel de la Superficie Terrestre: el Aire comprimido puede atrapar mayor energía calórica que el aire a menor presión.

La inclinación de los rayos solares también tiene una gran influencia en la cantidad de energía que recibe cada zona; en cuanto más verticales son los rayos, mayor energía habrá. Por esto, las regiones cercanas a los polos son mucho más frías que las que se encuentran cerca del Ecuador.

### 3.1.2 El viento

Es la variable de estado de movimiento del aire. En Meteorología se estudia el viento como aire en movimiento tanto horizontal como verticalmente. El viento es causado por las diferencias de temperatura existentes al producirse un calentamiento desigual en las diversas zonas de la Tierra y de la Atmósfera.

Las masas de aire caliente tienden a ascender y su lugar es ocupado por las masas de aire circundantes más frío y por tanto, más denso. Se denomina propiamente viento a la corriente de aire que se desplaza en sentido horizontal, reservándose la denominación de corriente de convección para los movimientos de aire en sentido vertical.

- Dirección y Velocidad del Viento

La dirección del viento viene definida por el punto del horizonte del observador desde el cual sopla. En la actualidad, se usa internacionalmente la rosa dividida en 360°. El cálculo se realiza tomando como origen el norte y contando los grados en el sentido de giro del reloj. De este modo, un viento del SE equivale a 135°; uno del S a 180°; uno del NW a 315°, etc.

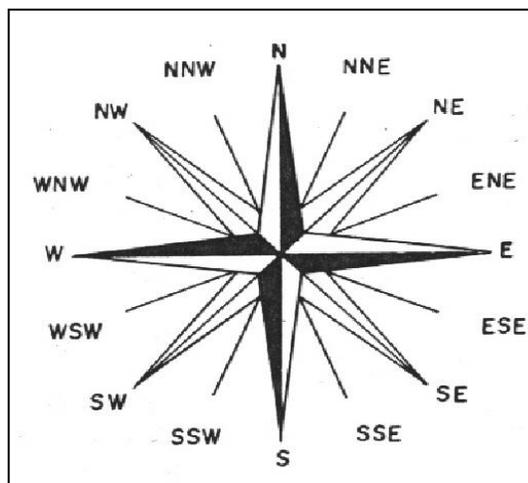


Figura 3. 2 Rosa de los Vientos. La dirección se suele referir al punto más próximo de la rosa de los vientos que consta de ocho rumbos principales. Se mide con la veleta.

- Velocidad del Viento

Se mide preferentemente en náutica en nudos y mediante la escala Beaufort. Esta escala comprende 12 grados de intensidad creciente que describen el viento a partir del estado del mar. Esta descripción es inexacta pues varía en función del tipo de aguas donde se manifiesta el viento. Con la llegada de los modernos Anemómetros, a cada grado de la escala se le ha asignado una banda de velocidades medidas por lo menos durante 10 minutos a 10 metros de altura sobre el nivel del mar.

En meteorología sinóptica moderna, la escala Beaufort tiende a sustituirse por las mediciones precisas en nudos.

Si es un vector, la longitud representa la velocidad del viento. En el caso de las flechas con barbas, la velocidad del viento se representa teniendo en cuenta la escala gráfica siguiente. La barba de menor longitud equivale a 5 nudos, la de mayor longitud a 10 nudos, y el triángulo a 50 nudos. Las velocidades inferiores a 5 nudos se representan con flechas sin barba.

La unidad del viento en el Sistema Internacional es m/s, sin embargo aún se usan los nudos (kt) y km/h.

$$1\text{kt} = 1.8 \text{ km/h} \quad \text{ó}$$

$$1\text{kt} = 0.5 \text{ m/s}$$

En la alta Tropósfera entre los 5 a 20 km de altura los vientos pueden llegar a ser mayores a 50 m/s y se le denomina corriente en chorro.

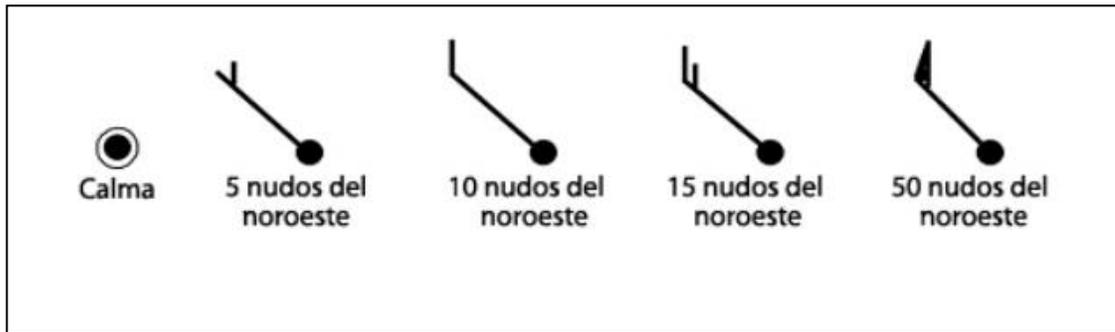


Figura 3. 3 Vector que representan la velocidad del viento

- La Dirección del Viento

Se representa en grados de  $0^{\circ}$  a  $360^{\circ}$  como se muestra en la figura 3.3. En esta,  $0^{\circ}$  corresponde al Norte,  $90^{\circ}$  corresponde al Este,  $180^{\circ}$  al Sur, y  $360^{\circ}$  nuevamente al Norte. En la figura 3.3 se ha representado el viento con una dirección de  $120^{\circ}$  aproximadamente, la punta de la flecha indica de donde viene el viento y las barbas como se verá a continuación indica la magnitud del viento, en este caso 15 nudos.

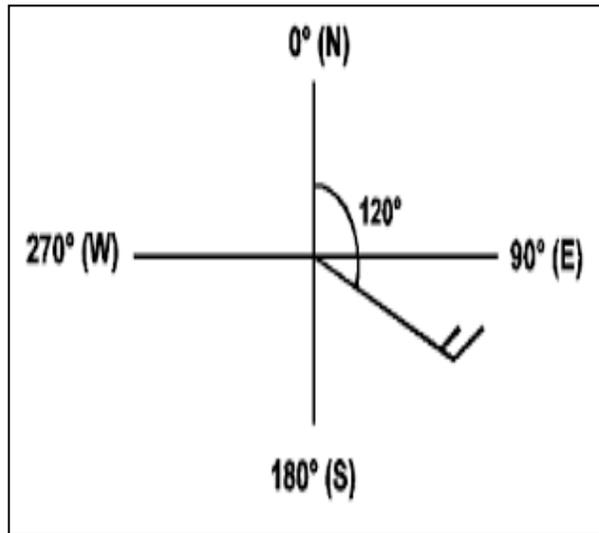


Figura 3. 4 Representación de dirección del viento en el plano cartesiano

- Corriente en Chorro

Es un área de fuertes vientos concentrados en una franja relativamente angosta en la Tropósfera alta (O Tropopausa) de las latitudes medias y en regiones subtropicales de los hemisferios norte y sur. Fluye en una banda semi-continua alrededor del globo de oeste a este y es producto de los cambios en la temperatura del aire cuando el viento polar se mueve hacia el Ecuador encontrándose con el cálido viento ecuatorial que se dirige al polo. Se caracteriza por la concentración de isotermas y por fuertes gradientes transversales.

La generación de máximos de viento en altura, depende directamente del gradiente horizontal de temperatura. La presencia del mismo, es señal de la existencia de dos masas de aire con una frontera que las separa.

- Medición del Viento

El aparato tradicionalmente empleado para medir la dirección del viento es la Veleta que marca la dirección en grados en la propia rosa. Debe instalarse de acuerdo a los procedimientos internacionales vigentes para evitar las perturbaciones.

Se considera que a partir de 10 metros de altura las perturbaciones no afectan de forma notable a la medida. La velocidad del viento se mide con el Anemómetro, que es un molinete de tres brazos, separados por ángulos de  $120^\circ$ , que se mueve alrededor de un eje vertical. Los brazos giran con el viento y permiten medir su velocidad. Hay Anemómetros de reducidas dimensiones que pueden sostenerse con una sola mano que son muy prácticos aunque menos precisos debido a las mencionadas perturbaciones.



(A)



(B)

Figura 3. 5 Ejemplos de un Anemómetro (A) y una Veleta (B)

- Brisas Térmicas

Son vientos costeros debidos a la diferencia de temperatura entre el mar y la tierra. Su intensidad depende de muchos factores locales tanto sinópticos como climáticos.

En meteorología se denominan brisas térmicas a los vientos que soplan en las zonas de la costa del mar hacia la tierra durante el día y de la tierra al mar durante la noche. Son vientos pues no se generan por gradientes isobáricos a nivel general, sino a nivel local en las zonas costeras. En las latitudes medias, alcanzan su plenitud durante las épocas en que el sol calienta con mayor intensidad, es decir cuando está más alto. Su intensidad rara vez sobrepasa los 25 nudos y es normal que se situé alrededor de los 15 nudos.

Su proceso de formación se da por el desfase existente en el proceso de calentamiento del mar y de la tierra por la acción de la radiación solar.

Durante el día, a medida que el sol asciende va calentando la tierra más rápidamente que el agua del mar. La tierra va calentando el aire en contacto con ella que asciende al aligerarse; su lugar viene a ocuparlo el aire del mar que está más frío. Es decir, se origina un gradiente térmico que a su vez, origina un gradiente de presión que causa el desplazamiento del aire de la zona de mayor presión (La superficie del mar) al de menor presión (La superficie de la tierra). Generándose así un viento del mar hacia la tierra que se denomina brisa marina.

Durante la noche, cuando la radiación solar desaparece, la superficie del mar conserva más tiempo el calor captado durante el día que la tierra, la cual se enfría

con más rapidez. Se produce un gradiente térmico y de presión inverso al caso diurno: el aire más caliente del mar se eleva y su lugar pasa a ser ocupado por el aire más frío proveniente de la tierra. Se origina así la brisa terrestre.

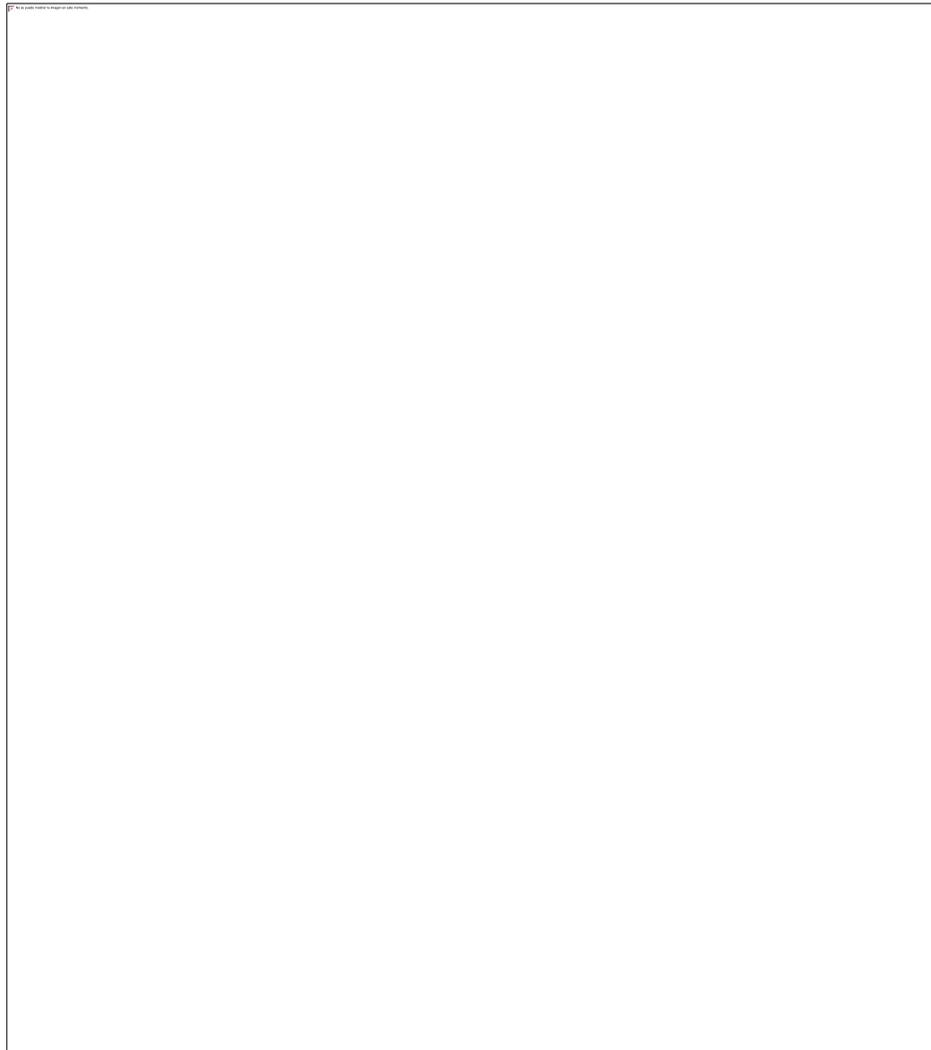


Figura 3. 6 Proceso de formación de las brisas térmicas

### 3.1.3. Circulación General del Viento.

La Atmósfera registra una densidad determinada que fluctúa en función de la temperatura del aire que la integra, por lo tanto, dichos cambios en la Presión Atmosférica originan el flujo del aire tratando de encontrar una situación de equilibrio, desde los centros de altas presiones hasta los centros de bajas presiones, generando así movimientos circulatorios que dan como resultado el movimiento general de la Atmósfera.

La línea del Ecuador es la zona más cálida de la tierra, es una zona de baja presión, el aire más caliente asciende hasta llegar a la Tropósfera, donde no puede seguir ascendiendo y comienza a enfriarse de una forma gradual mientras se desplaza en dirección a los polos. Al llegar esta masa de aire a una altura aproximada a los 30° de latitud norte (Lo mismo ocurre en el hemisferio sur), se ha ido enfriando lo suficiente en su camino y comienza a descender hacia la superficie de la tierra. Una parte de este aire vuelve a calentarse y vuelve a ascender para proseguir su camino hacia los polos, la otra parte de esta masa de aire retrocede de nuevo sobre la superficie de la Tierra en dirección a la baja presión del Ecuador.

Este movimiento de aire, desde los 30° de latitud en dirección al Ecuador, forma lo que llamamos los Vientos Alisios. A esta célula de circulación cerrada de Viento que va entre los 0° y los 30° grados, tanto en las latitudes norte como en latitudes sur, lo llamamos Celdas de Hadley. Una circulación análoga ocurre entre las

latitudes  $30^\circ$  y  $60^\circ$  formando las Celdas de Ferrel y para completar el camino hacia los polos, entre los  $60^\circ$  y cada uno de los polos se cierra el último sistema de circulación, las celdas polares.

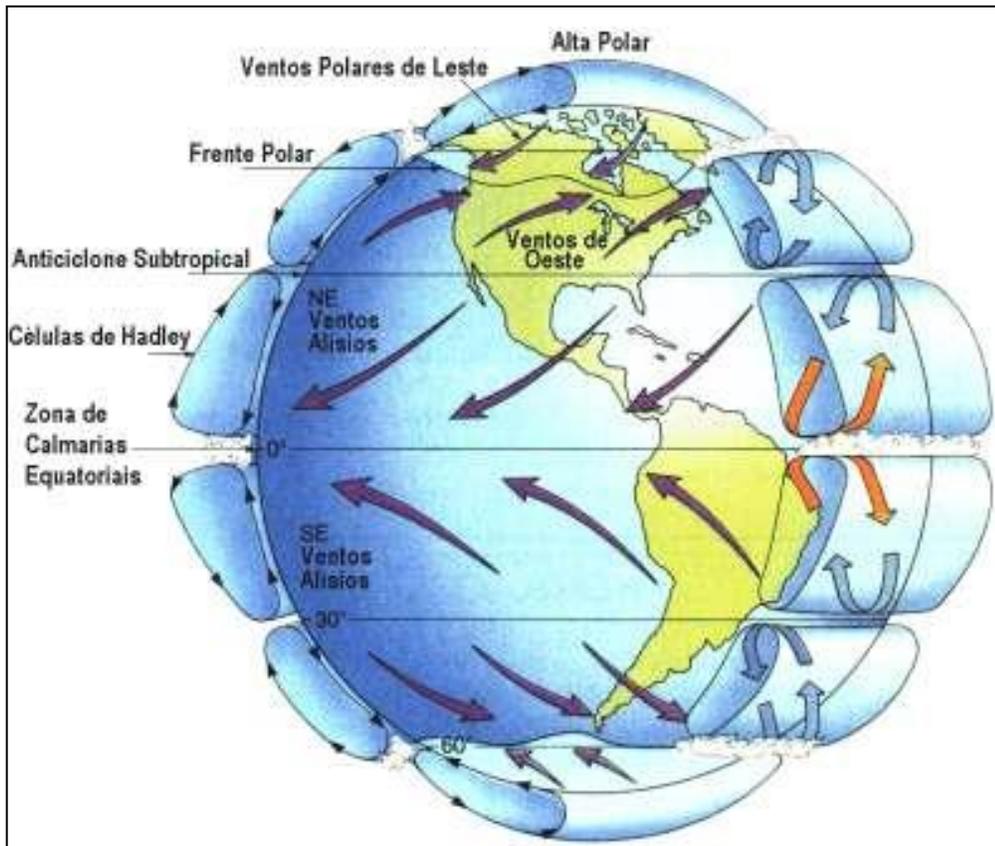


Figura 3. 7 Vientos alisios y celdas de Hadley, Ferrel, y Polares.

### 3.1.4 La Rotación Terrestre y sus efectos sobre la circulación de la Atmósfera

El viento se origina bajo la acción de distintas fuerzas que intervienen sobre la masa de aire siendo afectadas estas por la rotación terrestre. Fundamentalmente se reconocen las fuerzas del gradiente de presión, Coriolis, Fricción y Centrífuga.

- **Fuerza del Gradiente de Presión.** El cambio en la presión medida a través de una distancia vertical dada se llama gradiente de presión. El gradiente de presión tiene como resultado una fuerza neta que se dirige desde las altas hacia las bajas presiones, conocida como la Fuerza del Gradiente de Presión (FGP). La Fuerza del Gradiente de Presión es responsable de provocar el movimiento inicial de aire.

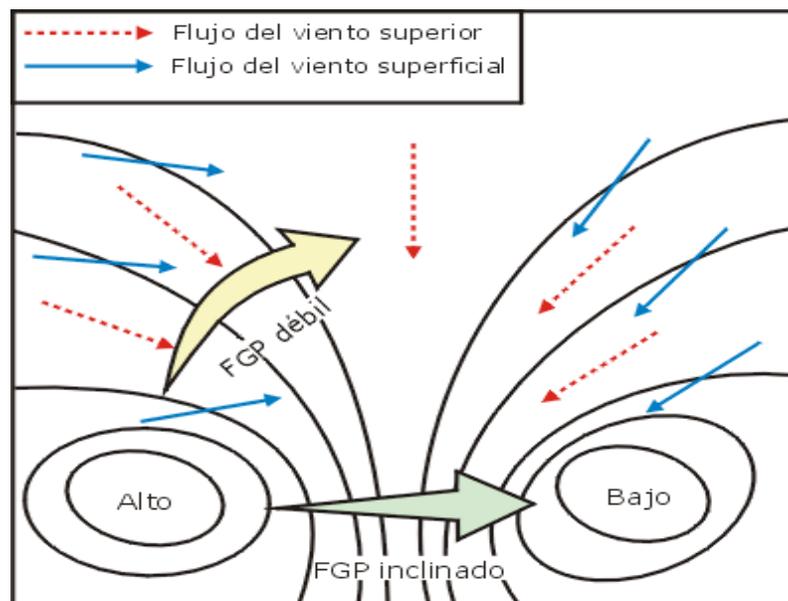


Figura 3. 8 Fuerza de Gradiente de Presión.

- **Fuerza de Coriolis**. Si la tierra no rotara, el aire se movería directamente de una presión alta a una presión baja. Sin embargo, como lo hace, para una persona que observa desde la superficie del planeta, se produce una aparente desviación del aire. La fuerza de Coriolis causa una desviación del aire a la derecha en el hemisferio norte y a la izquierda en el hemisferio sur. Se trata de una fuerza aparente causada por la rotación de la Tierra bajo la acción del movimiento del aire. Observando desde el espacio, este movimiento de aire parece seguir una línea recta, pero para una persona que se encuentra en la Tierra, este movimiento aparenta haberse desviado. La figura ilustra la fuerza de Coriolis. Cuando el viento sopla esta fuerza aparente en el viento:
  - Aumenta a medida que se incrementa la velocidad del viento.
  - Permanece en ángulos rectos en relación con la dirección del viento.
  - Crece cuando la latitud aumenta.

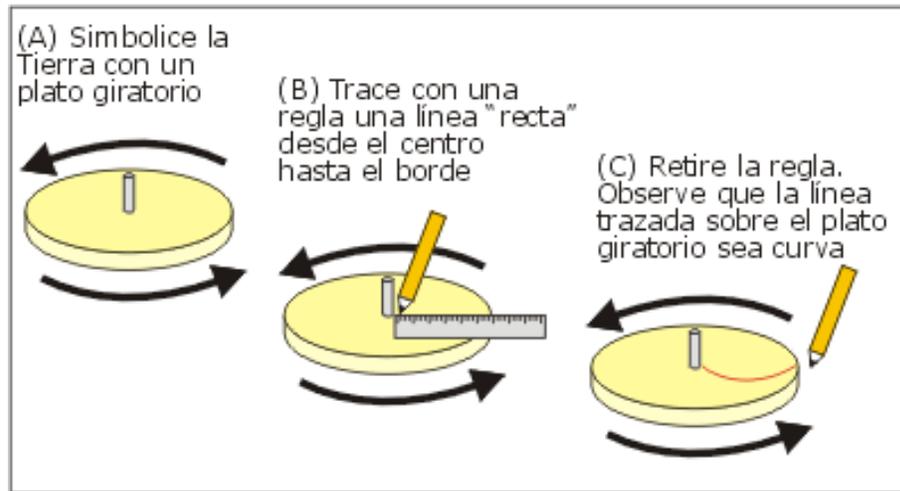


Figura 3. 9 Ilustración de la Fuerza de Coriolis

- **Fuerza de Fricción.** Cerca de la superficie los vientos están afectados por la Fricción que sucede entre la superficie terrestre y el aire que está en contacto con ella. La superficie de la Tierra ejerce, en cierto grado, un impedimento para el desplazamiento del aire que sopla justo encima de ella, es un obstáculo para su libre movimiento. Esta fricción actúa cambiándole la dirección y/o la intensidad al viento de tal forma que resulta menos afectado a mayores alturas sobre el suelo, donde se encuentra más distante de la fuente que origina la fricción. Realmente, la diferencia en las condiciones del terreno determinan directamente la cuantía de la fricción que se ejerce sobre el movimiento del aire. Así, el viento que pasa sobre una superficie oceánica en calma se desplaza suavemente sin mayor perturbación en su movimiento; por el contrario, las colinas y los bosques hacen que el viento vaya más despacio o con un cambio en su dirección.

La Fricción es la tercera fuerza principal que afecta al viento, empieza a actuar cerca de la superficie terrestre hasta que llega a altitudes aproximadas de 500 a 1000 metros. Esta sección de la Atmósfera se denomina Capa Límite Planetario o Atmosférico. Por encima de esta capa, la fricción deja de influir en el viento. La fuerza de Coriolis y la del Gradiente de Presión se encuentran balanceadas por encima de la capa límite planetario. Como se indica en la figura 3.10 las fuerzas balanceadas que se producen por encima de la capa donde la fricción influye en el viento crean un viento que sopla paralelamente con las isobaras. Este viento se denomina viento geostrófico. En el hemisferio norte, las presiones bajas se producirán a la izquierda del viento. En el hemisferio sur, sucederá lo contrario.

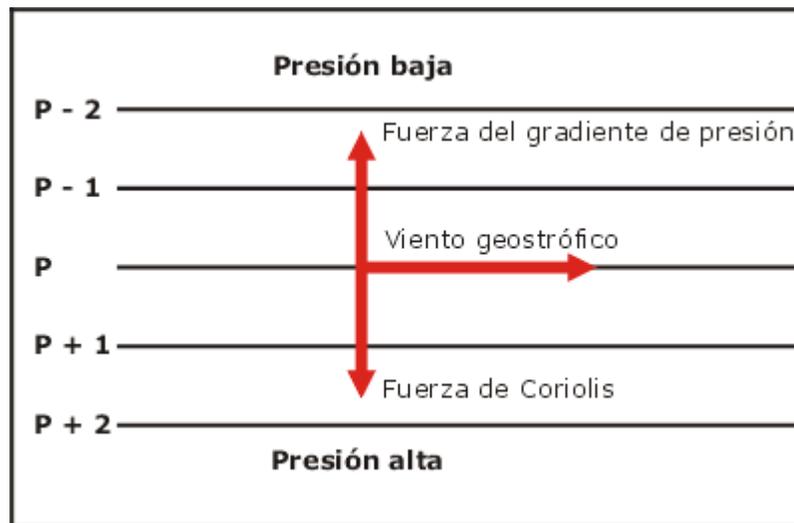


Figura 3. 10 Balance de fuerza producidas por el viento geostrófico (hemisferio norte).

Dentro de la Capa de Fricción, la Fuerza de Coriolis, la Fuerza del Gradiente de Presión y la Fricción ejercen una influencia sobre el viento, el efecto de la Fricción sobre el viento aumenta a medida que este se acerca a la superficie terrestre. Además, mientras más accidentada sea la superficie terrestre, mayor será la influencia friccional.

La Fricción no solo disminuye la velocidad del viento sino que también influye en su dirección. El efecto de la Fricción sobre la dirección del viento se debe a la relación existente entre la velocidad del viento y la fuerza de Coriolis. Se debe recordar que esta fuerza es proporcional a la velocidad del viento. Por lo tanto, a medida que este experimenta mayor fricción en altitudes progresivamente bajas dentro de la capa de fricción, su velocidad y la fuerza de fricción disminuyen. Con la fricción, la fuerza de Coriolis decrece en relación con la Fuerza del Gradiente de Presión, esta no equilibra la fuerza de Coriolis como lo hace con el viento geostrófico sobre la capa límite planetario. Al contrario, la fuerza del gradiente de presión predomina y desplaza el viento hacia la presión baja. La dirección del viento se dirige hacia la presión baja hasta que el vector resultante de la fuerza friccional y la fuerza de Coriolis equilibran de manera exacta la fuerza del gradiente de presión. A medida que las fuerzas friccionales aumentan, las direcciones del viento giran más bruscamente hacia la presión baja.

- **Fuerza Centrífuga:** El movimiento de rotación terrestre ejerce una fuerza centrífuga que ha ocasionado, a lo largo de miles de millones de años, el fenómeno conocido como abultamiento ecuatorial y achatamiento polar de nuestro planeta. Este abultamiento ecuatorial da origen a que el nivel del mar en el ecuador terrestre esté unos 19 km más lejos del centro de la Tierra que en los polos. Ello nos hace referencia al abombamiento producido por la rotación terrestre en las aguas oceánicas. Pero el abombamiento del aire Atmosférico es mucho mayor que esta cifra por ser un fluido de mucha menor densidad que la de las aguas oceánicas.

La Fuerza Centrífuga del movimiento de rotación es máxima en el ecuador, que es donde la velocidad lineal de dicho movimiento es mayor (Unos 1600 km/h, mientras que en los polos es de 0 km/h). Así, la mayor velocidad lineal de la superficie terrestre favorece el ascenso de la masa de aire ecuatorial, con lo que su densidad y presión disminuyen y su humedad y nubosidad aumentan.

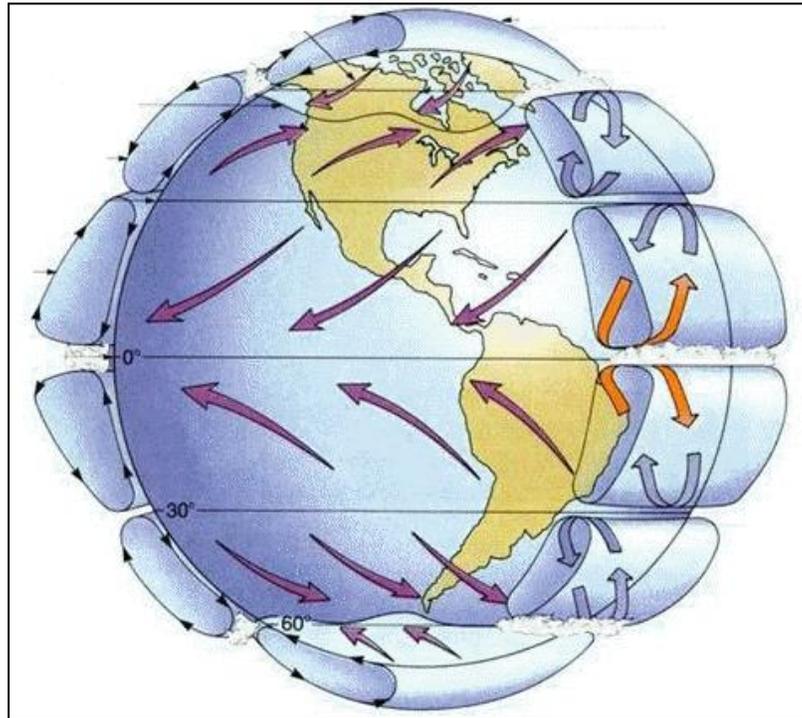


Figura 3. 11 Efecto de la fuerza centrifuga

## 3.2. VARIABLES METEOROLÓGICAS

### 3.2.1. Presión Atmosférica

El peso del aire ejerce una fuerza por unidad de área y esta fuerza es conocida como la Presión. Las variaciones en la Presión llevan al desarrollo de los vientos, los cuales a su vez influyen en el estado del tiempo diario. La Presión Atmosférica también varía según la latitud. La menor Presión Atmosférica al nivel del mar se alcanza en las latitudes ecuatoriales.

Un centro de alta presión también es conocido en meteorología como Anticiclón y corresponde al área donde la presión medida es relativamente más alta que en sus alrededores. Eso significa que al alejarse en cualquier dirección de la “Alta” entonces se tendrá como resultado una disminución en la presión. Los vientos fluyen alrededor de un centro de alta presión en el sentido de las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte, mientras que en el Hemisferio Sur los vientos fluyen en el sentido contrario. El aire que desciende en la vecindad de un centro de alta presión suprime los movimientos hacia arriba que se requieren para sostener el desarrollo de las nubes y la precipitación. De ahí que comúnmente se asocie el tiempo bueno, es decir seco y de cielos despejados, con un área de alta presión. Un centro de baja presión, también conocido como ciclón, corresponde a un sitio donde la presión que se ha medido resulta ser relativamente la más baja en sus alrededores. Eso significa que al alejarse en cualquier dirección horizontal de la

“Baja” se tendrá como resultado un aumento en la presión. Los vientos fluyen alrededor de un centro de baja presión en el sentido contrario de las manecillas del reloj en el Hemisferio Norte, mientras que en el Hemisferio Sur los vientos fluyen en el sentido de las manecillas.

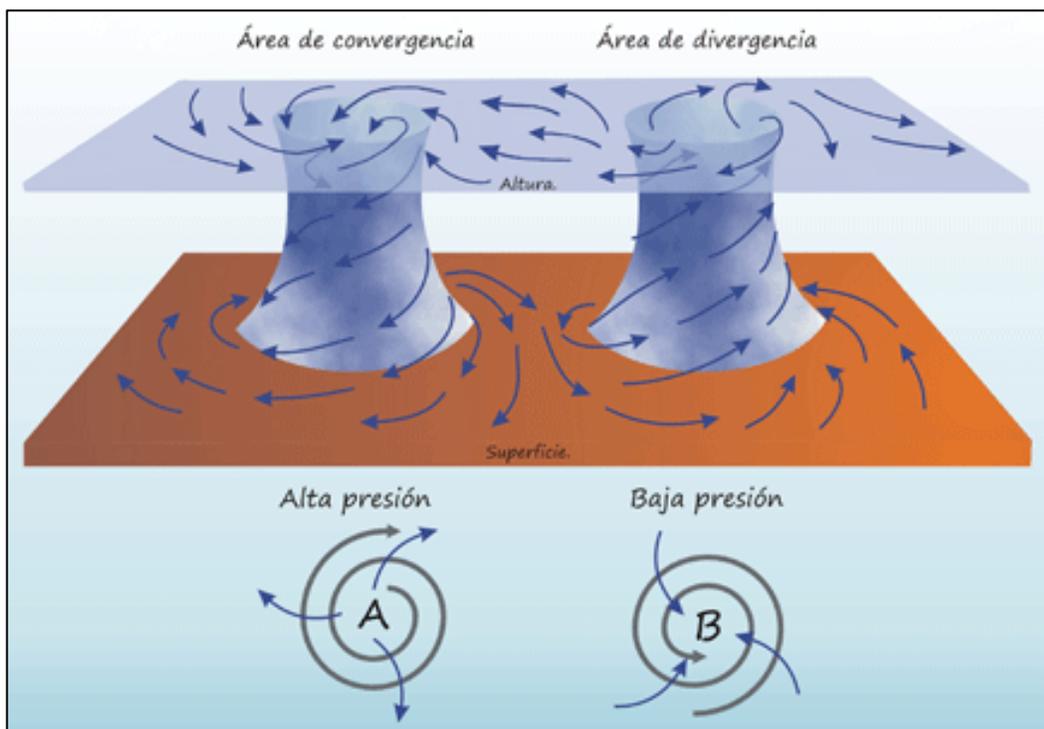


Figura 3. 12 Esquema de la Presión Atmosférica

### 3.2.2. Radiación Solar

La Radiación Solar está relacionada con la estabilidad de la Atmósfera. Los datos sobre la cobertura y altitud de las nubes (Altura de la base de la cima de la nube que obscurece casi la mitad del cielo) proporcionan una estimación indirecta de los efectos de la Radiación Solar y se usan junto con la velocidad del viento para derivar una categoría de estabilidad Atmosférica.

El instrumento más usado en la medición de la Radiación Solar es el Piranómetro, este mide la Radiación Solar directa y difusa sobre una superficie horizontal. Consta de un pequeño disco plano con sectores pintados alternativamente de blanco y negro. Cuando el aparato está expuesto a la Radiación Solar, los sectores negros se vuelven más cálidos que los blancos, esta diferencia de temperatura se puede detectar electrónicamente, se produce un voltaje eléctrico proporcional a la Radiación Solar incidente.

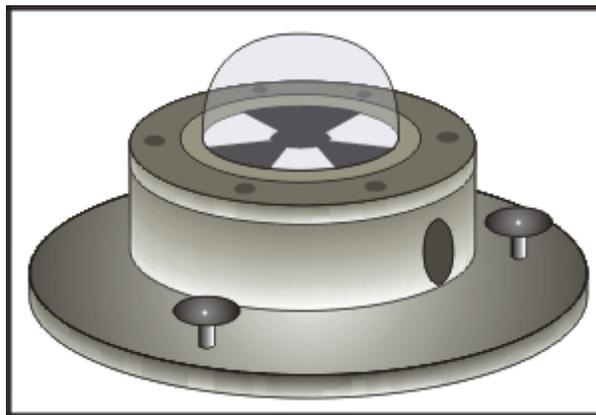


Figura 3. 13 Piranómetro, instrumento de medición de la Radiación Solar

La mayor parte de la energía disponible en la superficie terrestre procede del sol y de ella dependen todos los procesos físicos que permiten la vida sobre el planeta. Todas las variables climáticas dependen, directa o indirectamente, de la radiación y es un parámetro fundamental para el cálculo de los balances de agua y de los principales índices bioclimáticos. En los estudios de climatología aplicados a la planificación o la evaluación de recursos, dos son las variables que se utilizan:

1. Duración de la Insolación: el periodo durante el cual el astro solar se mantiene por encima del horizonte, expresado en horas.
2. El total de Radiación: que alcanza la superficie terrestre en  $\text{cal/cm}^2/\text{día}$ .

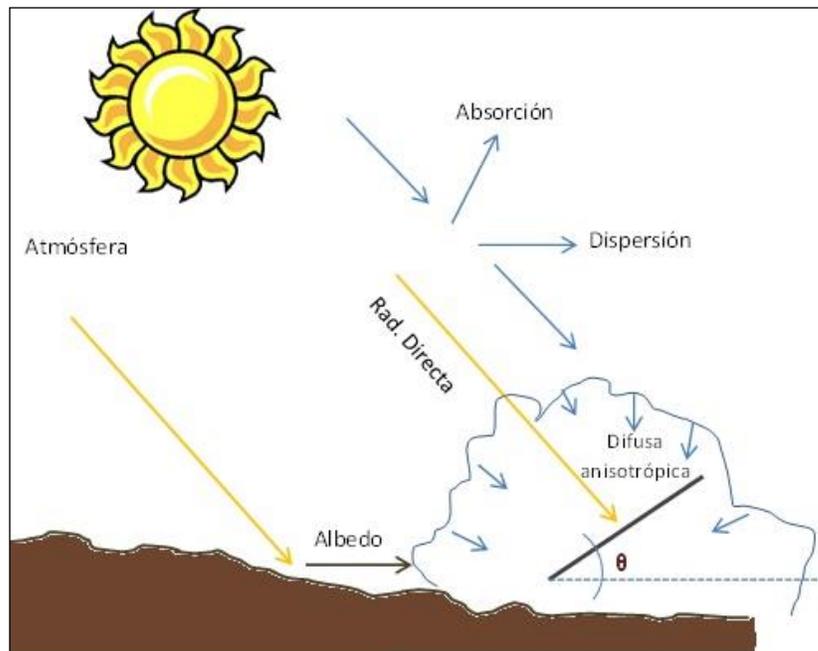


Figura 3. 14 Comportamiento de la radiación solar en la Tierra

### 3.2.3. Temperatura del Aire

La consecuencia más directa de la Radiación Solar es la temperatura y este elemento es junto con la precipitación, el más representativo de las características climáticas de una zona. La mayor parte de los fenómenos físicos como la evaporación o condensación depende directamente de la temperatura del aire.

La temperatura del aire en superficie es la temperatura leída en un termómetro expuesto al aire en una caseta o abrigo meteorológico que permite la existencia de una buena ventilación, y evita los efectos de la radiación solar directa sobre el termómetro, a una altura comprendida entre 1.25 metros y 2 metros sobre el nivel del suelo; según las recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (OMM). Los valores que se utilizan en los estudios climáticos son diarios, mensuales y anuales. La temperatura es el grado de calor del aire y se mide en Grados Centígrados (°C) o Grados Fahrenheit (°F), para su medición se utiliza el Termómetro y esta varía debido a:

- La proximidad al mar
- Latitud
- Altitud

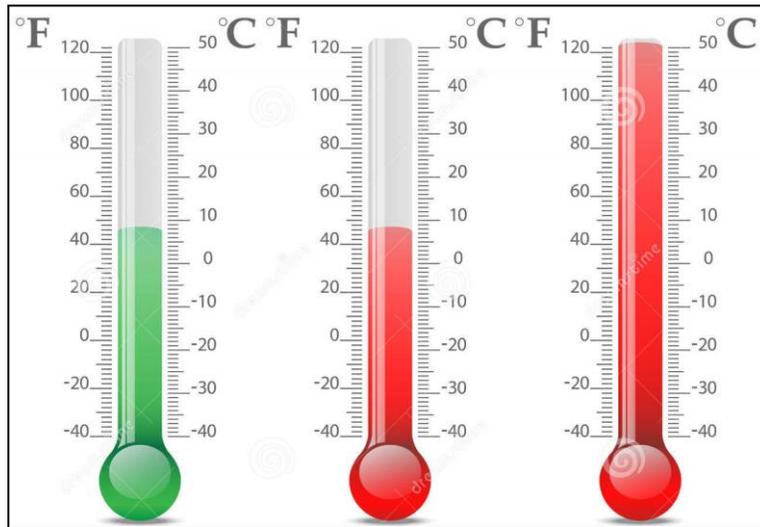


Figura 3. 15 Termómetro

#### 3.2.4. Humedad

La Humedad del aire se debe al vapor de agua que se encuentra presente en la Atmósfera. El vapor procede de la evaporación de los mares y océanos, de los ríos, los lagos, las plantas y otros seres vivos. La cantidad de vapor de agua que puede absorber el aire depende de su temperatura. El aire caliente admite más vapor de agua que el aire frío.

El vapor de agua tiene una densidad menor que la del aire, por tanto, el aire húmedo (Mezcla de aire y vapor de agua) es menos denso que el aire seco. Por otra parte, las sustancias al calentarse dilatan, lo que les confiere menor densidad. Todo ello hace que el aire caliente que contiene vapor de agua se eleve en la Atmósfera Terrestre.

Existen diversas maneras de expresar matemáticamente la humedad del aire. Así, si relacionamos la masa de vapor de agua y el volumen que ocupa el aire húmedo a una temperatura y presión dadas, estamos hablando de **humedad absoluta**, que viene expresada:

$$\rho_v = \frac{M_v(Kg)}{V_a(m^3)}$$

Donde:

$\rho_v$ : Humedad Absoluta

$M_v$ : vapor de agua

$V_a$ : volumen de aire húmedo

Si esa masa de vapor de agua la que relacionamos con la masa del aire húmedo estaremos hablando de **humedad específica** en kg de vapor de agua/kg de aire húmedo.

$$H_s = \frac{M_v (Kg)}{(M_a + M_v) (Kg)}$$

Donde:

$H_s$ : Humedad Especifica

$M_v$ : vapor de agua

$M_a + M_v$ : Aire humedo

La **humedad relativa** es el tanto por ciento de vapor de agua que tiene el aire con relación al máximo que podría tener si estuviera saturado a esa temperatura. En ambientes fríos, aumenta la humedad relativa, ya que el aire admite menos vapor de agua, mientras que en ambientes cálidos, disminuye la humedad relativa o, dicho de otra forma, aumenta la disponibilidad del aire para admitir vapor de agua, lo que produce sensación de sequedad.

$$(\%Hr) = 100 \times \frac{P_w}{P_{ws}(t)}$$

Donde:

Hr: Humedad Relativa

$P_w$ : Presión de vapor de agua

$P_{ws}(t)$ : Presión de vapor de saturación a la temperatura actual

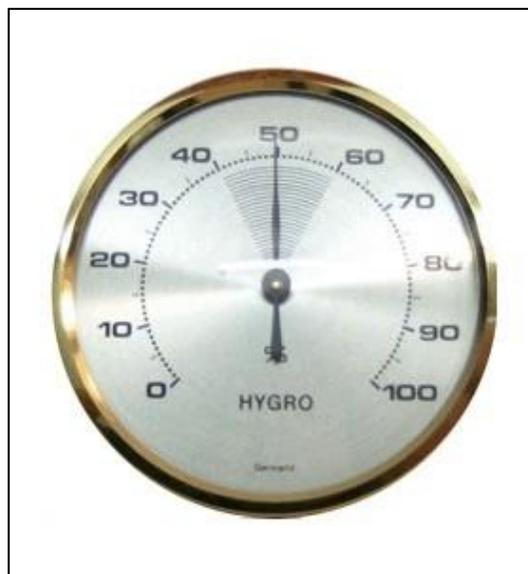


Figura 3. 16 Higrómetro, instrumento de medición de la humedad

### 3.3 CLASIFICACIÓN DE LAS PRECIPITACIONES

#### 3.3.1 Rasgos Generales

La lluvia es un Fenómeno Atmosférico consistente en una precipitación acuosa en forma de gotas líquidas, cuyo diámetro se encuentra generalmente comprendido entre 0,5 mm y 7 mm, y que caen a una velocidad del orden de los 3 m/s.

La primera fase consiste en la formación de la nube. Las nubes se forman por enfriamiento de masas de aire húmedo. La masa se va enfriando paulatinamente durante el ascenso, hasta alcanzar la temperatura del punto de rocío, momento en el cual se produce la condensación del vapor de agua, con la consiguiente conversión del vapor en pequeñísimas gotas de agua. Una nube es un grupo de pequeñísimas partículas (Gotitas o Cristales) de agua, en número aproximado de unas 100 por centímetro cúbico y cuyos tamaños son del orden de decenas o centenas de micras. En general, una nube es muy estable y las gotitas manifiestan muy poca tendencia a juntarse o a cambiar de tamaño, como no sea en un proceso general en el que toma parte toda la población de gotitas.

Para que la transición de fase vapor de agua a gotas de agua líquida o cristales de hielo (Partículas de las cuales consiste una nube) se inicie es necesaria la presencia de grandes concentraciones de partículas en suspensión, con un rango

de tamaño desde centésimas de micra hasta decenas de micras, llamadas aerosoles. Algunos de estos aerosoles tienen gran afinidad por el agua y pueden actuar como centros de concentración; tales partículas se denominan núcleos de condensación. Por este motivo los núcleos de condensación desempeñan un papel esencial en el comienzo mismo del proceso de formación de la nube. En presencia de núcleos de condensación, en el aire saturado precipita el vapor de agua en forma de gotas de tamaño pequeño. La existencia de corrientes ascendentes provoca la formación de cristales de hielo en la parte superior de las nubes, los cuales, al caer, sirven de núcleo de condensación a la vez que se licuan, formando de este modo las gotas de lluvia que se precipitan. La precipitación se origina cuando el conglomerado se hace inestable y entonces unas gotas crecen a expensas de las otras. Los mecanismos mediante los cuales la microestructura de la nube se desestabiliza implica la colisión directa de las gotas de agua y su coalescencia o unión.

### 3.3.2. Parámetros que Caracterizan la Lluvia

- **Intensidad:** Se define como la cantidad de agua que cae por unidad de tiempo en un lugar determinado. La intensidad de la lluvia y duración de la lluvia son dos características que están asociadas. Para un mismo período de retorno, al aumentarse la duración de la lluvia disminuye su intensidad media. La formulación de esta dependencia es empírica y se determina caso por caso, con base a los datos observados directamente en el sitio de estudio o en otros sitios próximos con las características hidrometeorológicas similares. Dicha formulación se conoce como relación Intensidad-Duración-Frecuencia, o comúnmente conocida como curvas IDF.
- **Duración:** La duración del evento de lluvia o tormenta varía ampliamente, oscilando entre unos pocos minutos a varios días.
- **Periodo de Retorno (T):** Es definido como el intervalo de recurrencia (T), al lapso promedio en años entre la ocurrencia de un evento igual o mayor a una magnitud dada.
- **Altura o Profundidad:** Se define como la altura que tendría en agua precipitada sobre 1 m<sup>2</sup> de superficie horizontal impermeable, si la totalidad

del agua precipitada no se escurriera. Esta dimensión es la que se mide en los pluviómetros. Generalmente se expresa en mm (1 mm de agua sobre 1 m<sup>2</sup> equivale a 1 litro).

- **Frecuencia:** La frecuencia de un determinado evento de lluvia, está estrechamente relacionado con el llamado tiempo de retorno, se define como el promedio de tiempo que transcurre entre los acaecimientos de dos eventos de tormenta de la misma característica. Para estas determinaciones se toman en cuenta la duración o la altura, y, eventualmente, ambas.
- **Distribución Temporal:** La distribución temporal de una tormenta tiene un rol importante en la respuesta hidrológica de cuencas en términos de desarrollo del hietograma de una tormenta.
- **Distribución Espacial:** Las tormentas que cubren áreas grandes tienden a tener formas elípticas, con un ojo de alta intensidad ubicado en el medio de la elipse, rodeado por lluvias de intensidades y alturas decrecientes. El ojo de la tormenta tiende a moverse en dirección paralela a los vientos prevalentes en el período en que se da el evento.

