

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA  
EJERCICIO PROFESIONAL SUPERVISADO -EPS-



ROSARIO DEL CARMEN GÓMEZ JORDÁN

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE  
GUATEMALA, PERIODO 1971-2010 CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA,  
DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE  
INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE  
SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH,  
GUATEMALA. C.A.**

PRESENTADA A LA HONORABLE JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE  
AGRONOMÍA DE LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

POR

ROSARIO DEL CARMEN GÓMEZ JORDÁN

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO

INGENIERA AGRÓNOMA

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES

EN EL GRADO ACADÉMICO DE  
LICENCIADA

GUATEMALA, ABRIL DE 2014

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA



RECTOR MAGNÍFICO

Dr. Carlos Estuardo Gálvez Barrios

JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA

DECANO

Dr. Lauriano Figueroa Quiñónez

VOCAL PRIMERO

Dr. Ariel Abderraman Ortiz López

VOCAL SEGUNDO

Ing. Agr. MSc. Marino Barrientos García

VOCAL TERCERO

Ing. Agr. MSc. Oscar René Leiva Ruano

VOCAL CUARTO

P. For. Sindi Benita Simón Mendoza

VOCAL QUINTO

Br. Sergio Alexander Soto Estrada

SECRETARIO

Ing. Agr. Carlos Roberto Echeverría Escobedo

Guatemala, abril de 2014

Guatemala, abril de 2014

Honorable Junta Directiva  
Honorable Tribunal Examinador  
Facultad de Agronomía  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Honorables miembros:

De conformidad con las normas establecidas por la Ley Orgánica de la Universidad de San Carlos de Guatemala, tengo el honor de someter a vuestra consideración, el trabajo de Graduación titulado: **“Evidencias del cambio climático en la vertiente del pacífico de Guatemala, período 1971-2010 con base en información estadística, diagnóstico y servicios prestados en el departamento de investigación y servicios climáticos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH, Guatemala. C.A.”**, como requisito previo a optar el título de Ingeniera Agrónoma en Recursos Naturales Renovables, en el grado académico de Licenciada.

Esperando que el mismo llene los requisitos necesarios para su aprobación, me es grato suscribirme.

Atentamente,

**“ID Y ENSEÑAD A TODOS”**

Rosario Del Carmen Gómez Jordán  
No. de carnet 200710746

## ACTO QUE DEDICO

A:

**Dios:** Por ser mi creador, ser supremo y misericordioso. Por ser mi refugio, luz en mi vida y fuente de mi fortaleza.

**Mi padre:** Genaro Gómez Q.E.P.D., por los ejemplos de dedicación, superación y honestidad. Y aunque al partir dejó un gran vacío en mi corazón, sé que siempre ha estado cuidándome y guiándome, y que desde la mansión celestial ve con alegría y gozo este triunfo, sea mi éxito una oración a su memoria.

**Mi madre:** Hilda Jordán, por su infinito amor, por ser ejemplo de lucha y sacrificio, gracias por sus sabios consejos y por inspirarme siempre en los detalles de la rectitud.

**Mis hermanos, sobrinos y cuñado:** Quique, Lety y Hugo, por cada uno de los momentos compartidos y en especial a Meliza, Ely y Matías para que este triunfo sea fuente de inspiración y superación.

**Mi novio:** Alejandro Ruiz, porque a pesar de los obstáculos, me has enseñado a no desfallecer, ni rendirme ante nada. Por ser ejemplo de disciplina, responsabilidad y entrega total.

**Mis primas:** Isabel Granillo y las Hermanitas Vargas Jordán por ser ejemplo de superación, dedicación y lucha.

**Mi familia:** Por ser testigos de cada etapa de mi vida. En especial a la familia Vargas Jordán por sus enseñanzas y cariño.

**Mis amigos de la facultad:** Que nos apoyamos mutuamente en nuestra formación profesional y porque sin el equipo que formamos, no hubiéramos logrado esta meta. Gracias por su apoyo incondicional. Que Dios los bendiga siempre.

## AGRADECIMIENTOS

A:

**Dios:** Por ser el pilar fundamental en todo lo que soy, por guiarme en el sendero de la vida, dándome la fortaleza para superar cada obstáculo. Por haber puesto en mi camino a todas aquellas personas, que formaron parte de todo el período de estudio y fueron mi soporte y compañía. Gracias porque es un acto más en el que he sentido tu infinito amor.

**Mi novio:** Alejandro Ruiz, gracias por ser apoyo incondicional, por compartir conmigo alegrías y fracasos, mil gracias por velar siempre por mi bienestar. Es un verdadero privilegio tenerte a mi lado.

**Mis asesores:** Ing. Marvin Salguero, Ing. Ernesto Yac, Ing. Claudio Castañón, Ing. Walter Bardales, e Ing. Adolfo Quezada, gracias por el apoyo, colaboración brindada y por su valioso aporte en el desarrollo de este proyecto.

**Mi padrino:** Ing. Alejandro Ruiz por su valioso apoyo para concluir mi trabajo de graduación.

**Universidad de San Carlos de Guatemala:** Alma Máter que me abrió sus puertas, gracias por ser la casa que me brindó los conocimientos para alcanzar este triunfo.

**Facultad de Agronomía:** Por ser mi centro de estudios. Gracias por el apoyo durante mi etapa estudiantil.

**INSIVUMEH:** Por abrir sus puertas y brindarme el apoyo para concluir con la última fase de mi formación académica.

## ÍNDICE GENERAL

### CAPÍTULO I: DIAGNOSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA INSIVUMEH

1.1	Presentación .....	3
1.2	Marco referencial.....	4
1.2.1	Localización Geográfica.....	4
1.2.2	Información general del INSIVUMEH.....	4
A	Funciones del INSIVUMEH.....	5
B	Investigaciones y servicios .....	5
C	Aplicaciones de los servicios del INSIVUMEH .....	6
D	Misión INSIVUMEH .....	6
1.2.3	Departamentos y áreas del Instituto de Sismología, Vulcanología Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) .....	6
A	Departamento de Investigación y Servicios Hídricos .....	7
B	Departamento de Investigación y Servicios Geológicos.....	7
1.2.4	Organigrama institucional