### 3.3.3. Clasificación Según la Intensidad

Oficialmente, la lluvia se clasifica respecto a la cantidad de precipitación por hora (Tabla 3.1). Una de las expresiones más empleadas en los medios de comunicación es la de lluvia torrencial, que comúnmente se asocia a los torrentes y, por lo tanto, a fenómenos como las inundaciones repentinas, deslaves y otros con daños materiales.

Clase	Intensidad media en una hora (mm/h)
Débiles	$\leq 2$
Moderadas	$> 2 \text{ y } \leq 15$
Fuertes	$>15 \text{ y } \leq 30$
Muy fuertes	$>30 \text{ y } \leq 60$
Torrenciales	$>60$

Tabla 3. 1 Clasificación de la precipitación según la intensidad.

### 3.3.4. Clasificación Según su Estado Acuoso

- **Lluvia:** Es un término general para referirse a la mayoría de precipitaciones acuosas. Puede tener cualquier intensidad, aunque lo más frecuente es que sea entre débil y moderada.

- **Llovizna:** Lluvia muy débil en la que a menudo las gotas son muy finas e incluso pulverizadas en el aire. En una llovizna la pluviosidad o acumulación es casi inapreciable. Popularmente se le llama garúa, orvallo, sirimiri, pringas o calabobos.
- **Chubasco (O Chaparrón):** Es una lluvia de corta duración, generalmente de intensidad moderada o fuerte. Los Chubascos pueden estar acompañados de viento.
- **Tormenta Eléctrica:** Es una lluvia acompañada por actividad eléctrica y, habitualmente, por viento moderado o fuerte e, incluso, con granizo. Las tormentas pueden tener intensidades desde muy débiles hasta torrenciales e incluso, a veces son prácticamente secas. La combinación de Tormentas Secas y Chubascos puede presentarse en cualquier caso. Es decir, un Chubasco fuerte con tormenta tiene un área de lluvia reducida, la cual puede estar rodeada por una especie de círculo de mayor tamaño donde se dejan sentir los truenos y relámpagos pero no llueve.
- **Aguacero:** Es una lluvia torrencial, generalmente de corta duración. Sinónimo de Chubasco o Chaparrón.

- **Monzón:** Lluvia muy intensa y constante propia de determinadas zonas del planeta con clima estacional muy húmedo, especialmente en el océano Índico y el sur de Asia.
- **Manga de agua (O tromba):** Es un fenómeno meteorológico de pequeñas dimensiones pero muy intenso, que mezcla viento y lluvia en forma de remolinos o vórtices.
- **Rocío:** No es propiamente una lluvia, sino una forma de condensación de la humedad del ambiente en las noches frías y despejadas, cuando el vapor de agua se condensa formando pequeñas gotas en las hojas de las plantas o en otras superficies frías.

#### 3.3.5. Clasificación Según su Origen o Nubosidad.

La lluvia puede originarse en diferentes tipos de nubes, generalmente nimbostratos y cumulonimbos, así como en diferentes sistemas organizados de células convectivas. La persistencia de una lluvia abundante requiere que las capas de nubes se renueven continuamente por un movimiento de ascenso de las más inferiores que las sitúe en condiciones propicias para que se produzca la lluvia. Únicamente así se explica que algunas estaciones meteorológicas, como

las de Baguio (En la Isla de Luzón, en las Filipinas), haya podido recibir 2,239 mm de lluvia en cuatro días sucesivos. Todo volumen de aire que se eleva se dilata y, por consiguiente, se enfría. La ascensión de las masas de aire puede estar ligada a diversas causas, que dan lugar a diversos tipos de lluvia.

- **Lluvias de convección:** Al calentarse las capas bajas que están en contacto con la superficie terrestre, el aire se hace más ligero, se expande, pesa menos y sube. Al subir se enfría, se condensa y se produce la precipitación. Son lluvias características de las latitudes cálidas y de las tormentas de verano de la zona templada.

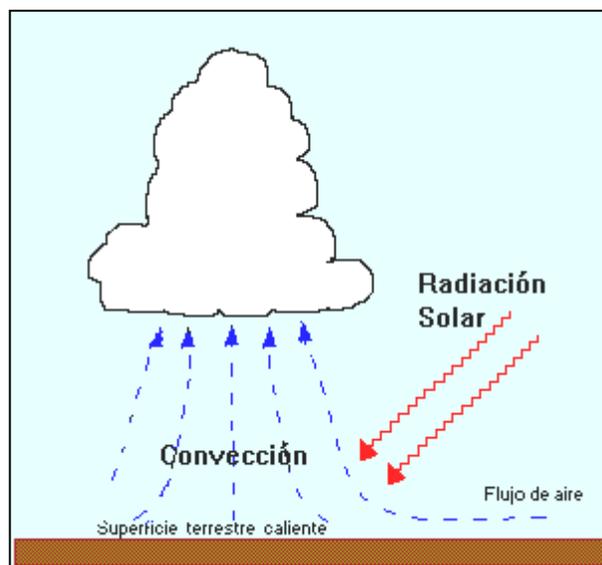


Figura 3. 17 Lluvia por convección

- **Lluvias Orográficas:** Se producen cuando una masa de aire húmeda choca con un relieve montañoso y al chocar asciende por la ladera orientada al viento (Barlovento). En la ladera opuesta al viento (Sotavento) no se producen precipitaciones, porque el aire desciende calentándose y se hace más seco.



Figura 3. 18 Lluvia Orográfica

- **Lluvias Frontales o Ciclónicas:** Se producen en las latitudes templadas, al entrar en contacto dos masas de aire de características térmicas distintas, como las provocadas por el frente polar (Zona de contacto entre las masas de aire polares (Frías) y tropicales (Cálidas), que aparece acompañado de borrascas, que son las causantes del tiempo inestable y lluvioso.

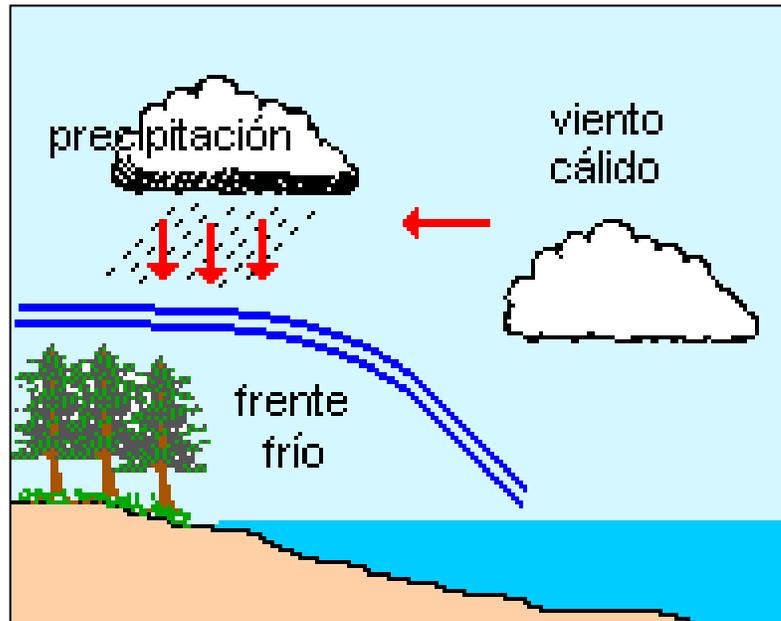


Figura 3. 19 Lluvia Frontal o Ciclónica

### 3.3.6. Tipos de Frentes

En Meteorología, un frente es una franja de separación entre dos masas de aire de diferentes temperaturas. Se los clasifica como fríos, cálidos, estacionarios y ocluidos según sus características. La palabra «Frente» está prestado del lenguaje militar, dado que se asemejan a una batalla porque el choque entre las dos masas produce una actividad muy dinámica como tormentas eléctricas, ráfagas de viento y aguaceros.

Los frentes meteorológicos son frecuentemente asociados con sistemas de presión Atmosféricos. Son generalmente guiados por corrientes de aire y viajan

de oeste a este. Los frentes pueden verse afectados por formaciones geográficas como montañas y grandes volúmenes de agua.

- **Frente Frío**

El Frente Frío es una franja de inestabilidad que ocurre cuando una masa de aire frío se acerca a una masa de aire caliente. El aire frío, siendo más denso, genera una "Cuña" y se mete por debajo del aire cálido y menos denso.

Los frentes fríos se mueven rápidamente. Son fuertes y pueden causar perturbaciones atmosféricas tales como tormentas de truenos, chubascos, tornados, vientos fuertes y cortas tempestades de nieve antes del paso del frente frío, acompañadas de condiciones secas a medida que el frente avanza. Dependiendo de la época del año y de su localización geográfica, los frentes fríos pueden venir en una sucesión de 5 a 7 días.

La velocidad de desplazamiento del frente es tal que el efecto de descenso brusco de temperatura se observa en pocas horas e incluso de pocos minutos en el caso de un simple.

- **Frente Cálido**

Se llama Frente Cálido a la parte frontal de una masa de aire tibio que avanza para reemplazar a una masa de aire frío. Generalmente, con el paso del frente cálido la temperatura y la humedad aumentan, la presión baja y aunque el viento cambia no es tan pronunciado como cuando pasa un frente frío. La precipitación en forma de lluvia, nieve o llovizna se encuentra generalmente al inicio de un frente superficial, así como las lluvias convectivas y las tormentas. La neblina es común en el aire frío que antecede a este tipo de frente. A pesar que casi siempre aclara una vez pasado el frente, algunas veces puede originarse neblina en el aire cálido.

- **Frente Ocluido**

Un Frente Ocluido se forma donde un frente caliente móvil más lento es seguido por un frente frío con desplazamiento más rápido. El frente frío con forma de cuña, alcanza al frente caliente y lo empuja hacia arriba. Los dos frentes continúan moviéndose uno detrás del otro y la línea entre ellos es la que forma el frente ocluido.

Así como con los frentes inmóviles, se puede dar una gran variedad de condiciones atmosféricas a lo largo de este tipo de frente, pero por lo general, son asociados con los estratos de nubes y la precipitación ligera. Los frentes

ocluidos se forman, generalmente, alrededor de áreas de baja presión y cuando estas están debilitándose.



Figura 3. 20 Fenómeno de Oclusión de una tormenta formada por el paso de un cumulonimbo

- **Frente Estacionario**

Un frente estacionario es un límite entre dos masas de aire, de las cuales ninguna es lo suficientemente fuerte para sustituir a la otra. Se puede encontrar una gran variedad de condiciones Atmosféricas a lo largo de este tipo de frente, pero, generalmente, las nubes y la precipitación prolongada son las más frecuentes.

Después de varios días, los frentes estacionarios se disipan o se convierten en un frente frío o cálido. Estos frentes son más numerosos en los meses de verano.

La precipitación prolongada asociada a ellos es a menudo, responsable de inundaciones durante los meses de verano.

### 3.4 MEDICIÓN DE LA LLUVIA

El volumen de lluvia se mide en milímetros. Un milímetro equivale a un litro de agua por metro cuadrado. Los dos principales aparatos de medición de la precipitación son el pluviómetro y el pluviógrafo. El primero mide el volumen total de lluvia caída durante el día meteorológico, es decir de 7 a.m. a 7 a.m. del día siguiente. El segundo es un aparato de registro continuo que permite determinar la intensidad de la precipitación en un intervalo de tiempo dado.

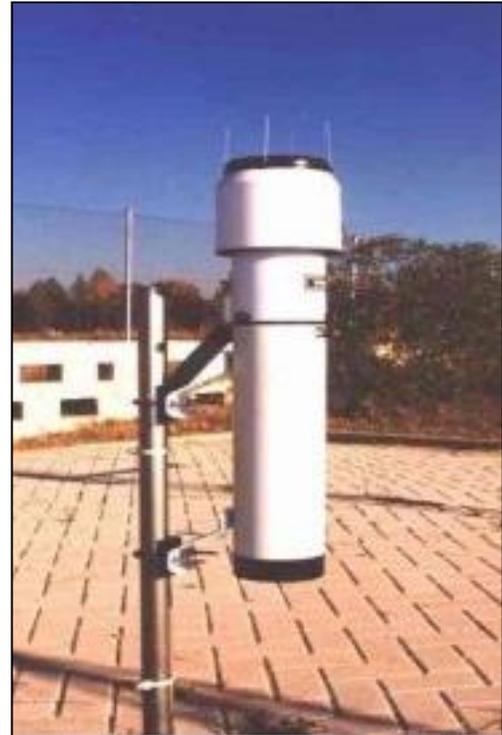


Figura 3. 21 Ejemplos de un Pluviógrafo (Figura de la izquierda) y un Pluviómetro (Figura de la derecha)

### 3.4.1 Estación Meteorológica

Es una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas. Estos datos se utilizan tanto para la elaboración de predicciones meteorológicas a partir de modelos numéricos como para estudios climáticos.

Los instrumentos comunes y variables que se miden en una estación meteorológica incluyen:

- Termómetro: instrumento que mide las temperaturas, en diversas horas del día.
- Termómetros de subsuelo (Geotermómetros): para medir la temperatura a 5, 10, 20, 50 y 100 cm de profundidad.
- Termómetro de mínima junto al suelo: mide la temperatura mínima a una distancia de 15 cm sobre el suelo.
- Termógrafo: registra automáticamente las fluctuaciones de la temperatura.
- Barómetro: medida de presión atmosférica en superficie.
- Pluviómetro: medida de la cantidad de agua caída sobre el suelo en forma de lluvia, nieve o granizo.
- Psicrómetro o higrómetro: medida de la humedad relativa del aire y la temperatura del punto de rocío.
- Piranómetro: medida de la radiación solar global (Directa + Difusa).
- Heliógrafo: medida de las horas de luz solar.

- Anemómetro: medida de la velocidad del viento.
- Veleta: que indica la dirección del viento.

### 3.5 CLIMATOLOGÍA DE EL SALVADOR

El Salvador se localiza entre los trópicos de Cáncer y Capricornio, en el cinturón climático tropical, caracterizado por presentar condiciones térmicas similares a lo largo del año, con variaciones diurnas y nocturnas que son más importantes que las mensuales. Se producen oscilaciones de las precipitaciones a nivel mensual, existiendo dos épocas climáticas marcadas: la época lluviosa y la época seca.

Los factores que condicionan el régimen climático del país son:

- El relieve del país.
- La Zona de Convergencia Intertropical.
- Los Vientos Alisios.
- Las Ondas Tropicales o del Este.
- La influencia de la brisa marina del océano Pacífico.
- El anticiclón subtropical del Atlántico o de las Islas Bermudas.
- Los frentes fríos desplazados por masas de aire frío y continental de origen polar.
- Los centros térmicos débiles de baja presión atmosférica.
- Los sistemas ciclónicos como tormentas tropicales y huracanes.

### 3.5.1. Ubicación Geográfica

El Salvador se encuentra ubicado en la región Central de América Latina, entre las coordenadas Norte 13° 09' 24" y 14° 27' 00", y las coordenadas oeste 87° 41' 08" y 90° 07' 50". Limita por el norte y el este con Honduras, por el oeste y noroeste con Guatemala, y por el sur con el Océano Pacífico. Posee una área total de 21,040 km<sup>2</sup>; siendo de esta 20,720 km<sup>2</sup> de tierra y 320 km<sup>2</sup> de agua, está situado en la parte Norte de la línea del Ecuador, por donde se mueve el cinturón tropical de la tierra conocido como la Zona de Convergencia Intertropical ZCIT, el cual en los meses de Octubre y Noviembre se ve influenciado principalmente por vientos del noreste y, ocasionalmente, por nortes rafagosos que traen aire fresco originado en regiones polares de Norteamérica, pero calentado en gran medida al atravesar el Golfo de México en su camino a Centroamérica.

### 3.5.2 Orografía; Características Geográficas

La Orografía juega un papel importante en la cantidad, intensidad, distribución espacial y duración de la precipitación.

En El Salvador el relieve actual es producto de los movimientos orogénicos, así como de la actividad volcánica durante su historia geológica. Estos procesos dinámicos naturales han dado origen a la diversidad de unidades geomorfológicas del país. Alrededor del 13% del total del territorio, está

conformado por planicies costeras, el 49% por áreas montañosas, y el 38% consiste en zonas de relieve bajos, pequeñas lomas y valles. Entre las principales regiones geomorfológicas del territorio Salvadoreño se pueden señalar las siguientes:

➤ **Planicie Costera:**

Se extiende entre la Cadena Costera y el Océano Pacífico. Se caracteriza fundamentalmente por su relieve llano con un declive medio del 1%. Dentro de la planicie costera, se distinguen las siguientes fajas aisladas:

- Planicie occidental: comienza en el río Paz, con las cimas de la sierra de Tacuba limitando la parte de la planicie hacia el norte y la sierra del Bálsamo Al hacia el este. Los principales ríos que transportan material de suspensión a esta planicie son los ríos Paz, Guayabo, Naranja y Sensunapán.
- Planicie al centro del país: delimitada al este por la Sierra del Bálsamo, al oeste por la Sierra de Jucuarán, al norte por el pie de los volcanes de San Vicente, Taburete, Usulután y San Miguel. Los ríos Jiboa y Lempa son los principales contribuyentes de sedimentos en suspensión para esa planicie.
- Planicie alrededor de la Bahía de la Unión: Se localiza en la desembocadura de los Ríos Sirama y Goascorán, delimitada al Norte y Oriente por Relieve Alomado, al sur por las faldas del volcán de Conchagua y al este por las aguas de la bahía de la Unión.

- Planicie alrededor de la bahía del golfo de Fonseca: los ríos que surcan el volcán de Conchagua y la sierra de Jucuarán son los que aportan el material para depositarse en esta planicie.

➤ **Cadena Costera:**

Conjunto de alineaciones montañosas de origen volcánico, paralelas al litoral, separadas por planicies aluviales y drenados por importantes cursos fluviales de carácter perenne y temporal. Los materiales asociados a esta cadena son piroclastos con coladas de lavas intercaladas de composición andesítica-basáltica predominando las epiclástitas volcánicas pertenecientes a la formación El Bálsamo. Además sobre yacen estos materiales, en menor extensión, piroclásticas ácidas e ignimbritas de la Formación Cuscatlán y Formación San Salvador.

La cadena costera está compuesta por:

- Sierra de Tacuba: Presenta elevaciones desde 770 m.s.n.m. en Peña Pinta que es prácticamente una cadena montañosas, y que termina hacia el occidente en forma de desfiladero dando origen a un cañón por donde pasa el río Paz.
- Sierra del Bálsamo: en los departamentos de Sonsonate, La Libertad, San Salvador y La Paz. Presenta su máxima altura de 1,123 m.s.n.m. cerca de loma larga en el Municipio de San Marcos.

- Sierra de Jucuarán: al sur de los Departamentos de Usulután, San Miguel y la Unión. Formada por una serie de montañas y cerros paralelos al Océano Pacífico. Alcanza alturas hasta de 882 m.s.n.m. en el cerro el Mono.

➤ **Cadena Volcánica Reciente:**

La cordillera volcánica de Centro América, la cual se ubica paralela a la costa del Océano Pacífico, es considerada como una de las cordilleras volcánicas más activas del mundo.

Dentro de esta cadena puede diferenciarse los siguientes complejos volcánicos:

- Complejo Apaneca – Lamatepec: entre los elementos morfológicos que la conforman sobresalen los volcanes de Izalco, Santa Ana, el cono volcánico de Coatepeque, los cerros de los Naranjos, el Águila, San Marcelino, Cerro Verde y Apaneca. Esta zona presenta pendientes pronunciadas del 40% al 70%. Su máxima altura, es de 2,365 metros en el volcán de Santa Ana.
- Complejo Volcánico de San Salvador: posee dos cimas importantes el Boquerón con una elevación de 1839 m.s.n.m. y el Picacho con 1959 m.s.n.m.
- Caldera Volcánica de Ilopango: depresión alargada en sentido E-W formando el Lago de Ilopango. Caracterizada principalmente por una

actividad explosiva de gran intensidad emitiendo grandes volúmenes de piroclastos dacíticos.

- Complejo Volcánico de San Vicente: compuesto por el volcán de San Vicente (2,181 m) y una serie de conos, domos, y cráteres de explosión. El volcán cuenta con dos cúspides y una serie de cráteres adventicios sobre las vertientes sur y este del volcán.
- Complejo Volcánico Tecapa – Berlín – Usulután – San Miguel: El complejo Tecapa, Berlín y Usulután se cree se formó sobre la caldera de colapso del antiguo volcán de Berlín. El volcán de San Miguel como su máxima elevación (2,129 m).
- Volcán de Conchagua: tiene dos cimas principales con elevaciones de 1,156 y 1,243 m.s.n.m. En sus cimas las pendientes oscilan entre el 30% y 50%, disminuyendo del 15% al 30% en las vertientes intermedias y bajas. En la vertiente sur se identifican acantilados con pendientes casi verticales.
- Islas del Golfo de Fonseca: todas las islas son de origen volcánico. El complejo de islas está constituido por las islas Zacatillo, Martín Pérez, Conchaguita, Isla Meanguera e isla Meanguerita o Pirigallo.

➤ **Cordillera Fronteriza:**

Situada al norte del país, en la frontera con Honduras. Abarca primordialmente el área norte de los departamentos de Santa Ana, Chalatenango, Cabañas,

Morazán, una pequeña extensión al noreste de San Miguel y La Unión. Presenta un rango de elevaciones desde los 300 m hasta más de los 2700 m.s.n.m. Aquí se encuentran las mayores elevaciones del país como son: El Pital (2,730 m) y Montecristo (2,418 m). Es un sistema de montañas y cerros, no continuo, en algunos lugares forman serranías pero en otros se encuentran como bloques aislados, interrumpido por valles intramontañoso. Su relieve es muy accidentado presentando un rango de pendientes entre 30% - 50% en las estribaciones montañosas. Pero también se observan pendientes mayores del 70% en las crestas de los macizos montañosos. Los mayores rasgos morfológicos son: el macizo de Montecristo, los Esesmiles, las montañas de Cabañas, Nahuaterique y Perquín.

➤ **Depresión Central:**

Esta gran depresión cruza todo el país de Oeste a Este en forma de mesetas bajas muy disecionadas (como la tierra blanca alrededor del lago de Ilopango) y valles relativamente planos (valle de San Andrés, depresión del lago de Olomega) con edificios volcánicos extintos que sobresalen en este relieve.

Su relieve es relativamente plano comparado con las fuertes pendientes de los volcanes que la delimitan. Contrastan dos rangos de pendientes: el primero (de mayor extensión) mucho más llano, donde las pendientes son inferiores al 15%; el segundo con valores más altos (pendientes entre 30% - 50%), asociado a los edificios volcánicos extintos.

Esta región puede ser estructurada en los siguientes cuatro componentes geomorfológicos:

- Grandes valles interiores: valle alto del río Lempa y valle del Río Grande de San Miguel.
- Pequeños valles y cuencas adosadas a la cadena volcánica reciente: Meseta de Santa Ana – Ahuachapán, valle del Río Paz, valle de Zapotitán, valle de San Andrés, valle de San Salvador, escalón de Cojutepeque y valle de San Vicente.
- Complejo interior muy erosionado de depresiones y relieves bajos.
- Estructuras volcánicas extintas: volcanes de Sihuatepeque y Cacahuatique, volcán de Guazapa.

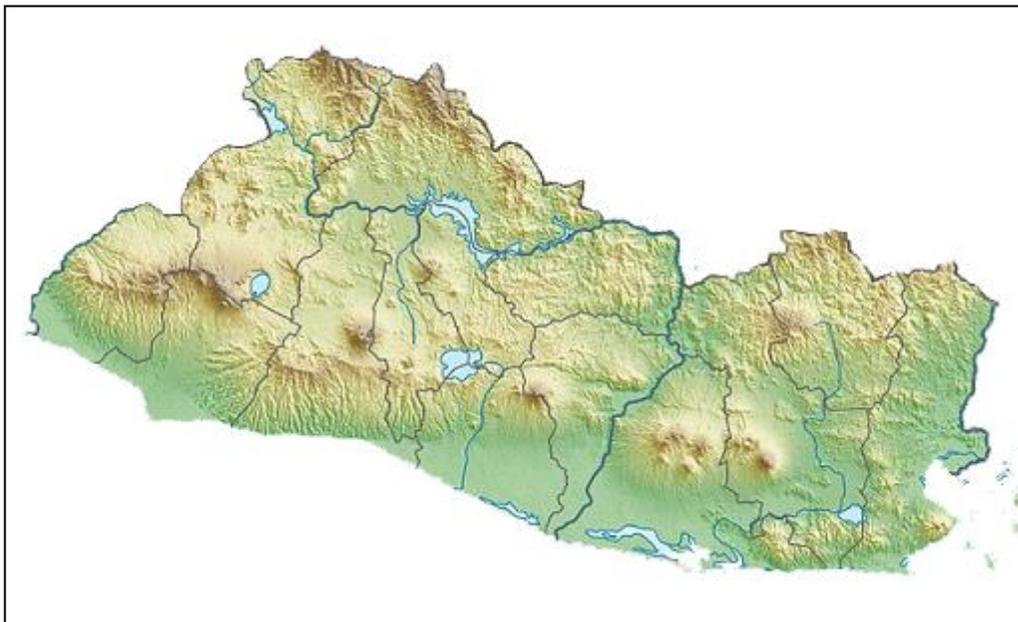


Figura 3. 22 Mapa de Relieve en El Salvador

### 3.5.3 Vulcanología

En El Salvador existe una cadena volcánica joven, ubicada paralelamente a la costa pacífica, la cual forma parte del cinturón de fuego Circumpacífico. El cordón volcánico que nace en El Salvador recorre toda América Central. Se trata de una línea sinuosa de volcanes que se acerca y se aleja de la costa.

De acuerdo a los criterios expuestos anteriormente por el antes Servicio Nacional de Estudios Territoriales (SNET), ahora Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), y a las inspecciones de campo en las zonas volcánicas, se ha identificado y evaluado unos 50 volcanes. De ellos, 23 son volcanes individuales de diferente tipo y presentan características que permiten clasificarlos como activos. Además, se identificaron cinco zonas volcánicas que por sus antecedentes sísmicos son consideradas activas, las cuales agrupan estructuras volcánicas y lagos cratéricos de origen volcánico.

A 8 volcanes se les conoce historia eruptiva; 7 tienen antecedentes de actividad sísmica y presentan fumarolas; al resto se les identifica por sus antecedentes sísmicos, morfología y por poseer depósitos de materiales bien conservados en sus laderas.

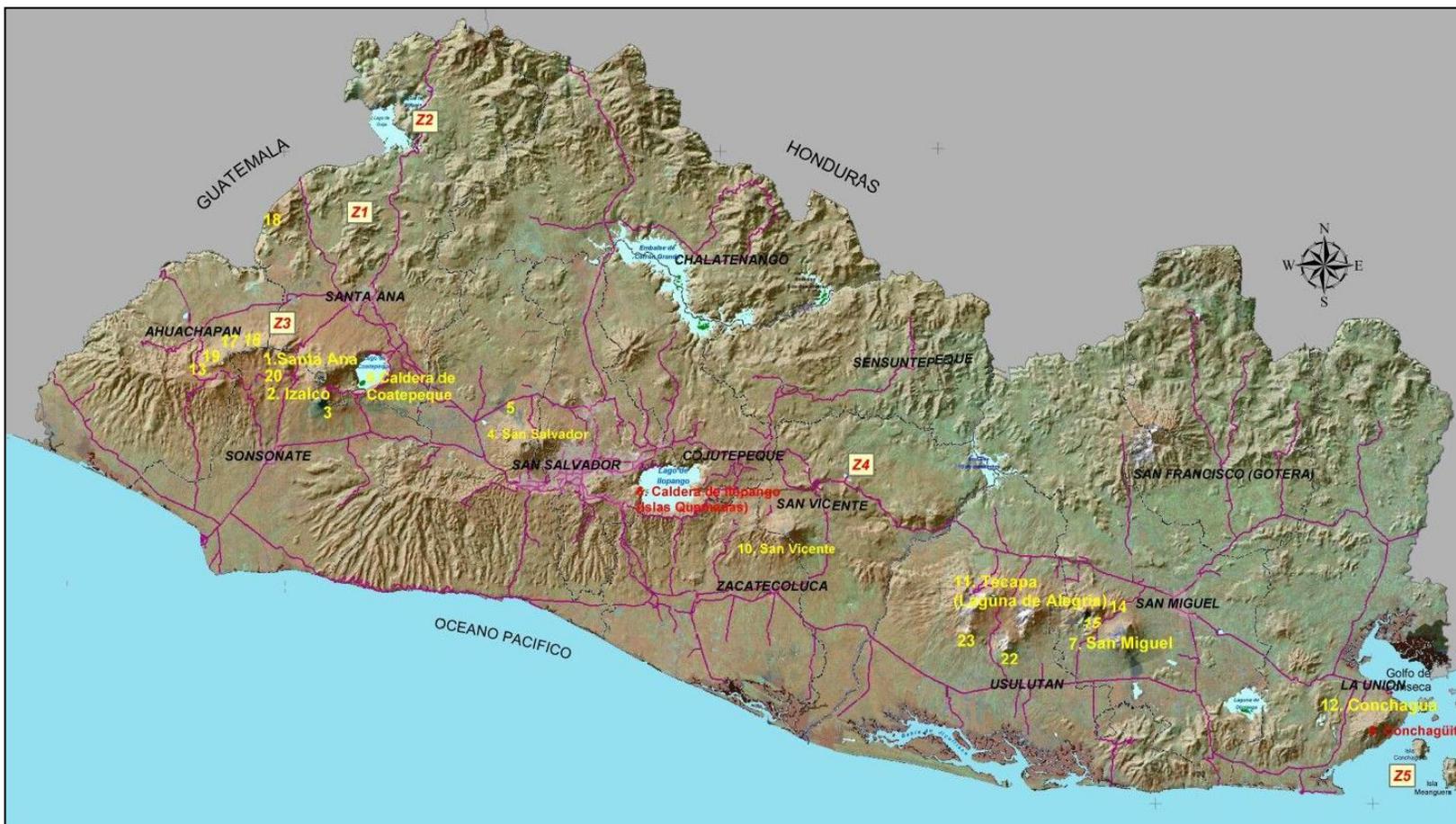


Figura 3. 23 Mapa los Volcanes de El Salvador. Fuente SNET

### 3.5.4 Regiones Climáticas de El Salvador

La temperatura media anual es de 24.8 °C, presentándose la temperatura media más baja en los meses de diciembre (23.8 °C) y enero (23.9 °C) debido a la influencia que ejercen los vientos fríos, por las incursiones de aire frío proveniente del Norte, mientras que el mes más cálido es abril (26.4 °C).

La progresión de la altitud relativa en la Zona de Convergencia Intertropical ZCIT da origen a una disminución considerable de la temperatura, aproximadamente de 0.6°C a 1°C por cada 180 m de altura. Esta disminución de la temperatura con la altitud determina lo que se conoce como zonas térmicas, y algunos autores se refieren también a la existencia de fajas o bandas de acuerdo a la altura relativa del relieve, en lugar de zonas. Según la altura absoluta medida en metros sobre el nivel medio del mar, la Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA) distingue las siguientes tres zonas térmicas en El Salvador, de acuerdo al promedio de la temperatura ambiente a lo largo del año, aplicando las clasificaciones elaboradas por el SNET basadas en la clasificación de Koppen, Sampper y Lauer.

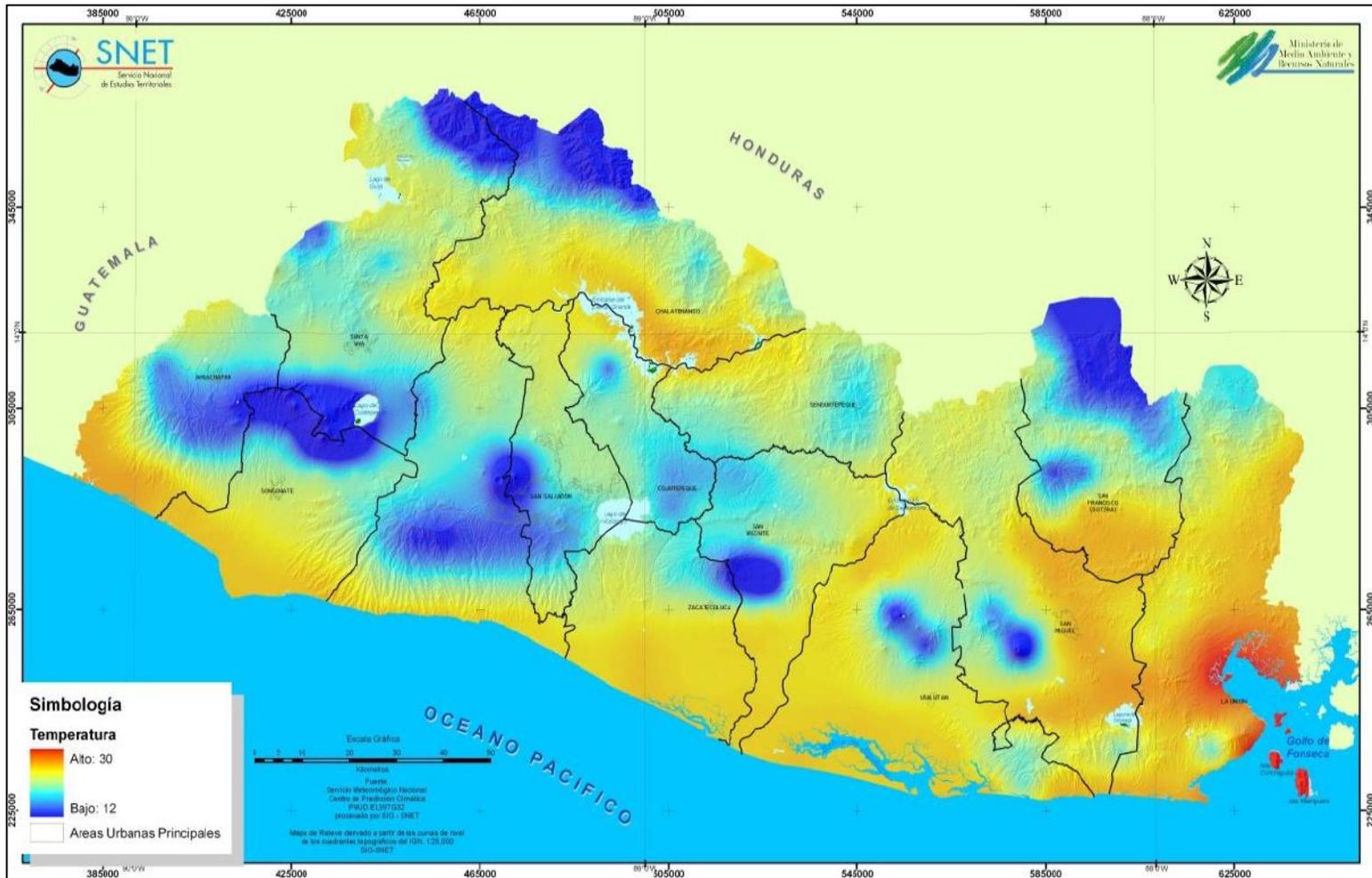


Figura 3. 24 Mapa de temperatura anual (°C) en El Salvador

El factor orográfico juega un papel clave en la definición de las regiones climáticas de El Salvador. Según Koppen y Sapper-Lauer se pueden distinguir tres regiones climáticas en el país:

REGIONES CLIMATICAS SEGÚN KOPPEN Y SAPPER-LAUER		
Altura sobre el nivel del mar (msnm)	KOPPEN	SAPPER-LAUER
0 – 800	Sabanas Tropicales Calientes	Tierra Caliente
800 – 1,200	Sabanas Tropicales Calurosas	Tierra Templada
1,200 – 1,800	Clima Tropical de las Alturas	
1,800 – 2,700		Tierra Fría

Tabla 3. 2 Regiones Climáticas según KOPPEN Y SAPPER-LAUER

Región Climática “Sabana Tropical Caliente”	
Altura sobre el nivel del mar	0 – 800 msnm
Superficie del país	90%
Temperatura Media	Oscila entre los 22-27°C y 22-28°C, en función de la elevación, en las planicies interiores. Extremos absolutos de 38°C en la región hidrográfica H y 35°C en la zona costera de las regiones hidrográficas F, E y C.
Precipitación Media Mensual	Oscila entre los 150-200 mm (Excepto el entorno del lago Guija y sectores del oriente de la República).
Humedad Relativa	70% en la estación seca 84% en la estación lluviosa.

Tabla 3. 3 Datos básicos de la región climática Sabana Tropical Caliente de El Salvador

Región Climática “Sabana Tropical Calurosa”	
Altura sobre el nivel del mar	800 – 1,200 msnm
Superficie del país	6%
Temperatura Media	Oscila entre los 17-21°C. Se distinguen dos zonas: Planicie alta y valles: 20-22°C ; Faldas de las montañas: 17-21 °C
Región Climática Tropical de “Las Alturas - Tierra Templada”	
Altura sobre el nivel del mar	1,200 – 1,800 msnm
Superficie del país	3%
Temperatura Media	Inferior a 22°C en el mes más caluroso. Esta región afecta a: <b>Las planicies altas y valles:</b> En donde son posibles las heladas, fundamentalmente en los meses de diciembre, enero y febrero por la incidencia de los vientos del norte (Vientos fríos que pueden llegar a tener una duración de 15 días) y la disminución de la temperatura. <b>Faldas de las montañas:</b> Sin peligro de heladas.
Región Climática Tropical de “Las Alturas - Tierra Fría”	
Altura sobre el nivel del mar	1,800 – 2,700 msnm
Superficie del país	1.5 %
Temperatura Media	Superficies cacuminales o culminantes de montañas y volcanes. La variación anual de la temperatura oscila entre 10-16°C.

Tabla 3. 4 Datos básicos de las regiones climáticas Sabana Tropical Calurosa a Tierras Templadas y Frías de El Salvador

Para tener información más detallada de los perfiles climatológicos de cada departamento, refiérase al Anexo 1.

### 3.5.5 Vientos Predominantes

El Salvador está sometido a la influencia de los vientos alisios del noreste, afectando con mayor intensidad a las zonas de mayores alturas. También se identifican vientos de carácter local, originados por diferencias de temperatura a escala menor: las brisas mar-tierra, las brisas montaña-valles y los Vientos Nortes.

Las brisas mar-tierra poseen dos direcciones, la primera se produce en sentido mar-tierra durante el día, debido al gran calentamiento que se opera en la superficie terrestre, que provoca una zona de menor presión. Mientras, sobre la superficie del océano Pacífico, que se encuentra más fría, se genera una zona de mayor presión, lo que provoca que el aire circule en sentido océano-tierra. Por la noche se produce el fenómeno contrario, debido a la rápida pérdida de calor del continente, y el mayor calentamiento de la masa de agua del océano.

Igualmente los vientos montaña-valle, poseen dos direcciones en función del momento del día. Durante el día las zonas más altas del país se calientan más rápidamente que los valles y mesetas, por lo que se generan vientos locales que soplan desde los valles y mesetas hacia las zonas altas. Cuando llega la noche las zonas altas del país se enfrían rápidamente, mientras que las zonas bajas (Valles y Mesetas) pierden lentamente el calor acumulado durante el día, por lo que las brisas soplan desde las zonas montañosas hacia los fondos de los valles y mesetas, suavizando las temperaturas nocturnas.

En cuanto a los vientos Norte, estadísticamente su apareamiento ocurre durante el mes de octubre, ocasionados por la incursión de una célula de alta presión procedente de América del Norte, presentándose con intensidades y características de débiles a moderadas (De 10 a 30 Km/h). Durante los meses de noviembre y diciembre, los vientos nortes siempre se manifiestan alcanzando intensidades máximas durante noviembre. Dichos sistemas de alta presión anulan la actividad lluviosa ya que se oponen al desplazamiento de las ondas del este, secando el aire e impidiendo los procesos de condensación de vapor de agua y formación de nubes. Sin embargo, en los últimos cinco años se ha observado que la incursión de estas células se ha presentado después de finalizado el mes de octubre.

### 3.5.6 Comportamiento de las Precipitaciones

Se distinguen dos temporadas climáticas en el país, la época seca y la época lluviosa con sus respectivos periodos de transición. La primera, se presenta entre los meses de noviembre a abril y la segunda de mayo a octubre con un intervalo de reducción de las lluvias entre julio y agosto llamado Canícula. La Canícula se inicia con mayor frecuencia en los primeros diez días de Julio (Primera Década) o en la primera década de Agosto, afectando en especial la zona oriental del país, tales períodos secos pueden durar 10 días cada año y más de 15 días cada 3 a 4 años, aunque los períodos secos más extremos se han detectado en los años

noventa, asociados al fenómeno de El Niño. El mes más lluvioso es septiembre, seguido por el mes de junio.

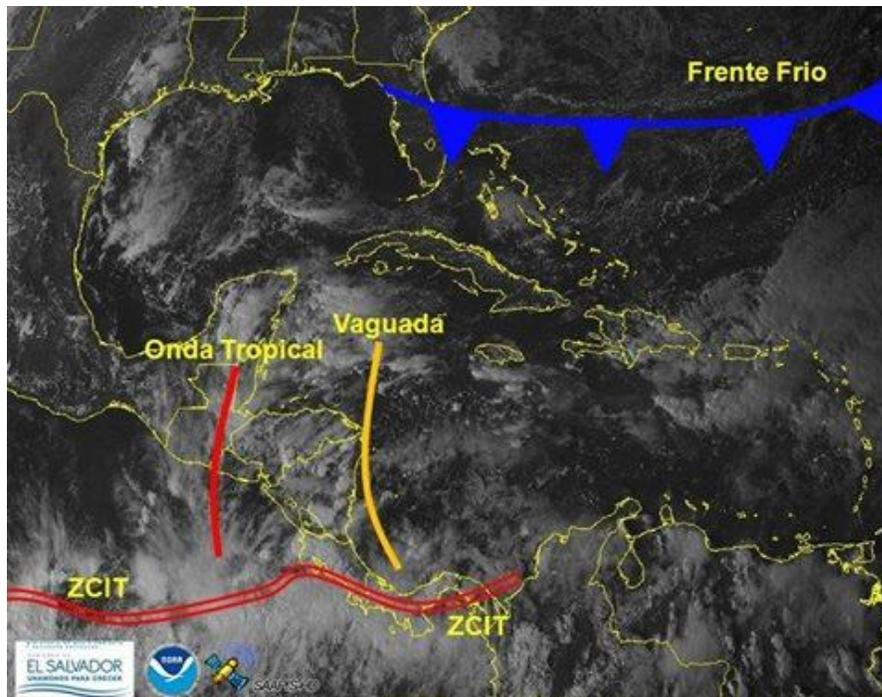


Figura 3. 25 Ejemplo de sistemas de masa de aire que controlan el comportamiento de las precipitaciones en el país.

El régimen de las lluvias se modifica por cambios en la posición e intensidad de varios sistemas de masas de aire, como los frentes fríos, ondas tropicales, huracanes, bajas y altas presiones, vaguadas y dorsales estacionales comprendidas en la región de la ZCIT la cual se desplaza con el movimiento aparente del sol, por ejemplo, durante el verano el Hemisferio Norte, la ZCIT se ha movido hacia el Norte del Ecuador sobre Centro América, provocando en

algunos meses como Junio y Septiembre precipitaciones intensas y prolongadas, conocidas como “Temporales”.

Los tipos de lluvia que se presentan son de origen: Orográfico, Convectivo y Ciclónico.

La precipitación *Orográfica* se origina en la zona de barlovento de las cadenas montañosas del norte y costeras. La precipitación *Convectiva* se genera debido al calentamiento de masa de aire lo que origina precipitaciones fuertes y rápidas generalmente en horas de la tarde, especialmente en los primeros meses de la época lluviosa. Las precipitaciones *Ciclónicas* son originadas por sistemas Atmosféricos como ondas tropicales, bajas presiones y vaguadas, así como por la influencia o acercamiento de la zona de convergencia intertropical, que afectan al país especialmente en los últimos meses de la época lluviosa, generando temporales de varios días consecutivos.

### 3.5.7 Red Climatológica

La necesidad de mantener una información adecuada para El Salvador, desde el punto de vista meteorológico, ha justificado la existencia de 25 estaciones climatológicas de primera clase, que incluyen 15 estaciones con pluviógrafo y 140 estaciones pluviométricas; no obstante, se observa un vacío entre Acajutla y Santa Cruz Porrillo.

Las precipitaciones anuales medias del país oscilan entre 1500 y 2500 milímetros aproximadamente. El volumen de precipitación pluvial sobre el país durante un año normal se calcula en unos 36,367 millones de metros cúbicos, que correspondería a una lámina equivalente a 1.82 metros. La distribución de las precipitaciones a lo largo del año tiene un marcado carácter estacional; ocurre un período de altas precipitaciones entre marzo y octubre, y otro de escasas o casi nulas durante el resto del año.

En los seis meses del período lluvioso se precipita entre el 93% y el 97% del total anual. El mes de mayores lluvias es Septiembre. Los meses más secos son enero y febrero, cuya precipitación no excede de 5 milímetros.

Las temperaturas tienen poca variación mensual y estacional. Los meses de diciembre, y algunas veces de enero, presentan las características de ser los meses menos calurosos del año y poco calmos debido al viento norte. Estos vientos traen un frío que penetra en el país y que provoca una inversión de temperatura de 10°C diarios en la costa y de 19°C en el interior. En febrero los

días son más cálidos y las noches menos frías que en enero, pero todavía la inversión diaria se mantiene y a veces llega hasta marzo. En los meses de marzo y abril el tiempo se presenta mucho más caluroso, y es cuando alcanzan las temperaturas máximas de todo el año.

En el mes de abril durante el día, las temperaturas llegan al punto más alto de todo el año, aunque en la costa es un poco más atenuada por las brisas marinas que soplan hacia el interior desde las 9 hasta las 11 de la mañana, en donde se observan máximas de 32°C en promedio. En el interior, la máxima promedio es de 35°C a 37°C, mientras que en la parte oriental se mantiene en 37°C. Las máximas absolutas llegan en San Salvador a 36°C, y en el oriente alcanzan a 45°C. Las temperaturas medias mensuales de mayo y junio tienen dos características; son más bajas que en abril, y la amplitud diurna (Inversión Diaria) es mucho más moderada.

En los meses de julio y agosto hay un ascenso en la temperatura debido a la gran luminosidad atmosférica y a la insolación. En los meses de septiembre y octubre se produce nuevamente una baja en la temperatura anunciando la transición a la estación seca, donde la penetración de los vientos del norte mantiene las condiciones estables hasta el final del año.

### 3.5.8 Ubicación Geográfica de las Estaciones Meteorológicas Principales

A continuación se muestra una tabla con las ubicaciones geográficas de las estaciones Meteorológicas principales de todo el territorio nacional.

Código	Estaciones	Latitud Norte	Longitud Oeste	Elevación (m.s.n.m.)
Zona Occidental				
A - 37	Santa Ana UNICAES	13° 58.9'	89° 32.9'	685
A - 15	Guija	14° 13.7'	89° 28.7'	485
A - 18	Los Andes	13° 52.5'	89° 38.7'	1770
A - 27	Candelaria La Frontera	14° 07.2'	89° 39.1'	700
A - 31	Los Planes de Montecristo	14° 23.9'	89° 21.6'	1971
H - 8	Ahuachapán	13° 56.6'	89° 51.6'	725
H - 14	La Hachadura	13° 51.6'	90° 05.4'	30
T - 6	Acajutla	13° 34.4'	89° 50.0'	15
T - 24	Los Naranjos	13° 52.5'	89° 40.5'	1450
Zona Central				
G - 3	Nueva Concepción	14° 07.5'	89° 17.4'	320
G - 4	La Palma	14° 17.5'	89° 09.7'	1000
G - 13	Las Pilas	14° 21.9'	89° 05.4'	1960

L – 4	San Andrés	13° 48.5'	89° 24.4'	460
L – 27	Chiltiupán	13° 35.7'	89° 28.9'	680
S – 10	Ilopango	13° 41.9'	89° 07.1'	615
Zona Paracentral				
C – 9	Cojutepeque	13° 43.2'	88° 55.6'	880
V – 9	Puente Cuscatlán	13° 36.1'	88° 35.6'	20
B – 1	Chorrera del Guayabo	13° 59.8'	88° 45.4'	190
B – 6	Sensuntepeque	13° 52.2'	88° 39.0'	650
B – 10	Cerrón Grande	13° 56.3'	88° 47.1'	200
Zona Oriental				
M – 24	San Miguel UES	13° 26.3'	88° 09.5'	117
U – 6	Santiago de María	13° 29.1'	88° 28.3'	920
Z – 2	San Francisco Gotera	13° 41.8'	88° 05.4'	250
Z – 3	Perquin	13° 57.5'	88° 09.7'	1225
N – 2	La Unión, Corsain	13° 19.9'	87° 52.9'	35

Tabla 3. 5 Ubicación geográfica de estaciones meteorológicas convencionales a nivel nacional.

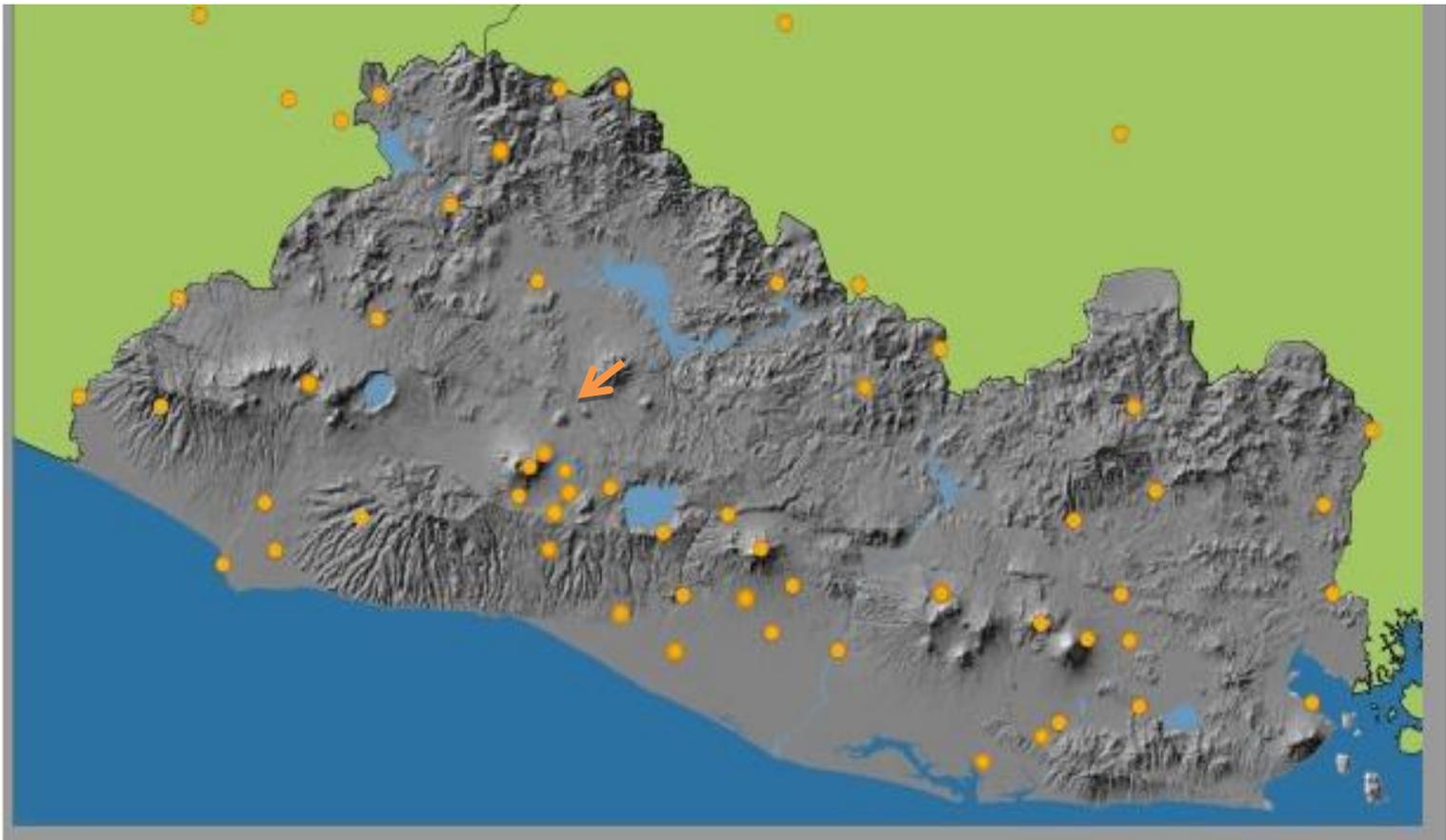


Figura 3. 26 Red de estaciones meteorológicas de El Salvador. Fuente: DGOA

CAPITULO 4

TRATAMIENTO ESTADÍSTICO  
DE DATOS DE PRECIPITACIÓN  
Y GENERACIÓN DE MAPAS  
PARA LLUVIAS DIARIAS Y  
HORARIAS

## 4.0 INTRODUCCIÓN

Con los métodos de interpolación previamente seleccionados en el Capítulo 2, en el presente capítulo se tiene como principal objetivo establecer cuáles de éstos son los Métodos más adecuados para representar el tipo de lluvia, en el caso del análisis de Lluvia Diaria, para cada tipo de lluvia predominante del país: Aisladas, Dispersas y Generalizadas, y en el análisis de Lluvia Horaria, para los cuatro eventos especiales: Huracanes Stan e Ida, Tormenta Tropical Agatha y la Depresión Tropical 12-E.

Para la evaluación de cada método en ambos análisis, se apoyará de los reportes de análisis estadístico descriptivo generado por el programa Geo Espacial Surfer 9.0 para cada método de interpolación, en conjunto con el análisis de Validación Cruzada y de la evaluación del aspecto visual de los mapas generados al final.

Dichos reportes contienen el análisis estadístico tanto de los datos originales de precipitación como también de los nuevos valores de Z generados en los nodos. Para la obtención de los resultados se auxiliará de un recurso matricial para obtener una calificación cuantitativa de los métodos y así poder establecer de una manera más comprensiva los métodos adecuados para cada tipo de lluvia y evento del país.

#### 4.1 Clasificación de las Lluvias predominantes en el país según la Dirección General del Observatorio Ambiental

Para iniciar el Análisis Estadístico para Lluvia Diaria de los datos de precipitación, es importante mencionar que, la Gerencia de Meteorología de La Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), clasifica las precipitaciones según su porcentaje de Distribución Espacial haciendo la siguiente delimitación.

TIPO DE LLUVIAS	% DE DISTRIBUCION ESPACIAL
AISLADAS	10% - 40%
DISPERSAS	40% - 80%
GENERALIZADAS	80% - 100%

Tabla 4. 1 Rangos de clasificación de los tipos de Lluvias según La Dirección General del Observatorio Ambiental

Por lo que estos rangos se utilizarán para clasificar y hacer el análisis de los tipos de Lluvias, con base a la hoja de registro diario de precipitaciones proporcionadas por La Dirección General del Observatorio Ambiental (DGOA), de la cual se presenta un ejemplo de la hoja de registro ubicada en el Anexo 2.

Por la particularidad de este estudio, la clasificación de las lluvias predominantes en el país depende de manera principal del parámetro de la distribución espacial de las mismas en lugar de sus intensidades de precipitación. Esto se debe a que éste parámetro es de mucha utilidad para el estudio de ocurrencia de los tres diferentes eventos.

El estudio de ocurrencia se realiza con el fin de seleccionar el mes más representativo para cada clase de lluvia en cada año, y luego seleccionar el día de máxima intensidad.

Resulta casi imposible diferenciar una lluvia aislada a una dispersa o generalizada en base a rangos de intensidades, ya que la cantidad precipitada no depende de la distribución espacial de la nube sino de las condiciones meteorológicas del sitio y los diferentes sistemas de masa de aire; los cuales son los que contribuyen en la formación de la nube.

El cálculo de la distribución espacial de las lluvias se realizó en cada hoja de datos proporcionado por la DGOA con la siguiente ecuación:

$$\% Dist = \frac{\# \text{ de estaciones con registro}}{\text{Total de estaciones}} * 100$$

Del total de estaciones de cada hoja, se contó la cantidad de estaciones que tenían registro mayor del valor de cero y se dividió esta cantidad entre el total de estaciones del mes. Luego se multiplicó el resultado por cien para obtener el valor

de distribución espacial de cada día y luego calcular la ocurrencia de las tres diferentes lluvias por año.

Para el análisis de lluvia horaria, se trabajará con los cuatro eventos mencionados en la introducción del capítulo, seleccionando el día más intenso de cada uno para analizar la precipitación acumulada en 1, 6, 12 y 24 horas. Con lo calculado del análisis de lluvia diaria, se realizará el análisis de ocurrencia para luego delimitar el tamaño de la muestra que se verá a continuación.

#### 4.2 Delimitación del tamaño muestral de la base de datos para lluvia diaria.

Para cada tipo de lluvia se seleccionaron dos valores máximos de precipitación diaria que representan los días más críticos de cada año los cuales son los de mayor interés para el fin de esta investigación y con ello obtener una muestra representativa de la población total de datos.

En las siguientes tablas se ha seleccionado el mes de ocurrencia del valor máximo de precipitación registrado y dentro del mes de mayor ocurrencia se seleccionó el día de mayor acumulación de precipitación. Obteniendo así dos días máximos por año.

➤ Para el año 2010

Mes de Ocurrencia de Precipitación Máxima Diaria Acumulada	LLUVIAS AISLADAS		LLUVIAS DISPERSAS		LLUVIAS GENERALIZADAS	
	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis
ENERO	0,0		0,0		0,0	
FEBRERO	0,0		0,0		0,0	
MARZO	0,0		0,0		0,0	
ABRIL	227		283,7		0,0	
MAYO	453,7	14 de mayo	785,9	18 de mayo	9112,10	30 de mayo
JUNIO	127,1		490,3		3834,8	
JULIO	292,5		818,5	30 de julio	2682,0	
AGOSTO	0,0		625,1		2079,6	
SEPTIEMBRE	263		765,1		3872,9	27 de sept.
OCTUBRE	236,8		740,4		0,0	
NOVIEMBRE	420,1	28 de nov.	304,6		0,0	
DICIEMBRE	0,0		0,0		0,0	

Tabla 4. 2 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2010

➤ Para el año 2011

Mes de Ocurrencia de Precipitación Máxima Diaria Acumulada	LLUVIAS AISLADAS		LLUVIAS DISPERSAS		LLUVIAS GENERALIZADAS	
	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis
ENERO	0,0		0,0		0,0	
FEBRERO	0,0		0,0		0,0	
MARZO	0,0		0,0		0,0	
ABRIL	368,9	11 de abril	957	23 de abril	0,0	
MAYO	261,2		642		1655,2	
JUNIO	507,3	1 de junio	650		2689,2	
JULIO	0,0		533,9		1964,0	
AGOSTO	104,7		904,8	30 de agosto	2453,0	1 de agosto
SEPTIEMBRE	228,9		766,6		1685,0	
OCTUBRE	63,8		747,5		6121	12 de octubre
NOVIEMBRE	91		389,6		1250,0	
DICIEMBRE	0,0		0,0		0,0	

Tabla 4. 3 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2011

➤ Para el año 2012

Mes de Ocurrencia de Precipitación Máxima Diaria Acumulada	LLUVIAS AISLADAS		LLUVIAS DISPERSAS		LLUVIAS GENERALIZADAS	
	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis
ENERO	0,0		0,0		0,0	
FEBRERO	0,0		0,0		0,0	
MARZO	0,0		0,0		0,0	
ABRIL	370,7		876,9		0,0	
MAYO	368,4		1625		3218,5	
JUNIO	261,1		1009,6		1984,0	
JULIO	385,8		1995,4	18 de julio	1946,5	
AGOSTO	304,9		1591		2517,0	
SEPTIEMBRE	182,3		1162,1	2 de sept.	3450,6	22 de sept.
OCTUBRE	546,5	17 de octubre	1153		2978,8	10 de octubre
NOVIEMBRE	409,1	6 de nov.	0,0		0,0	
DICIEMBRE	0,0		0,0		0,0	

Tabla 4. 4 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2012

➤ Para el año 2013

Mes de Ocurrencia de Precipitación Máxima Diaria Acumulada	LLUVIAS AISLADAS		LLUVIAS DISPERSAS		LLUVIAS GENERALIZADAS	
	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis
ENERO	0,0		0,0		0,0	
FEBRERO	0,0		0,0		0,0	
MARZO	0,0		0,0		0,0	
ABRIL	561,7	29 de abril	1100,2		0,0	
MAYO	590,1	19 de mayo	2260	26 de mayo	3607,0	
JUNIO	431,7		1174,3		4702,5	29 de junio
JULIO	456,6		1546		1910,0	
AGOSTO	438,6		1628		3212,1	
SEPTIEMBRE	391,6		2301,6	18 de sept.	7430,6	12 de sept.
OCTUBRE	488,6		1721,6		2832,0	
NOVIEMBRE	279,4		1543,3		1709,4	
DICIEMBRE	0,0		0,0		0,0	

Tabla 4. 5 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2013

➤ Para el año 2014

Mes de Ocurrencia de Precipitación Máxima Diaria Acumulada	LLUVIAS AISLADAS		LLUVIAS DISPERSAS		LLUVIAS GENERALIZADAS	
	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis
ENERO	0,0		0,0		0,0	
FEBRERO	0,0		0,0		0,0	
MARZO	0,0		0,0		0,0	
ABRIL	373,5		760		0,0	
MAYO	568,8	9 de mayo	1495,1		3178,0	
JUNIO	520	7 de junio	1856,5	19 de junio	5238,0	1 de junio
JULIO	449		1143		2391,0	
AGOSTO	359,9		1206,6		3242,0	
SEPTIEMBRE	36.1		864,9		4774,0	
OCTUBRE	346		1643,2	25 de octubre	5279,0	15 de octubre
NOVIEMBRE	305		742		79.72	
DICIEMBRE	0,0		0,0		0,0	

Tabla 4. 6 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2014

➤ Para el año 2015

Mes de Ocurrencia de Precipitación Máxima Diaria Acumulada	LLUVIAS AISLADAS		LLUVIAS DISPERSAS		LLUVIAS GENERALIZADAS	
	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis	Precipitación Máxima Acumulada Diaria (mm)	Fecha Seleccionada para Análisis
ENERO	0,0		0,0		0,0	
FEBRERO	0,0		0,0		0,0	
MARZO	0,0		0,0		0,0	
ABRIL	730,8	3 de abril	1218,8		0,0	
MAYO	830,9	24 de mayo	1312,7		0,0	
JUNIO	342,2		1492,7		2821,3	
JULIO	514		1607,3		1936,0	
AGOSTO	375		1234,5		2496,0	
SEPTIEMBRE	615		1614,5	28 de sept.	3687,0	
OCTUBRE	98,4		1980,3	9 de octubre	57806,0	18 de octubre
NOVIEMBRE	436,3		1256,8		37260,0	21 de nov.
DICIEMBRE	0,0		0,0		0,0	

Tabla 4. 7 Hoja resumen de fecha seleccionada con valores máximos de precipitación para el año 2015

Con la delimitación anterior se obtuvo la fecha de incidencia de la mayor precipitación y su valor de registro, y con esto se retoma una tabla donde se presentan las Estaciones de Registro con sus Coordenadas Geodésicas y los días seleccionados con la cantidad de precipitación. (Ver ejemplo en Anexo 3).

Se realizará un análisis por separado de los tipos de lluvias de carácter diario y horario para su mayor comprensión, teniendo en cuenta la delimitación de los Métodos de Interpolación realizada en el Capítulo 2 (Mínima Curvatura, Kriging, Distancia Inversa Ponderada y Funciones de Base Radial) y luego se procederá a la generación de mapas. Los mapas que aparecerán en este capítulo serán del método o los métodos que resultaron tener la mejor calificación tanto cuantitativa como cualitativa para cada tipo de lluvia.

Para la calificación cualitativa, será necesario realizar mapas con los cuatro métodos mencionados anteriormente, pero por fines de practicidad y presentación, solamente se mostraran los mapas resultantes de los métodos seleccionados.

*Para ver el resto de los mapas generados, habrá que referirse al Índice de Mapas anexado en CD al final del documento.*

Para la generación de mapas se utilizaron las tablas ubicadas en el Anexo 2 que son las mismas que se utilizaron en el programa Surfer 9.0

## 4.3 Descripción de los Aspectos de Calificación Cuantitativa y Cualitativa reflejados en la Matriz Evaluativa.

### 4.3.1 Calificación Cuantitativa

#### 4.3.1.1 Estadística Descriptiva

En la estadística descriptiva se hará énfasis en los cálculos Estadísticos como: La Media, La Desviación Estándar, La Varianza, y el Valor Máximo de Precipitación Registrado. Cada uno es calculado y reflejado en los reportes generados por el programa a la hora de aplicar cada método de interpolación. (Ver ejemplo de los Reportes en el Anexo 4).

*Para ver el resto de los reportes generados, habrá que referirse al Índice de Reportes anexo en CD al final del documento.*

Como se ha dicho anteriormente; los reportes reflejan los cálculos de estos estadísticos tanto para los datos originales de precipitación como también para los nuevos valores de Z generados en los nodos por cada método.

La calificación en este apartado se enfocará en la comparación de los estadísticos de Z contra los estadísticos de los datos originales; siendo estos últimos la base comparativa. Se espera que dichos estadísticos de Z se aproximen lo más cercano posible y no que excedan a los estadísticos de los datos originales. En caso que los estadísticos excedan a los valores base, dicho

método perderá la calificación de esta sección reportando una desventaja en su porcentaje final. Dicho apartado aplicará tanto para lluvia diaria como para lluvia horaria.

#### **4.3.1.2 Validación Cruzada**

El proceso de la Validación Cruzada pretende validar el método de interpolación por medio del cálculo de residuos. El residuo es la resta del valor estimado menos el valor real en cada punto de dato conocido. Para la validación del método se espera que la suma de todos los residuos calculados en los puntos sea igual o aproximada a cero o que tenga el menor valor.

Existen casos en que para todos los métodos la suma de los valores de residuos de un valor negativo o exageradamente grande (En el caso de los eventos especiales para Lluvia Horaria), esto se debe a los diferentes Algoritmos que usa cada método para interpolar los nuevos valores de Z y el tamaño de la población de los datos a interpolar. Para dicho caso en que ningún método tenga una suma que cumpla con este apartado se hará la evaluación únicamente con la estadística descriptiva.

#### **4.3.2 Calificación Cualitativa**

Resulta ser una tarea complicada definir el método más adecuado para cierta serie de datos únicamente evaluando las curvas isoyetas y áreas de vacíos y

entre otras características sin tener un fundamento estadístico del comportamiento tanto de los datos reales como los nuevos valores estimados de Z en los nodos. Esta forma de calificación es de mayor utilidad para una delimitación preliminar como se hizo anteriormente en el Capítulo 2.

Sin embargo, una vez se tiene una calificación cuantitativa de cada método, y en base a ello se logra definir el método más apropiado, resulta útil mas no obligatorio realizar una comparación visual del método seleccionado con el mapa generado por el Método Kriging; considerando este último como mapa base. Se considera este método como base debido a que es el Método utilizado por la DGOA por la alta confiabilidad de los resultados generados.

Se busca que las curvas de los otros métodos definan con mayor precisión, sin comprometer su aspecto estético de la curva en sí (Quiebres Agudos), las áreas precipitadas en comparación con las áreas delimitadas por Kriging, como también se espera una coincidencia similar entre áreas de vacíos (Precipitación cero) y de altas concentraciones de intensidades. Dicha comparación ayudará en la confirmación de la selección del método más adecuado para cada tipo de lluvia y evento especial.

Puede darse el caso especial en que el Método de Interpolación Kriging sea el que tenga la mayor evaluación sobre los demás métodos. En dicha situación la evaluación cualitativa no será necesaria realizarla.

#### 4.3.3 Eventos Especiales; Evaluación de los Casos de Lluvia Horaria.

Cabe mencionar que para la evaluación de los métodos en el desarrollo del evento en el día más intenso, se busca ver una continuidad en el comportamiento tanto estadístico como visual de los métodos. El método que presenta una mayor continuidad y a la vez la mejor calificación según la matriz evaluativa, será seleccionado como el método más adecuado para los eventos especiales.

## 4.4 Análisis de datos y Generación de Mapas por los Métodos de Interpolación Seleccionados.

### 4.4.1 Cuadro Resumen Datos Estadísticos y Validación Cruzada

#### 4.4.1.1 Lluvias Aisladas

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS DIARIAS AISLADAS							
AÑO	LLUVIA DIARIA AISLADAS		Datos de Registro Reales	Minima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
2010	14 de Mayo	Valor Maximo de Registro (mm)	96,4	96,45	92,30	95,55	57,09
		Media	7,2	-2,45	3,47	6,85	9,53
		Desviacion Standard	16,51	24,82	10,59	8,59	9,53
		Varianza	272,48	616,21	112,29	73,94	90,83
		Validacion Cruzada		9,80	71,20	93,98	93,64
	28 de Noviembre	Valor Maximo de Registro (mm)	76,8	76,83	72,18	75,30	45,71
		Media	6,18	4,11	4,24	5,64	4,22
		Desviacion Standard	14,27	12,69	9,97	7,33	9,61
		Varianza	203,72	161,09	99,58	53,74	92,39
		Validacion Cruzada		-5,31	0,53	31,36	-11,03
2011	11 de Abril	Valor Maximo de Registro (mm)	47,2	64,79	42,16	38,62	32,34
		Media	5,42	5,65	5,06	5,03	5,06
		Desviacion Standard	10,19	10,07	7,42	5,55	7,19
		Varianza	103,78	101,52	55,12	30,83	51,72
		Validacion Cruzada		15,38	14,15	13,51	-5,97
	1 de Junio	Valor Maximo de Registro (mm)	92,8	108,08	92,61	92,79	82,89
		Media	7,25	5,44	5,69	6,38	5,68
		Desviacion Standard	17,83	14,64	13,33	10,39	13,08
		Varianza	317,77	214,29	177,73	108,13	171,33
		Validacion Cruzada		54,59	-5,96	-48,18	-3,96
2012	17 de Octubre	Valor Maximo de Registro (mm)	67,00	200,19	62,00	61,80	49,55
		Media	4,97	0,27	3,50	4,65	4,85
		Desviacion Standard	13,14	22,98	7,87	5,43	9,03
		Varianza	172,7	528,16	61,95	29,51	81,55
		Validacion Cruzada		48,17	49,49	70,03	-154,53
	6 de Noviembre	Valor Maximo de Registro (mm)	65,6	68,38	62,94	64,25	41,07
		Media	3,75	3,70	4,00	4,36	4,07
		Desviacion Standard	10,19	10,24	7,51	5,19	7,00
		Varianza	103,86	104,93	56,53	26,99	49,05
		Validacion Cruzada		-32,34	13,86	9,54	20,96

Tabla 4. 8 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Aisladas, para los Años 2010, 2011 y 2012

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS DIARIAS AISLADAS							
AÑO	LLUVIA DIARIA AISLADAS		Datos de Registro Reales	Mínima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
2013	29 de Abril	Valor Maximo de Registro (mm)	90,8	90,66	87,69	87,37	80,36
		Media	3,64	5,13	6,77	4,97	7,15
		Desviacion Standard	13,57	17,23	13,34	8,66	13,78
		Varianza	184,06	296,94	178,22	74,99	189,97
	19 de Mayo	Validacion Cruzada		22,42	75,58	-12,21	84,69
		Valor Maximo de Registro (mm)	42,2	42,63	38,74	37,13	27,87
		Media	3,93	2,98	4,47	4,28	4,59
		Desviacion Standard	8,74	9,87	6,04	4,41	5,83
2014	9 de Mayo	Varianza	71,69	97,50	36,48	19,46	34,04
		Validacion Cruzada		63,38	35,17	12,49	469,62
		Valor Maximo de Registro (mm)	66,4	98,12	65,03	65,84	52,09
		Media	4,33	2,06	3,83	4,05	3,83
	7 de Junio	Desviacion Standard	12,11	11,46	8,18	4,75	7,51
		Varianza	146,57	131,48	67,07	22,61	56,46
		Validacion Cruzada		-72,66	-12,77	-63,90	752,91
		Valor Maximo de Registro (mm)	52,4	70,09	51,14	50,75	41,40
2015	3 de Abril	Media	3,72	3,09	3,80	3,78	4,23
		Desviacion Standard	8,77	7,55	6,53	4,59	6,46
		Varianza	76,83	57,00	42,65	21,08	41,73
		Validacion Cruzada		50,42	16,17	-28,55	387,49
	24 de Mayo	Valor Maximo de Registro (mm)	62,3	196,22	58,64	60,23	42,96
		Media	5,2	4,85	5,08	5,27	5,28
		Desviacion Standard	11,41	21,22	8,38	6,14	8,18
		Varianza	130,1	450,34	70,34	37,79	66,98
	Validacion Cruzada		224,09	22,06	-35,59	98,64	
	Valor Maximo de Registro (mm)	49,6	113,61	48,8	48,4	43,22	
	Media	5,86	4,59	5,53	5,96	5,60	
	Desviacion Standard	11,77	18,37	9,55	6,45	9,18	
		138,57	337,6	91,35	41,64	84,43	
			56,08	16,17	-43,14	139,71	

Tabla 4. 9 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Aisladas, para los Años 2013, 2014 y 2015

#### 4.4.1.2 Lluvias Dispersas

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS DIARIAS DISPERSAS							
AÑO	LLUVIA DIARIA DISPERSAS		Datos de Registro Reales	Minima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
2010	18 de Mayo	Valor Maximo de Registro (mm)	59,8	78,91	57,06	58,90	44,98
		Media	12,47	12,06	13,63	12,31	13,64
		Desviacion Standard	16,46	18,40	12,71	7,93	11,84
		Varianza	270,85	338,67	161,54	62,92	140,29
	30 de Julio	Validacion Cruzada		51,03	23,53	-59,22	18,29
		Valor Maximo de Registro (mm)	45,6	73,03	44,58	45,34	37,47
		Media	12,79	9,37	10,66	12,08	10,68
		Desviacion Standard	13,4	16,87	9,13	6,85	8,40
2011	23 de Abril	Varianza	179,57	284,87	83,49	46,92	70,60
		Validacion Cruzada		-33,21	12,91	22,02	14,24
		Valor Maximo de Registro (mm)	69,4	69,29	65,22	67,21	55,96
		Media	14,07	7,88	11,16	13,35	11,74
	30 de Agosto	Desviacion Standard	17,57	17,18	10,84	7,69	9,96
		Varianza	308,64	295,41	117,69	59,28	99,34
		Validacion Cruzada		29,60	64,79	120,09	10,55
		Valor Maximo de Registro (mm)	97,4	111,78	90,13	93,54	55,14
2012	18 de Julio	Media	12,74	12,95	11,87	11,74	11,52
		Desviacion Standard	19,38	18,14	10,96	8,02	10,11
		Varianza	375,47	329,36	120,20	64,39	102,29
		Validacion Cruzada		8,34	4,09	-31,53	71,81
	2 de Septiembre	Valor Maximo de Registro (mm)	117,8	117,91	109,83	111,02	82,34
		Media	19,19	13,76	14,67	17,61	15,22
		Desviacion Standard	22,38	21,85	17,44	11,77	16,47
		Varianza	500,98	477,55	304,40	138,54	271,34
	Validacion Cruzada		12,72	-5,64	64,88	228,46	
	Valor Maximo de Registro (mm)	64	105,79	62,92	63,22	50,77	
	Media	10,56	10,66	10,12	10,84	9,67	
	Desviacion Standard	13,48	14,86	10,53	8,71	9,87	
	Varianza	181,64	221,06	110,98	76,01	97,51	
	Validacion Cruzada		55,34	51,69	95,91	-120,16	

Tabla 4. 10 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Dispersas, para los Años 2010, 2011 y 2012

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS DIARIAS DISPERSAS							
AÑO	LLUVIA DIARIA DISPERSAS		Datos de Registro Reales	Minima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
2013	26 de Mayo	Valor Maximo de Registro (mm)	85,6	110,38	84,45	85,40	70,64
		Media	16,15	11,50	17,23	16,61	17,77
		Desviacion Standard	19,16	33,51	16,30	11,84	15,75
		Varianza	367,05	1123,20	265,85	140,29	248,17
		Validacion Cruzada		-54,97	-38,25	-172,73	668,15
	18 de Septiembre	Valor Maximo de Registro (mm)	94	136,63	92,45	87,48	81,89
		Media	17,09	13,75	21,93	17,95	20,89
		Desviacion Standard	20,88	35,68	18,52	10,00	17,07
		Varianza	436,16	1273,32	343,32	100,04	291,63
		Validacion Cruzada		-120,79	-25,84	-186,85	317,13
2014	19 de Junio	Valor Maximo de Registro (mm)	92,4	94,08	83,50	83,73	67,30
		Media	13,51	6,10	6,86	12,38	7,79
		Desviacion Standard	18,14	14,98	12,29	7,55	11,02
		Varianza	329,05	224,66	151,05	57,06	121,55
		Validacion Cruzada		-38,26	-17,04	65,85	202,89
	25 de Octubre	Valor Maximo de Registro (mm)	92,5	93,09	90,59	90,76	81,24
		Media	12,21	12,70	13,49	13,71	14,30
		Desviacion Standard	18,92	20,51	15,84	9,22	14,85
		Varianza	357,88	420,85	251,14	85,14	220,63
		Validacion Cruzada		134,24	19,37	16,11	294,41
2015	28 de Septiembre	Valor Maximo de Registro (mm)	88,3	153,70	84,33	85,53	63,99
		Media	12,14	7,24	10,21	11,85	10,45
		Desviacion Standard	18,15	25,98	13,70	9,03	13,28
		Varianza	329,39	675,01	187,84	81,66	176,38
		Validacion Cruzada		270,11	52,28	3,17	-57,34
	9 de Octubre	Valor Maximo de Registro (mm)	75,6	320,71	66,20	68,07	59,86
		Media	14,25	14,58	10,82	13,69	10,61
		Desviacion Standard	19,53	34,9	13,97	9,61	13,22
		Varianza	381,44	1218,02	195,43	95,42	174,77
		Validacion Cruzada		-132,88	-5,62	127,50	-268,14

Tabla 4. 11 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Dispersas, para los Años 2013, 2014 y 2015

#### 4.4.1.3 Lluvias Generalizadas

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS DIARIAS GENERALIZADAS							
AÑO	LLUVIA DIARIA GENERALIZADAS		Datos de Registro Reales	Minima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
2010	30 de Mayo	Valor Maximo de Registro (mm)	483	482,73	463,58	479,08	393,88
		Media	144,64	107,07	122,29	131,95	119,87
		Desviacion Standard	110,78	100,41	72,89	57,32	70,32
		Varianza	12272,31	10083,71	5313,06	3286,37	4945,39
		Validacion Cruzada		274,88	-115,15	123,40	-39,60
	27 de Septiembre	Valor Maximo de Registro (mm)	139,4	492,45	132,74	133,82	112,5
		Media	56,95	43,48	47,82	56,33	48,14
		Desviacion Standard	36,29	58,42	26,96	17,63	25,95
Varianza		1316,6	3413,76	726,84	311,07	673,76	
	Validacion Cruzada		126,07	91,48	282,49	223,68	
2011	1 de Agosto	Valor Maximo de Registro (mm)	86,2	202,16	81,27	83,21	68,21
		Media	34,07	35,31	35,78	33,67	35,49
		Desviacion Standard	23,59	31,66	14,68	8,97	12,58
		Varianza	556,4	1002,41	215,76	80,50	158,26
		Validacion Cruzada		59,81	21,19	83,02	103,90
	12 de Octubre	Valor Maximo de Registro (mm)	407,01	413,26	403,03	326,36	244,14
		Media	86,21	68,84	73,81	80,47	73,43
		Desviacion Standard	80,72	78,66	54,58	42,85	51,52
Varianza		6515,88	6188,08	2979,69	1836,74	2654,44	
	Validacion Cruzada		216,93	-91,45	34,37	1194,23	
2012	22 de Septiembre	Valor Maximo de Registro (mm)	98	142,92	91,76	85,35	75,42
		Media	31,37	31,78	29,67	31,45	30,32
		Desviacion Standard	19,62	17,74	11,99	8,65	10,81
		Varianza	384,85	314,86	143,93	74,85	116,96
		Validacion Cruzada		4,06	-4,34	63,17	106,36
	10 de Octubre	Valor Maximo de Registro (mm)	66,2	67,86	62,05	63,7	55,56
		Media	27,08	22,04	25,08	27,4	25,25
		Desviacion Standard	16,29	24,03	12,37	6,87	11,63
Varianza		265,31	577,72	153,16	47,2	135,42	
	Validacion Cruzada		118,73	30,80	63,13	73,97	

Tabla 4. 12 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Generalizadas, para los Años 2010, 2011 y 2012

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS DIARIAS GENERALIZADAS							
AÑO	LLUVIA DIARIA GENERALIZADAS		Datos de Registro Reales	Mínima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
2013	29 de Junio	Valor Maximo de Registro (mm)	125,4	125,45	120,59	122,13	105,15
		Media	35,45	37,06	38,73	36,58	37,37
		Desviacion Standard	24,3	28,86	16,06	10,37	15,22
		Varianza	590,64	833,35	258,21	107,57	231,85
	Validacion Cruzada		-46,49	-35,78	-136,12	1045,67	
	12 de Septiembre	Valor Maximo de Registro (mm)	180,8	274,65	176,12	163,56	161,41
		Media	54,67	56,78	55,49	52,48	55,99
		Desviacion Standard	39,61	51,13	39,42	21,21	40,2
Varianza		1569,16	2615,23	1554,37	450,09	1616,32	
Validacion Cruzada		-91,68	14,82	69,65	43,60		
2014	1 de Junio	Valor Maximo de Registro (mm)	125,9	300,26	110,9	117,61	104,72
		Media	37,92	37,65	36,46	36,23	37,88
		Desviacion Standard	29,71	41,69	23,57	14,88	22,88
		Varianza	882,43	1738,76	556	221,46	523,7
	Validacion Cruzada		-40,06	-8,55	150,04	435,41	
	15 de Octubre	Valor Maximo de Registro (mm)	188,4	287,96	187,25	187,4	173,52
		Media	37,61	53,17	44,34	38,51	44,4
		Desviacion Standard	33,1	47,86	34,69	20,73	34,38
Varianza		1095,74	2290,84	1203,56	430,06	1182,3	
Validacion Cruzada		-119,49	26,65	-138,65	368,10		
2015	18 de Octubre	Valor Maximo de Registro (mm)	179	217,58	168,16	159,48	133,03
		Media	42,11	44,31	39,3	39,96	38,88
		Desviacion Standard	31,2	40,96	31,47	16,3	29,16
		Varianza	973,7	1678,29	990,97	265,94	850,44
	Validacion Cruzada		-266,92	-132,17	76,98	-1429,44	
	21 de Noviembre	Valor Maximo de Registro (mm)	124	175,6	121,59	121,35	113,03
		Media	27,58	31,96	29,33	27,63	29,8
		Desviacion Standard	21,85	25,67	16,33	8,95	15,11
Varianza		477,44	659,28	266,87	80,17	228,56	
Validacion Cruzada		122,65	92,60	120,37	-815,64		

Tabla 4. 13 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Diarias Generalizadas, para los Años 2013, 2014 y 2015

#### 4.4.1.4 Lluvia Horaria; Eventos Especiales

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS HORARIAS							
EVENTO			Datos de Registro Reales	Mínima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
STAN 2005	1 hora acumulada	Valor Maximo de Registro (mm)	388,87	690,22	387,96	388,79	362,22
		Media	157,94	172,43	137,06	156,06	98,34
		Desviacion Standard	139,49	138,46	113,31	85,63	109,76
		Varianza	19457,96	19172,82	12840,89	7333,42	12048,35
		Validacion Cruzada		70,05	64,95	67,93	53,51
	6 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	425,18	960,59	423,84	425,09	390,50
		Media	172,61	203,24	151,57	170,13	152,03
		Desviacion Standard	148,98	163,42	116,05	88,37	111,82
		Varianza	22196,85	26706,58	13468,93	7810,10	12504,59
		Validacion Cruzada		98,81	75,81	78,80	63,34
	12 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	459,74	957,58	458,47	459,64	424,81
		Media	194,14	217,66	168,36	191,88	169,29
		Desviacion Standard	165,64	171,73	130,55	98,79	125,69
		Varianza	27438,71	29491,95	17044,67	9760,46	15800,05
		Validacion Cruzada		91,00	100,72	121,47	91,13
	24 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	478,78	988,21	477,66	478,68	445,11
		Media	202,66	225,12	175,29	200,09	176,22
		Desviacion Standard	172,46	173,65	136,73	103,55	131,94
		Varianza	29745,28	30154,56	18696,83	10723,00	17409,60
		Validacion Cruzada		96,52	98,68	119,66	88,16
IDA 2009	1 hora acumulada	Valor Maximo de Registro (mm)	160,6	253,00	158,19	160,31	123,71
		Media	57,87	57,03	59,04	61,95	57,61
		Desviacion Standard	44,96	44,51	26,77	22,35	22,97
		Varianza	2021,85	1981,16	716,99	499,52	527,92
		Validacion Cruzada		-5,81	-8,46	-0,11	-36,70
	6 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	241,2	372,72	237,55	240,77	186,55
		Media	80,89	76,18	82,90	87,52	80,98
		Desviacion Standard	66,92	69,97	40,57	34,65	35,25
		Varianza	4478,9	4896,59	1646,58	1201,15	1242,79
		Validacion Cruzada		-21,08	-1,77	14,07	-34,11
	12 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	257,5	394,78	253,68	257,04	200,02
		Media	83,58	75,89	86,34	91,38	84,24
		Desviacion Standard	73,51	78,72	45,36	38,38	39,72
		Varianza	5404,03	6198,24	2057,61	1473,20	1577,81
		Validacion Cruzada		-34,89	5,50	27,06	-28,22
	24 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	415,8	556,83	412,04	415,27	354,96
		Media	159,04	128,54	157,90	174,27	156,56
		Desviacion Standard	135,83	144,03	88,86	76,94	82,23
		Varianza	18451,51	20744,75	7897,67	5921,04	6762,29
		Validacion Cruzada		-89,79	99,14	219,79	87,57

Tabla 4. 14 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Horarias, para Tormentas Stan (2005), Ida (2009)

CUADRO DE RESULTADO DE REPORTES DE CADA METODO DE INTERPOLACION Y VALIDACION CRUZADA PARA LLUVIAS HORARIAS							
EVENTO			Datos de Registro Reales	Mínima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
AGATHA 2010	1 hora acumulada	Valor Maximo de Registro (mm)	2188,6	3827,46	2129,43	2178,39	1521,13
		Media	304,31	56,13	275,91	311,67	273,24
		Desviacion Standard	606,61	1122,39	411,90	292,24	346,39
		Varianza	367981,31	1259760,38	169662,62	85406,18	119989,30
		Validacion Cruzada		-222,43	-517,09	-820,50	-521,12
	6 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	2564,7	4505,10	2495,69	2552,74	1784,36
		Media	365,17	75,36	330,46	371,80	327,43
		Desviacion Standard	712,43	1331,53	484,91	342,54	408,44
		Varianza	507559,51	1772978,87	235141,87	117336,22	166829,17
		Validacion Cruzada		-265,65	-633,34	-998,98	-652,12
	12 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	2973,5	5235,52	2894,40	2959,60	2079,05
		Media	409,45	48,94	364,26	415,85	361,11
		Desviacion Standard	814,83	1563,61	559,96	394,00	471,61
		Varianza	663954,66	2444907,33	313555,43	155238,46	222420,57
		Validacion Cruzada		-381,72	-745,71	-1142,31	-795,84
	24 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	3021,8	5325,97	2941,59	3007,67	2114,90
		Media	425,01	44,23	368,11	421,12	365,01
		Desviacion Standard	827,02	1595,61	569,48	400,22	479,73
		Varianza	683978,29	2545999,49	324317,17	160178,49	230141,49
		Validacion Cruzada		-394,26	-760,47	-1161,25	-815,13
DT-12E 2011	1 hora acumulada	Valor Maximo de Registro (mm)	1000,7	1860,78	974,23	996,51	740,14
		Media	231,33	135,51	188,86	224,51	191,07
		Desviacion Standard	294,16	530,19	220,89	141,62	190,62
		Varianza	86534,48	281101,48	48796,28	20057,69	36339,04
		Validacion Cruzada		131,44	-249,89	-207,61	-447,03
	6 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	1397,3	2579,72	1360,20	1391,31	1021,38
		Media	288,49	148,63	237,00	285,06	239,14
		Desviacion Standard	389,52	723,39	289,10	187,19	245,96
		Varianza	151729,28	523295,34	83582,39	35040,15	60501,18
		Validacion Cruzada		74,05	-279,51	-234,82	-511,79
	12 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	2023	3703,60	1970,37	2014,19	1468,96
		Media	367,4	172,02	307,18	370,57	308,64
		Desviacion Standard	544,5	989,23	394,42	263,00	333,09
		Varianza	296486,51	978581,46	156013,99	69169,37	110953,24
		Validacion Cruzada		22,09	-381,87	-331,46	-694,05
	24 horas acumuladas	Valor Maximo de Registro (mm)	2708,6	4910,61	2637,98	2696,57	1951,23
		Media	437,06	156,93	365,44	444,91	366,09
		Desviacion Standard	720,74	1305,76	528,99	351,95	437,56
		Varianza	519470,44	1705026,36	169369,09	123871,38	191464,72
		Validacion Cruzada		-74,97	-529,26	-492,64	-902,49

Tabla 4. 15 Tabla Resumen de Datos Estadísticos y Validación Cruzada para Lluvias Horarias, para Tormentas Agatha (2010), DT 12-E (2011)

#### 4.4.2 Matriz Evaluativa

Para la obtención de resultados se ha elaborado una Matriz Evaluativa que servirá como un recurso práctico al momento de poder elegir un Método de Interpolación como el ideal para la generación de mapas y el estudio para los diferentes tipos de Lluvia Diaria como Horaria.

En nuestro caso se evaluarán los datos estadísticos resultantes por cada método y se compararán con los valores obtenidos de los registros reales de precipitación y así poder darle un valor cuantitativo a cada día de estudio; para el caso de Lluvias Diarias se evaluaron 12 días por cada Método que representan los valores Máximos de Precipitación Registrados, con lo que se obtuvieron un total de 48 Mapas Generados los cuales cada uno obtuvo un Reporte Final según el Método que se utilizó.

Para el caso de Lluvia Horaria se analizaron los 4 eventos y en cada uno se analizó el día más crítico, analizando para 1, 6, 12 y 24 horas generando un total de 64 mapas para su estudio. Para definir cuál sería el mejor método a utilizar se optó como recurso la comparación de resultados por ejemplo tenemos que para una fecha en particular los valores estadísticos reales y los obtenidos por la interpolación de cada método son los siguientes:

	Datos de Registro Reales	Mínima Curvatura	Kriging	Distancia Inversa Ponderada	Funciones de Base Radial
Valor Máximo de Registro	96,4	96,45	92,30	95,55	57,09
Media	7,2	-2,45	3,47	6,85	9,53
Desviación Standard	16,51	24,82	10,59	8,59	9,53
Varianza	272,48	616,21	112,29	73,94	90,83
Validación Cruzada		9,80	71,20	93,98	93,64

Tabla 4. 16 Ejemplo de Valores Estadísticos a Comparar para Lluvia Aislada con fecha 14 de mayo de 2010

Como se observa en la tabla anterior tenemos valores reales de (Valor Máximo de Registro, Media, Desviación Standard y Varianza) que son obtenidos de los registro de precipitación, y tenemos los mismos datos obtenidos por la interpolación de cada método de precipitación.

Lo que se pretende obtener es que el método de interpolación gracias a su algoritmo utilizado se acerque tanto como pueda a los valores reales y para darle la calificación cuantitativa, se comparó cada uno de los parámetros buscando que estos se acerquen a la unidad por ejemplo:

- Para la Media

$$Media = \frac{Valor\ Obtenido\ por\ el\ Método}{Valor\ de\ Real}$$

$$Media\ para\ X\ método = \frac{6.85}{7.2} = 0.95$$

Este valor lo que nos dice es que el valor generado por el método está un 95% más cercano al valor original.

Y así se generaron esas puntuaciones para cada parámetro y para cada método.

Al final la suma de los porcentajes de los parámetros debe sumar 4 y para poder elegir un método se hará con los que al final sumen un total de 4 o el más cercano posible, sin bajar de una puntuación de 3.

Después de ello se verificará dentro de cada método cuantos de los 12 mapas generados cumplen con esta calificación y así ir delimitando cual será el método al final.

#### 4.4.2.1 Lluvia Diaria

##### 4.4.2.1.1 Aisladas

ASPECTOS A EVALUAR	MINIMA CURVATURA												KRIGING											
	14-may-10	28-nov-10	11-abr-11	01-jun-11	17-oct-12	06-nov-12	29-abr-13	19-may-13	09-may-14	07-jun-14	03-abr-15	24-may-15	14-may-10	28-nov-10	11-abr-11	01-jun-11	17-oct-12	06-nov-12	29-abr-13	19-may-13	09-may-14	07-jun-14	03-abr-15	24-may-15
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																								
Valor Máximo de Precipitación	1,00	1,00	1,37	1,16	2,99	1,04	1,00	1,01	1,48	1,34	3,15	2,29	0,96	0,94	0,89	1,00	0,93	0,96	0,97	0,92	0,98	1,04	0,94	0,98
Media	-0,34	0,67	1,04	0,75	0,05	0,99	1,41	0,76	0,48	0,83	0,93	0,78	0,48	0,69	0,93	0,78	0,70	1,07	1,86	1,14	0,88	0,75	0,98	0,94
Desviación Standard	1,50	0,89	0,99	0,82	1,75	1,00	1,27	1,13	0,95	0,86	1,86	1,56	0,64	0,70	0,73	0,75	0,60	0,74	0,98	0,69	0,68	0,82	0,73	0,81
Varianza	2,26	0,79	0,98	0,67	3,06	1,01	1,61	1,36	0,90	0,74	3,46	2,44	0,41	0,49	0,53	0,56	0,36	0,54	0,97	0,51	0,46	0,68	0,54	0,66
Sub Total	4,43	3,35	4,38	3,41	7,85	4,04	5,29	4,26	3,80	3,77	9,40	7,07	2,49	2,81	3,09	3,09	2,59	3,31	4,78	3,26	3,00	3,29	3,19	3,40

Tabla 4. 17 Matriz de Resultados para Lluvias Aisladas, Métodos Mínima Curvatura y Kriging

	DISTANCIA INVERSA PONDERADA												FUNCIONES DE BASE RADIAL											
	14-may-10	28-nov-10	11-abr-11	01-jun-11	17-oct-12	06-nov-12	29-abr-13	19-may-13	09-may-14	07-jun-14	03-abr-15	24-may-15	14-may-10	28-nov-10	11-abr-11	01-jun-11	17-oct-12	06-nov-12	29-abr-13	19-may-13	09-may-14	07-jun-14	03-abr-15	24-may-15
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																								
Valor Máximo de Precipitación	0,99	0,98	0,82	1,00	0,92	0,98	0,96	0,88	0,99	0,97	0,97	0,98	0,59	0,60	0,69	0,89	0,74	0,63	0,89	0,66	0,78	0,79	0,69	0,87
Media	0,95	0,91	0,93	0,88	0,94	1,16	1,37	1,09	0,94	1,02	1,01	1,02	1,32	0,68	0,93	0,78	0,98	1,09	1,96	1,17	0,88	1,14	1,02	0,96
Desviación Standard	0,52	0,51	0,54	0,58	0,41	0,51	0,64	0,50	0,39	0,52	0,54	0,55	0,58	0,67	0,71	0,73	0,69	0,69	1,02	0,67	0,62	0,74	0,72	0,78
Varianza	0,27	0,26	0,30	0,34	0,17	0,26	0,41	0,27	0,15	0,27	0,29	0,30	0,33	0,45	0,50	0,54	0,47	0,47	1,03	0,47	0,39	0,54	0,51	0,61
Sub Total	2,73	2,67	2,59	2,80	2,44	2,91	3,37	2,74	2,47	2,78	2,81	2,84	2,83	2,40	2,82	2,95	2,87	2,87	4,90	2,97	2,67	3,21	2,94	3,22

Tabla 4. 18 Matriz de Resultados para Lluvias Aisladas, Métodos Distancia Inversa Ponderada y Funciones de Base Radial

#### 4.4.2.1.2 Dispersas

ASPECTOS A EVALUAR	MINIMA CURVATURA											KRIGING												
	18-may-10	30-jul-10	23-abr-11	30-ago-11	18-jul-12	02-sep-12	26-may-13	18-sep-13	19-jun-14	25-oct-14	28-sep-15	09-oct-15	18-may-10	30-jul-10	23-abr-11	30-ago-11	18-jul-12	02-sep-12	26-may-13	18-sep-13	19-jun-14	25-oct-14	28-sep-15	09-oct-15
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA (60%)																								
Valor Máximo de Precipitación	1,32	1,60	1,00	1,15	1,00	1,65	1,29	1,45	1,02	1,01	1,74	4,24	0,95	0,98	0,94	0,93	0,93	0,98	0,99	0,98	0,90	0,98	0,96	0,88
Media	0,97	0,73	0,56	1,02	0,72	1,01	0,71	0,80	0,45	1,04	0,60	1,02	1,09	0,83	0,79	0,93	0,76	0,96	1,07	1,28	0,51	1,10	0,84	0,76
Desviación Standard	1,12	1,26	0,98	0,94	0,98	1,10	1,75	1,71	0,83	1,08	1,43	1,79	0,77	0,68	0,62	0,57	0,78	0,78	0,85	0,89	0,68	0,84	0,75	0,72
Varianza	1,25	1,59	0,96	0,88	0,95	1,22	3,06	2,92	0,68	1,18	2,05	3,19	0,60	0,46	0,38	0,32	0,61	0,61	0,72	0,79	0,46	0,70	0,57	0,51
Sub Total	4,65	5,18	3,49	3,98	3,65	4,98	6,81	6,89	2,98	4,31	5,82	10,25	3,42	2,96	2,73	2,74	3,08	3,33	3,63	3,94	2,55	3,62	3,12	2,86

Tabla 4. 19 Matriz de Resultados para Lluvias Dispersas, Métodos Mínima Curvatura y Kriging

	DISTANCIA INVERSA PONDERADA											FUNCIONES DE BASE RADIAL												
	18-may-10	30-jul-10	23-abr-11	30-ago-11	18-jul-12	02-sep-12	26-may-13	18-sep-13	19-jun-14	25-oct-14	28-sep-15	09-oct-15	18-may-10	30-jul-10	23-abr-11	30-ago-11	18-jul-12	02-sep-12	26-may-13	18-sep-13	19-jun-14	25-oct-14	28-sep-15	09-oct-15
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																								
Valor Máximo de Precipitación	0,98	0,99	0,97	0,96	0,94	0,99	1,00	0,93	0,91	0,98	0,97	0,90	0,75	0,82	0,81	0,57	0,70	0,79	0,83	0,87	0,73	0,88	0,72	0,79
Media	0,99	0,94	0,95	0,92	0,92	1,03	1,03	1,05	0,92	1,12	0,98	0,96	1,09	0,84	0,83	0,90	0,79	0,92	1,10	1,22	0,58	1,17	0,86	0,74
Desviación Standard	0,48	0,51	0,44	0,41	0,53	0,65	0,62	0,48	0,42	0,49	0,50	0,49	0,72	0,63	0,57	0,52	0,74	0,73	0,82	0,82	0,61	0,78	0,73	0,68
Varianza	0,23	0,26	0,19	0,17	0,28	0,42	0,38	0,23	0,17	0,24	0,25	0,25	0,52	0,39	0,32	0,27	0,54	0,54	0,68	0,67	0,37	0,62	0,54	0,46
Sub Total	2,69	2,71	2,55	2,47	2,66	3,08	3,03	2,69	2,41	2,83	2,69	2,60	3,08	2,68	2,53	2,26	2,77	2,98	3,42	3,58	2,28	3,45	2,85	2,67

Tabla 4. 20 Matriz de Resultados para Lluvias Dispersas Métodos Distancia Inversa Ponderada y Funciones de Base Radial

#### 4.4.2.1.3 Generalizadas

ASPECTOS A EVALUAR	MINIMA CURVATURA											KRIGING												
	30-may-10	27-sep-10	01-ago-11	12-oct-11	22-sep-12	10-oct-12	29-jun-13	12-sep-13	01-jun-14	15-oct-14	18-oct-15	21-nov-15	30-may-10	27-sep-10	01-ago-11	12-oct-11	22-sep-12	10-oct-12	29-jun-13	12-sep-13	01-jun-14	15-oct-14	18-oct-15	21-nov-15
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA (80%)																								
Valor Máximo de Precipitación	1,00	3,53	2,35	1,02	1,46	1,03	1,00	1,52	2,38	1,53	1,22	1,42	0,96	0,95	0,94	0,99	0,94	0,94	0,96	0,97	0,88	0,99	0,94	0,98
Media	0,74	0,76	1,04	0,80	1,01	0,81	1,05	1,04	0,99	1,41	1,05	1,16	0,85	0,84	1,05	0,86	0,95	0,93	1,09	1,01	0,96	1,18	0,93	1,06
Desviación Standard	0,91	1,61	1,34	0,97	0,90	1,48	1,19	1,29	1,40	1,45	1,31	1,17	0,66	0,74	0,62	0,68	0,61	0,76	0,66	1,00	0,79	1,05	1,01	0,75
Varianza	0,82	2,59	1,80	0,95	0,82	2,18	1,41	1,67	1,97	2,09	1,72	1,38	0,43	0,55	0,39	0,46	0,37	0,58	0,44	0,99	0,63	1,10	1,02	0,56
sub total	3,47	8,50	6,53	3,74	4,19	5,49	4,64	5,52	6,75	6,48	5,30	5,13	2,90	3,09	3,00	2,98	2,87	3,20	3,15	3,97	3,27	4,32	3,90	3,35

Tabla 4. 21 Matriz de Resultados para Lluvias Generalizadas, Métodos Mínima Curvatura y Kriging

ASPECTOS A EVALUAR	DISTANCIA INVERSA PONDERADA											FUNCIONES DE BASE RADIAL												
	30-may-10	27-sep-10	01-ago-11	12-oct-11	22-sep-12	10-oct-12	29-jun-13	12-sep-13	01-jun-14	15-oct-14	18-oct-15	21-nov-15	30-may-10	27-sep-10	01-ago-11	12-oct-11	22-sep-12	10-oct-12	29-jun-13	12-sep-13	01-jun-14	15-oct-14	18-oct-15	21-nov-15
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																								
Valor Máximo de Precipitación	0,99	0,96	0,97	0,80	0,87	0,96	0,97	0,90	0,93	0,99	0,89	0,98	0,82	0,81	0,79	0,60	0,77	0,84	0,84	0,89	0,83	0,92	0,74	0,91
Media	0,91	0,99	0,99	0,93	1,00	1,01	1,03	0,96	0,96	1,02	0,95	1,00	0,83	0,85	1,04	0,85	0,97	0,93	1,05	1,02	1,00	1,18	0,92	1,08
Desviación Standard	0,52	0,49	0,38	0,53	0,44	0,42	0,43	0,54	0,50	0,63	0,52	0,41	0,63	0,72	0,53	0,64	0,55	0,71	0,63	1,01	0,77	1,04	0,93	0,69
Varianza	0,27	0,24	0,14	0,28	0,19	0,18	0,18	0,29	0,25	0,39	0,27	0,17	0,40	0,51	0,28	0,41	0,30	0,51	0,39	1,03	0,59	1,08	0,87	0,48
sub total	2,69	2,67	2,48	2,55	2,51	2,57	2,61	2,69	2,64	3,04	2,64	2,56	2,68	2,88	2,65	2,50	2,59	3,00	2,91	3,96	3,19	4,22	3,47	3,16

Tabla 4. 22 Matriz de Resultados para Lluvias Generalizadas, Métodos Distancia Inversa Ponderada y Funciones de Base Radial

#### 4.4.2.4 Lluvia Horaria

ASPECTOS A EVALUAR	MINIMA CURVATURA																
	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	
	STAN				IDA				AGATHA				DT-12E				
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																	
Valor Máximo de Precipitación	1,77	2,26	2,08	2,06	1,58	1,55	1,53	1,34	1,75	1,76	1,76	1,76	1,86	1,85	1,83	1,81	
Media	1,09	1,18	1,12	1,11	0,99	0,94	0,91	0,81	0,18	0,21	0,12	0,10	0,59	0,52	0,47	0,36	
Desviación Standard	0,99	1,10	1,04	1,01	0,99	1,05	1,07	1,06	1,85	1,87	1,92	1,93	1,80	1,86	1,82	1,81	
Varianza	0,99	1,20	1,07	1,01	0,98	1,09	1,15	1,12	3,42	3,49	3,68	3,72	3,25	3,45	3,30	3,28	
Sub Total	4,84	5,74	5,32	5,20	4,53	4,63	4,66	4,33	7,21	7,33	7,48	7,52	7,50	7,67	7,42	7,27	

Tabla 4. 23 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Mínima Curvatura

ASPECTOS A EVALUAR	KRIGING															
	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas
	STAN				IDA				AGATHA				DT-12E			
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																
Valor Máximo de Precipitación	1,00	1,00	1,00	1,00	0,98	0,98	0,99	0,99	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97	0,97
Media	0,87	0,88	0,87	0,86	1,02	1,02	1,03	0,99	0,91	0,90	0,89	0,87	0,82	0,82	0,84	0,84
Desviación Standard	0,81	0,78	0,79	0,79	0,60	0,61	0,62	0,65	0,68	0,68	0,69	0,69	0,75	0,74	0,72	0,73
Varianza	0,66	0,61	0,62	0,63	0,35	0,37	0,38	0,43	0,46	0,46	0,47	0,47	0,56	0,55	0,53	0,33
Sub Total	3,34	3,26	3,27	3,28	2,96	2,98	3,02	3,07	3,02	3,02	3,02	3,00	3,10	3,09	3,06	2,87

Tabla 4. 24 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Kriging

ASPECTOS A EVALUAR	DISTANCIA INVERSA PONDERADA															
	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas
	STAN				IDA				AGATHA				DT-12E			
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																
Valor Máximo de Precipitación	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Media	0,99	0,99	0,99	0,99	1,07	1,08	1,09	1,10	1,02	1,02	1,02	0,99	0,97	0,99	1,01	1,02
Desviación Standard	0,61	0,59	0,60	0,60	0,50	0,52	0,52	0,57	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,48	0,49
Varianza	0,38	0,35	0,36	0,36	0,25	0,27	0,27	0,32	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,23	0,24
Sub Total	2,98	2,93	2,94	2,95	2,81	2,87	2,89	2,98	2,73	2,73	2,73	2,70	2,68	2,70	2,72	2,74

Tabla 4. 25 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Distancia Inversa Ponderada

ASPECTOS A EVALUAR	FUNCIONES DE BASE RADIAL															
	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas	1 hora acumulada	6 horas acumuladas	12 horas acumuladas	24 horas acumuladas
	STAN				IDA				AGATHA				DT-12E			
I. ESTADISTICA DESCRIPTIVA																
Valor Máximo de Precipitación	0,93	0,92	0,92	0,93	0,77	0,77	0,78	0,85	0,70	0,70	0,70	0,70	0,74	0,73	0,73	0,72
Media	0,62	0,88	0,87	0,87	1,00	1,00	1,01	0,98	0,90	0,90	0,88	0,86	0,83	0,83	0,84	0,84
Desviación Standard	0,79	0,75	0,76	0,77	0,51	0,53	0,54	0,61	0,57	0,57	0,58	0,58	0,65	0,63	0,61	0,61
Varianza	0,62	0,56	0,58	0,59	0,26	0,28	0,29	0,37	0,33	0,33	0,33	0,34	0,42	0,40	0,37	0,37
Sub Total	2,96	3,11	3,13	3,15	2,54	2,58	2,62	2,81	2,49	2,49	2,49	2,48	2,63	2,59	2,55	2,53

Tabla 4. 26 Matriz de Resultados para Lluvias Horaria (Cada una de las tormentas), Método Funciones de Base Radial

## 4.5 Mapas Seleccionados

Durante los últimos 5 años, la población de los datos de entrada (Pluviómetros) aumentó de 63 a 130 estaciones para registros de lluvia diaria. El parámetro que se tomó como de mayor importancia es el respeto de los datos originales que se ve reflejado en los estadísticos calculados para los nuevos valores de Z interpolados en los nodos por cada método. Como se tiene un total de 4800 nodos se busca que el Z máximo y los estadísticos de la media, varianza y desviación estándar de estos no excedan tanto el Valor Máximo Registrado del día y los estadísticos de los datos de precipitación de entrada.

Con lo anteriormente explicado y el análisis de las matrices, se procede a la selección de los métodos más adecuados para cada tipo de lluvia.

### 4.5.1 Lluvias Aisladas

Para este tipo de Lluvia basándonos en los resultados de la Matriz Evaluativa, podemos ver que 8 de los 12 días de estudio bajo el Método de interpolación de Kriging cumplen teniendo los valores más cercanos a los estadísticos de los valores reales de entrada, por lo que concluimos que este es el mejor método para este tipo de lluvia en particular, por lo que la DGOA ha utilizado el Método de Interpolación adecuado.

Mapa de Lluvia Aislada  
24 de Mayo de 2015

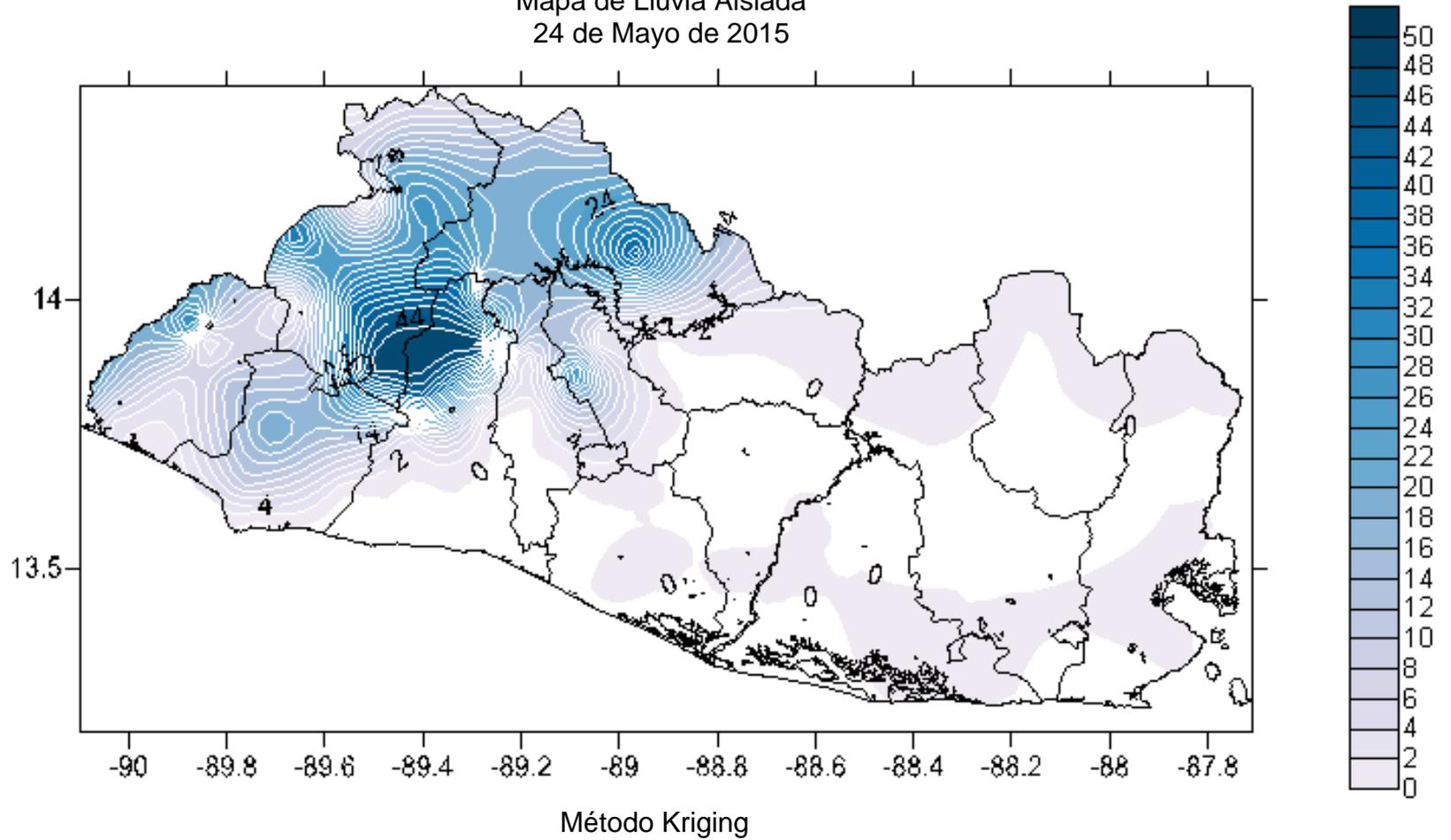


Figura 4. 1 Mapa Resultante de Lluvia Aislada por Método Kriging

Escala de colores  
(mm)

#### 4.5.2 Lluvias Dispersas

Para las lluvias dispersas, de nuevo basándonos en los resultados de la matriz evaluativa, podemos ver que con el Método Kriging 7 de los 12 días de estudio son los valores más cercanos a los valores reales estadísticos, mientras que Mínima Curvatura cumple únicamente con 4 días, Distancia Inversa con 2 días y Funciones de Base Radial con 4 días de 12. Por lo que concluimos que el Método de Kriging es el mejor método para este tipo de Lluvia.

A continuación se presentan un ejemplo de Mapa Generado para el día mejor evaluado.

Mapa de Lluvia Dispersa  
18 de Septiembre de 2013

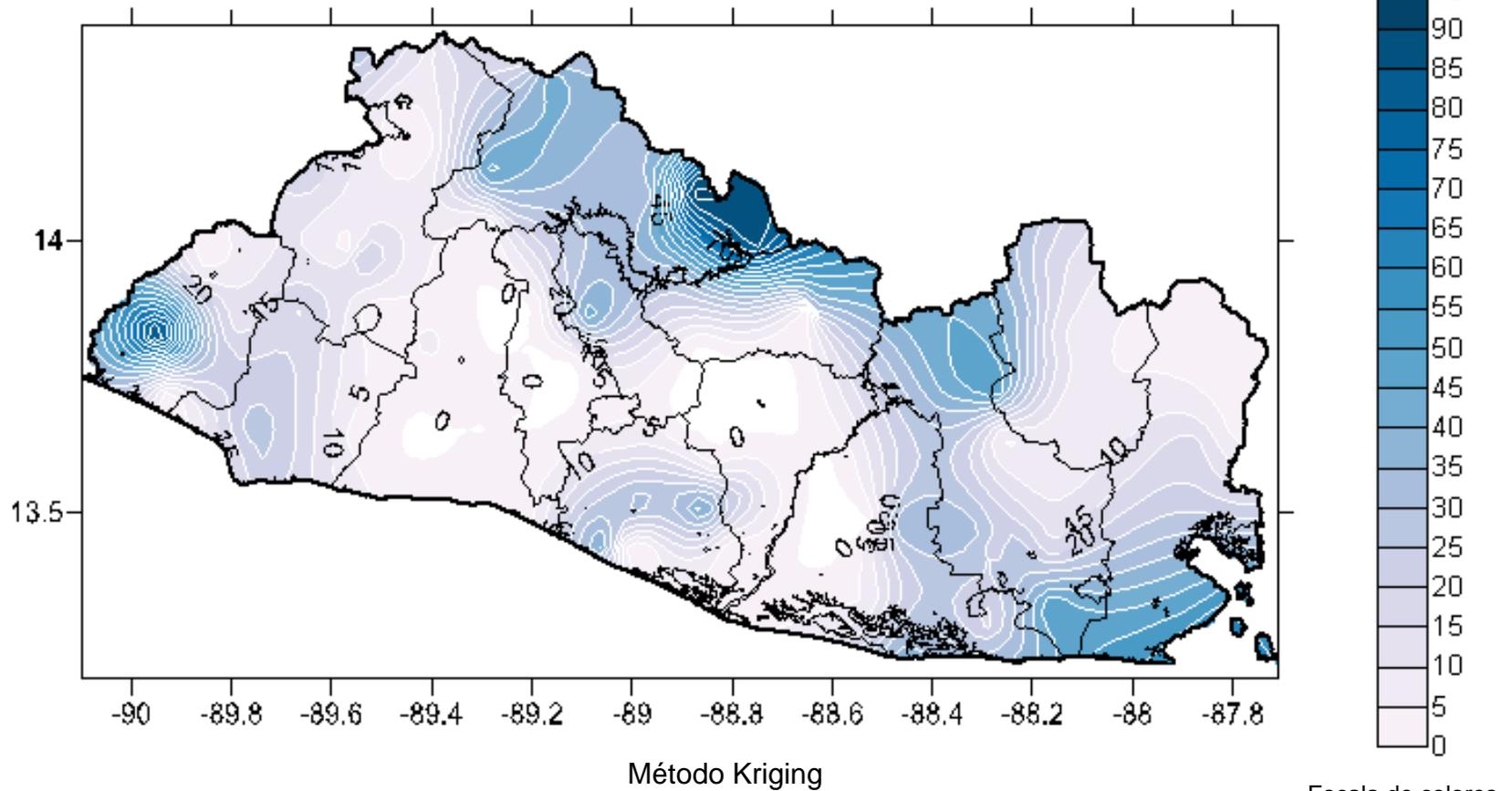


Figura 4. 2 Mapa Resultante de Lluvia Dispersa por Método Kriging

### 4.5.3 Lluvias Generalizadas

Para este tipo de Lluvia basándonos en los resultados de la matriz evaluativa, podemos ver que con el Método Kriging 8 de los 12 días de estudio resultaron tener los valores más cercanos a los valores reales estadísticos, aunque también el Método de Funciones de Base Radial concluyó con 5 de los 12 días evaluados con datos bastante cercanos a los originales, se debe concluir con el método de mayor puntuación que en nuestro caso resulto de nuevo ser el Método de Kriging.

A continuación se presentan un ejemplo de Mapa Generado para el día mejor evaluado.

Mapa de Lluvia Generalizada  
12 de Septiembre de 2013

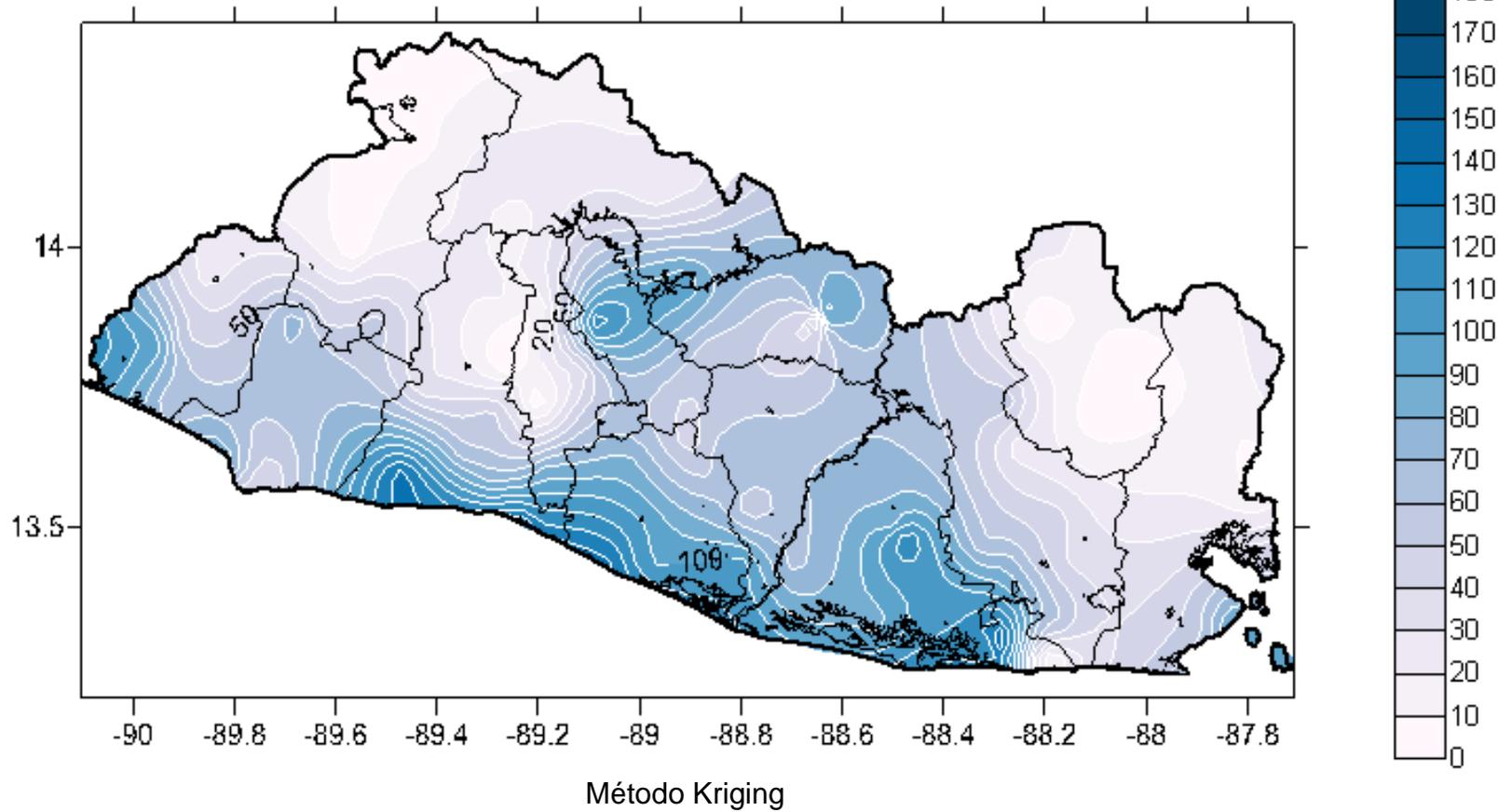


Figura 4. 3 Mapa Resultante de Lluvia Generalizada por Método Kriging

Escala de Colores  
(mm)

#### 4.5.4 Lluvia Horaria (Eventos)

Para el caso de los resultados de los Valores estadísticos se puede concluir que durante el desarrollo completo de la tormenta el Método Kriging ha sido el Método que más ha respetado los datos en el caso del Huracán Stan, Tormenta Agatha y Depresión Tropical 12-E, no hay ninguna duda en cuanto a resultados.

Para el caso del Huracán IDA el Método Kriging solo cumple con 2 horas acumuladas que sobrepasan el puntaje de 3 por lo que se compararon con los demás métodos que tampoco sobrepasan su puntuación de 3 y aun así el método Kriging fue el que mejor comportamiento estadístico obtuvo.

Para el Caso del Método Mínima Curvatura se observa que no respetó los datos de Precipitación Máxima por lo cual se descarta automáticamente y el Método de Distancia Inversa Ponderada cumple con los valores máximo de precipitación pero dentro de su Algoritmo se observa que para los cálculos de los otros parámetros los obtiene casi por la mitad de su valor. Lo anterior dicho se puede ver reflejado en la siguiente tabla resumen:

	STAN	IDA	AGATHA	DT-12E
MC	0/4	0/4	0/4	0/4
Kriging	4/4	2/4	4/4	3/4
DIP	0/4	0/4	0/4	0/4
FBR	¾	0/4	0/4	0/4

Tabla 4. 27 Cuadro resumen del Método más apropiado para cada tipo de evento.

En observación al aspecto visual de los mapas generados, se presentan curvas bastantes suaves que dan aspecto de poca precisión y exactitud de las áreas de precipitación. Esto se debe a que únicamente se contó con información de 13 estaciones de registro de lluvia horaria.

A continuación se presentan los mapas generados por el Método Kriging siendo este el mejor Método para el estudio de estos tipos de eventos.

#### 4.5.4.1 Huracán STAN

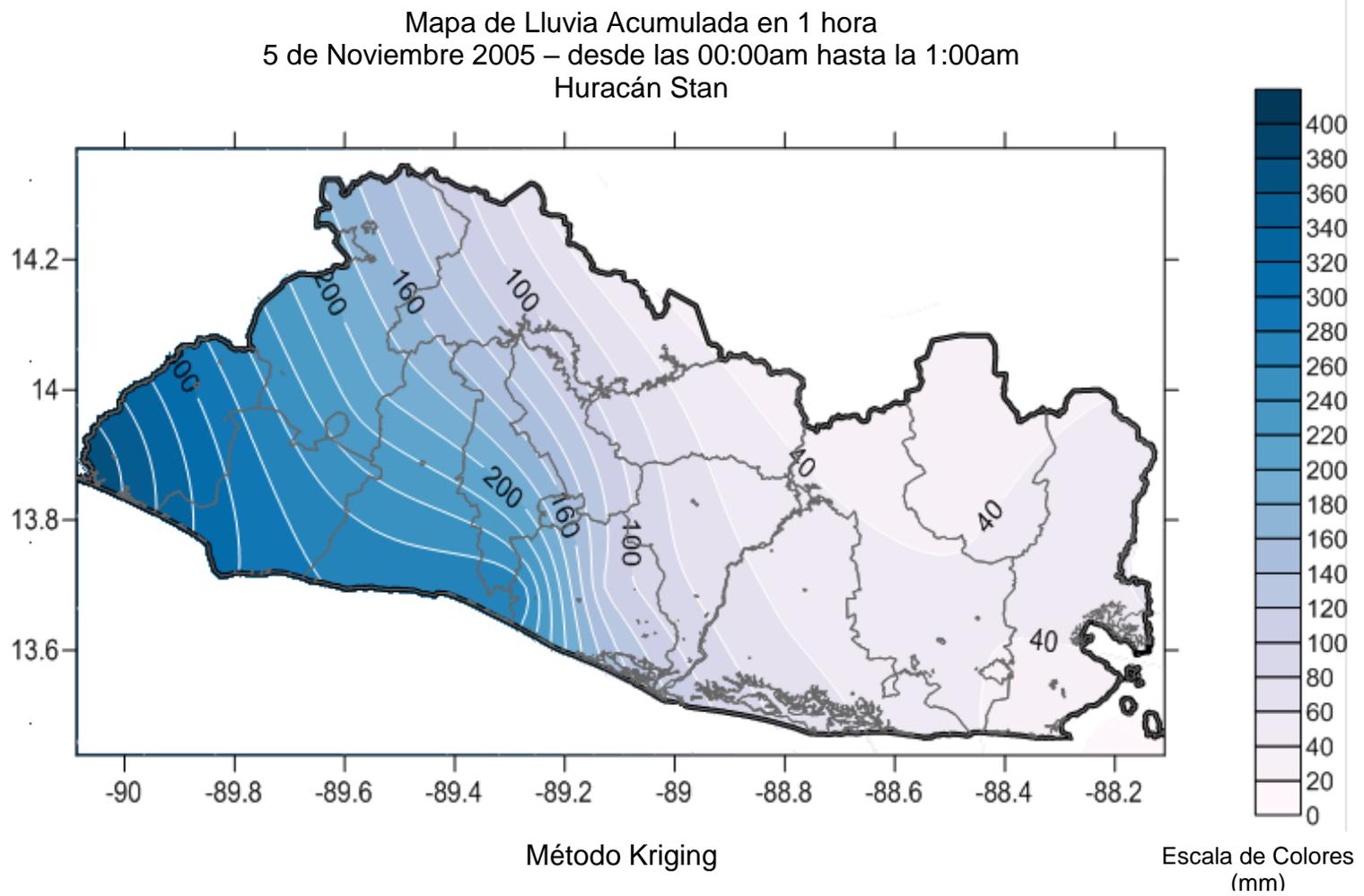


Figura 4. 4 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 1 hora acumulada por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 6 horas  
5 de Noviembre 2005 – desde las 00:00am hasta las 6:00am  
Huracán Stan

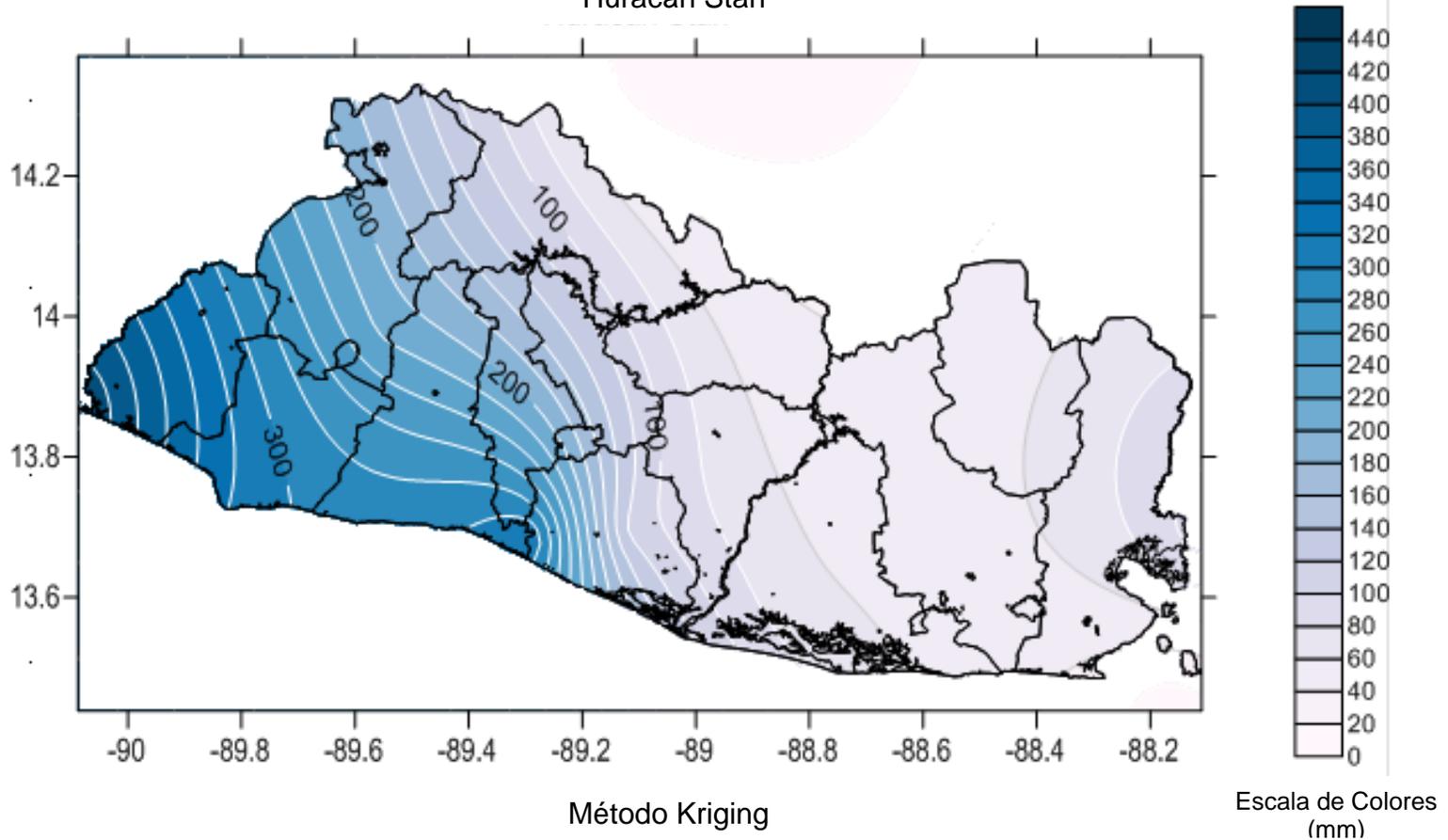


Figura 4. 5 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 6 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 12 horas  
5 de Noviembre 2005 – desde las 00:00am hasta las 12:00pm  
Huracán Stan

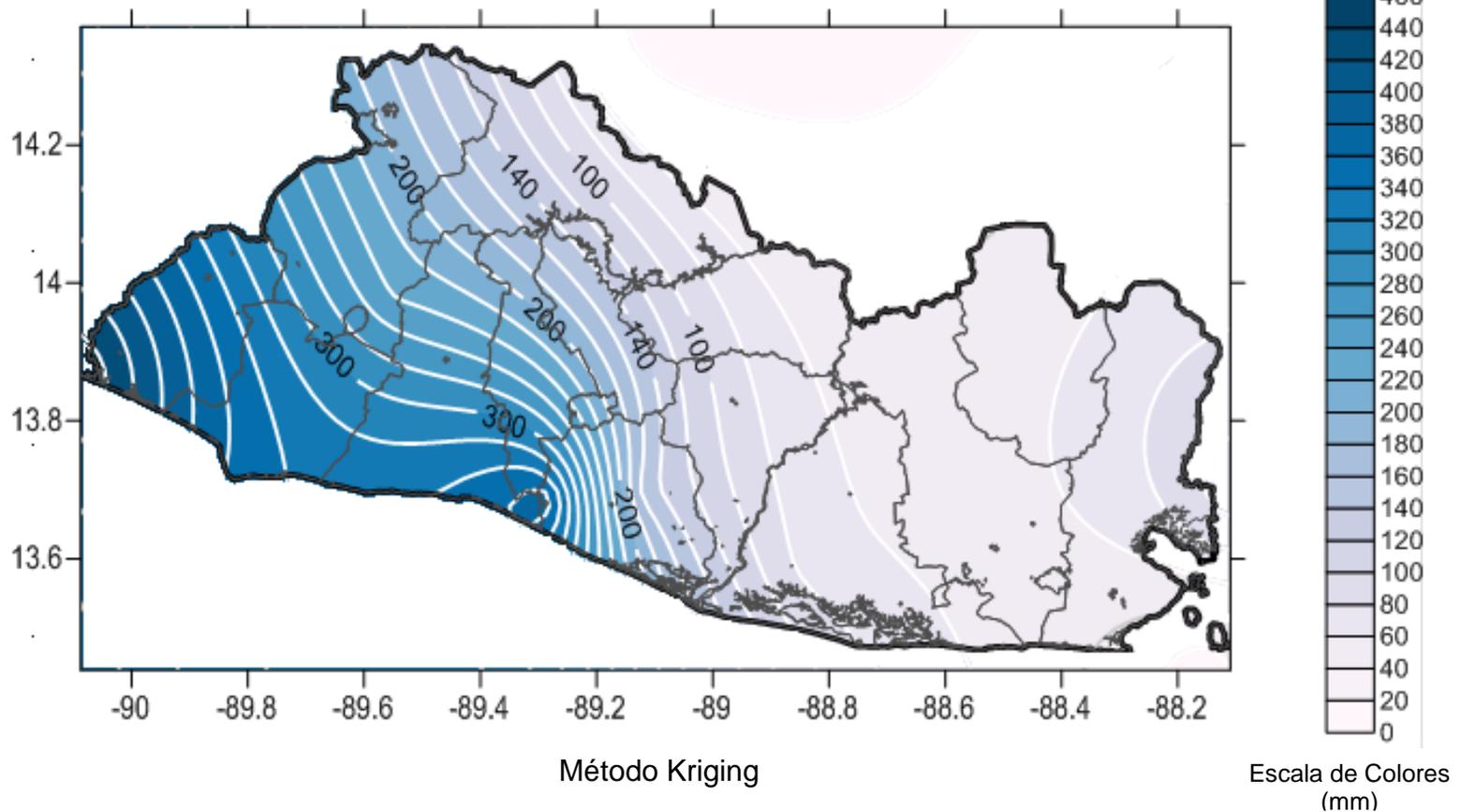


Figura 4. 6 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 12 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 24 horas  
5 de Noviembre 2005 – desde las 00:00am hasta las 23:59pm  
Huracán Stan

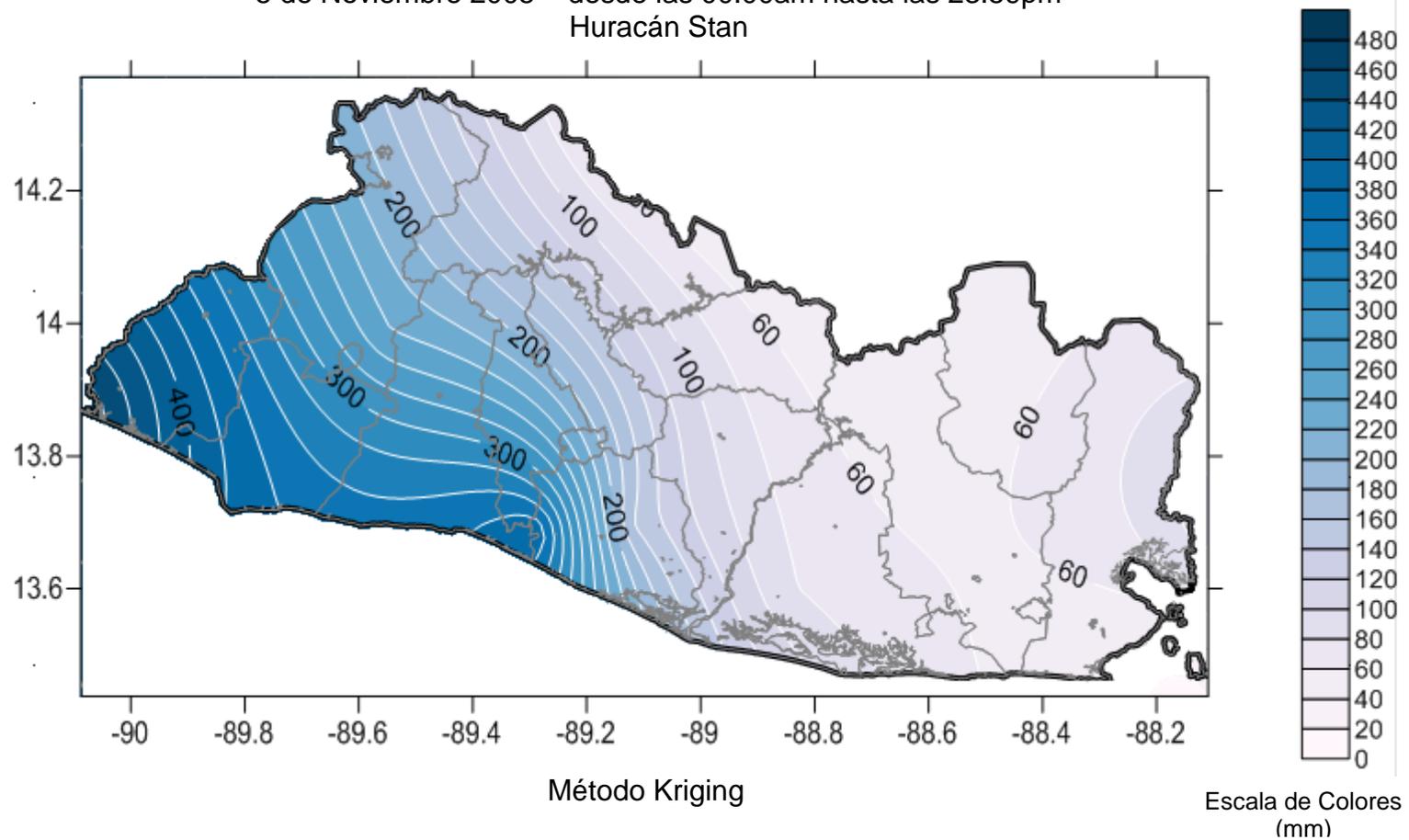


Figura 4. 7 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán STAN para 24 horas acumuladas por Método Kriging

#### 4.5.4.2 Huracán IDA

Mapa de Lluvia Acumulada en 1 hora  
7 de Noviembre 2009 – desde las 00:00am hasta las 1:00am  
Huracán IDA

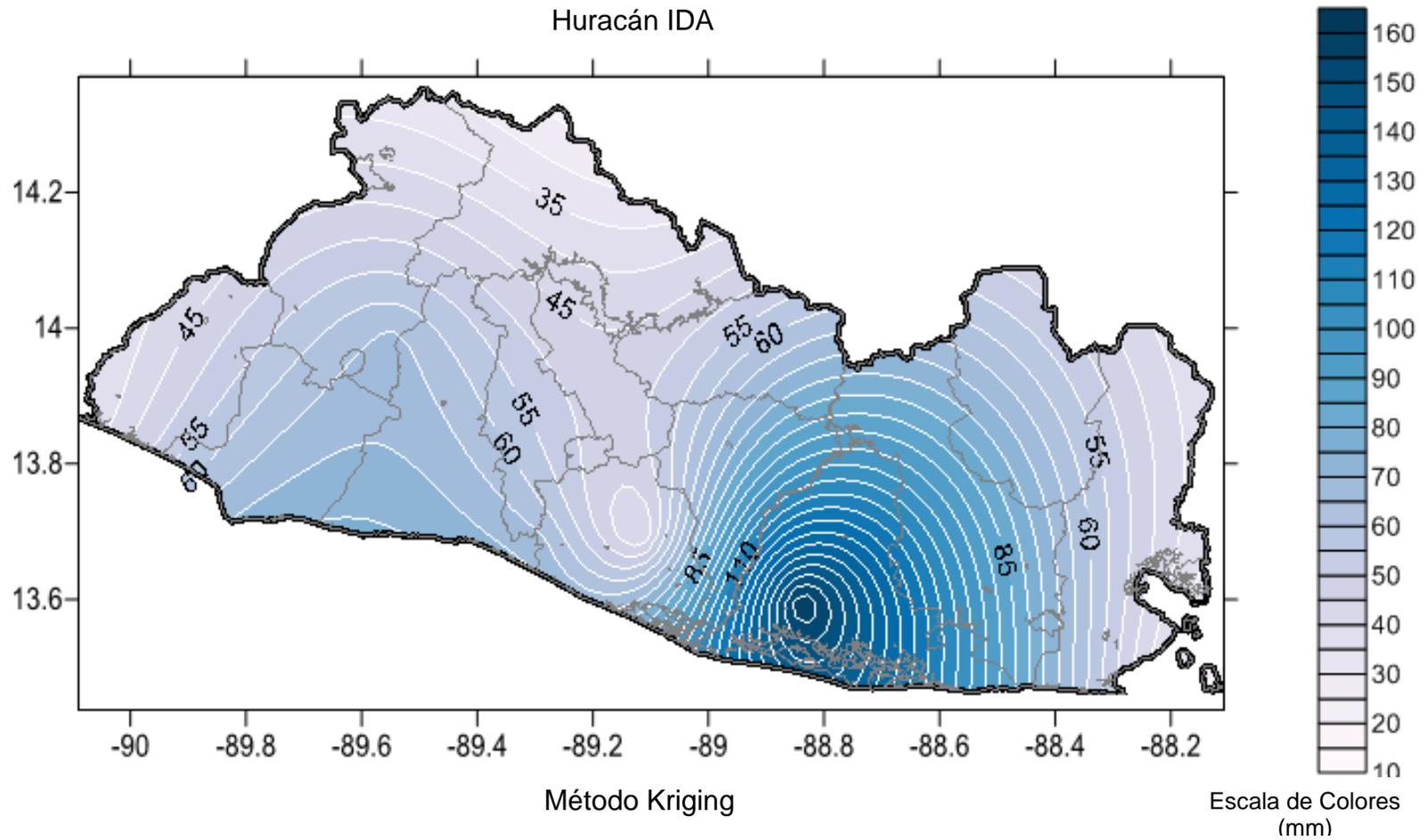


Figura 4. 8 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 1 hora acumulada por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 6 horas  
7 de Noviembre 2009 – desde las 00:00am hasta las 6:00am  
Huracán IDA

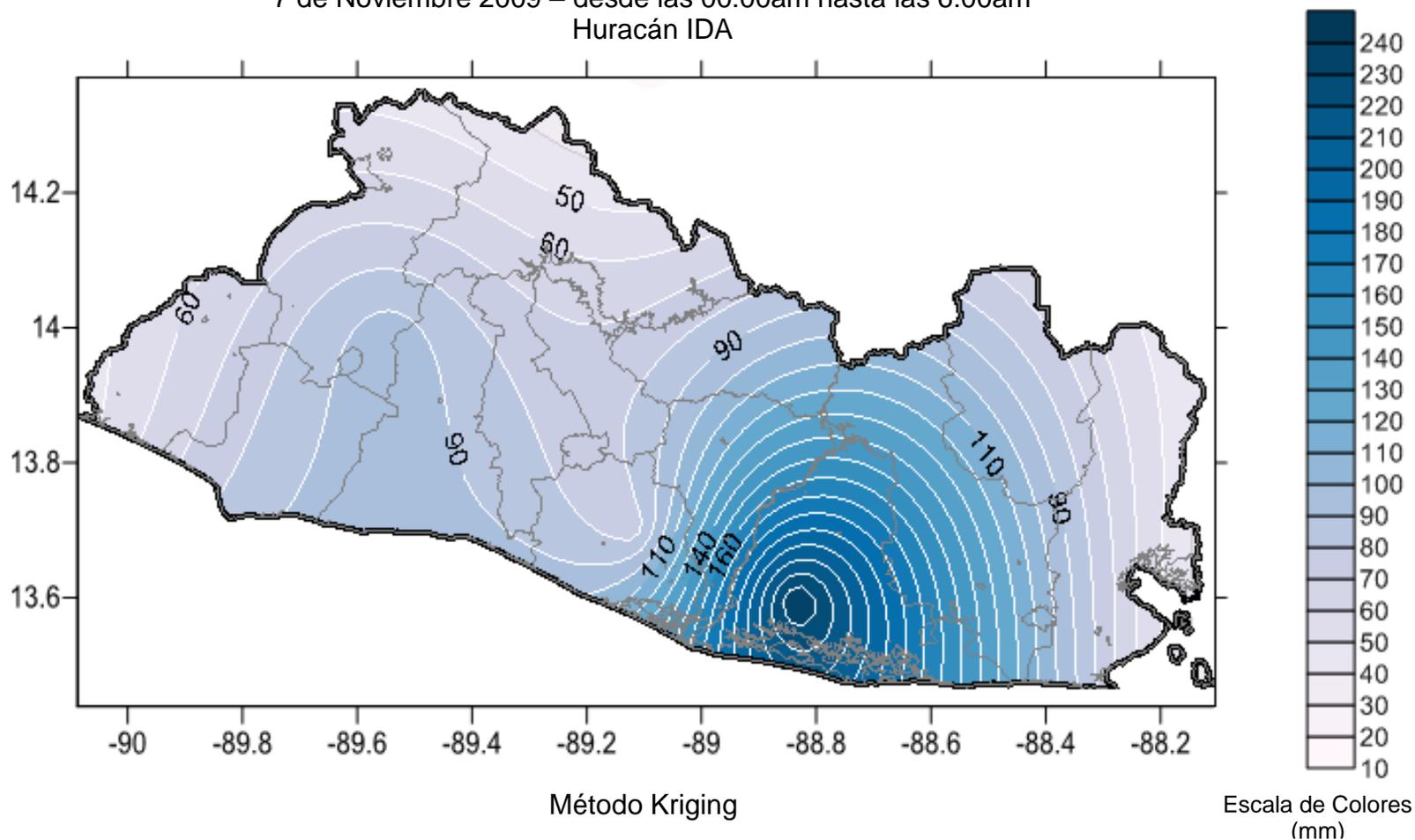


Figura 4. 9 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 6 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 12 horas  
7 de Noviembre 2009 – desde las 00:00am hasta las 12:00pm  
Huracán IDA

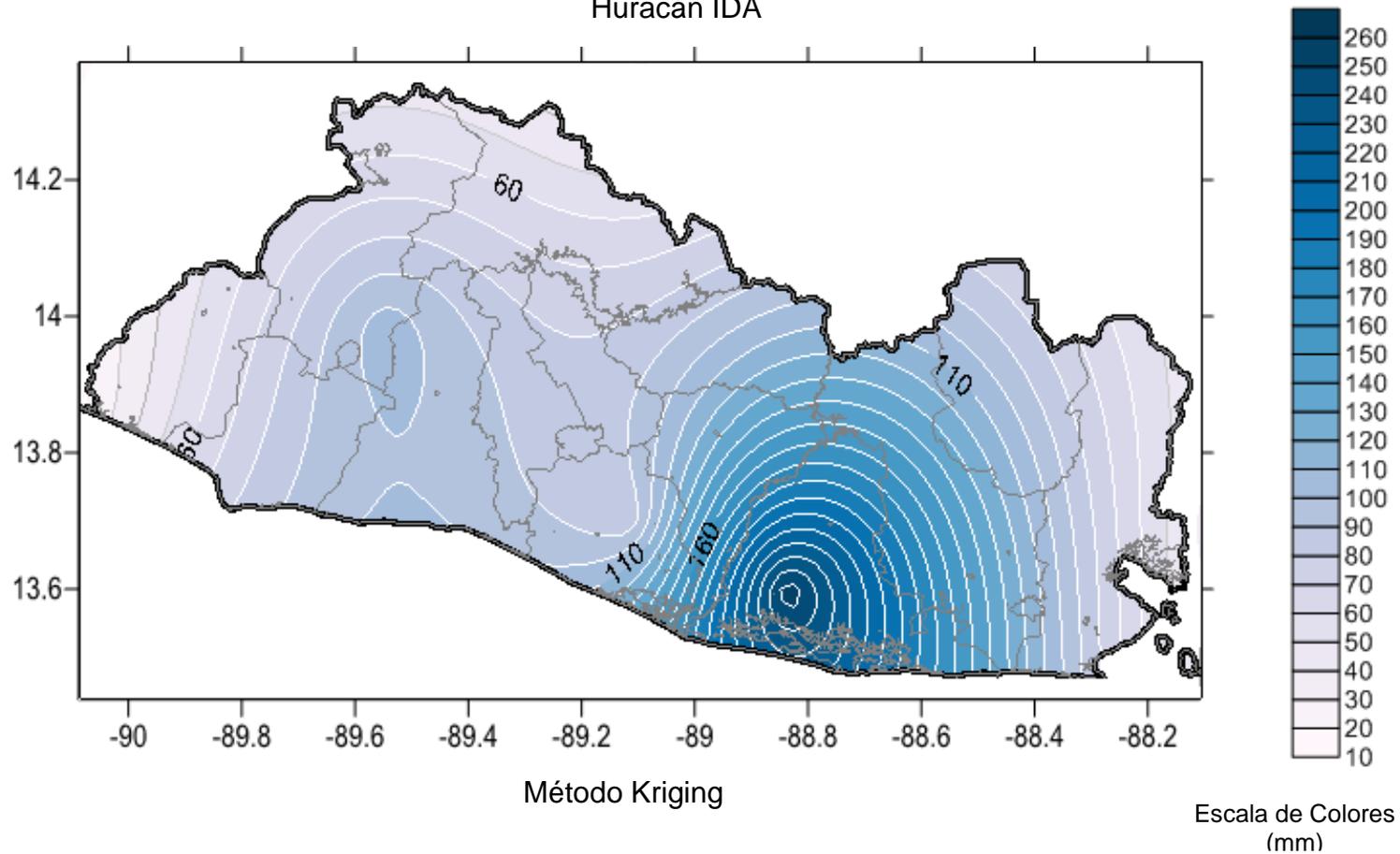


Figura 4. 10 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 12 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 24 horas  
7 de Noviembre 2009 – desde las 00:00am hasta las 23:59pm  
Huracán IDA

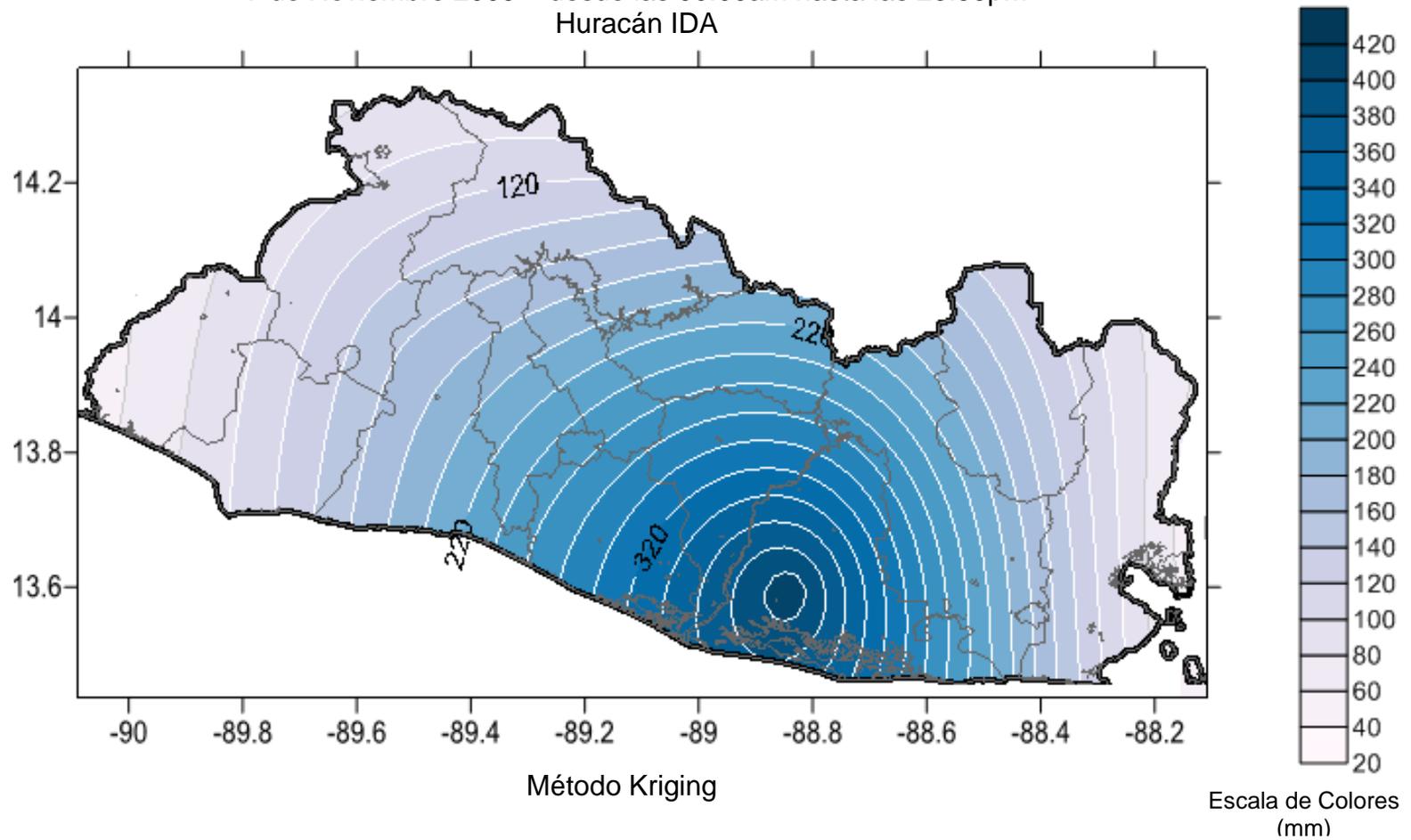


Figura 4. 11 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo del Huracán IDA para 24 horas acumuladas por Método Kriging

#### 4.5.4.3 Tormenta Tropical AGATHA

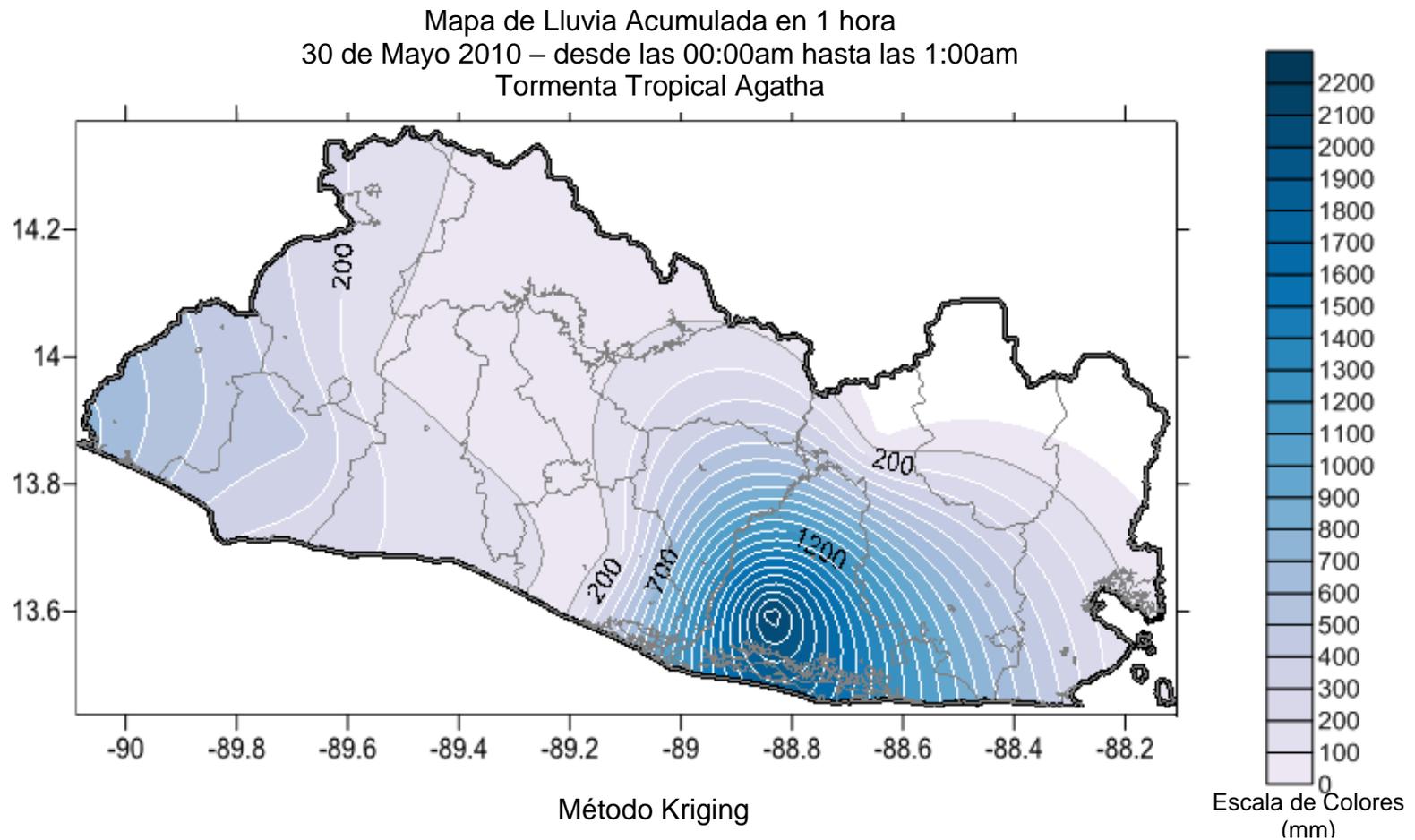


Figura 4. 12 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 1 hora acumulada por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 6 horas  
30 de Mayo 2010 – desde las 00:00am hasta las 6:00am  
Tormenta Tropical Agatha

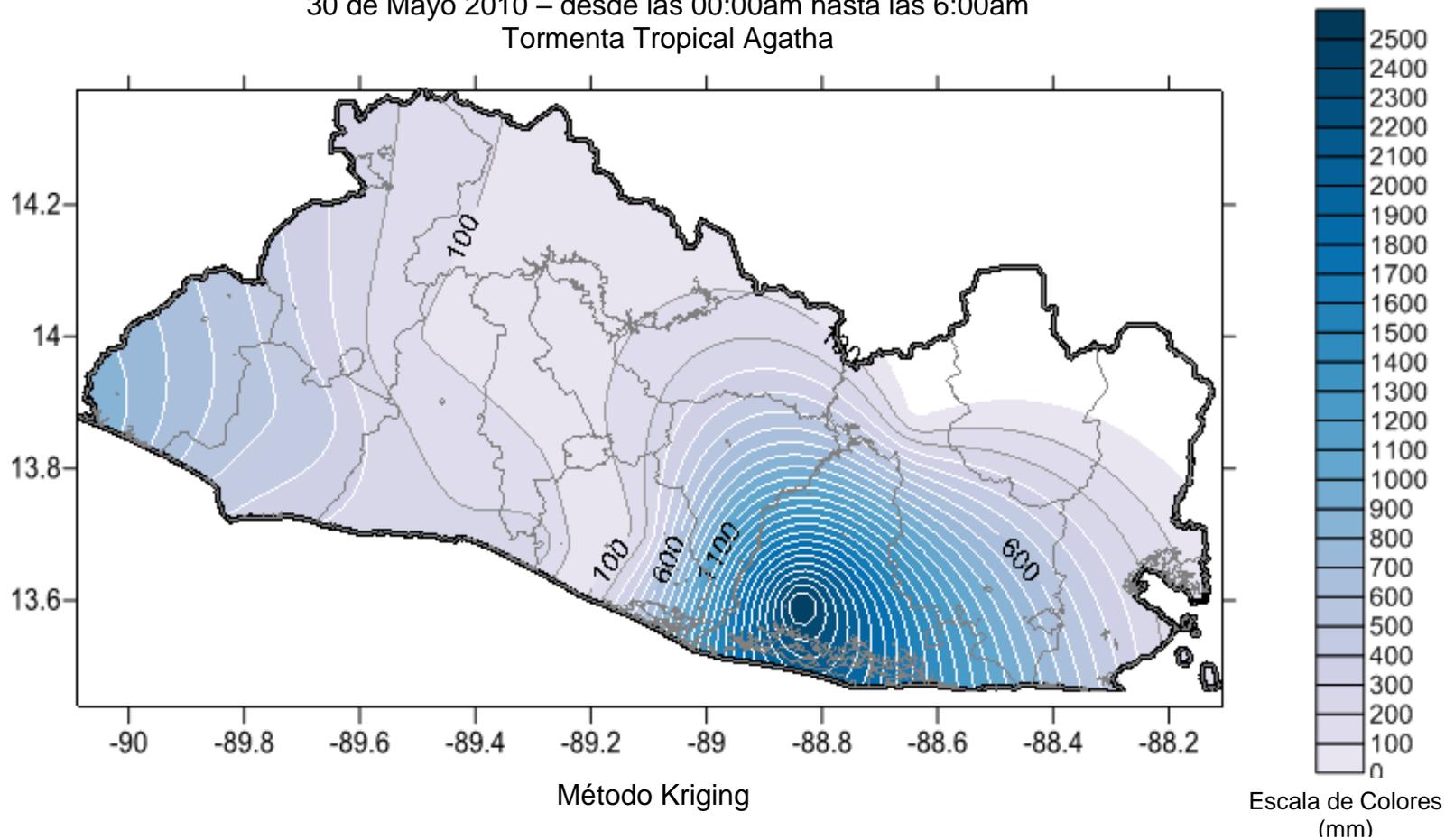


Figura 4. 13 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 6 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 12 horas  
30 de Mayo 2010 – desde las 00:00am hasta las 12:00pm  
Tormenta Tropical Agatha

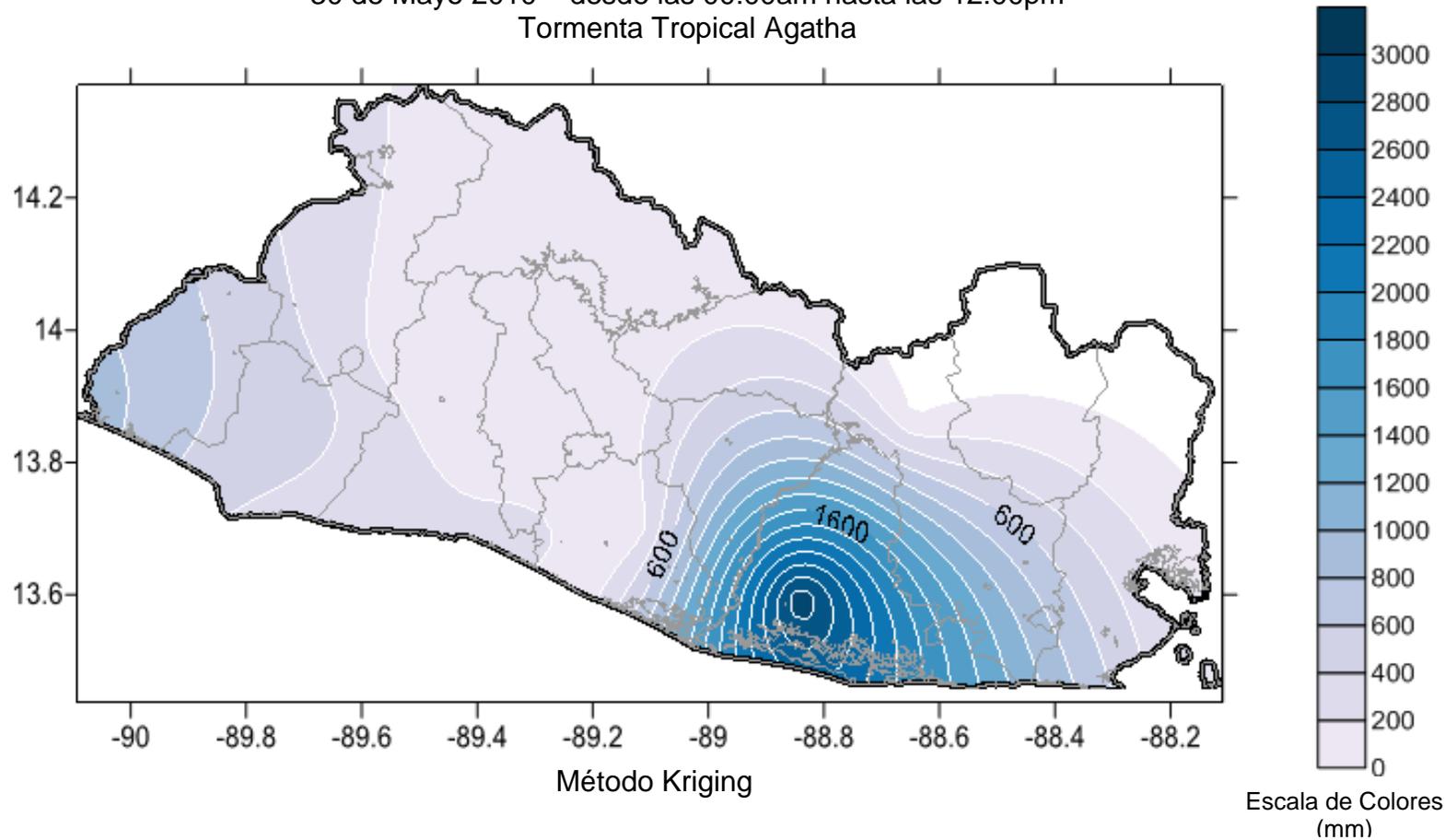


Figura 4. 14 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 12 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 24 horas  
30 de Mayo 2010 – desde las 00:00am hasta las 23:59pm  
Tormenta Tropical Agatha

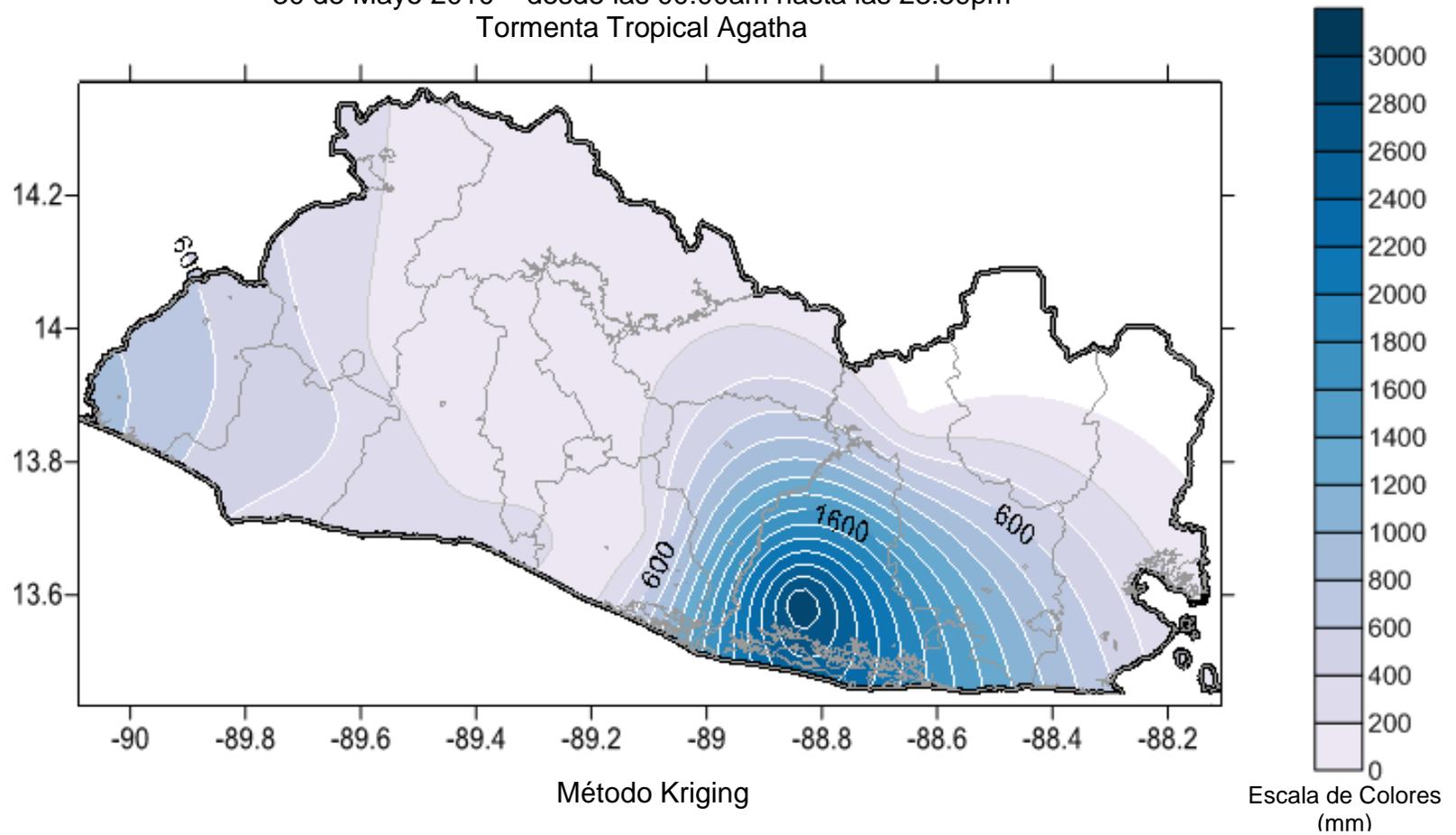


Figura 4. 15 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Tormenta Tropical AGATHA para 24 horas acumuladas por Método Kriging

#### 4.5.4.3 Depresión Tropical 12-E

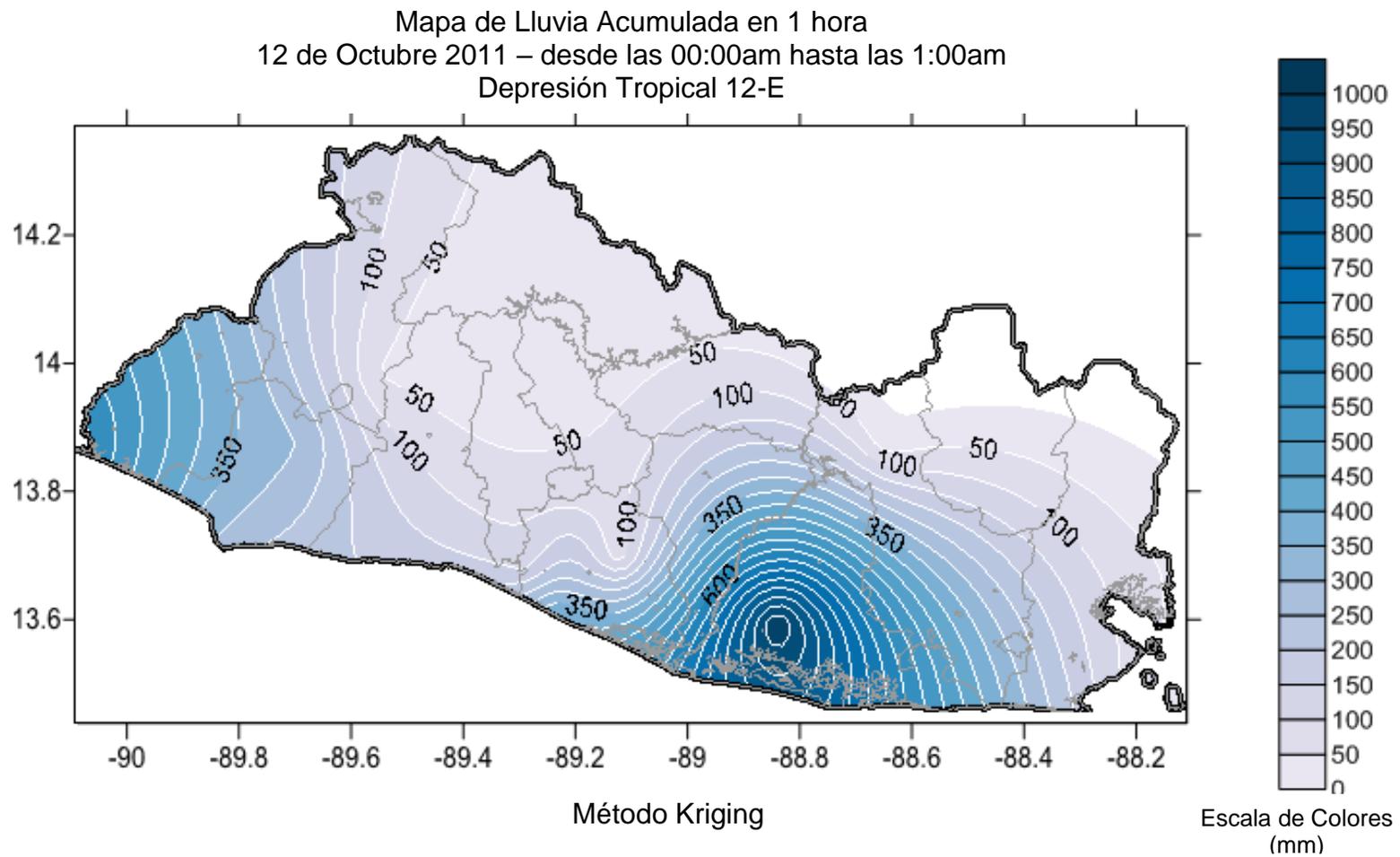


Figura 4. 16 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 1 hora acumulada por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 6 horas  
12 de Octubre 2011 – desde las 00:00am hasta las 6:00am  
Depresión Tropical 12-E

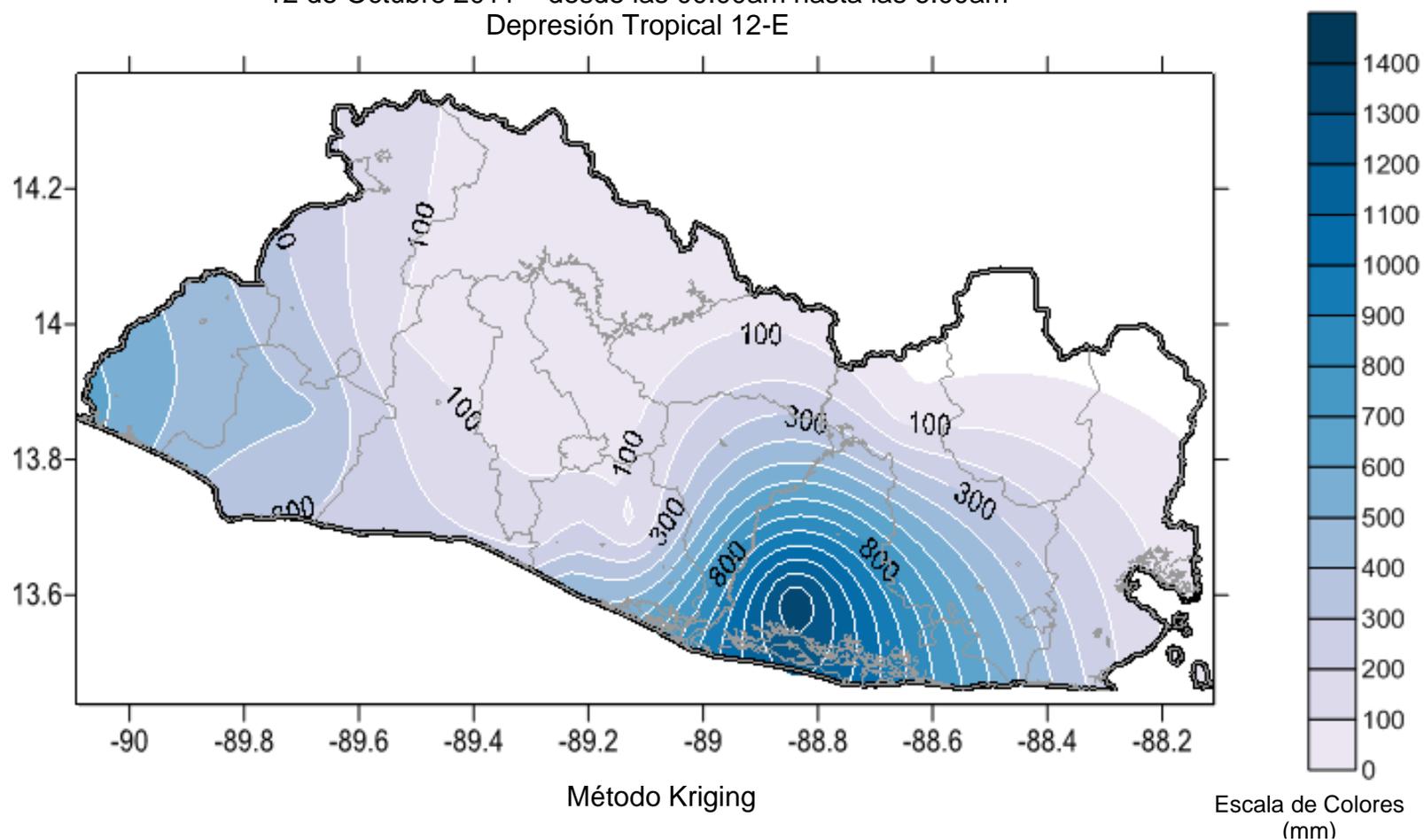


Figura 4. 17 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 6 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 12 horas  
12 de Octubre 2011 – desde las 00:00am hasta las 12:00pm  
Depresión Tropical 12-E

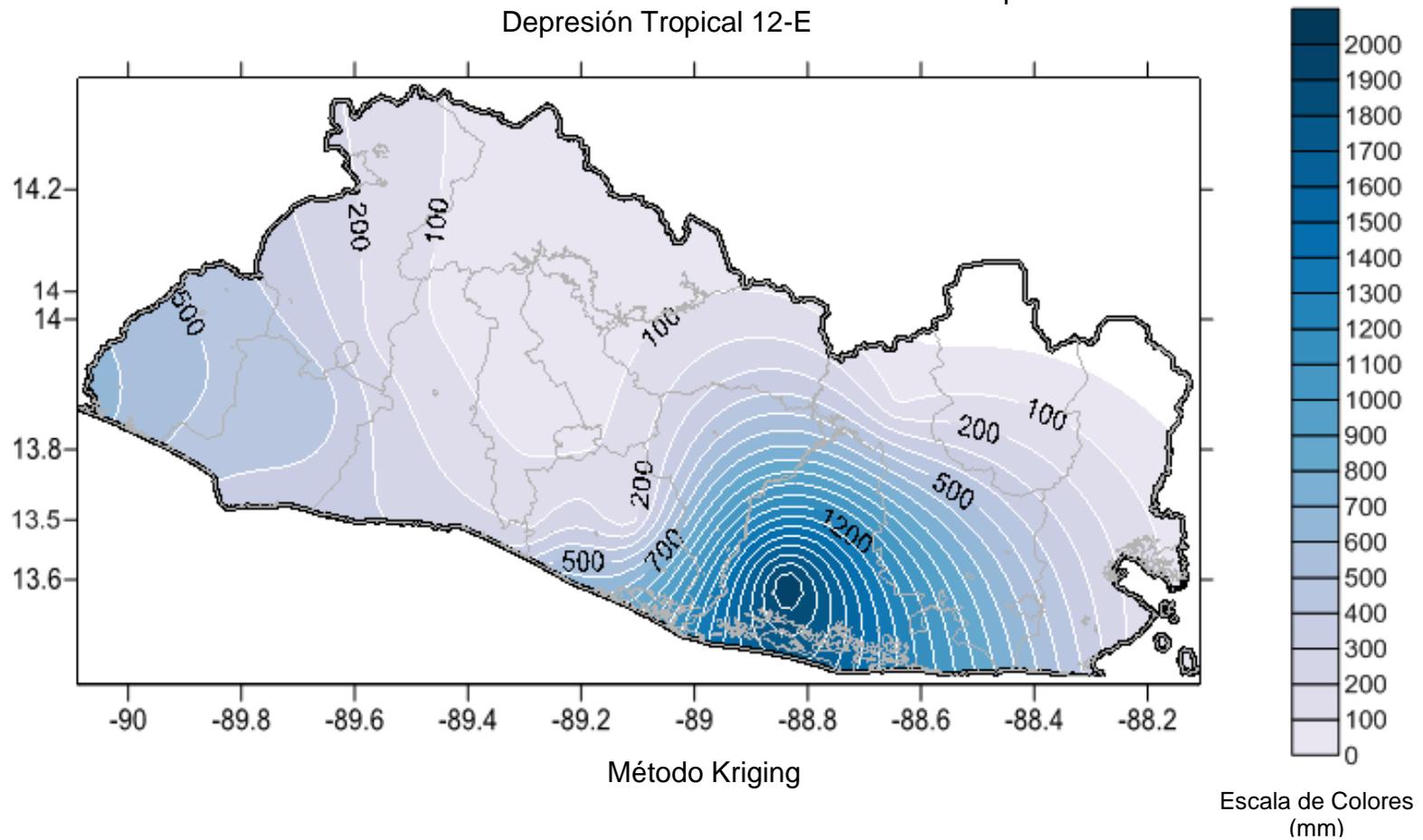


Figura 4. 18 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 12 horas acumuladas por Método Kriging

Mapa de Lluvia Acumulada en 24 horas  
12 de Octubre 2011 – desde las 00:00am hasta las 23:59pm  
Depresión Tropical 12-E

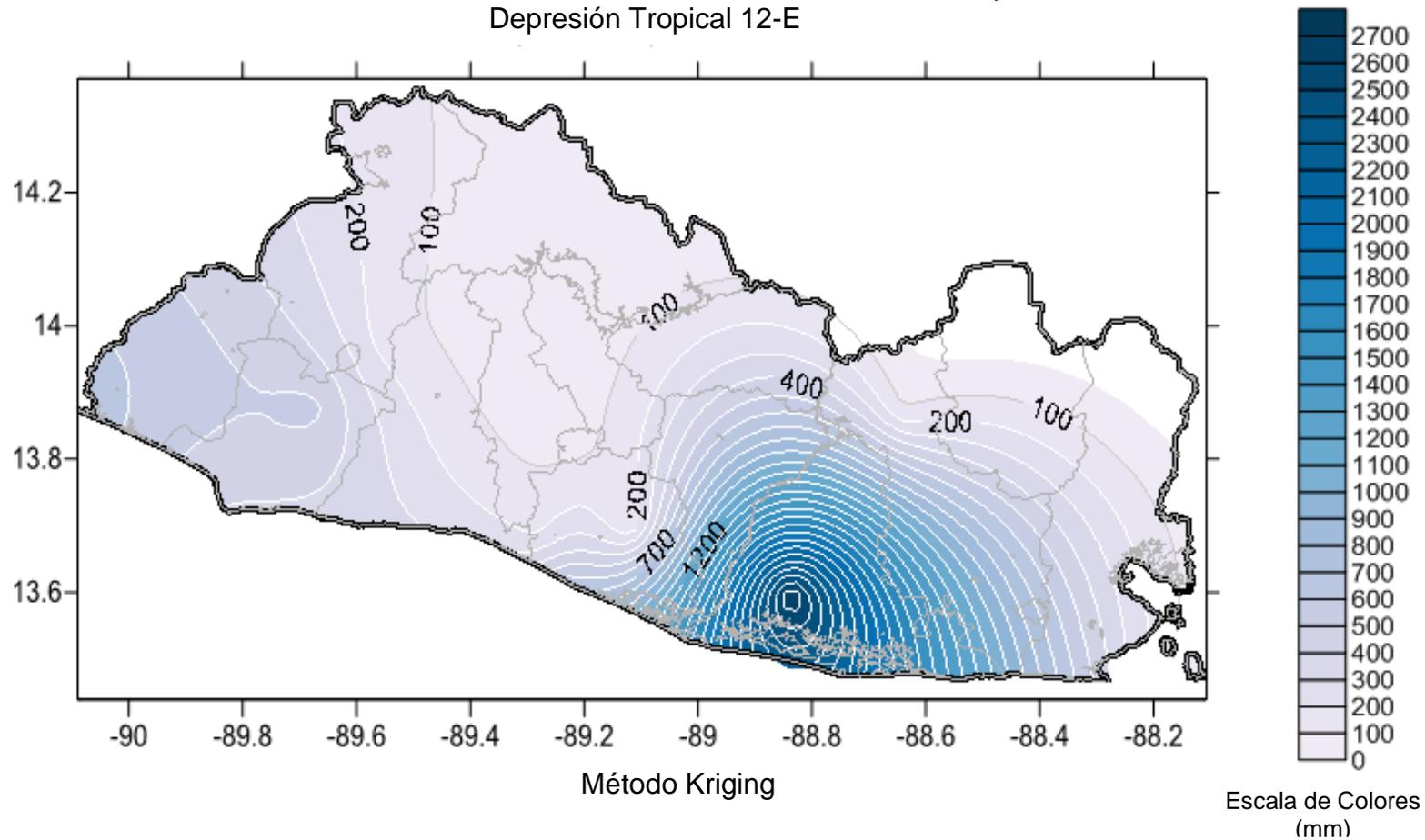


Figura 4. 19 Mapa Resultante de Lluvia Horaria para el desarrollo de la Depresión Tropical 12-E para 6 horas acumuladas por Metodo Kriging

**CAPITULO 5**

**CONCLUSIONES Y**

**RECOMENDACIONES**

## 5.0 CONCLUSIONES

### Capítulo 1: Importancia de la Investigación

- Aunque con los resultados obtenidos del análisis para lluvia diaria y horaria se logró comprobar que el método de interpolación Kriging, establecido por la DGOA como el método estándar desde el inicio, es el más apropiado para todos los casos de precipitación analizados, fue necesario investigar acerca de los otros métodos incluidos en el programa geo espacial Surfer 9.0 en busca de mejorar las estimaciones de la distribución espacial de las lluvias, para así generar mapas de mayor exactitud. Dicha exactitud se representa por una posible reducción areal de las áreas precipitadas delimitadas por sus respectivas isoyetas.
- En nuestro país, se tiene un promedio anual de 1800 mm de lluvia, por lo que, tener el dato de cantidad precipitada de lluvia puntual de cada estación, da una idealización de la lluvia en la zona, pero es de mayor importancia y relevante tener la regionalización de la precipitación. Debido a esto, es importante realizar una investigación para conocer el método de interpolación más apropiado para cada tipo de lluvia, y así tener una distribución más precisa de ella para la planificación y mejor uso del recurso hídrico en zonas donde se tiene sus mayores ocurrencias en tiempo y en espacio.

## Capítulo 2: Métodos de Interpolación

➤ El programa Geo Espacial Surfer 9.0 cuenta con 12 diferentes Métodos de Interpolación de datos que trabajan en base a los diferentes algoritmos matemáticos que los definen por separado. Estos son:

1. Distancia Inversa Ponderada
2. Kriging
3. Mínima Curvatura
4. Método Modificado de Shepard
5. Vecino Natural
6. Vecino Más Cercano
7. Regresión Polinómica
8. Funciones de Base Radial
9. Triangulación con Interpolación Lineal
10. Ponderaciones Móviles
11. Datos Métricos
12. Polinomio Local

De los doce Métodos anteriormente mencionados, únicamente el método de Datos Métricos no puede ser considerado como un interpolador debido a que no calcula nuevos valores de Z para conocer la distribución espacial de las lluvias. Este método únicamente agrupa datos y calcula valores de estadística para el manejo de los datos.

- Del estudio realizado sobre los distintos métodos de interpolación se pudo concluir que el proceso de interpolación en general consiste en la estimación de nuevos valores de Z en los nodos de una cuadrícula o malla que sirve para la generación de mapas de distribución espacial de la lluvia. Dicho proceso es el mismo para cada método, sin embargo lo que hace que se distingan entre sí, es el algoritmo matemático que se utiliza en cada uno para el cálculo del valor de influencia de los datos originales más cercanos al nodo a interpolar.
- Para la delimitación preliminar se realizó un análisis cualitativo visual de los 11 métodos excluyendo el de “Datos Métricos” generando mapas con los datos de precipitación del día: 30 de Mayo de 2010, y en base al análisis se eliminaron los siguientes métodos con sus respectivas razones:
  - **Método Modificado de Shepard:** Interpola valores exageradamente grandes fuera de los valores máximos de precipitación registrados en las estaciones generando mapas pocos apegados a la realidad.
  - **Vecino Natural:** No extrapola valores fuera de los límites de interpolación. Por ello, muchas áreas fronterizas representativas quedaban en blanco sin registro alguno, dando la necesidad de realizar muchos ajustes a las isoyetas para que coincidieran con el mapa base del país.

- **Vecino más Cercano:** Las curvas generadas daban aspecto más de una lotificación que una distribución especial de lluvia esperada.
- **Regresión Polinómica:** como lo establece su nombre, este método únicamente genera un mapa de tendencia de los datos en base a la localización de estos. Las isoyetas generadas eran rectas con un ángulo de inclinación que representaba la tendencia de los datos pero no la distribución real de la lluvia como se espera ver.
- **Triangulación con Interpolación Lineal:** También es un método que no extrapola los datos y las isoyetas generadas mostraban ser muy rectas y triangulares; algo muy alejada a la realidad del comportamiento de una lluvia en particular.
- **Ponderaciones Móviles:** Las isoyetas generadas por este método mostraban muchas intersecciones que daban confusión a la hora de interpretar las diferentes áreas de precipitación según la escala. Dicho método resulta más útil para series de datos arriba de los 1000 puntos para evitar este problema.
- **Polinomio Local:** Este método respeta en poco a los datos originales generando pocas curvas representativas.

Por lo tanto los métodos que resultaron tener la mejor representación visual fueron: Distancia Inversa Ponderada, Kriging, Mínima Curvatura, y Funciones de Base Radial.

### **Capítulo 3: Climatología de El Salvador**

- Las Precipitaciones, junto con otras variables meteorológicas, son el elemento climático que de manera más directa influye en la configuración del medio natural. Por lo tanto resulta necesario su clasificación según intensidad y distribución espacial como también su estudio de precedencia y ocurrencia. Su precedencia nos lleva al estudio del comportamiento de los diferentes sistemas de masas de aire que conforman la Atmósfera y que tienen mayor incidencia en nuestro país siendo estas: Vaguadas, ZCIT, Depresiones y Ondas Tropicales y Vientos Alisios, La Brisa Marina del Océano Pacífico, Los Frentes Fríos y El Anticiclón Subtropical del Atlántico.
- En cuanto a la ocurrencia de las lluvias en nuestro país, se observa un comportamiento bimodal con dos frecuencias altas en los meses de Junio y Septiembre donde se dan precipitaciones intensas y prolongadas conocidas como los Temporales.

### **Capítulo 4: Tratamiento Estadístico de los Datos**

- La clasificación de las lluvias en el país puede ser según la formación nubosa (Ciclónicas, Orográficas o Convectivas), estado acuoso e intensidad, pero la clasificación más útil para nuestro estudio estuvo basado en la distribución espacial de las mismas según la Gerencia de

Meteorología de la Dirección General del Observatorio Ambiental, que es como sigue:

TIPO DE LLUVIAS	% DE DISTRIBUCION ESPACIAL
AISLADAS	10% - 40%
DISPERSAS	40% - 80%
GENERALIZADAS	80% - 100%

Dicha clasificación resulto de mucha utilidad para el análisis estadístico de lluvia diaria de esta investigación más no para el análisis de lluvia horaria la cual fue hecho únicamente para los casos especiales de Tormenta Tropical Agatha, Depresión Tropical 12-E, y Huracanes Stan e Ida tomando en consideración el día más intenso de todo el desarrollo de cada evento.

- Según los resultados de la evaluación matricial de los métodos seleccionados en el Capítulo 2 para el análisis de lluvia diaria, se concluye que el método de interpolación geo estadístico de Kriging ha sido y sigue siendo el método más adecuado para las tres clases de lluvias en base al siguiente cuadro resumen:

Tabla Resumen	Lluvias Aisladas	Lluvias Dispersas	Lluvias Generalizadas
Método	Calificación (%)		
Distancia Inversa	8.3	16.7	8.3
<b>Kriging</b>	<b>66.7</b>	<b>58.3</b>	<b>66.7</b>
Mínima Curvatura	33.3	25	16.7
FBR	25	33.3	41.7

Para el Método Kriging: De los 12 mapas evaluados para cada tipo de lluvias 8 mapas de lluvias aisladas, 7 mapas de lluvias dispersas, y 8 mapas de lluvias generalizadas cumplieron con la calificación mínima de 3.0 dando los porcentajes de aprobación del método reflejados en la tabla superior.

- Para el análisis de lluvia horaria, con la observación de los resultados de la matriz evaluativa de las tormentas y los huracanes, podemos resumir las calificaciones de los métodos en la siguiente tabla:

	Agatha	DT-12 E	Stan	Ida
Método	Calificación (%)			
Distancia Inversa	0	0	0	0
<b>Kriging</b>	<b>100</b>	<b>75</b>	<b>100</b>	<b>50</b>
Mínima Curvatura	0	0	0	0
FBR	0	0	75	0

Donde se puede concluir que el método de interpolación Kriging es el más adecuado para el análisis del desarrollo de eventos intensos y prolongados como los casos vistos en esta investigación.

- La comparación visual después de la etapa del análisis estadístico de los métodos, resulta útil para verificar que tan cierto es que el mapa de mayor aceptación visual sea realmente la más confiable en cuanto al respeto de los datos originales de entrada. Con la selección del Método Kriging, dicha comparación no fue necesario para confirmación del método seleccionado por los resultados estadísticos.
- Al inicio de la investigación se estimó que el análisis de residuos por Validación Cruzada fuese el parámetro que definiría el método más adecuado para cada tipo de lluvia. Sin embargo, con las sumatorias resultantes que se ven reflejados en las tablas de la 4.8 a la 4.14 para cada método, ninguno cumplió con el requisito que tal sumatoria de residuos fuese igual a o aproximado a cero. Por lo tanto dicho análisis tuvo que ser descartado de la matriz evaluativa.

## 5.1 RECOMENDACIONES

### 5.1.1 Proceso Evaluativo para la Selección del Método

- Cuando se carece de experiencia en el campo de estudio de la Geo Estadística y no se posee mucha información en cuanto al comportamiento de los datos, es recomendable generar mapas con cada método incluido en el programa para realizar una comparación visual preliminar con el fin de delimitar los métodos de mayor aceptación visual.
- Donde la delimitación por aceptación visual ya no es viable para seguir con la selección, se recomienda con los métodos seleccionados a realizar el análisis comparativo de los estadísticos de Z (Encontrados en los reportes de estadística generado por cada método) con los estadísticos de los valores conocidos (Estaciones Pluviométricos).
- Puede darse la posibilidad de tener más de un método adecuado para la serie de datos bajo análisis. En dicho caso se recomienda trabajar con parámetros avanzados que posee cada método y pueden ser modificados en el programa para así delimitar con mayor exactitud el método a usar para la generación del mapa que tenga la mejor representación gráfica de los datos y sus estimaciones espaciales de distribución espacial.

### 5.1.2 Uso de los Métodos incluidos en el Programa de Surfer 9.0

Siendo Surfer 9.0 un programa geo – espacial, todos los métodos incluidos en ello pueden ser usados en el campo de la geo estadística. Por ende, los datos a analizar poseen un comportamiento multi-variado; como por ejemplo las precipitaciones o las concentraciones de metales en el subsuelo u otro fenómeno donde intervenga la influencia de muchas variables en su distribución.

Sin embargo, a pesar de ser todos los métodos aplicables para series de datos que tengan comportamientos multi-variados, se requiere de estudios por separado para cada tipo de fenómeno y así poder establecer el método más adecuado para cada uno.

En el caso de precipitaciones se establece que el método Kriging es el más adecuada con el fin de dar una recomendación breve y generalizada, en base al tamaño de la población de datos, para el uso de cada método visto anteriormente y aun los excluidos en el Capítulo 2, se tiene lo siguiente:

- Distancia Inversa Ponderada: es muy veloz pero tiene la tendencia de generar curvas concéntricas parecidas a “Ojos de Buey”, y no extrapola valores afuera del rango de datos.
- Kriging: es el método más flexible y de mayor uso para casi cualquier serie de datos. El variograma lineal (Utilizado para establecer la correlación espacial de los datos) estándar resulta ser muy efectivo como hemos podido comprobar en esta investigación en base a los resultados de la

matriz evaluativa. Se puede trabajar con casi cualquier tamaño poblacional de datos aunque al tener una población arriba de los 3000 puntos, puede resultar ser más lento en la interpolación. También el método extrapola los datos fuera de su rango.

- Curvatura Mínima: Se generan isoyetas suaves y es bastante veloz para la mayoría de tamaño de poblaciones de datos, más sin embargo puede generar valores exageradamente altos en zonas donde el valor de entrada es de cero. Dichos valores pueden ser controlados por los parámetros avanzados que el programa permite modificar llamados Tensión Interna y de Frontera. (Internal Tension and Boundary Tension). Igual que Kriging, el método extrapola datos fuera del rango.
- Vecino Natural: Genera buenos mapas con datos que estén esparcidos de forma irregular más sin embargo no extrapola valores fuera del rango de datos establecido y concentra las curvas alrededor de las áreas que contienen registro.
- Vecino Más Cercano: Resulta ser de mayor utilidad para series de datos que estén esparcidos de manera homogénea. Es muy útil para el relleno de datos faltantes.
- Regresión Polinómica: Procesa los datos de tal manera que las que poseen grandes tendencias sean reflejadas en el mapa. Es muy utilizado para generar una superficie de tendencia de los datos.

- Funciones de Base Radial: Es un método muy flexible y similar al de Kriging.
- Método Modificado de Shepard: Es muy similar al método de Distancia Inversa Ponderada, pero no genera isoyetas de “Ojo de Buey”. Sin embargo tiene la misma tendencia de Mínima Curvatura de interpolar datos exageradamente grandes en áreas donde no hay registro.
- Triangulación con Interpolación Lineal: Para series de datos moderados entre los 250 y 1000 puntos resulta ser bastante útil, pero no extrapola valores fuera del rango de datos y genera isoyetas triangulares lineales.
- Ponderados Móviles: Es mayormente aplicable para series de datos arriba de los 1000 puntos y puede ser una alternativa razonable para el método de Vecino Más Cercano.
- Datos Métricos: Genera mapa de agrupación de información de los datos, no interpola nuevos valores de Z.
- Polinomio Local: Es aplicable para datos que estén esparcidos de manera homogénea y puede trabajar con cualquier tamaño de población de datos.

## BIBLIOGRAFIA

- Tesis: “Estimación de la distribución espacial de la precipitación en zonas montañosas mediante métodos geo estadísticos”, Javier Álvarez Rodríguez; 2011.
- Manual de Climatología Aplicada, Clima, Ambiente y planificación”, Felipe Fernández García, 2009.
- Tutorial del programa computacional Surfer 9.0
- Davis, John C. (1986), **Statistics and Data Analysis in Geology**, John Wiley and Sons, New York.
- Franke, R. (1982), Scattered Data Interpolation: Test of Some Methods, **Mathematics of Computations**, v. 33, n. 157, p. 181-200.
- Isaaks, E. H., and Srivastava, R. M. (1989), **An Introduction to Applied Geostatistics**, Oxford University Press, New York, 561 pp. (PUNTO)
- Abramowitz, M., and Stegun, I. (1972), **Handbook of Mathematical Functions**, Dover Publications, New York. (BLOQUE)
- Cressie, N. A. C. (1990), The Origins of Kriging, **Mathematical Geology**, v. 22, p. 239-252.

- Briggs, I. C. (1974), Machine Contouring Using Minimum Curvature, *Geophysics*, v. 39, n. 1, p. 39-48.
- Press, W.H., Flannery, B.P., Teukolsky, S.A., and Vetterling, W.T. (1988), *Numerical Recipes in C*, Cambridge University Press.
- Smith, W. H. F., and Wessel, P. (1990), Gridding with Continuous Curvature Splines in Tension, *Geophysics*, v. 55, n. 3, p. 293-305.
- Franke, R., and Nielson, G. (1980), Smooth Interpolation of Large Sets of Scattered Data, *International Journal for Numerical Methods in Engineering*, v. 15, p. 1691-1704.
- Renka, R. J. (1988), Multivariate Interpolation of Large Sets of Scattered Data, *ACM Transaction on Mathematical Software*, v. 14, n. 2, p. 139-148.
- Shepard, D. (1968), A two dimensional interpolation function for irregularly spaced data, *Proc. 23rd Nat. Conf. ACM*, p. 517-523.
- Sibson, R. (1981), A Brief Description of Natural Neighbor Interpolation, *Interpreting Multivariate Data*, V. Barnett editor, John Wiley and Sons, New York, p. 21-36. (Es la unica usada por surfer....)
- Draper, N., and Smith, H. (1981), **Applied Regression Analysis**, second edition, Wiley-Interscience, 709 pp.

- Carlson, R.E., and Foley, T.A. (1991a), *Radial Basis Interpolation Methods on Track Data*, Lawrence Livermore National Laboratory, UCRL-JC-1074238.
- Hardy, R. L. (1990), *Theory and Applications of the Multiquadric-BiHarmonic Method*, *Computers Math. Applic*, v. 19, n. 8/9, p. 163-208.
- Lee, D. T., and Schachter, B. J. (1980), Two Algorithms for Constructing a Delaunay Triangulation, *International Journal of Computer and Information Sciences*, v. 9, n. 3, p. 219-242.

# ANEXOS

## Perfil Climatológico de Santiago de María (U-6)

La ciudad de Berlín se encuentra ubicada en la cordillera Tecapa-Chinameca en el departamento de Usulután, al pie del cerro Las Palmas y al este del volcán Tecapa.

Berlín está caracterizada por terreno muy accidentado, los suelos son arcillosos y cultivos de café en los alrededores.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada** (800 -

1200 msnm) la elevación es determinante (1040

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical”** (con biotemperatura y temperatura del aire medio anuales de menos de 24 °C )

El rumbo de los vientos es predominante del Norte en todo el año. Durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbo desde las montañas y colinas cercanas, la velocidad media es de 10

### Ubicación Geográfica

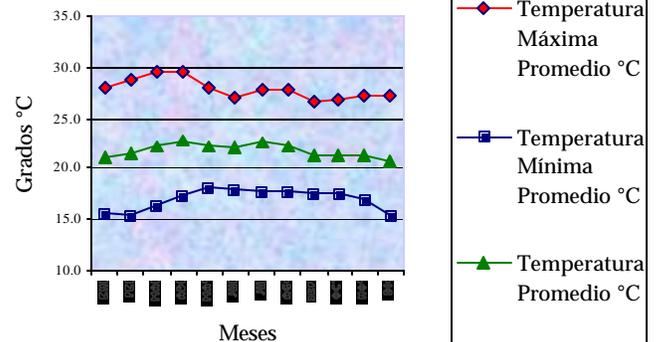
Latitud Norte 13° 29.0'

Longitud Oeste 89° 32.0

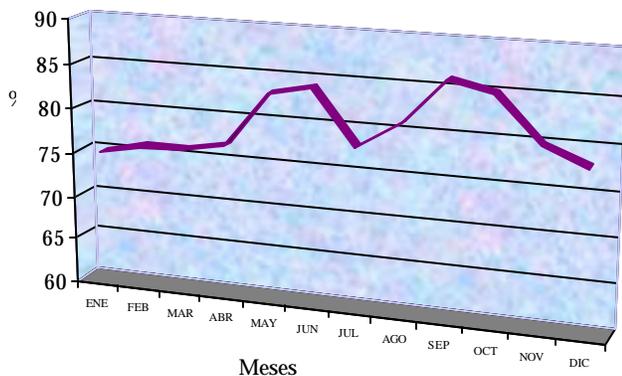
Elevación 1,040 m.s.n.m.



**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**

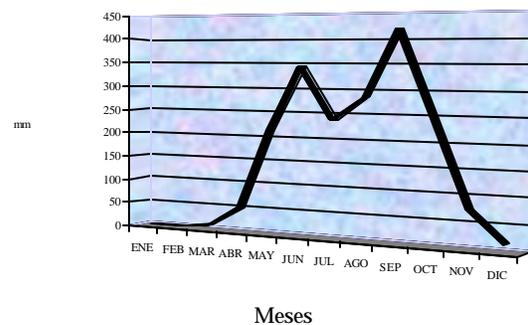


**Promedios mensuales Humedad Relativa en %**



■ Humedad Relativa %

**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



■ Precipitación mm

## Perfil Climatológico de Ahuachapán (H-8)

La estación de Ahuachapán se encuentra ubicada en las afueras de la ciudad, cerca de la laguna del Espino (caserío Llano), en la zona central de la región occidental del país.

se caracteriza por terrenos en planicie con pendientes menores del 10%, los suelos son arenosos y franco arenosos, con cultivos anuales en los alrededores.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer, como **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800

msnm) la elevación es determinante (725 msnm).

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical** (con biotemperatura y temperatura del aire, medio anuales menor a 24 °C ). Los rumbos de los vientos son predominantes del Noreste, durante la estación seca y la estación lluviosa. La brisa marina del Sureste ocurre después del mediodía, la velocidad promedio anual es de 8.1 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

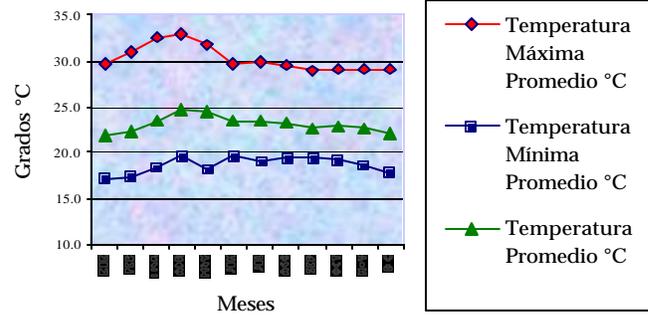
Latitud Norte 13° 56.6'

Longitud Oeste 89° 51.6'

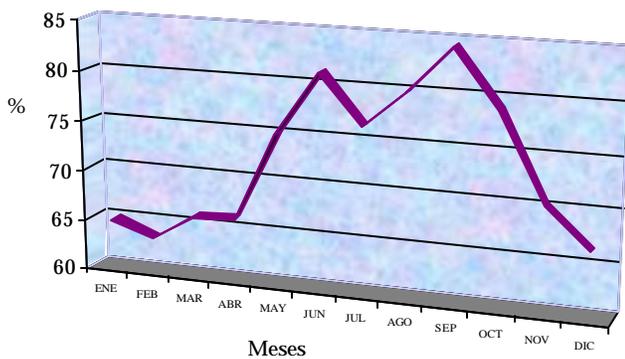
Elevación 725 msnm



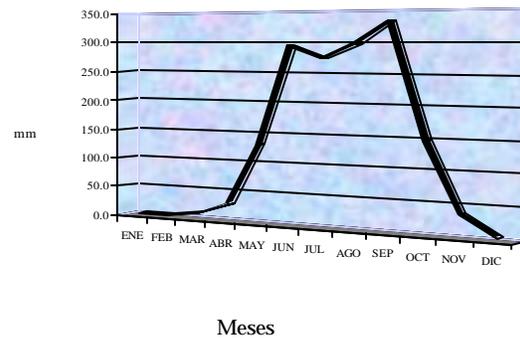
**Promedios mensuales de Temperaturas Máxima, Mínima y Promedio °C**



**Promedios mensuales de Humedad Relativa en %**



**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



## Perfil Climatológico de Cerrón Grande (B-10)

La estación de Cerrón Grande se encuentra ubicada en la ribera sur de la Presa del mismo nombre en una hondonada del río Lempa, alrededor de varios cerros y a 3.7 kilómetros de Potonico. Esta región es muy accidentada con suelos pedregosos y cultivos de cereales.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como: **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (200

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de Interés se clasifica como **"Bosque húmedo subtropical"** (con biotemperatura mayo a 24 °C, pero con temperatura del aire, medio anuales menor a 24 °C ). El rumbo de los vientos son predominantes del norte en la estación seca, y del sur en la estación lluviosa. Durante la noche se desarrolla el sistema local del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas, con velocidades promedios de 5 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

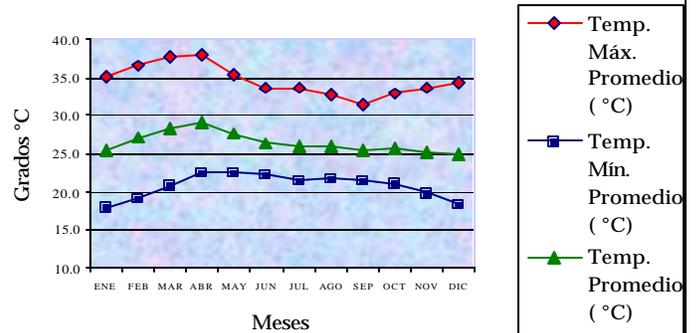
Latitud Norte 13° 56.0'

Longitud Oeste 88° 55.0'

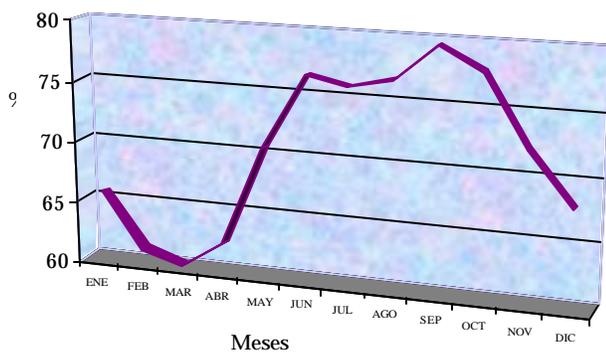
Elevación 325 msnm



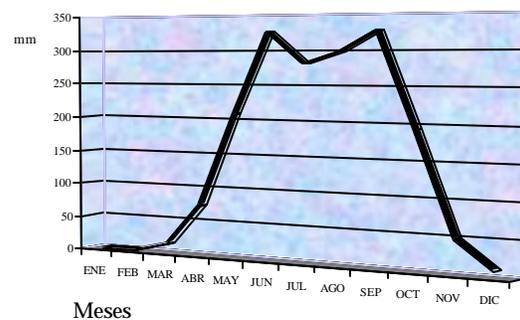
**Promedio de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**



**Promedios mensuales de Humedad Relativa en %**



**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



## Perfil Climatológico de La Palma G-4

La estación de la Palma se encuentra ubicada en la zona norte del departamento Chalatenango, en el cantón San José Sacare a 4.6 kilómetros al noroeste de La Palma. Esta región es muy accidentada con suelos arcillosos y bosques de pinos.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada** (800 – 1200 metros sobre el

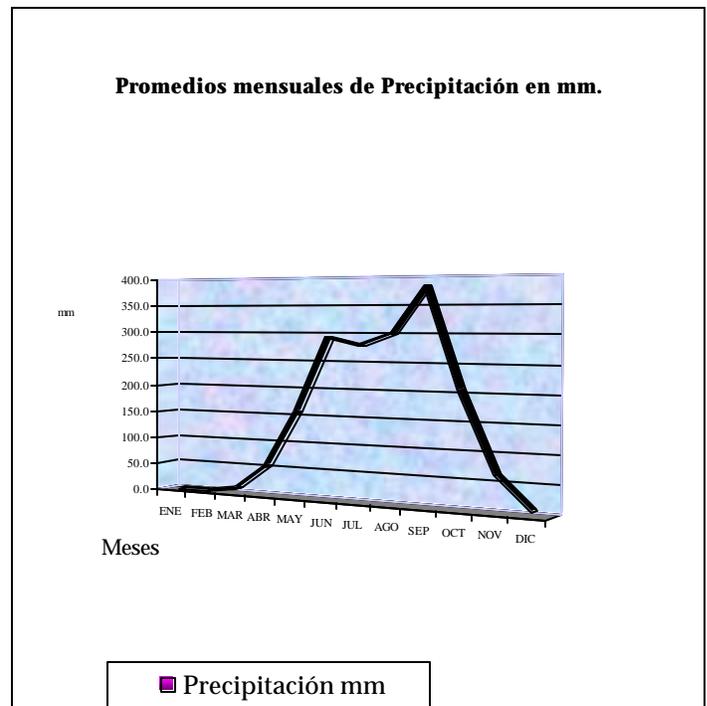
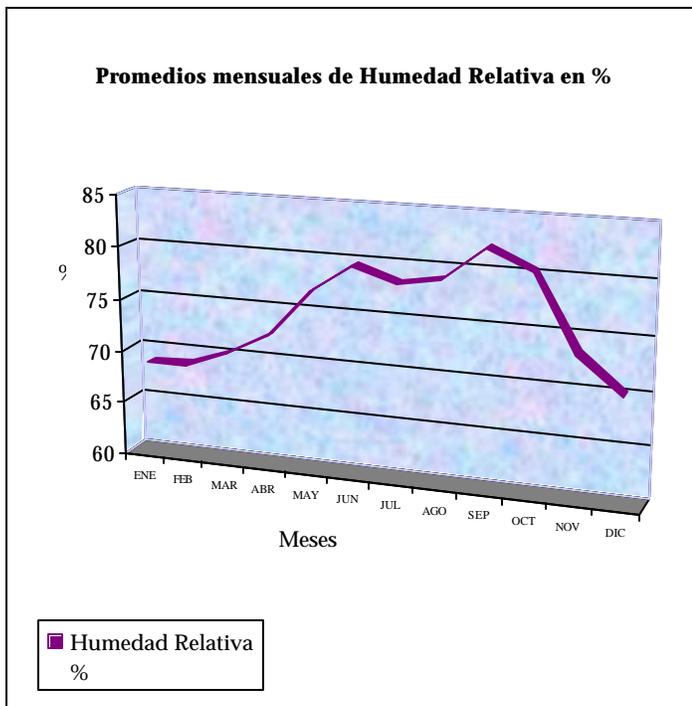
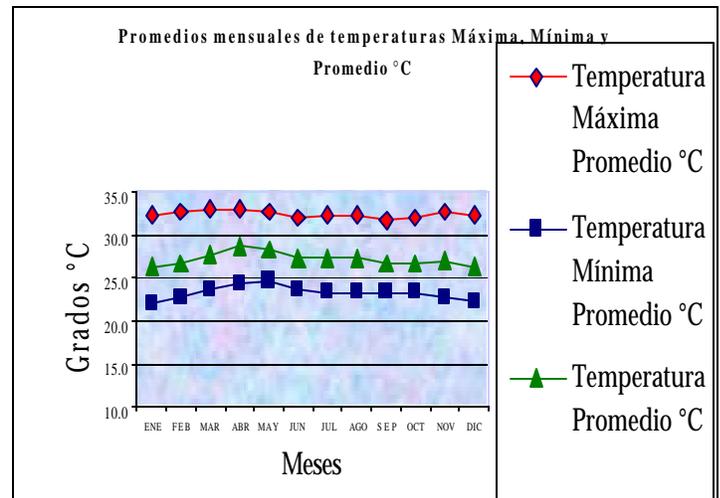
nivel del mar) . La elevación es determinante (1000 msnm) Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de Interés se clasifica como:

**“Bosque muy húmedo montaño subtropical”**

El rumbo de los vientos es predominante del norte, durante la noche se desarrolla el sistema local del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas, con velocidades promedio de 10 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

Latitud Norte 14° 17.5'  
 Longitud Oeste 89° 09.7'  
 Elevación 1000 msnm



## Perfil Climatológico de La Unión (N-15)

La estación de La Unión se encuentra ubicada cerca de la ciudad de La Unión, al sureste del volcán de Conchagua y al noreste de la bahía.

La ciudad de la Unión esta caracterizada por tierras alomadas en planicie con suelos arcillosos y cultivos variados.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (35 msnm).

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical** (con biotemperatura menor a 24 °C, pero con temperatura del aire, medio anuales mayor a 24

Los rumbos de los vientos son predominantes del Noroeste y Este durante la estación seca, y del Sur en la estación lluviosa. La brisa marina ocurre después del mediodía, siendo reemplazada después de la puesta del sol por una circulación tierra-mar, la velocidad promedio anual es de 9.6 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

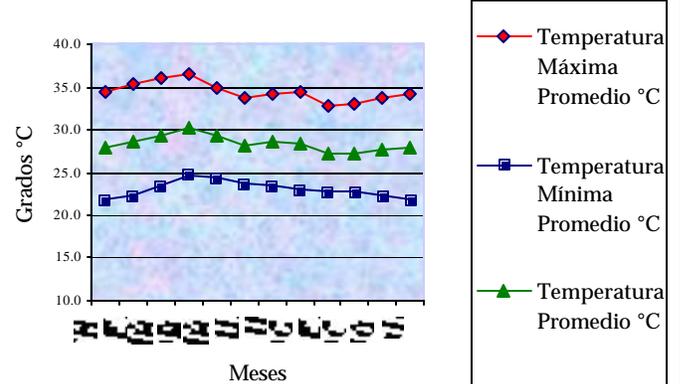
Latitud Norte 13° 20.0'

Longitud Oeste 87° 53.0'

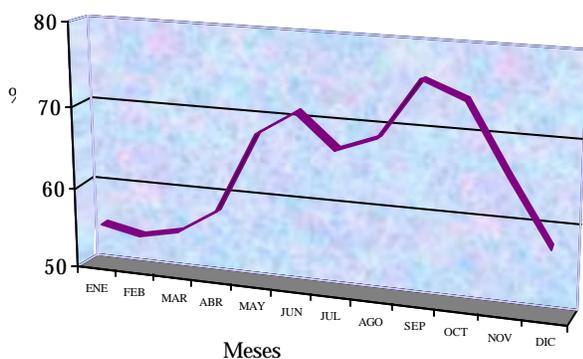
Elevación 95 msnm



**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**

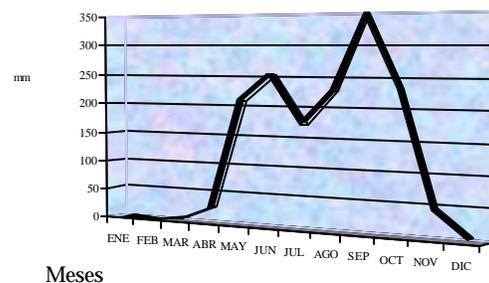


**Promedios mensuales Humedad Relativa en %**



■ Humedad Relativa %

**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



■ Precipitación mm

## Perfil Climatológico de Pequín (Z-3)

La estación de Pequín se encuentra ubicada en la zona norte del departamento de Morazán, en el cerro Pequín, al sureste se encuentra el cerro El Gigante y el cerro Pericón, al noroeste San Fernando. Esta región es muy accidentada con suelos arcillosos y cultivos variados, especialmente el café.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente, según Koppen, Sapper y Laurer, como Clima Tropical de las Alturas (1200 - 1800 msnm tierra templada y 1800- 2700 msnm, tierra fría).

La elevación es determinante (1225 msnm)

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de Interés se clasifica como **“Bosque muy húmedo montano subtropical”**

Los rumbos de los vientos son predominantes del norte en la estación seca, y del sur-sureste en la estación lluviosa. Durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas, con velocidades promedio de 10 a 12 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

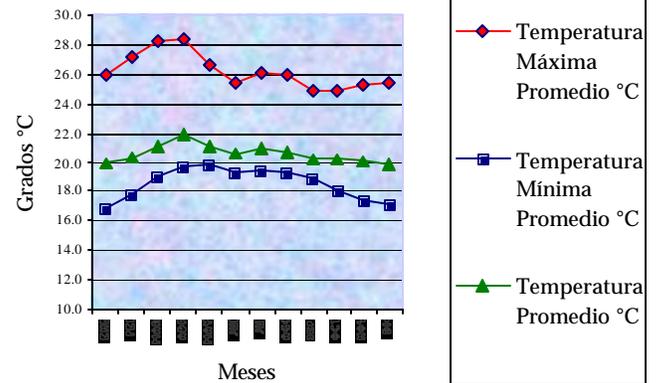
Latitud Norte 13° 58.0'

Longitud Oeste 88° 10.0'

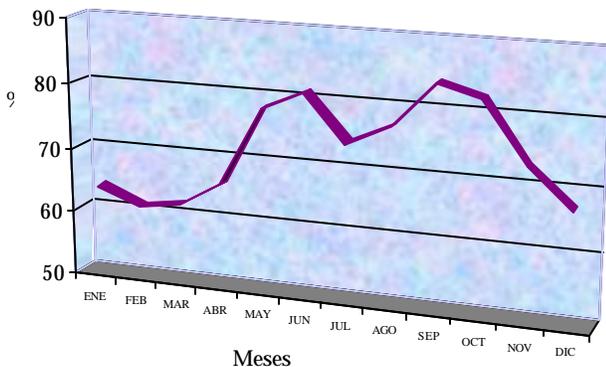
Elevación 1225 msnm



**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**

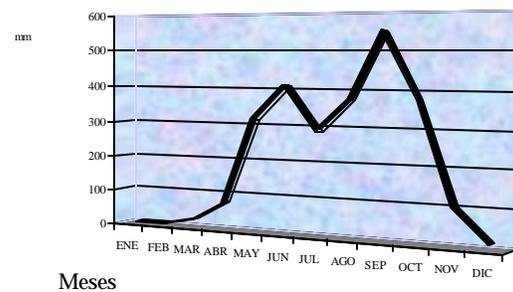


**Promedios mensuales Humedad Relativa en %**



■ Humedad Relativa %

**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



■ Precipitación mm

## Perfil Climatológico de El Papalón (M-6)

La estación de El Papalón se encuentra ubicada en una planicie al oriente de la ciudad de San Miguel, al noreste del cerro Muncinga y al sureste de la laguna Arahuaca. Esta región es semi-plana con suelos arcillosos y cultivos de maíz.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (80 msnm)

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de Interés se clasifica como **"Bosque**

**húmedo subtropical** (con biotemperaturas menores a 24 ° C y temperaturas del aire , medio anuales mayor a 24° C ).

Los rumbos de los vientos son predominantes del norte en la estación seca, y del sur en la estación lluviosa.

La brisa marina ocurre después del mediodía. Durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas. La velocidad media anual es de 8 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

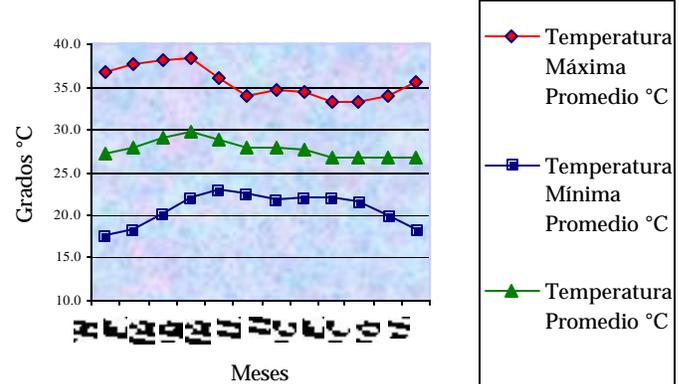
Latitud Norte 13° 26.6''

Longitud Oeste 88° 07.4'

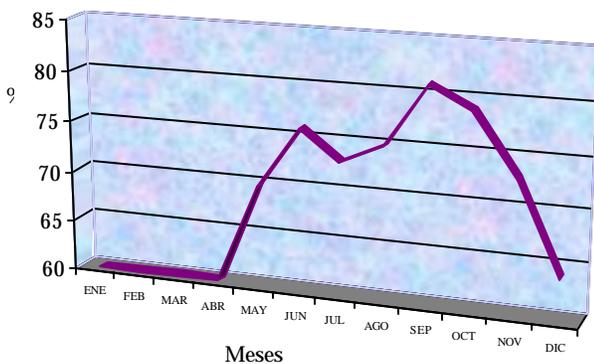
Elevación 80 msnm



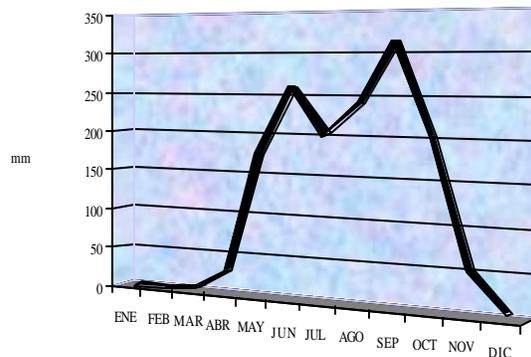
**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**



**Promedios mensuales Humedad Relativa en %**



**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



## Perfil Climatológico de Aeropuerto de Ilopango (S-10)

La estación de Ilopango se encuentra a unos 10 kilómetros hacia el Este de la Ciudad de San Salvador.

Presenta condiciones climáticas y edáficas similares, caracterizadas por terrenos en planicie y alomados, suelos con ceniza volcánica y zonas urbanas en los alrededores.

La región donde se ubica la estación y la ciudad se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente ó Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante

(635 msnm). Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical, transición a tropical”** (con biotemperatura mayor a 24 °C).

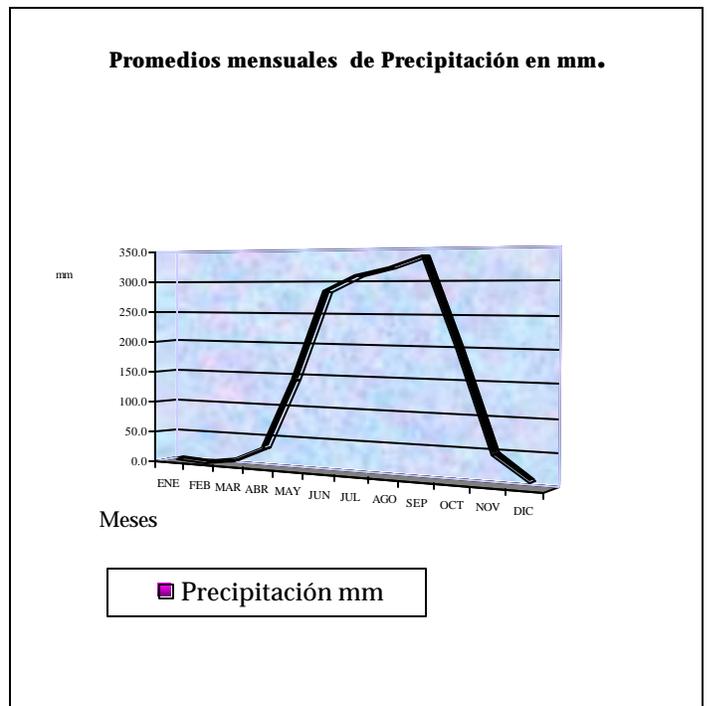
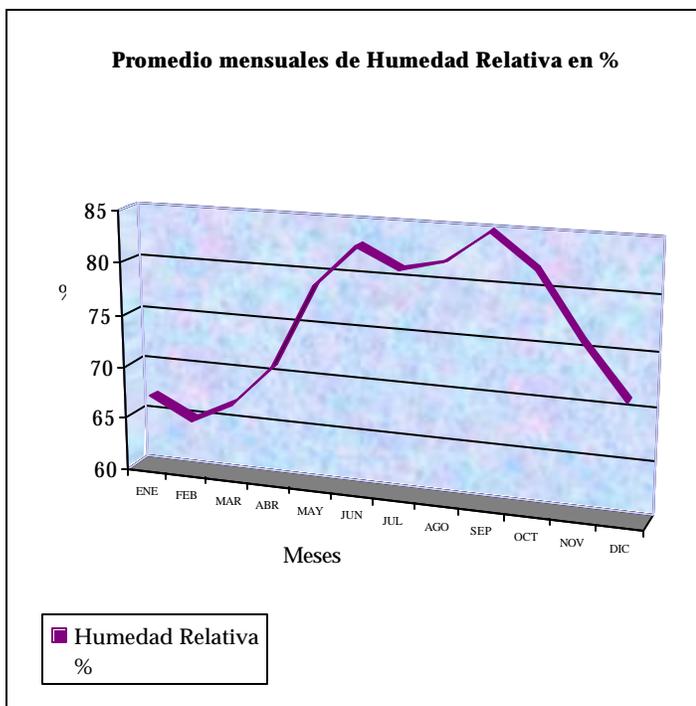
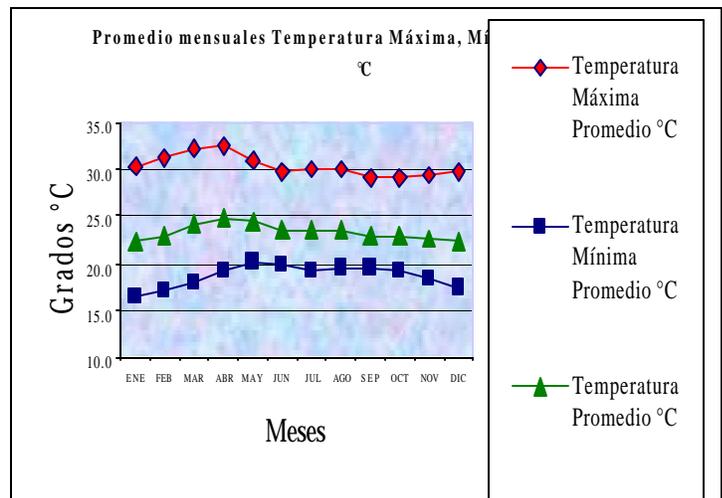
Los rumbos de los vientos son predominantes del Norte durante la estación seca y la estación lluviosa, la brisa marina del Sur y Sureste ocurre después del mediodía, la velocidad promedio anual es de 8 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

Latitud Norte 13° 41.9'

Longitud Oeste 89° 07.1'

Elevación 615 msnm



## Perfil Climatológico de Puente (V-9)

.La estación de Puente Cuscatlán se encuentra ubicada en el valle del Río Lempa, cerca de varios cerros, siendo el más cercano el Sihuatepeque, también se encuentra cerca de los ríos Lempa y . Esta región es muy accidentada, con suelos arcillosos y cultivos variados.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (30 .

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de Interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical, transición a subhúmedo** (con temperatura del aire medio anuales mayor a 24 °C).

El rumbo del viento es predominante del norte en la estación seca y del sur en la estación lluviosa. La brisa marina ocurre después del mediodía, durante la noche se desarrolla el sistema local nocturno del viento con rumbos desde las montañas y colinas cercanas, con velocidades promedio de 8 km/h.

### Ubicación Geográfica

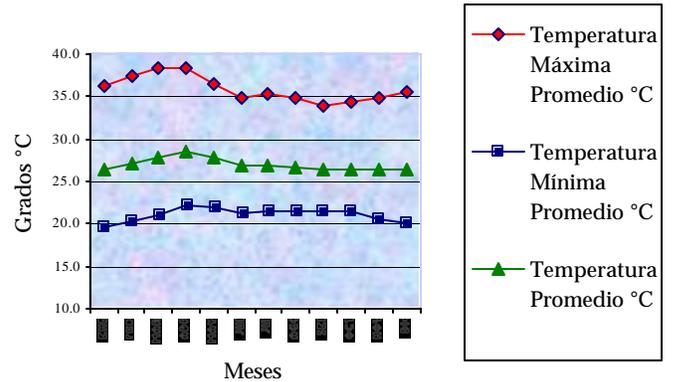
Latitud Norte 13° 36.0'

Longitud Oeste 88° 36.6'

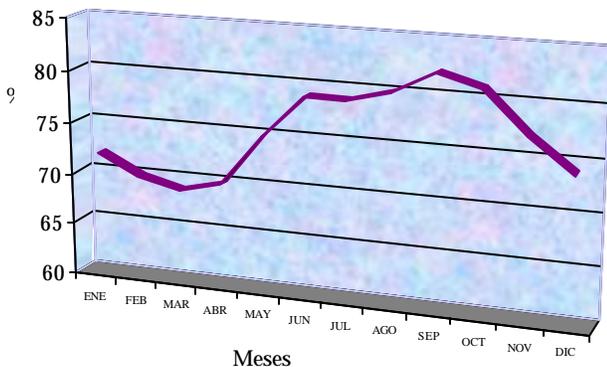
Elevación 30 msnm



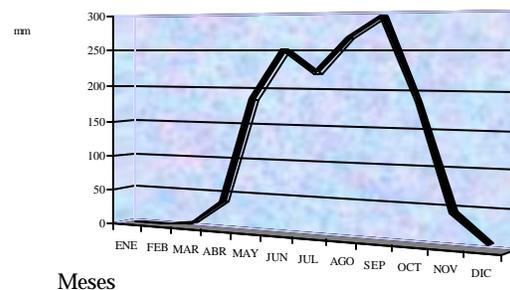
**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**



**Promedios mensuales Humedad Relativa en %**



**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



## Perfil Climatológico de Santa Ana (A-12)

La estación de Santa Ana, El Palmar se encuentra ubicada al costado sur del Estadio Oscar Quiteño, en el valle interior de la región occidental del país. Es una zona urbanizada en los alrededores, se caracteriza por tener tierras planas con suelo arcilloso.

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical** (con biotemperatura y temperatura del aire, medio anuales menor a 24 grados Centígrados (°C).

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (725

Los rumbos de los vientos son predominantes del Suroeste y del Oeste durante la estación seca y lluviosa. La velocidad promedio anual es de 7.8 kilómetros por hora.

Ubicación Geográfica

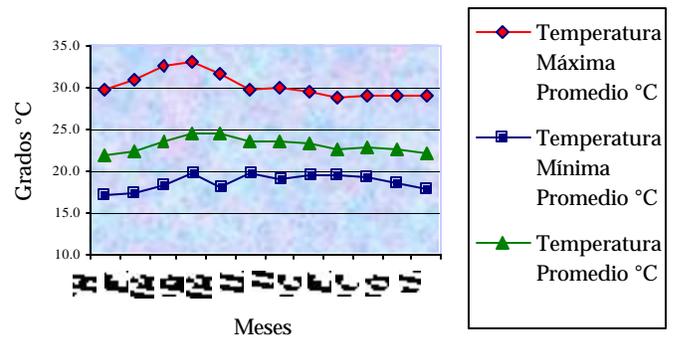
Latitud Norte 13° 58.6'

Longitud Oeste 89° 34.2'

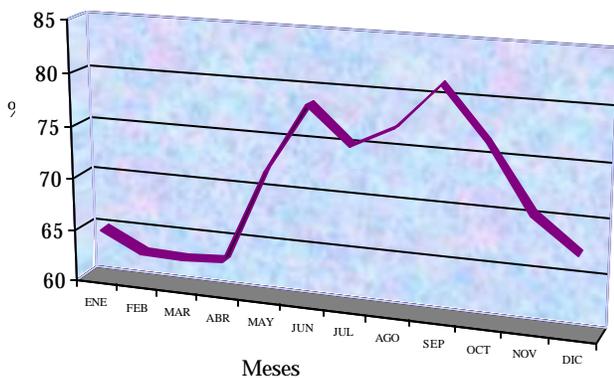
Elevación 725 msnm



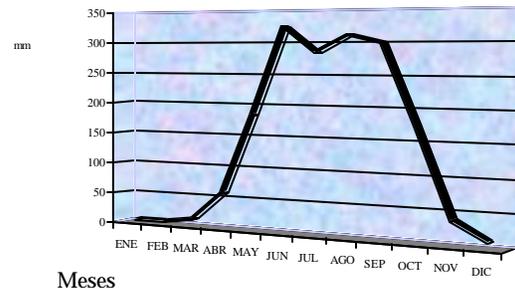
**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**



**Promedios mensuales de Humedad Relativa en %**



**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



■ Humedad Relativa (%)

■ Precipitación (mm)

## Perfil Climatológico de Sonsonate (T-6)

La estación de Acajutla en el departamento de Sonsonate, se encuentra ubicada cerca de las instalaciones del Puerto de Acajutla, en la zona costera de la región Occidental del país.

Esta zona se caracteriza por tierras planas, el suelo es arenoso y limoso, con cultivos anuales, (maíz). La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (15

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical”** (con biotemperatura menor a 24 °C, y con temperatura del aire media anual mayor a 24 °C).

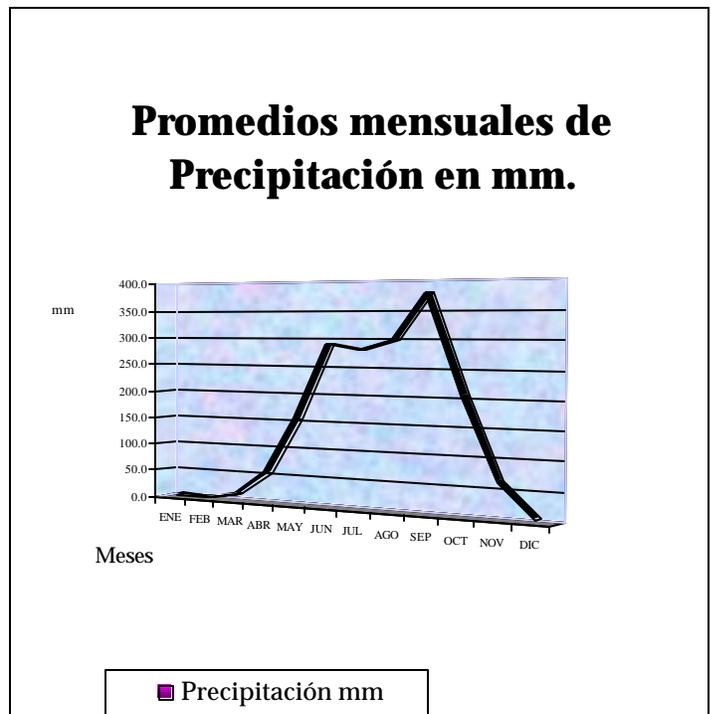
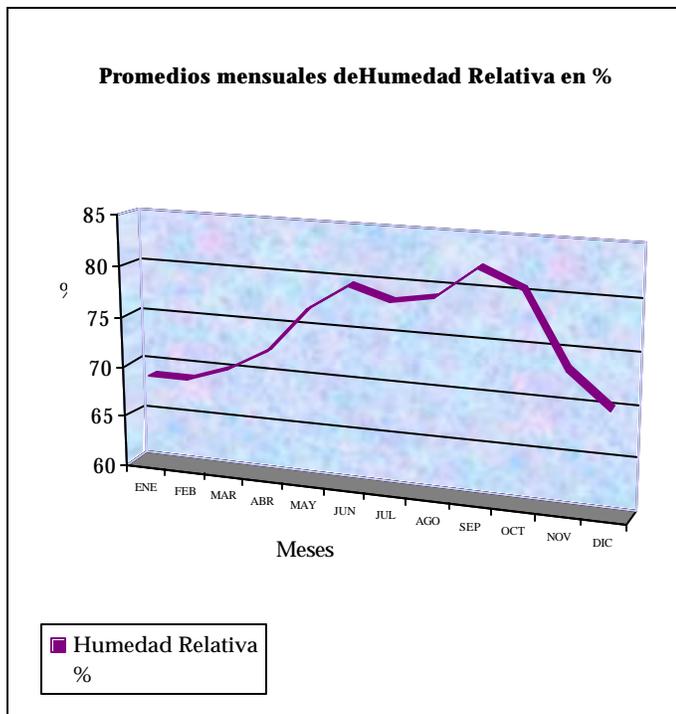
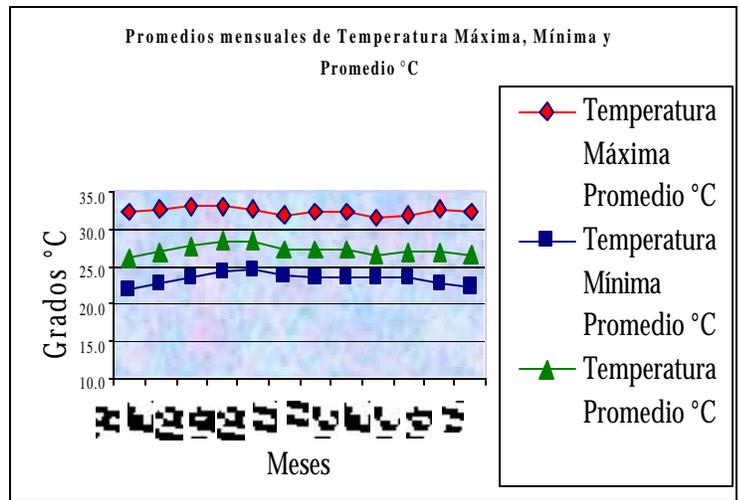
Los rumbos de los vientos son predominantes del Nor-Este durante la estación seca, y del Este en la estación lluviosa. La brisa marina ocurre después del mediodía, siendo reemplazada después de la puesta del sol por una circulación tierra-mar (rumbo Norte/ NorEste). La velocidad promedio anual es de 10.6 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

Latitud Norte 13° 34.3'

Longitud Oeste 89° 50.0'

Elevación 15 msnm



## Perfil Climatológico de Santa Tecla (L-8)

La estación de Santa Tecla se encuentra ubicada en las instalaciones de PROCAFE, en la zona norte de Santa Tecla y es la estación representativa para la zona de la Colonia Escalón.

Esta zona se caracteriza por terreno ondulado accidentado, los suelos son arcillosos y francos, con cultivos de café en los alrededores.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada**

(800 - 1200 msnm) la elevación es determinante (965 msnm)

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical”** (con biotemperatura y temperatura del aire, medio anual de menos a 24 °C)

Los rumbos de los vientos son predominantes del Norte durante la estación seca y la estación lluviosa. La velocidad promedio anual es de 8 kilómetros

### Ubicación Geográfica

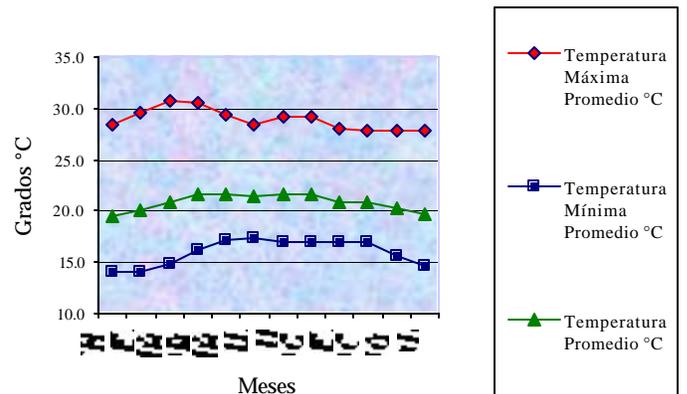
Latitud Norte 13° 41.2'

Longitud Oeste 89° 17.3'

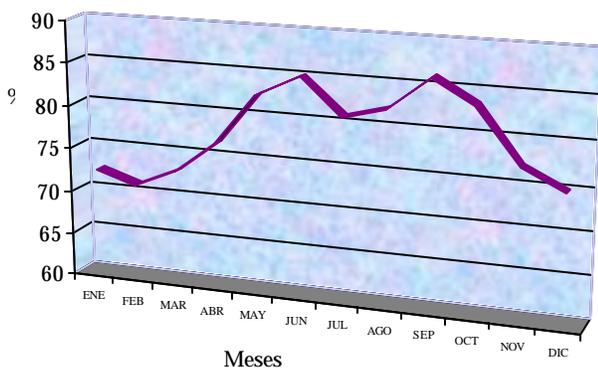
Elevación 965 msnm



**Promedios de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**

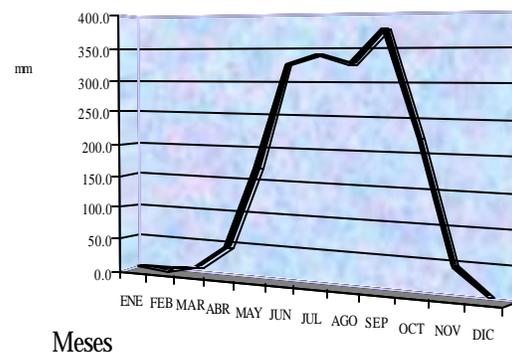


**Promedios mensuales de Humedad Relativa en %**



■ Humedad Relativa %

**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



■ Precipitación mm

## Perfil Climatológico de La Providencia (P-16)

La estación de La Providencia se encuentra ubicada en la zona costera de la región paracentral del país, cerca de Comalapa y del río Jibia. Esta zona está caracterizada por tierras alomadas y planicies aluviales, suelos arenosos y franco arenosos, con cultivos variados.

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Caliente o Tierra Caliente** (0 - 800 msnm) la elevación es determinante (26 msnm).

Considerando la regionali-

zación climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical** (con biotemperatura menor de 24 °C, pero con temperatura del aire, medio anuales mayor de 24 °C). Los rumbos de los vientos son predominantes del norte, durante la estación seca y del este/sureste en la estación lluviosa. La brisa marina ocurre después del mediodía, siendo reemplazada después de la puesta del sol por una circulación tierra-mar (rumbo norte/noroeste) la velocidad promedio anual es de 8 km/h.

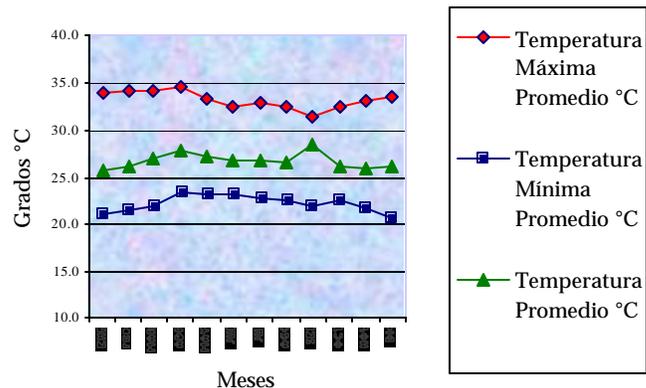
### Ubicación Geográfica

Latitud Norte 13° 28.4'

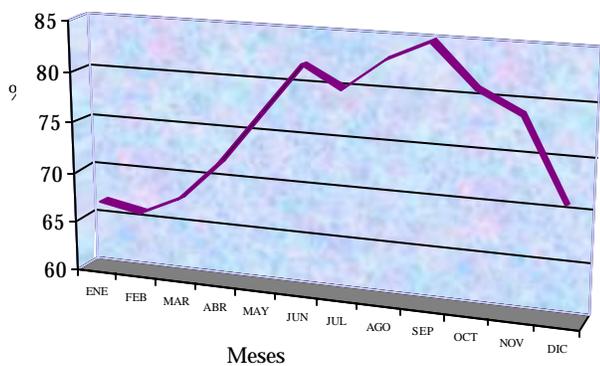
Longitud Oeste 89° 01.3'

Elevación 26 msnm

**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**

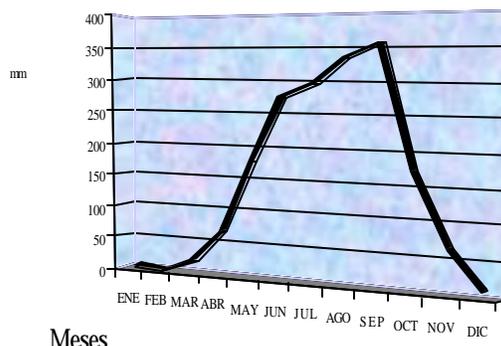


**Promedios mensuales Humedad Relativa en %**



■ Humedad Relativa %

**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



■ Precipitación mm

## Perfil Climatológico de (C-9)

La estación de Cojutepeque se encuentra ubicada en la zona Este de la ciudad de . Esta área se caracteriza por terreno ondulado y accidentado, los suelos son arcillosos, con edificaciones en los alrededores.

Considerando la regionalización climática de Holdridge, la zona de interés se clasifica como **“Bosque húmedo subtropical”** (con biotemperatura y temperatura del aire, medio anuales menor de 24 grados Centígrados (°C) ).

La región donde se ubica la estación se zonifica climáticamente según Koppen, Sapper y Laurer como **Sabana Tropical Calurosa o Tierra Templada** (800 – 1200 msnm) la elevación es determinante (880 msnm)

Los rumbos de los vientos son predominantes del Norte durante la estación seca y la estación lluviosa, la velocidad promedio anual es de 8 kilómetros por hora.

### Ubicación Geográfica

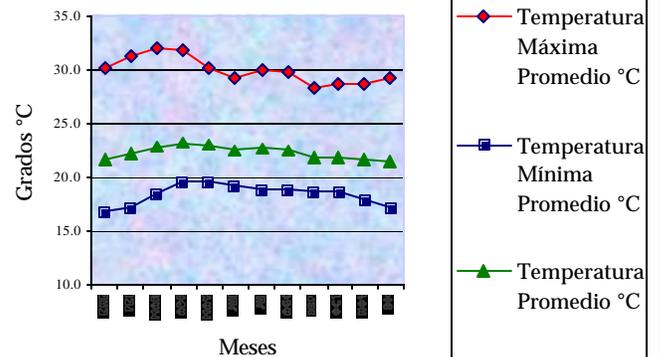
Latitud Norte 13° 43.2'

Longitud Oeste 88° 55.6'

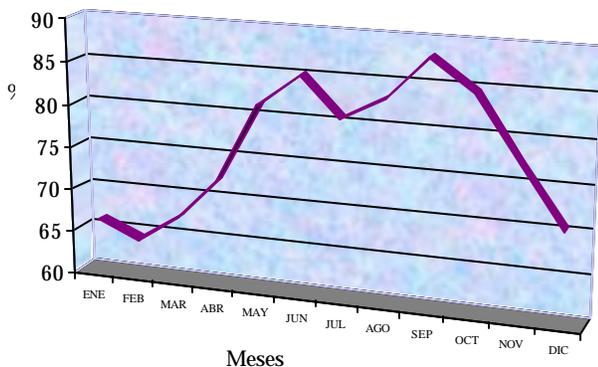
Elevación 880 msnm



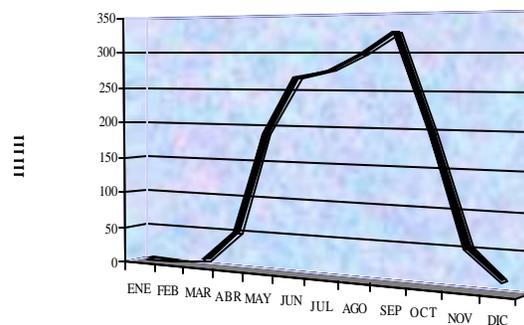
**Promedios mensuales de Temperatura Máxima, Mínima y Promedio °C**



**Promedios mensuales Humedad Relativa en %**



**Promedios mensuales de Precipitación en mm.**



## ANEXO 2: Ejemplo de Tabla de Registro de Lluvia Diaria

CENTRO DE INFORMACION Y AGROMETEOROLOGIA- DIRECCION GENERAL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL - SNET																	
Estaciones con reporte de lluvia (mm) diaria 2014																	
CENTRO DE INFORMACION Y AGROMETEOROLOGIA - DIRECCION GENERAL SERVICIO METEOROLÓGICO NACIONAL - SNET																	
MES ABRIL																	
INDICE	ESTACION \ DIA	DEPARTAMENTO	1-4	2-4	3-4	4-4	5-4	6-4	7-4	8-4	9-4	10-4	11-4	12-4	13-4	14-4	15-4
A	15	GUIJA	Santa Ana	0	0	0	1,3	0	0	4,2	0	28,3	0	0	0	13,4	19,6
A	18	FINCA LOS ANDES	Santa Ana	0	0	0	27,7	0	0,3	0	0	10,6	0	0	0	0	3,6
A	27	C. DE LA FRONTERA	Santa Ana	0	0	0	32,5	0	2,5	0	0	0	0	0	0	0	14,2
A	37	SANTA ANA-UNICAES	Santa Ana	0	0	0	8,3	1	1,5	0,2	3,2	9,5	0	0	0	0	9,9
B	1	CH. DEL GUAYABO	Cabañas	0	0	0	0	1	5,6	50,1	0	26,8	0	0	0	13,5	0,2
B	6	SENSUNTEPEQUE	Cabañas	0	0	0	3,5	2,6	12,5	42,5	0	3	0	0	0	0,5	0
B	10	CERRON GRANDE	Cabañas	0	0	0	0	0	2,2	1,6	0	12,8	0	0	0	2,2	1,1
C	3	SUCHITOTO, Alcaldía	Cuscatlan	0	0	0	0	0	0	0	0	10,1	0	0	0	1,5	0
C	9	COJUTEPEQUE SM	Cuscatlan	0	0	0	1	12	29,8	0	0,3	4,6	0	0	0	1,9	0
G	3	NUEVA CONCEPCION	Chalatenango	0	0	0	0,5	10,9	0,7	0,1	0	65,3	0	0	0	16,5	21,9
H	8	AHUACHAPAN SM	Ahuachapan	0	0	0	0	2,2	0	0	0	0,8	0	0	0	0	5,5
H	14	LA HACHADURA	Ahuachapan	0	0	0	0	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0,8
L	4	SAN ANDRES	La Libertad	0	0	0	3,6	4,4	0	0	0	8,3	0	0	0	3,4	31,5
L	48	PROCAFE	La Libertad	0	0	0	0	8,6	24,4	0	0	1,4	0	0	0	0	0,2
M	24	S. MIGUEL UES	San Miguel	0	0	0	0,1	0,2	1,4	0	0	0	0	0	0	0	0
N	2	La Union/CPI	La Union	0	0	0	17	0	3	0	3,2	2,4	0	0	0	0	0
N	6	SANTA ROSA DE LIMA	La Union	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
N	23	Nueva Esparta	La Union	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
P	18	LOS NOVILLOS	La Paz	0	0	0	0	0	3,2	0	0	0	0	0	0	0	0
S	10	A. ILOPANGO	San Salvador	0	0	0	1,7	15,5	3,2	0	0	2,7	0	0	0	13,3	0,3
S	30	SNET-MARN	San Salvador	0	0	0	0,4		5	2,3	0	0,3	0	0	0	25,2	0,1
T	6	ACAJUTLA, PTO NUEVO	Sonsonate	0	0	0		0,2	7	0	0	8,4	0	0	0	0	33,6
T	24	LOS NARANJOS	Sonsonate	0	0	0	29,5	38,2	0	1,2	3,5	13,6	0	0	0	0	7,6
U	6	SANTIAGO DE MARIA	Usulután	0	0	0	0	0	2,9	0	0,1	0,2	0	0	0	0	0
U	11	BENEFICIO LA CARRERA	Usulután	0	0	0	0	0	1,2	0	0	0	0	0	0	0	0
V	6	SANTA CRUZ PORRILLO	San Vicente	0	0	0	0	0	4,4	0	8,7		0	0	0	0	0
V	9	PUENTE CUSCATLAN	San Vicente	0	0	0	0	12,6	1,9	0	0	2,6	0	0	0	0	0
Z	2	SAN FCO. GOTERA	Morazan	0	0	0	0	0	0	0	0	5,1	0	0	0	0	0
Z	3	PERQUIN	Morazan	0	0	0	19,9	0	60,4	12,5	0	6,8	0	0	0	7,6	0,5
Z	9	VILLA EL ROSARIO	Morazan	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	34,7	6,7
RED HIDROTELEMETRICA																	
		Boqueron	La Libertad	0	0	0	0	11,6	1	3	0	0,2	0	0	0	2	7,8
		Chapeltique	San Miguel	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Citala	Chalatenango	0	0	0	0	0	0	26,8	0	0	0	0	0	4,4	1,8
		Concep Oriente	La Union	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	4,6	3,6

ANEXO 3: Hoja de Registro de Lluvias Diarias, con sus Estaciones y Coordenadas Geodésicas y Valores de Precipitación. Para cada año de Análisis

AÑO 2010									
Indice	Estación	Latitud	Longitud	may-14 precipitación	may-18 precipitación	may-30 precipitación	jul-30 precipitación	sep-27 precipitación	nov-28 precipitación
A 15	GUIJA	14,228	-89,47	5,70	23,40	137,40	1,20	17,30	0,00
A 18	FINCA LOS ANDES	13,870	-89,628	23,50	3,10	364,00	25,90	135,90	0,00
A 27	C. DE LA FRONTERA	14,120	-89,652	0,00	10,50	147,40	0,10	22,90	0,00
A 31	PLANES DE MONTECRISTO	14,398	-89,36	0,90	16,10	201,60	0,00	33,80	10,60
A 37	SANTA ANA-UNICAES	13,982	-89,548	25,00	0,50	148,20	12,60	17,00	0,00
B 1	CH. DEL GUAYABO	13,987	-88,755	0,00	12,30	66,40	14,20	18,20	0,00
B 6	SENSUNTEPEQUE	13,937	-88,913	0,00	54,20	112,00	27,00	25,50	2,60
B 10	CERRON GRANDE	13,870	-88,647	0,00	27,10	106,70	43,20	28,30	0,00
C 3	SUCHITOTO, Alcaldia	13,927	-89,035	0,00	6,50	100,00	4,50	9,30	0,00
C 9	COJUTEPEQUE SM	13,720	-89,927	0,00	0,00	168,80	40,00	89,10	0,40
G 3	NUEVA CONCEPCION	14,125	-89,29	0,00	20,40	123,20	7,70	13,30	0,00
G 4	LA PALMA	14,292	-89,162	43,90	44,20	150,30	2,60	20,50	0,00
G 13	LAS PILAS	14,3733	-88,078	0,60	19,30	145,70	0,00	25,80	0,00
H 8	AHUACHAPAN SM	13,9433	-89,86	22,00	4,10	252,90	26,60	57,50	0,00
H 14	LA HACHADURA	13,86	-89,09	8,40	0,40	483,00	9,00	79,40	0,00
L 4	SAN ANDRES	13,8083	-89,407	4,80	0,50	138,90	16,50	49,40	0,00
L 27	CHILTIUPAN	13,5967	-89,47	0,10	4,20	179,30	32,90	74,70	0,00
L 48	PROCAFE	13,6867	-89,288	4,00	2,00	0,00	9,20	104,00	0,00
M 24	S. MIGUEL UES	13,4383	-88,158	0,00	6,50	77,60	0,00	60,20	0,00
N 2	La Union/CPI	13,3327	-87,827	0,00	29,80	178,00	0,00	69,50	0,00
N 6	SANTA ROSA DE LIMA	13,6267	-87,883	0,00	0,00	124,00	0,00	49,00	0,00
N 23	Nueva Esparta	13,800	-87,833	0,00	14,00	0,00	0,00	110,50	0,00
P 16	A. EL SALVADOR	13,44	-89,055	0,00	0,00	68,50	41,60	75,10	16,10
P 18	LOS NOVILLOS	13,4338	-89,008	0,00	0,00	0,00	7,80	66,50	30,00
S 10	A. ILOPANGO	13,6983	-89,118	0,00	0,00	207,40	32,00	36,90	0,00
S 30	SNET-MARN	13,6883	-89,232	0,00	0,00	148,80	10,40	53,10	0,00
T 6	ACAJUTLA, PTO NUEVO	13,5733	-89,833	0,60	0,00	144,90	3,90	36,80	0,00
T 24	LOS NARANJOS	13,875	-89,675	45,50	27,40	449,00	20,00	105,50	0,00
U 6	SANTIAGO DE MARIA	13,485	-88,472	0,00	12,40	139,70	2,40	139,40	20,40
U 11	BENEFICIO LA CARRERA	13,33	-88,525	0,00	29,40	0,00	3,20	40,50	10,70
U 14	PUERTO PARADA	13,2533	-88,443	0,00	59,80	72,80	3,40	64,10	0,10
V 6	SANTA CRUZ PORRILLO	13,44	-88,803	0,00	0,00	0,00	17,30	0,00	55,00
V 9	PUENTE CUSCATLAN	13,6017	-88,593	0,00	2,60	93,90	10,60	65,90	44,20
Z 2	SAN FCO. GOTERA	13,6967	-88,107	0,00	5,60	93,70	0,00	73,60	0,00
Z 3	PERQUIN	13,9583	-88,162	0,00	57,70	56,30	16,70	21,30	0,00
Z 9	VILLA EL ROSARIO	13,865	-88,212	0,00	20,80	0,00	15,40	22,10	0,00
1	Ataco	13,834	-89,903	96,40	10,20	416,80	45,60	109,40	0,00
2	Belloso	13,693	-89,191					50,00	0,00
3	Boqueron	13,784	-89,267	26,00	0,60	240,00	34,40	80,60	0,00
4	Chapelrique	13,6424	-88,261	0,00	14,00	59,00	0,00	65,00	12,00
5	Citala	14,3708	-89,213	17,20	28,40	107,20	1,60	7,60	0,00
6	Concep Oriente	13,7914	-87,71	0,00	4,40	95,80	0,00	33,00	4,40
7	El Jobo	14,0167	-89,917	19,60	0,00	247,10	21,80	66,80	0,00
8	El Pacayal	13,469	-88,323	0,00	52,20	124,40	0,00	98,60	1,60
9	El Zapotillo	14,175	-89,413	0,00	50,30	96,80	35,60	6,90	0,00
10	Guacotecti								
11	Hachadura	13,85	-90,1	0,30	0,00	346,20	7,10	71,10	0,00
12	Ishuatan	13,643	-89,558	33,00	0,20	101,60	11,60	90,20	0,00
13	Jerusalem	13,653	-88,9	0,00	0,00	136,80	14,40	50,20	10,60
14	La Cima								
15	Las Pilas	14,371	-89,096	0,60	18,40	136,00	0,00	4,00	0,00
16	La Union								
17	Los Naranjos	13,8763	-89,674	44,40	26,00	454,40	20,40	122,80	0,00
18	Metapan	14,3595	-89,545	0,00	0,50	58,50	0,30	11,60	0,00
19	Montecristo	14,3625	-89,4	6,60	31,80	124,60	0,00	14,80	0,00
21	Osicala	13,8332	-88,15	0,00	4,60	46,00	1,50	27,90	0,00
22	Picacho	13,765	-89,256				41,00	68,80	0,00
23	PROCAFE	13,684	-89,287	0,00	1,40	233,40	8,60	104,00	0,00
24	Providencia	13,4767	-89,095					123,00	10,00
26	Puente Viejo	13,5167	-88,983	0,00	0,30	109,50	23,90	65,50	25,40
27	San Fco Gotera	13,6908	-88,11	0,00	0,00	55,00	0,00	72,00	0,00
28	Santa Ana	13,9825	-89,549	24,60	0,20	115,00	12,80	12,40	0,00
29	Santa Beatriz	13,5923	-89,736					23,20	0,00
30	Santiago Nonual	13,4374	-88,978	0,00	0,00	114,20	4,60	76,40	22,40
31	San Vicente	13,596	-88,839	0,00	0,20	205,20	8,00	88,60	76,80
32	S Marcos Lempa							0,00	0,00
33	Tecoluca	13,5334	-88,781	0,00	0,20	151,80	21,00	98,40	23,80
34	Tepezontes	13,6234	-89,02	0,00	16,00	235,80	29,60	72,00	0,20
35	UES								

AÑO 2011

Indice	Estación	Latitud	Longitud	abr-11 precipitación	abr-23 precipitación	jun-01 precipitación	ago-01 precipitación	ago-30 precipitación	oct-12 precipitación
A 15	GUIJA	14,228	-89,470	22,20	2,70	0,00	12,50	18,60	55,60
A 18	FINCA LOS ANDES	13,870	-89,628	6,00	7,40	0,00	64,90	0,00	352,90
A 27	C. DE LA FRONTERA	14,120	-89,652	24,50	16,00	0,00	17,90	0,90	101,10
A 31	PLANES DE MONTECRISTO	14,398	-89,360	0,00	33,40	0,00	63,10	4,10	75,30
A 37	SANTA ANA-UNICAES	13,982	-89,548	47,20	54,70	0,00	57,40	0,00	112,30
B 1	CH. DEL GUAYABO	13,987	-88,755	0,00	3,00	0,00	9,00	0,50	19,90
B 6	SENSUNTEPEQUE	13,937	-88,913	4,50	5,20	0,00	59,50	27,00	12,50
B 10	CERRON GRANDE	13,870	-88,647	0,40	8,00	0,00	24,40	3,10	28,90
C 3	SUCHITOTO, Alcaldía	13,927	-89,035	0,00	45,20	0,00	0,00	3,20	74,20
C 9	COJUTEPEQUE SM	13,720	-89,927	0,00	8,00	0,00	26,20	3,90	37,20
G 3	NUEVA CONCEPCION	14,125	-89,290	25,30	4,10	0,00	17,00	0,00	66,80
G 4	LA PALMA	14,292	-89,162	28,80	21,80	0,00	33,30	44,70	47,90
G 13	LAS PILAS	14,373	-88,078	0,00	27,40	0,00	62,20	33,30	47,20
H 8	AHUACHAPAN SM	13,943	-89,860	17,80	46,20	0,00	19,10	2,10	202,60
H 14	LA HACHADURA	13,860	-89,090	35,80	0,00	0,00	83,20	9,90	244,60
L 4	SAN ANDRES	13,808	-89,407	0,00	26,30	0,00	32,40	3,50	90,90
L 27	CHILTIUPAN	13,597	-89,470	0,00	9,50	0,00	74,00	18,90	195,60
L 48	PROCAFE	13,687	-89,288	0,00	37,60	0,00	49,60	0,00	155,40
M 24	S. MIGUEL UES	13,438	-88,158	0,00	2,80	27,80	17,70	28,60	34,70
N 2	La Union/CPI	13,333	-87,827	0,00	1,60	31,50	8,80	30,60	32,10
N 6	SANTA ROSA DE LIMA	13,627	-87,883	0,00	0,00	4,00	18,00	0,00	16,00
N 23	Nueva Esparta	13,800	-87,833	0,00	0,00	11,00	10,00	0,00	
P 16	A. EL SALVADOR	13,440	-89,055	0,00	1,20	0,00	16,00	15,80	104,90
P 18	LOS NOVILLOS	13,434	-89,008	0,00	0,00	0,00	13,50	45,80	85,60
S 10	A. ILOPANGO	13,698	-89,118	1,30	6,90	0,00	44,00	8,70	93,80
S 30	SNET-MARN	13,688	-89,232	0,90	38,40	0,00	56,40	2,40	67,30
T 6	ACAJUTLA, PTO NUEVO	13,573	-89,833	13,00	0,00	0,00	48,70	1,10	83,20
T 24	LOS NARANJOS	13,875	-89,675	16,40	5,70	0,00	30,90	2,80	0,00
U 6	SANTIAGO DE MARIA	13,485	-88,472	0,00	0,00	3,10	54,90	12,20	126,20
U 11	BENEFICIO LA CARRERA	13,330	-88,525	0,00	0,00	50,30	10,70	4,30	110,00
U 14	PUERTO PARADA	13,253	-88,443	0,00	0,00	68,00	40,90	1,20	101,50
V 6	SANTA CRUZ PORRILLO	13,440	-88,803	0,00	0,00	12,00	18,00	48,00	85,00
V 9	PUENTE CUSCATLAN	13,602	-88,593	0,00	3,70	0,60	9,00	0,00	23,80
Z 2	SAN FCO. GOTERA	13,697	-88,107	0,00	69,40	3,30	86,20	7,10	4,90
Z 3	PERQUIN	13,958	-88,162	0,00	5,20	0,40	50,60	0,50	69,50
Z 9	VILLA EL ROSARIO	13,865	-88,212	0,00	0,00	0,10	0,00	0,00	36,90
1	Ataco	13,834	-89,903	11,40	19,20	0,00	15,20	6,00	300,20
2	Belloso	13,693	-89,191	0,80	9,20	0,00	70,40	1,80	51,00
3	Boqueron	13,784	-89,267	3,40	23,60	0,00	21,80	5,20	122,60
4	Chapelique	13,642	-88,261	0,00	31,00	20,00	19,00	0,00	7,00
5	Citala	14,371	-89,213	7,00	14,20	0,00	19,80	35,20	0,20
6	Concep Oriente	13,791	-87,710	0,00	13,60	5,80	62,20	2,00	8,00
7	El Jobo	14,017	-89,917	12,70	35,60	0,51	15,24	0,00	167,13
8	El Pacayal	13,469	-88,323	0,00	0,40	53,00	51,80	28,00	125,20
9	El Zapotillo	14,175	-89,413	4,60	33,50	0,00	11,93	8,64	51,56
10	Guacotecti	13,871	-88,645				59,20	26,80	12,20
11	Hachadura	13,850	-90,100	21,10	20,10	0,00	70,87	11,18	223,26
12	Ishuatan	13,643	-89,558	0,60	36,40	0,00	58,80	1,80	193,20
13	Jerusalem	13,653	-88,900	0,00	1,80	0,40	40,00	24,60	52,20
14	La Cima	13,659	-89,215			0,00	18,60	1,20	60,80
15	Las Pilas	14,371	-89,096	13,60	5,60	0,00	60,20	33,80	44,60
16	La Union	13,333	-87,824			30,40	9,60	30,60	25,60
17	Los Naranjos	13,876	-89,674	16,60	5,20	0,00	31,00	2,40	407,00
18	Metapan	14,360	-89,545	0,00	0,00	0,00	14,60	0,00	75,20
19	Montecristo	14,363	-89,400	0,20	33,40	0,00	16,20	1,40	0,00
21	Osicala	13,833	-88,150	0,00	26,90	0,25	22,36	0,00	16,76
22	Picacho	13,745	-89,256	3,80	37,40	0,00	12,60	6,80	104,60
23	PROCAFE	13,684	-89,287	1,20	33,60	0,20	35,60	1,00	125,00
24	Providencia	13,477	-89,095	0,00	1,60	11,20	48,00	0,00	0,00
26	Puente Viejo	13,517	-88,983	0,00	0,30	1,27			10,00
27	San Fco Gotera	13,691	-88,110	0,00	67,00	3,00	82,00	0,00	4,00
28	Santa Ana	13,983	-89,549	27,80	9,80	0,00	54,40	0,00	112,20
29	Santa Beatriz	13,592	-89,736	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
30	Santiago Nonual	13,437	-88,978	0,00	0,00	1,80	25,20	5,80	106,20
31	San Vicente	13,596	-88,839	0,00	0,40	0,60	14,80	91,60	99,60
32	S Marcos Lempa	13,424	-88,697	0,00	0,00	0,00	33,60	8,60	62,40
33	Tecoluca	13,533	-88,781	0,00	1,20	3,40	17,00	34,80	57,20
34	Tepezontes	13,623	-89,020	0,00	3,40	0,00	0,00	97,40	120,00
35	UES	13,719	-89,203				76,00	0,00	157,00
37	Vado Marin	13,302	-88,290	0,00	0,00	92,80	31,00	22,60	75,60
36	Volcan S Miguel	13,443	-88,238	0,00	0,80	57,20	44,80	2,40	65,60
38	Zacatecoluca	13,508	-88,858	0,00	0,00	13,40	49,20	30,40	81,60
39	Beneficio Entre Rios	13,475	-88,840				0,00		

AÑO 2012										
INDICE	ESTACION \ DIA	Latitud	Longitud	jul-18	sep-02	sep-22	oct-10	oct-17	nov-06	
A	15	GUIJA	14,228	-89,470	0,10	0,10	38,50	9,60	0,00	0,00
A	18	FINCA LOS ANDES	13,870	-89,628	54,80	0,00	47,20	65,00	0,00	0,00
A	27	C. DE LA FRONTERA	14,120	-89,652	12,00	0,00	42,30	6,80	0,00	0,00
A	31	PLANES DE MONTECRISTO	14,398	-89,360	0,00	0,00	18,90	46,60	0,10	0,80
A	37	SANTA ANA-UNICAES	13,982	-89,548	46,70	0,00	38,10	29,20	0,00	0,00
B	1	CH. DEL GUAYABO	13,987	-88,755	50,50	8,80	19,10	35,70	0,00	0,00
B	6	SENSUNTEPEQUE	13,937	-88,913	32,00	42,50	18,00	18,50	24,00	0,80
B	10	CERRON GRANDE	13,870	-88,647	28,00	11,90	44,90	24,30	0,00	0,00
C	3	SUCHITOTO, Alcaldia	13,927	-89,035	20,50	0,50	0,00	30,50	0,00	0,00
C	9	COJUTEPEQUE SM	13,720	-89,927	56,60	13,60	64,20	24,30	0,20	0,00
G	3	NUEVA CONCEPCION	14,125	-89,290	24,00	0,00	56,50	21,40	0,00	0,00
G	4	LA PALMA	14,292	-89,162	0,60	0,00	50,90	58,10	0,00	0,00
G	13	LAS PILAS	14,373	-88,078	0,00	0,00	37,70	17,80	0,00	0,00
H	8	AHUACHAPAN SM	13,943	-89,860	18,20	0,00	12,30	19,70	2,60	0,00
H	14	LA HACHADURA	13,860	-89,090	9,10	0,00	8,90	19,20	0,00	0,00
L	4	SAN ANDRES	13,808	-89,407	61,70	2,20	36,90	19,40	0,00	0,00
L	27	CHILTUPAN	13,597	-89,470	117,80	7,60	43,40	39,90	0,00	0,00
L	48	PROCAFE	13,687	-89,288	37,80	12,00	51,60	36,60	0,00	0,00
M	24	S. MIGUEL UES	13,438	-88,158	0,00	0,00	14,40	22,40	4,30	0,00
N	2	La Union/CPI	13,333	-87,827	0,00	1,40	17,80	9,40	0,00	0,00
N	6	SANTA ROSA DE LIMA								
P	16	A. EL SALVADOR	13,440	-89,055	31,00	2,80	35,00	21,20	0,00	2,80
P	18	LOS NOVILLOS	13,434	-89,008		1,00	21,00	25,20	0,00	3,30
S	10	A. ILOPANGO	13,698	-89,118	39,40	13,70	45,60	44,60	0,00	0,00
S	30	SNET-MARN	13,688	-89,232	33,60	7,30	39,20	47,20	0,00	0,00
T	6	ACAJUTLA, PTO NUEVO	13,573	-89,833	32,20	3,10	16,00	4,50	67,00	0,40
T	24	LOS NARANJOS	13,875	-89,675	36,80	0,00	28,30	52,10	0,00	0,00
U	6	SANTIAGO DE MARIA	13,485	-88,472	0,00	22,30	18,00	29,40	0,00	1,30
U	11	BENEFICIO LA CARRERA	13,330	-88,525	0,00	10,20	28,00	42,50	64,30	0,00
U	14	PUERTO PARADA	13,253	-88,443	0,00	0,00	19,10	17,00	40,30	0,00
V	6	SANTA CRUZ PORRILLO	13,440	-88,803	0,00	29,00	73,00	26,50	41,00	23,00
V	9	PUENTE CUSCATLAN	13,602	-88,593	20,50	41,30	12,30	26,20	0,60	4,00
Z	2	SAN FCO. GOTERA	13,697	-88,107	11,20	34,20	40,80	13,40	0,30	12,20
Z	3	PERQUIN	13,958	-88,162	9,20	29,80	38,90	59,40	0,90	25,40
Z	9	VILLA EL ROSARIO	13,865	-88,212	0,00	33,80	7,00	49,60	1,80	19,50
RED HIDROTELEMETRICA										
Acajutla		13,568	-89,833	0,00	2,80	3,20	3,80	0,00	0,20	
Apaneca		13,841	-89,798	21,60	1,00	6,60	32,80	0,00	0,00	
Apopa		13,796	-89,174	21,80	3,00	44,80	60,80	0,00	0,00	
Ataco		13,834	-89,903	11,00	0,00	11,20	50,20	0,00	0,00	
Atalaya		13,608	-89,830	38,80	0,60	8,80	6,60	14,00	0,20	
Belloso		13,693	-89,191	30,80	6,40	35,60	30,40	0,00	0,00	
Berlin		13,483	-88,52	0,00	15,40	19,20	18,60	0,00	4,20	
Boqueron		13,784	-89,267	64,00	18,40	98,00	20,40	0,00	0,00	
Chapeltique		13,642	-88,261	3,00	21,00	15,00	21,00	46,00	3,00	
Chirilagua		13,256	-88,197	0,00	2,00	7,30	6,80	35,70	0,00	
Citala		14,371	-89,213	0,00	0,20	27,20	37,60	0,00	0,00	
Cojutepeque		13,721	-88,926	0,00	14,00	59,00	24,20	0,00	0,00	
Comasagua		13,635	-89,349	0,00	6,40	62,20	48,60	0,00	0,00	
Concep Oriente		13,791	-87,710	0,00	0,60	20,20	37,80	0,00	0,00	
Conchagua		13,276	-87,834	0,60	0,40	25,40	6,60	10,80	0,00	
El Camalote-GEO		14,168	-88,924	2,00	0,00	63,00	39,00	0,00	0,00	
El Jobo		14,017	-89,917	8,38	0,00	27,18	15,49	0,00	0,00	

El Pacayal	13,469	-88,323	0,00	13,40	31,60	66,20	1,80	0,00
El Piro	13,681	-89,244	33,00	4,00	54,20	50,80	0,00	0,00
El Sauce	13,650	-87,790	0,80	0,00	6,20	57,20	0,00	0,80
El Zapotillo	14,175	-89,413	0,76	0,00	34,80	10,16	0,00	0,00
Guacotecti	13,871	-88,645	32,40	45,80	17,40	17,60	23,20	0,80
Guadalupe	13,607	-88,860	19,80	22,00	14,40	19,40	0,00	8,20
Guazapa	13,886	-89,196	83,20	0,80	31,40	14,60	3,00	0,00
Hachadura	13,850	-90,100	6,60	0,00	6,10	16,25	0,00	0,00
Huizucar	13,609	-89,234	17,00	8,20	20,60	17,80	0,00	0,00
Ilobasco	13,815	-88,862	36,20	8,80	48,80	9,80	15,20	0,00
Ishuatan	13,643	-89,558	59,40	1,40	57,00	23,60	0,00	0,00
Izalco	13,757	-89,703	0,00	14,40	19,40	38,00	0,00	0,00
Jerusalem	13,653	-88,900	10,20	21,20	0,00	23,20	0,00	0,40
Juayua-GEO			24,00	3,00	18,00	40,00	0,00	0,00
La Cañada	13,31	-87,889	0,00	0,00	20,40	9,00	0,00	0,00
La Canoa	13,328	-88,165	0,00	0,00	10,80	20,20	1,60	0,00
La Cima	13,659	-89,215	16,00	2,00	21,80	20,00	0,00	0,00
Laquesera	13,582	-88,648	28,40	64,00	51,20	63,00	0,00	65,60
Las Flores			41,20	0,20	31,40	31,20	0,00	0,00
Las Pilas	14,371	-89,096		0,00	0,00	6,30	0,00	0,00
Las Vueltas	14,091	-88,881	14,80	0,00	62,60	25,40	0,00	0,00
La Union	13,333	-87,824	0,00	1,20	24,00	12,60	0,00	0,00
Los Naranjos	13,876	-89,674	0,00	0,00	28,20	45,80	0,00	0,00
Manantiales-GEO			22,00	8,00	28,00	0,00	0,00	0,00
Melara	13,487	-89,207	13,60	26,80	38,80	16,40	0,00	0,20
Metapan	14,360	-89,545	0,00	0,00	17,40	17,20	0,00	0,00
Montecristo	14,363	-89,400	0,00	0,00	33,00	22,20	0,00	0,00
Moropala	13,284	-88,319	0,00	0,00	3,60	10,40	24,60	0,00
Nueva Esparta	13,800	-87,833		29,60	9,20	29,00	0,20	5,60
Osicala	13,833	-88,150	5,00	14,20	40,20	17,60	0,40	2,20
Panchimalco	13,609	-89,181	27,80	26,20	54,00	25,20	0,00	0,00
Pasaquina	13,565	-87,780	3,60	0,00	7,40	4,20	1,20	0,00
Perquin	13,961	-88,158	9,80	29,80	38,80	57,20	0,60	27,60
Picacho	13,745	-89,256	54,80	17,80	82,80	43,40	0,00	0,00
PROCAFE	13,684	-89,287	37,60	11,60	43,40	32,20	0,00	0,00
Pto Parada	13,251	-88,469	0,00	0,00	19,80	16,80	39,80	0,00
Puente Viejo	13,517	-88,983	11,20	15,00	61,60	14,00	0,00	23,00
San Fco Gotera	13,691	-88,110	8,00	31,00	40,00	13,00	0,00	9,00
Sanisidro	13,790	-88,698	11,20	12,00	47,60	7,00	8,60	19,20
San Julian				1,20	15,80	10,40	0,20	0,00
Santa Ana	13,983	-89,549	46,80	0,00	37,20	18,60	0,00	0,00
Santa Beatriz	13,592	-89,736	0,00	7,40	27,20	7,80	1,80	0,00
San Vicente	13,596	-88,839	31,40	28,20	13,80	19,80	0,00	6,40
Sensunapan	13,660	-89,764	50,40	1,00	30,60	26,20	3,00	0,00
Sesori	13,724	-88,367		9,20	35,40	48,00	0,80	38,60
S Marcos Lempa	13,424	-88,697	0,00	26,80	36,60	47,40	0,00	15,60
StaCruzPorrillo	13,439	-88,801	0,40	29,20	72,40	25,60	39,40	24,00
Stgo de Maria	13,480	-88,472	0,00	23,20	19,40	31,00	0,00	1,20
S Vicente hidro	13,649	-88,773	22,80	52,60	39,40	47,80	0,00	3,00
Tamarindo	14,047	-89,252	59,00	0,00	23,20	18,60	0,00	0,00
Tecoluca	13,533	-88,781	15,20	25,60	64,60	25,40	0,20	49,40
Tepezontes	13,623	-89,020	24,20	11,80	32,60	15,80	0,00	0,60
Tonacatepeque	13,782	-89,115	19,80	7,60	29,20	55,00	0,00	0,00
UES	13,719	-89,203	77,00	10,00	71,00	53,00	0,00	0,00
Vado Marin	13,302	-88,290	0,00	0,00	3,00	12,80	26,20	0,00
Verapaz	13,657	-88,861	10,00	36,20	25,20	23,80	0,00	0,80
Villerias	13,519	-88,180	0,00	0,00	15,20	0,00	0,00	
Zacatecoluca	13,508	-88,858	23,80	16,80	27,00	27,20	0,80	5,80
Zaragoza	13,576	-89,290		21,60	38,20	26,80	0,00	0,00

AÑO 2013									
INDICE	ESTACION \ DIA	Longitud	Latitud	abr-29	may-19	may-26	jun-29	sep-12	sep-18
A 15	GUJJA	-89,470	14,228	0,00	16,80	21,50	3,40	9,70	1,90
A 18	FINCA LOS ANDES	-89,628	13,870	0,00	27,40	47,00	28,70	48,00	18,10
A 27	C. DE LA FRONTERA	-89,652	14,120	0,00	28,50	32,80	50,40	13,50	19,20
A 31	PLANES DE MONTECRISTO	-89,360	14,398	0,00	7,50	29,60	6,00	9,60	32,70
A 37	SANTA ANA-UNICAEES	-89,548	13,982	0,00	22,00	71,00	40,70	21,50	26,10
B 1	CH. DEL GUAYABO	-88,755	13,987	0,00	0,70	11,60	18,80	75,60	86,40
B 6	SENSUNTEPEQUE	-88,913	13,937	0,00	2,80	4,00	52,50	99,50	30,50
B 10	CERRON GRANDE	-88,647	13,870	0,00	1,90	8,10	64,70	30,30	0,00
C 9	COJUTEPEQUE SM	-89,927	13,720	0,00	0,00	16,40	17,80	61,80	0,30
G 3	NUEVA CONCEPCION	-89,290	14,125	0,00	42,40	40,70	45,30	29,30	47,90
G 4	LA PALMA	-89,162	14,292	0,00	0,00	19,90	21,00	17,50	47,30
G 12	CONCEPCION QUEZALTEPEQUE								
G 13	LAS PILAS	-88,078	14,373	0,50	0,00	22,80	30,70	14,40	27,60
H 8	AHUACHAPAN SM	-89,860	13,943	0,00	9,50	85,60	17,80	26,70	5,00
H 14	LA HACHADURA	-89,090	13,860	0,00	25,50	58,10	55,90	120,20	44,90
L 4	SAN ANDRES	-89,407	13,808	0,00	7,60	24,40	29,30	30,30	6,90
L 27	CHILTIUPAN	-89,470	13,597	0,10	9,90	28,50	0,00	136,20	0,30
L 48	PROCAFE	-89,288	13,687	0,00	0,00	15,00	48,00	59,80	0,00
M 4	LOLOTIQUE								
M 24	S. MIGUEL UES	-88,158	13,438	0,00	0,00	0,00	36,40	38,90	14,60
N 2	La Union/CPI	-87,827	13,333	0,00	0,00	0,00	30,30	95,00	53,00
N 6	SANTA ROSA DE LIMA	-87,883	13,627	0,00	0,00	2,00	8,00	16,00	18,00
N 24	Volcan Conchagua								
P 16	A. EL SALVADOR	-89,055	13,440	0,00	0,00	33,50	63,20	130,60	42,80
P 18	LOS NOVILLOS	-89,008	13,434	0,00	0,00	30,00	2,00	110,00	0,00
S 10	A. ILOPANGO	-89,118	13,698	0,00	0,00	3,20	53,20	51,30	0,00
S 30	SNET-MARN	-89,232	13,688	0,00	0,00	10,40	51,30	31,00	0,00
T 6	ACAJUTLA, PTO NUEVO	-89,833	13,573	0,00	0,00	0,00	0,00	92,60	0,00
T 24	LOS NARANJOS	-89,675	13,875	0,00	29,00	38,20	20,10	78,10	20,30
U 7	Estanzuelas								
U 11	BENEFICIO LA CARRERA	-88,525	13,330	0,00	0,00	2,50	67,20	86,50	5,90
U 14	PUERTO PARADA	-88,443	13,253	0,10	6,00	9,60	34,30	115,30	35,60
V 6	SANTA CRUZ PORRILLO	-88,803	13,440	0,00	0,00	25,00	7,00	105,00	0,00
V 9	PUENTE CUSCATLAN	-88,593	13,602	0,00	0,00	0,20	67,20	75,70	0,00
Z 2	SAN FCO. GOTERA	-88,107	13,697	0,60	0,00	0,00	26,80	4,80	5,40
Z 3	PERQUIN	-88,162	13,958	90,80	16,30	4,30	61,90	19,50	17,90
Z 9	VILLA EL ROSARIO	-88,212	13,865	56,30	2,20	4,10	30,80	0,00	31,90
	RED HIDROTELEMETRICA								
	Acajutla	-89,833	13,568	0,00	0,00	0,00	52,00	20,80	14,60
	Apaneca	-89,798	13,841	0,00	5,40	41,00	47,40	50,00	13,20
	Apopa	-89,174	13,796	0,00	0,00	6,00	29,20	28,60	0,00
	Ataco	-89,903	13,834	10,60	14,80	37,00	15,80	52,20	62,00
	Atalaya	-89,830	13,608	0,00	0,00	43,80	62,40	100,20	10,00
	Belloso	-89,191	13,693	0,00	0,00	3,80	38,00	22,40	0,00
	Berlin	-88,52	13,483	0,00	0,00	3,80	16,80	100,00	0,00
	Berlin Met	-88,506	13,507	0,00	0,00	1,20	15,20	83,60	10,80
	Boqueron	-89,267	13,784	0,00	0,00	11,00	22,00	0,00	0,00
	Can La Frontera	-89,656	14,119	0,00	29,80	31,60	51,60	13,60	19,40
	Chapeltique	-88,261	13,642	0,00	0,00	0,00	78,00	26,00	3,00
	Chirilagua	-88,197	13,256	0,20	0,00	21,20	24,20	0,00	37,70
	Citala	-89,213	14,371	0,00	0,00	32,20	13,40	3,80	0,00
	Ciudad Barrios	-88,273	13,725	0,00	0,00	0,00	125,40	56,40	51,60
	Coatepeque	-89,512	13,868	0,00	0,00	0,00	0,00	53,00	0,00
	Cojutepeque	-88,926	13,721	0,00	0,00	15,40	17,00	49,40	0,20
	Comasagua	-89,349	13,635	0,00	0,00	16,60	44,60	62,60	0,00
	Concep Oriente	-87,710	13,791	41,60	0,00	0,20	42,20	36,80	0,00
	Concep Quezalte	-88,968	14,081	12,80	26,60	74,20	70,00	25,40	31,40
	Conchagua	-87,834	13,276	2,00	0,00	0,00	0,00	92,40	64,80
	El Camalote	-88,924	14,168	0,00	0,00	0,00	73,80	23,40	38,80
	El Imposible	-89,947	13,827	0,40	17,60	50,40	76,60	96,00	92,20
	El Jobo	-89,917	14,017	0,00	7,62	60,96	10,16	35,56	5,08
	El Jocote	-89,276	13,913	0,00	0,00	0,00	68,60	21,80	0,00
	El Pacayal	-88,323	13,469	7,40	0,00	0,00	70,60	61,40	33,40
	El Piro	-89,244	13,681	0,00	0,00	11,60	42,60	40,60	0,20
	El Sauce	-87,790	13,650	32,60	0,00	0,00	88,60	9,20	2,60
	El Zapotillo	-89,413	14,175	0,00	22,35	8,63	5,59	8,64	0,00

Guacotecti		-88,645	13,871	0,00	2,40	3,80	49,20	95,80	30,80
Guadalupe		-88,860	13,607	0,00	0,00	0,60	18,60	54,20	3,20
Guazapa		-89,196	13,886	0,00	0,00	0,00	29,00	9,00	0,00
Hachadura		-90,100	13,850	0,00	16,60	33,80	38,60	123,40	34,40
Hda Melara		-89,221	13,480	0,00	0,00	0,20	63,60	180,80	2,60
Huizucar		-89,234	13,609	0,00	0,00	15,80	1,80	66,40	1,60
Ilobasco		-88,862	13,815	0,20	0,20	6,60	33,20	53,20	0,20
Ishuatan		-89,558	13,643	0,00	3,40	61,80	66,20	89,60	3,20
Izalco		-89,703	13,757	0,00	1,60	38,00	31,60	66,60	22,40
Jerusalem		-88,900	13,653	0,00	0,00	0,40	30,60	44,60	0,00
Juayua-GEO									
Jucuaran		-88,291	13,196	7,80	0,80	23,00	46,60	161,80	37,80
La Cañada		-87,889	13,31	26,20	0,00	0,00	54,80	58,20	51,40
La Canoa		-88,165	13,328	0,00	0,00	0,00	30,80	59,20	50,60
La Cima		-89,215	13,659	0,00	0,00	11,60	13,60	39,40	0,00
La Palma		-89,159	14,278	0,00	0,00	22,20	20,40	17,80	41,00
Laquesera		-88,648	13,582	0,00	0,00	0,00	80,80	73,00	0,00
Las Flores									
Las Pavas		-89,306	14,038	0,00	0,00	0,00	35,20	22,00	4,00
Las Pilas		-89,096	14,371	0,20	0,00	20,20	29,00	13,60	24,60
Las Vueltas		-88,881	14,091	25,00	17,80	31,40	56,60	31,60	94,00
La Union		-87,824	13,333	0,00	0,00	0,00	31,40	91,20	57,60
Los Naranjos		-89,674	13,876	0,00	27,00	36,00	19,20	72,20	20,80
Manantiales-GEO									
Melara		-89,207	13,487	0,00	0,00	36,00	19,80	127,80	2,20
Metapan		-89,545	14,360	0,00	0,00	43,40	0,60	5,00	31,80
Montecristo		-89,400	14,363	0,00	10,20	58,20	2,40	1,60	8,60
Moropala		-88,319	13,284	0,00	0,00	2,60	56,40	106,00	24,20
Nueva Esparta		-87,833	13,800	0,00	0,00	0,00	37,60	15,00	1,00
Oscala		-88,150	13,833	24,80	0,00	0,00	33,20	12,60	11,00
Panchimalco		-89,181	13,609	0,00	0,00	22,00	5,20	82,40	0,40
Pasaquina		-87,780	13,565	14,60	0,00	0,00	47,00	7,00	10,40
Perquin		-88,158	13,961	86,40	17,40	4,40	60,40	19,20	17,60
Picacho		-89,256	13,745	0,00	0,00	6,80	25,60	34,00	8,60
PROCAFE		-89,287	13,684	0,00	0,00	12,60	40,20	51,40	0,00
Pte Cuscatlan		-88,603	13,599	0,00	0,00	0,20	72,40	71,60	0,00
Pto Parada		-88,469	13,251	0,00	5,40	9,20	33,80	115,40	36,20
Puente Viejo		-88,983	13,517	0,60	0,00	24,00	20,20	97,60	33,80
San Fco Gotera		-88,110	13,691	0,00	0,00	0,00	27,00	5,00	5,00
Sanisidro		-88,698	13,790	0,00	0,00	2,80	31,60	46,80	0,00
San Julian									
Santa Ana		-89,549	13,983	0,00	0,20	36,00	0,00	0,00	0,00
Santa Beatriz		-89,736	13,592	0,00	0,00	41,40	48,20	40,20	25,40
Santiago Nonual		-88,978	13,437	0,00	0,60	36,00	16,40	99,40	0,20
San Vicente		-88,839	13,596	0,00	0,00	2,20	19,60	71,80	0,80
Sensunapan		-89,764	13,660	8,60	0,00	51,00	58,00	57,80	28,00
Sensuntepeque									
Sesori		-88,367	13,724	0,40	0,00	5,60	105,40	54,80	41,80
SF Dos Cerros		-89,276	14,034	0,00	0,00	0,00	0,00	16,80	3,60
SFranciscoHidro		-88,108	13,695	0,00	0,00	0,00	17,00	1,80	2,80
S Marcos Lempa		-88,697	13,424	0,00	0,00	14,20	54,60	67,40	0,80
StacruzPorriilo		-88,801	13,439	0,00	1,20	24,00	21,00	105,40	0,80
Stgo de Maria		-88,472	13,480	0,60	0,20	6,80	38,80	119,40	35,60
S Vicente hidro		-88,773	13,649	0,00	0,00	17,00	47,40	68,40	0,00
Talnique		-89,431	13,751	0,00	0,00	0,00	50,80	31,80	0,80
Tamarindo		-89,252	14,047	0,00	2,20	23,00	29,80	12,80	22,80
Tecoluca		-88,781	13,533	0,00	0,00	4,40	16,80	51,60	20,80
Tepetitán		-88,843	13,626	0,00	0,00	5,60	32,40	66,60	0,20
Tepezontes		-89,020	13,623	0,00	0,00	0,00	0,00	81,80	8,80
Tonacatepeque		-89,115	13,782	0,00	0,00	5,80	44,40	35,40	0,00
UES		-89,203	13,719	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Vado Marin		-88,290	13,302	0,00	0,00	0,80	68,80	146,00	16,60
Verapaz		-88,861	13,657	0,20	0,00	0,40	31,20	57,40	0,00
Villeras		-88,180	13,519	0,00	0,00	0,00	28,40	45,20	10,60
Volcan S Miguel		-88,238	13,443	0,00	0,00	0,00	29,80	60,80	29,40
VolcanSMiguel 2		-88,272	13,441	0,00	0,00	0,00	0,00	75,60	21,40
Zacatecoluca		-88,858	13,508	0,00	0,00	2,60	46,00	79,80	44,40
Zaragoza		-89,290	13,576	0,00	0,20	27,40	4,40	81,40	1,40

AÑO 2014									
INDICE	ESTACION \ DIA	longitud	latitud	may-09	jun-01	jun-07	jun-19	oct-15	oct-25
A 15	GUIJA	-89,470	14,228	0,90	40,10	15,30	0,20	23,00	1,90
A 18	FINCA LOS ANDES	-89,628	13,870	0,50	30,70	12,00	65,90	9,80	13,20
A 27	C. DE LA FRONTERA	-89,652	14,120	0,00	30,30	10,50	0,00	20,30	13,00
A 31	PLANES DE MONTECRISTO	-89,360	14,398	37,70	41,10	52,40	0,00	27,80	32,80
A 37	SANTA ANA-UNICAES	-89,548	13,982	26,60	33,00	10,00	1,00	13,20	22,00
B 1	CH. DEL GUAYABO	-88,755	13,987	0,00	25,90	7,40	7,20	30,50	72,40
B 6	SENSUNTEPEQUE	-88,913	13,937	0,00	12,00	0,00	21,00	14,50	10,00
B 10	CERRON GRANDE	-88,647	13,870	0,20	30,10	26,60	62,70	18,00	5,40
	SUCHITOTO, Alcaldia	-89,035	13,927	4,30	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
C 9	COJUTEPEQUE SM	-89,927	13,720	0,00	32,20	0,00	9,90	16,20	20,00
G 3	NUEVA CONCEPCION	-89,290	14,125	0,00	37,40	34,40	0,40	70,90	18,20
G 4	LA PALMA	-89,162	14,292	8,80	45,40	15,10	0,30	55,70	5,20
G 13	LAS PILAS	-88,078	14,373	3,20	90,00	8,50	0,00	53,00	4,30
H 8	AHUACHAPAN SM	-89,860	13,943	0,00	28,00	2,30	0,00	3,80	18,80
H 14	LA HACHADURA	-89,090	13,860	0,00	28,60	0,20	0,10	2,80	48,00
L 4	SAN ANDRES	-89,407	13,808	0,00	34,50	0,00	11,60	12,10	23,80
L 27	CHILTUPAN	-89,470	13,597	0,00	69,20	0,00	9,00	23,90	3,10
L 48	PROCAFE	-89,288	13,687	0,00	74,00	0,00	40,00	28,00	3,60
M 4	LOLOTIQUE								
M 24	S. MIGUEL UES	-88,158	13,438	0,00	16,00	0,00	4,80	50,10	0,00
N 2	La Union/CPI	-87,827	13,333	1,00	6,20	0,00	10,50	80,20	0,00
N 6	SANTA ROSA DE LIMA	-87,883	13,627	0,00	6,00	0,00	0,00	82,00	0,00
N 24	Volcan Conchagua								
P 16	A. EL SALVADOR	-89,055	13,440	0,00	24,40	0,00	18,00	74,60	0,00
P 18	LOS NOVILLOS	-89,008	13,434	0,00	60,50	0,00	0,00	79,20	0,00
S 10	A. ILOPANGO	-89,118	13,698	0,00	125,90	0,00	26,90	20,80	59,40
S 30	SNET-MARN	-89,232	13,688	0,00	72,00	0,00	37,90	35,60	4,40
T 6	ACAJUTLA, PTO NUEVO	-89,833	13,573	0,00	77,70	0,00	16,30	19,10	44,00
T 24	LOS NARANJOS	-89,675	13,875	0,00	91,70	0,30	0,00	7,00	5,30
	SANTIAGO DE MARIA	-88,472	13,485	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
U 11	BENEFICIO LA CARRERA	-88,525	13,330	0,00	87,50	0,00	30,50	52,60	0,00
U 14	PUERTO PARADA	-88,443	13,253	15,50	94,40	0,00	8,80	43,50	0,00
V 6	SANTA CRUZ PORRILLO	-88,803	13,440	0,00	55,00	2,00	23,50	86,00	0,00
V 9	PUENTE CUSCATLAN	-88,593	13,602	1,50	36,20	0,00	4,70	26,50	0,00
Z 2	SAN FCO. GOTERA	-88,107	13,697	0,00	5,70	0,00	0,00	32,20	0,20
Z 3	PERQUIN	-88,162	13,958	6,30	6,70	6,20	0,00	126,70	67,30
Z 9	VILLA EL ROSARIO	-88,212	13,865	0,80	5,00	4,20	0,00	25,00	92,50
	RED HIDROTELEMETRICA								
	Acajutla	-89,833	13,568	0,00	0,60	0,00	0,00	17,80	0,00
	Aeropuerto Ilopango	-89,118	13,698	0,00	118,20	0,00	26,60	19,20	53,60
	Apaneca	-89,798	13,841	0,00	33,20	0,00	19,80	13,60	1,60
	Apopa	-89,174	13,796	1,00	61,20	0,00	20,80	8,00	10,00
	Ataco	-89,903	13,834	0,00	31,00	0,40	7,20	32,40	1,40
	Atalaya	-89,830	13,608	0,00	86,40	0,00	34,00	5,80	31,00
	Belloso	-89,191	13,693	0,00	52,00	0,20	29,00	20,80	49,60
	Berlin	-88,52	13,483	32,00	22,80	0,40	0,00	36,00	0,00
	Berlin Met	-88,506	13,507	51,80	38,60	0,00	0,00	29,00	0,00
	Boqueron	-89,267	13,784	0,20	63,40	0,00	30,60	19,40	19,40
	Can La Frontera	-89,656	14,119	0,00	31,20	10,80	0,00	20,20	13,00
	Chapeltique	-88,261	13,642	0,00	12,00	5,00	0,00	39,00	0,00
	Chirilagua	-88,197	13,256	4,00	35,60	0,00	27,40	34,00	0,00
	Citala	-89,213	14,371	0,00	20,00	33,60	0,00	48,40	1,00
	Ciudad Barrios	-88,273	13,725	1,60	35,20	19,40	0,00	31,60	18,80
	Coatepeque	-89,512	13,868	2,40	44,00	11,20	68,20	8,40	7,80
	Cojutepeque	-88,926	13,721	0,00	31,20	0,00	9,60	16,00	19,40
	Comasagua	-89,349	13,635	0,00	63,60	0,00	8,60	33,40	0,20
	Concep Oriente	-87,710	13,791	66,40	1,40	0,00	0,00	188,40	12,00
	Concep Quezalte	-88,968	14,081	0,00	23,60	2,80	1,00	31,20	0,20
	Conchagua	-87,834	13,276	3,20	4,00	0,00	9,20	138,40	0,00
	Dulce Nombre Ma	-89,011	14,200	0,00	46,40	0,40	0,00	49,00	0,00
	El Camalote	-88,924	14,168	0,00	49,60	0,20	0,00	58,60	0,00
	El Delirio								
	El Imposible	-89,947	13,827	0,00	32,00	2,40	0,80	65,80	4,80
	El Jobo	-89,917	14,017	0,00	14,40	0,20	0,00	5,40	21,00
	El Jocote	-89,276	13,913	0,00	29,00	5,20	8,60	10,40	12,20
	El Pacayal	-88,323	13,469	0,00	17,80	0,00	9,00	41,00	0,00
	El Piro	-89,244	13,681	0,00	78,40	0,00	38,00	30,40	1,60
	El Sauce	-87,790	13,650	1,60	0,80	0,20	32,60	98,00	0,00
	El Zapotillo	-89,413	14,175	0,00	18,80	23,63	2,79	19,55	11,43
	Guacotecti	-88,645	13,871	0,20	11,40	0,00	20,00	14,40	10,00
	Guadalupe	-88,860	13,607	1,20	35,40	0,00	25,60	23,20	24,80

Guazapa	-89,196	13,886	0,00	20,40	0,20	0,00	5,40	4,00
Hachadura	-90,100	13,850	0,00	28,00	0,20	0,00	2,80	41,20
Hda Melara	-89,221	13,480	0,00	54,80	0,00	5,20	38,80	0,20
Huizucar	-89,234	13,609	0,00	46,60	0,00	7,60	61,00	2,60
Ilobasco	-88,862	13,815	0,60	47,60	0,60	25,00	37,60	13,20
Ishuatan	-89,558	13,643	0,00	56,20	0,00	16,20	0,00	0,00
Izalco	-89,703	13,757	0,00	24,60	0,00	11,40	14,00	6,00
Jerusalem	-88,900	13,653	0,00	27,20	0,00	8,40	17,40	45,60
Jucuaran	-88,291	13,196	0,00	110,00	0,00	9,00	37,40	0,00
La Cañada	-87,889	13,31	3,40	15,20	2,60	8,00	136,60	0,00
La Canoa	-88,165	13,328	7,80	20,60	0,20	92,40	73,20	0,00
La Ceiba	-87,783	13,517						
La Cima	-89,215	13,659	0,00	75,20	0,00	22,40	27,20	3,20
La Palma	-89,159	14,278	8,00	41,80	15,00	0,00	53,40	4,40
Laquesera	-88,648	13,582	62,20	61,00	0,00	6,40	31,80	0,00
Las Pavas	-89,306	14,038	0,00	45,00	29,60	0,00	18,60	26,80
Las Pilas	-89,096	14,371	3,00	86,20	8,20	0,00	49,80	4,40
Las Vueltas	-88,881	14,091	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
La Union	-87,824	13,333	0,00	6,20	0,00	9,80	77,40	0,00
Los Naranjos	-89,674	13,876	0,00	86,20	0,00	0,20	6,40	4,60
Melara	-89,207	13,487	0,00	34,80	0,00	2,80	23,80	0,40
Metapan	-89,545	14,360	0,00	14,40	25,00	0,00	23,60	3,00
Montecristo	-89,400	14,363	8,20	33,00	19,80	0,00	27,20	10,00
Moropala	-88,319	13,284	0,00	46,40	0,00	66,00	45,80	0,80
Nueva Esparta	-87,833	13,800	3,00	5,00	0,00	0,00	125,20	1,20
Osicala	-88,150	13,833	0,00	1,80	2,20	0,00	37,00	85,80
Panchimalco	-89,181	13,609	0,00	74,00	0,00	39,00	110,20	28,20
Pasaquina	-87,780	13,565	3,40	0,80	0,20	30,20	31,80	0,00
Paso del Oso	-89,416	14,091	0,00	0,00	0,00	0,00	15,60	30,00
Perquin	-88,158	13,961	5,40	7,20	6,20	0,00	124,40	66,20
Picacho	-89,256	13,745	0,00	35,60	0,00	27,40	15,80	16,20
PROCAFE	-89,287	13,684	0,00	61,40	0,00	31,00	26,20	3,20
Providencia	-89,095	13,477	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pte Cuscatlan	-88,603	13,599	1,60	34,40	0,00	4,00	22,40	0,00
Pto Parada	-88,469	13,251	16,80	92,20	0,00	9,00	39,20	0,00
Puente Viejo	-88,983	13,517	0,00	40,60	0,00	20,00	74,40	1,80
San Fco Gotera	-88,110	13,691	0,00	6,00	0,00	0,00	31,00	3,00
Sanisidro	-88,698	13,790	5,20	15,60	0,00	28,60	10,60	0,60
San Miguel UES	-88,159	13,439	0,00	0,00	0,00	0,00	45,60	0,00
Santa Ana	-89,549	13,983	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Santa Beatriz	-89,736	13,592	0,00	103,80	0,00	22,20	5,40	21,60
Santiago Nonual	-88,978	13,437	0,00	75,00	0,00	12,80	91,00	18,60
San Vicente	-88,839	13,596	1,40	50,80	0,00	47,40	42,00	40,60
Sensunapan	-89,764	13,660	0,00	77,60	0,00	30,40	3,60	33,60
Sesori	-88,367	13,724	0,00	9,60	0,00	0,00	23,20	0,00
SF Dos Cerros	-89,276	14,034	0,00	30,00	24,80	5,20	13,00	19,40
SFranciscoHidro	-88,108	13,695	0,00	3,00	0,00	0,00	14,80	1,60
S Marcos Lempa	-88,697	13,424	0,00	107,40	0,00	3,20	80,80	0,00
StacruzPorrillo	-88,801	13,439	48,20	49,00	0,20	22,80	85,20	1,00
Stgo de Maria	-88,472	13,480	8,00	34,80	1,00	1,20	36,00	4,80
S Vicente hidro	-88,773	13,649	8,00	45,60	0,00	8,00	0,00	0,00
Talnique	-89,431	13,751	0,00	0,60	0,00	27,80	13,80	1,20
Tamarindo	-89,252	14,047	0,00	29,60	32,00	0,40	20,20	24,60
Tecoluca	-88,781	13,533	50,60	37,80	0,00	11,40	56,00	2,00
Tepetitán	-88,843	13,626	0,20	50,00	0,00	39,00	32,60	18,80
Tepezontes	-89,020	13,623	1,20	61,40	0,00	17,20	56,80	38,20
Tonacatepeque	-89,115	13,782	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
UES	-89,203	13,719	0,00	0,00	0,00	0,00	22,20	42,40
Vado Marin	-88,290	13,302	0,00	37,00	0,00	89,20	42,20	0,00
Verapaz	-88,861	13,657	0,00	40,80	0,00	8,60	17,80	22,00
Villeras	-88,180	13,519	0,00	8,80	0,00	8,60	33,80	0,00
Volcan S Miguel	-88,238	13,443	0,00	4,00	0,00	14,60	65,20	0,00
VolcanSMiguel 2	-88,272	13,441	8,80	37,20	0,00	31,00	65,20	0,00
VSM_La Piedra 1	-88,300	13,435	6,00	19,60	0,00	28,60	52,40	0,00
Zacatecoluca	-88,858	13,508	37,80	92,80	0,00	19,80	56,00	1,60
Zaragoza	-89,290	13,576	0,00	46,20	0,00	13,40	46,00	0,00

AÑO 2015									
INDICE	ESTACION \ DIA	longitud	latitud	abr-03	may-24	sep-28	oct-09	oct-18	nov-21
A 15	GUJUA	-89,470	14,228	35,30	22,50	59,10	0,40	12,30	23,80
A 18	FINCA LOS ANDES	-89,628	13,870	13,30	11,00	7,90	38,80	69,50	41,30
A 27	C. DE LA FRONTERA	-89,652	14,120	44,40	34,80	57,70	2,00	21,90	28,90
A 31	PLANES DE MONTECRISTO	-89,360	14,398	62,30	0,80	88,30	0,00	16,40	22,30
A 37	SANTA ANA-UNICAE	-89,548	13,982	37,00	37,00	56,60	13,00	24,20	30,00
B 1	CH. DEL GUAYABO	-88,755	13,987	0,00	2,10	13,20	36,60	19,60	32,80
B 6	SENSUNTEPEQUE	-88,913	13,937	0,00	0,00	15,50	11,30	24,50	38,00
B 10	CERRON GRANDE	-88,647	13,870	2,80	0,00	6,90	11,30	31,70	29,70
C 3	SUCHITOTO, Alcaldia	-89,035	13,927	0,00	0,00	3,90	0,00	37,00	50,00
C 9	COJUTEPEQUE SM	-89,927	13,720	0,00	0,00	0,00	69,60	47,70	23,90
G 3	NUEVA CONCEPCION	-89,290	14,125	27,80	21,40	30,40	1,40	11,60	84,00
G 4	LA PALMA	-89,162	14,292	20,10	16,60	31,30	0,00	12,40	52,70
G 13	LAS PILAS	-88,078	14,373	17,50	4,20	23,00	0,00	23,00	40,70
H 8	AHUACHAPAN SM	-89,860	13,943	6,00	37,50	6,90	9,30	30,00	20,00
H 14	LA HACHADURA	-89,090	13,860	2,10	29,60	6,10	5,40	37,50	18,80
L 4	SAN ANDRES	-89,407	13,808	5,50	40,60	9,30	23,90	49,10	15,00
L 27	CHILTIUPAN	-89,470	13,597	0,70	0,00	0,30	27,50	71,80	54,70
L 48	PROCAFE	-89,288	13,687	0,00	0,00	13,20	56,30	74,60	25,00
M 24	S. MIGUEL UES	-88,158	13,438	0,00	0,00	0,00	0,00	57,40	9,40
N 2	La Union/CPI	-87,827	13,333	0,00	0,00	1,80	0,00	23,80	9,80
N 6	SANTA ROSA DE LIMA	-87,883	13,627	0,00	0,00	1,00	0,00	17,00	8,00
P 16	A. EL SALVADOR	-89,055	13,440	0,00	0,00	0,00	0,20	67,50	14,80
P 18	LOS NOVILLOS	-89,008	13,434	0,00	0,00	0,00	0,40	87,50	8,00
S 10	A. ILOPANGO	-89,118	13,698	0,00	0,00	0,50	53,10	83,40	71,50
S 30	SNET-MARN	-89,232	13,688	0,00	0,00	36,60	75,60	75,40	28,90
T 6	ACAJUJTLA, PTO NUEVO	-89,833	13,573	0,00	0,00	2,90	39,20	56,30	16,40
T 24	LOS NARANJOS	-89,675	13,875	13,00	10,80	27,70	26,20	33,90	27,90
	SANTIAGO DE MARIA	-88,472	13,485						42,00
U 11	BENEFICIO LA CARRERA	-88,525	13,330	0,00	0,00	0,00	0,00	70,50	12,00
U 14	PUERTO PARADA	-88,443	13,253	0,00	0,00	0,00	0,00	65,50	6,40
V 6	SANTA CRUZ PORRILLO	-88,803	13,440	0,00	0,00	0,00	0,00	57,00	124,00
V 9	PUENTE CUSCATLAN	-88,593	13,602	0,00	0,00	0,00	2,70	39,50	32,20
Z 2	SAN FCO. GOTERA	-88,107	13,697	0,00	0,00	0,00	19,80	53,80	40,50
Z 3	PERQUIN	-88,162	13,958	0,00	0,00	2,60	12,20	18,70	29,40
Z 9	VILLA EL ROSARIO	-88,212	13,865	0,00	0,00	34,00	29,10	20,70	39,60
	RED HIDROTELEMETRICA								
	Aeropuerto Ilopango	-89,118	13,698	0,00	0,00	0,00	42,60	26,80	29,00
	AgrC Acahuapa	-88,581	13,538	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AgrC Ahuachapan	-89,856	13,939	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AgrC Cara Sucia	-90,034	13,775	18,60	4,00	36,60	12,00	23,60	52,80
	AgrC Chalchuapa	-89,668	13,986	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	AgrC Osicala	-88,149	13,805	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
	Apaneca	-89,798	13,841	27,20	13,40	4,00	15,40	32,40	18,60
	Apopa	-89,174	13,796	0,00	0,00	4,00	33,60	51,60	18,80
	Ataco	-89,903	13,834	6,80	3,40	58,60	7,00	31,40	32,80
	Atalaya	-89,830	13,608	3,40	0,40	4,20	26,80	55,40	26,40
	Belloso	-89,191	13,693	0,00	0,00	16,00	54,80	48,40	29,60
	Berlin	-88,52	13,483	0,00	0,00	3,00	0,40	47,40	34,80
	Berlin Met	-88,506	13,507	0,00	0,00	5,00	1,80	47,80	41,00
	Boqueron	-89,267	13,784	0,00	0,00	0,00	34,40	76,20	24,80
	Can La Frontera	-89,656	14,119	47,20	36,00	58,40	1,20	21,40	28,00
	Chapeltique	-88,261	13,642	0,00	0,00	1,00	14,00	31,00	69,00
	Chirilagua	-88,197	13,256	0,00	0,00	0,40	0,00	31,80	3,60
	Citala	-89,213	14,371	0,00	4,20	23,20	0,20	4,20	22,20
	Coatepeque	-89,512	13,868	29,80	46,40	15,00	29,60	46,80	20,20
	Cojutepeque	-88,926	13,721	0,00	0,00	0,00	62,40	75,00	22,00
	Comasagua	-89,349	13,635	0,00	0,00	21,00	52,40	80,40	21,00
	Concep Oriente	-87,710	13,791	0,00	0,00	5,20	7,20	10,40	17,60
	Concep Quezalte	-88,968	14,081	21,00	41,20	7,40	2,60	15,00	40,60
	Conchagua	-87,834	13,276	0,00	0,00	1,40	0,00	46,40	15,80
	Dulce Nombre Ma	-89,011	14,200	12,60	22,60	21,80	0,80	17,20	41,40
	El Camalote	-88,924	14,168	0,80	27,00	16,40	1,40	10,60	42,80
	El Imposible	-89,947	13,827	5,20	5,40	36,40	8,00	41,20	64,60
	El Jobo	-89,917	14,017	12,60	15,40	6,40	1,40	28,80	10,20
	El Jocote	-89,276	13,913	2,20	49,60	41,60	0,00	0,00	27,00
	El Pacayal	-88,323	13,469	0,00	0,00	0,00	0,00	38,80	19,40

El Piro		-89,244	13,681	0,00	0,00	22,00	56,60	79,60	32,40
El Sauce		-87,790	13,650	0,00	0,00	1,80	0,00	12,00	8,80
El Zapotillo		-89,413	14,175	0,00	28,00	54,80	1,20	5,80	15,80
Guacotecti		-88,645	13,871	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Guadalupe		-88,860	13,607	0,00	0,00	57,00	37,40	34,20	7,00
Guazapa		-89,196	13,886	1,20	0,00	23,60	18,80	29,40	18,80
Hachadura		-90,100	13,850	1,60	28,20	5,80	7,20	38,60	17,20
Hda Melara		-89,221	13,480	0,00	0,00	0,20	6,80	138,00	52,60
Huizucar		-89,234	13,609	0,00	0,00	16,20	68,60	84,00	21,20
Ilobasco		-88,862	13,815	0,00	0,00	0,00	59,20	38,40	22,60
Ishuatan		-89,558	13,643	0,20	0,00	0,00	16,60	37,60	22,60
Izalco		-89,703	13,757	26,80	21,20	23,40	8,80	28,20	29,00
Jerusalem		-88,900	13,653	0,00	0,00	1,00	32,60	40,00	11,80
Jucuaran		-88,291	13,196	0,00	0,00	0,00	0,00	65,40	31,40
La Cañada		-87,889	13,31	0,00	0,00	0,80	0,00	179,00	0,00
La Canoa		-88,165	13,328	0,00	0,00	1,80	0,00	48,40	6,00
La Cima		-89,215	13,659	0,00	0,00	10,20	41,00	74,20	53,00
La Palma		-89,159	14,278	0,00	16,60	27,20	0,00	10,80	48,00
Laquesera		-88,648	13,582	0,00	0,00	0,00	9,60	44,00	15,00
Las Pavas		-89,306	14,038	6,20	33,20	18,80	0,80	19,20	49,60
Las Pilas		-89,096	14,371	17,40	3,00	21,60	0,00	21,00	37,60
La Union		-87,824	13,333	0,00	0,00	1,80	0,00	29,40	11,40
Los Naranjos		-89,674	13,876	13,20	11,60	0,00	0,00	0,00	0,00
Melara		-89,207	13,487	0,00	0,00	0,00	5,20	95,60	37,00
Metapan		-89,545	14,360	1,80	0,00	42,60	0,20	12,80	26,40
Montecristo		-89,400	14,363	27,20	5,60	31,60	0,20	6,60	16,40
Moropala		-88,319	13,284	0,00	0,00	0,00	0,00	56,60	5,60
Nueva Esparta		-87,833	13,800	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,60
Osicala		-88,150	13,833	0,00	0,00	3,80	40,00	22,80	31,40
Panchimalco		-89,181	13,609	0,00	0,00	63,40	51,20	107,40	0,00
Pasaquina		-87,780	13,565	0,00	0,00	6,20	0,00	19,60	8,80
Paso del Oso		-89,416	14,091	33,60	24,80	10,40	1,20	7,40	20,20
Picacho		-89,256	13,745	0,00	0,00	3,60	25,40	40,40	25,60
Piedra Cargada		-89,517	14,184	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
PROCAFE		-89,287	13,684	0,00	0,00	10,80	50,00	62,40	21,60
Pte Cuscatlan		-88,603	13,599	0,00	0,20	0,00	2,40	32,40	30,40
Pto Parada		-88,469	13,251	0,00	0,00	0,00	0,00	64,40	6,20
Puente Viejo		-88,983	13,517	0,00	0,20	0,00	5,20	60,60	11,60
San Fco Gotera		-88,110	13,691	0,00	0,00	2,00	12,00	50,00	41,00
Sanisidro		-88,698	13,790	0,00	0,00	0,20	25,00	35,60	15,20
San Miguel UES		-88,159	13,439	0,00	0,00	0,00	0,00	48,80	9,20
Santa Beatriz		-89,736	13,592	0,00	0,00	0,60	28,20	38,20	24,00
Santiago Nonual		-88,978	13,437	0,00	0,00	0,00	0,00	76,80	18,20
San Vicente		-88,839	13,596	0,00	0,00	16,80	32,20	86,00	12,60
Sensunapan		-89,764	13,660	17,80	11,20	12,00	16,60	47,40	22,20
Sesori		-88,367	13,724	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SF Dos Cerros		-89,276	14,034	10,00	12,60	19,40	0,20	11,40	42,60
SFranciscoHidro		-88,108	13,695	0,00	0,00	0,40	6,40	32,40	30,00
S Marcos Lempa		-88,697	13,424	0,00	0,00	0,00	0,00	62,40	108,80
StacruzPorillo		-88,801	13,439	0,00	0,00	0,00	0,00	58,20	122,40
Stgo de Maria		-88,472	13,480	0,00	0,00	39,20	0,00	40,60	48,60
S Vicente hidro		-88,773	13,649	0,00	0,00	0,00	26,80	34,00	15,00
Talnique		-89,431	13,751	5,00	3,60	33,40	27,20	43,60	12,20
Tamarindo		-89,252	14,047	34,20	18,00	51,80	0,60	15,80	66,20
Tecoluca		-88,781	13,533	0,00	0,00	0,00	0,60	55,00	44,80
Tepezontes		-89,020	13,623	0,00	0,00	3,60	21,20	98,80	12,60
UES		-89,203	13,719	0,00	0,00	1,40	33,00	65,40	36,00
Vado Marin		-88,290	13,302	0,00	0,00	0,20	0,00	59,80	5,60
Verapaz		-88,861	13,657	0,00	0,00	0,20	27,40	40,60	13,20
Villeras		-88,180	13,519	0,00	0,00	0,00	0,00	44,40	8,00
Volcan S Miguel		-88,238	13,443	0,00	0,00	0,20	0,00	63,40	26,80
VolcanSMiguel 2		-88,272	13,441	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	37,60
VSM_La Piedra 1		-88,300	13,435	0,00	0,00	0,00	0,00	65,80	29,80
Zacatecoluca		-88,858	13,508	0,00	0,00	0,00	0,40	66,80	23,00
Zaragoza		-89,290	13,576	0,00	0,00	0,40	58,80	162,40	42,80

ANEXO 4: Ejemplo de Reportes Generados por los Métodos de Interpolación,  
dentro del Programa Geo Espacial Surfer 9.0

## LLUVIAS AISLADAS

---

# Gridding Report

---

Wed Apr 05 15:10:59 2017  
Elapsed time for gridding: 0.93 seconds

## Data Source

Source Data File Name: C:\Users\2012\Desktop\Nueva carpeta (2)\Lluvias  
Aisladas\2010\Datos de precipitación de lluvia aislada de mayo 14 2010.blm  
X Column: A  
Y Column: B  
Z Column: C

## Data Counts

Active Data: 63  
Original Data: 63  
Excluded Data: 0  
Deleted Duplicates: 0  
Retained Duplicates: 0  
Artificial Data: 0  
Superseded Data: 0

## Exclusion Filtering

Exclusion Filter String: Not In Use

## Duplicate Filtering

Duplicate Points to Keep: First  
X Duplicate Tolerance: 2.8E-007  
Y Duplicate Tolerance: 1.3E-007

No duplicate data were found.

## Breakline Filtering

Breakline Filtering: Not In Use

## Data Counts

Active Data: 63

## Univariate Statistics

	X	Y	Z
Count:	63	63	63
1%%-tile:	-90.1	13.2533	0
5%%-tile:	-89.903	13.3327	0
10%%-tile:	-89.675	13.4383	0
25%%-tile:	-89.47	13.5733	0
50%%-tile:	-89.035	13.784	0
75%%-tile:	-88.472	13.9433	4
90%%-tile:	-88.15	14.228	24.6000003815
95%%-tile:	-88.078	14.3625	33
99%%-tile:	-87.827	14.3733	45.5
Minimum:	-90.1	13.2533	0
Maximum:	-87.71	14.398	96.4000015259
Mean:	-88.9663809524	13.7874285714	7.20158739187
Median:	-89.035	13.784	0
Geometric Mean:	N/A	13.7842273186	N/A
Harmonic Mean:	N/A	13.7810447529	N/A
Root Mean Square:	88.9685064248	13.7906480896	17.8889123307
Trim Mean (10%%):	-88.994375	13.7716089286	3.9910714484
Interquartile Mean:	-89.0393125	13.754525	0.221875001909
Midrange:	-88.905	13.82565	48.2000007629
Winsorized Mean:	-88.9665714286	13.7812380952	4.94761910763
TriMean:	-89.003	13.77115	1
Variance:	0.384295626728	0.0902201862673	272.475328629
Standard Deviation:	0.619915822292	0.300366752933	16.506826728
Interquartile Range:	0.998	0.37	4
Range:	2.39	1.1447	96.4000015259
Mean Difference:	0.714731182796	0.341810752688	12.2712751236
Median Abs. Deviation:	0.51	0.188	0
Average Abs. Deviation:	0.509952380952	0.242193650794	7.20158739187
Quartile Dispersion:	N/A	0.0134464287012	N/A
Relative Mean Diff.:	N/A	0.0247914794929	1.70396809146
Standard Error:	0.0781020523609	0.0378426538272	2.07966468844
Coef. of Variation:	N/A	0.0217855527865	2.29210947946

Skewness:	0.245994112693	0.422801606039	3.15918321037
Kurtosis:	2.00224090379	2.38108037311	15.0119424296
Sum:	-5604.882	868.608	453.700005688
Sum Absolute:	5604.882	868.608	453.700005688
Sum Squares:	498669.893534	11981.4644081	20160.8306157
Mean Square:	7915.39513546	190.181974732	320.013184376

---

## Inter-Variable Covariance

	X	Y	Z
X:	0.38429563	-0.068005687	-4.6421623
Y:	-0.068005687	0.090220186	1.0808327
Z:	-4.6421623	1.0808327	272.47533

---

## Inter-Variable Correlation

	X	Y	Z
X:	1.000	-0.365	-0.454
Y:	-0.365	1.000	0.218
Z:	-0.454	0.218	1.000

---

## Inter-Variable Rank Correlation

	X	Y	Z
X:	1.000	-0.413	-0.647
Y:	-0.413	1.000	0.483
Z:	-0.647	0.483	1.000

---

## Principal Component Analysis

	PC1	PC2	PC3
X:	0.977380918029	0.977380918029	0.210797758675
Y:	-0.210760557135	-0.210760557135	0.977529653243
Z:	0.0175079590419	0.0175079590419	0.977529653243
Lambda:	272.558801237	0.315804549791	0.0752386553366

---

## Planar Regression: $Z = AX+BY+C$

### Fitted Parameters

	A	B	C
Parameter Value:	-11.4926716825	3.31705901191	-1060.99353387
Standard Error:	3.2843004767	6.77834617443	272.336958427

### Inter-Parameter Correlations

	A	B	C
A:	1.000	0.365	0.948
B:	0.365	1.000	0.049
C:	0.948	0.049	1.000

### ANOVA Table

Source	df	Sum of Squares	Mean Square	F
Regression:	2	3530.03408563	1765.01704281	
	7.92468495944			
Residual:	60	13363.4362894	222.723938156	
Total:	62	16893.470375		

Coefficient of Multiple Determination ( $R^2$ ): 0.208958491492

### Nearest Neighbor Statistics

	Separation	Delta Z
1%%-tile:	0.00111803398875	0
5%%-tile:	0.00164012194668	0
10%%-tile:	0.00661891229735	0
25%%-tile:	0.0696795522374	0
50%%-tile:	0.092933094213	0
75%%-tile:	0.12330028386	5.69999992847
90%%-tile:	0.159005943285	26.7000007629
95%%-tile:	0.174232287479	32.8999999985
99%%-tile:	0.29928581657	96.4000015259
Minimum:	0.00111803398875	0
Maximum:	0.423415871219	96.4000015259

Mean:	0.100005127291	9.57619053007
Median:	0.092933094213	0
Geometric Mean:	0.0632459813902	N/A
Harmonic Mean:	0.0136588083811	N/A
Root Mean Square:	0.121620316677	23.779293091
Trim Mean (10%%):	0.0927808518261	4.84107138083
Interquartile Mean:	0.094516978506	1.06562484428
Midrange:	0.212266952604	48.2000007629
Winsorized Mean:	0.0924911918564	5.80158733186
TriMean:	0.0947115061309	1.42499998212
Variance:	0.00486774168508	481.392505724
Standard Deviation:	0.0697692029844	21.940658735
Interquartile Range:	0.0536207316228	5.69999992847
Range:	0.42229783723	96.4000015259
Mean Difference:	0.0706786432581	16.1411164321
Median Abs. Deviation:	0.0303671896472	0
Average Abs. Deviation:	0.0462463092109	9.57619053007
Quartile Dispersion:	0.27785665439	N/A
Relative Mean Diff.:	0.706750195441	1.68554670894
Standard Error:	0.00879009334609	2.76426317208
Coef. of Variation:	0.697656258976	2.29116773168
Skewness:	1.71533188715	3.01086074174
Kurtosis:	9.0936396526	11.7947737551
Sum:	6.30032301934	603.300003394
Sum Absolute:	6.30032301934	603.300003394
Sum Squares:	0.93186459	35623.6511342
Mean Square:	0.0147915014286	565.454779908

---

### Complete Spatial Randomness

Lambda:	23.0277213558
Clark and Evans:	0.9597933697
Skellam:	134.829102402

## Gridding Rules

<b>Gridding Method:</b>	<b>Minimum Curvature</b>
Maximum Residual:	0.097
Maximum Iteration:	100000
Internal Tension:	0
Boundary Tension:	0
Relaxation Factor:	1
Anisotropy Ratio:	1

## Output Grid

Grid File Name: C:\Users\2012\Desktop\Nueva carpeta (2)\Lluvias Aisladas\2010\Datos de precipitación de lluvia aislada de mayo 14 2010 Minima Curvatura.grd  
Grid Size: 48 rows x 100 columns

Total Nodes: 4800  
 Filled Nodes: 4800  
 Blanked Nodes: 0  
 Blank Value: 1.70141E+038

### Grid Geometry

X Minimum: -90.1  
 X Maximum: -87.71  
 X Spacing: 0.02414141414141414  
 Y Minimum: 13.2533  
 Y Maximum: 14.398  
 Y Spacing: 0.024355319148936

### Univariate Grid Statistics

	Z
Count:	4800
1%%-tile:	-110.307052622
5%%-tile:	-50.3069922924
10%%-tile:	-19.8651747158
25%%-tile:	-1.73664595939
50%%-tile:	0.00873728465849
75%%-tile:	2.94897972602
90%%-tile:	16.072522662
95%%-tile:	29.1641963201
99%%-tile:	56.0394599943
Minimum:	-163.409727904
Maximum:	96.4571596466
Mean:	-2.45691283408
Median:	0.00873901683797
Geometric Mean:	N/A
Harmonic Mean:	N/A
Root Mean Square:	24.9424093211
Trim Mean (10%%):	-0.532057988672
Interquartile Mean:	0.193846063102
Midrange:	-33.4762841288
Winsorized Mean:	-0.305489790511
TriMean:	0.307452083987
Variance:	616.215740345
Standard Deviation:	24.8236931246
Interquartile Range:	4.68562568541
Range:	259.866887551
Mean Difference:	20.7496356295
Median Abs. Deviation:	2.40054505965
Average Abs. Deviation:	11.9037030017
Quartile Dispersion:	N/A

Relative Mean Diff.:	N/A
Standard Error:	0.358299147694
Coef. of Variation:	N/A
Skewness:	-2.08894220075
Kurtosis:	12.4203598871
Sum:	-11793.1816036
Sum Absolute:	57138.1474413
Sum Squares:	2986194.15715
Mean Square:	622.12378274

---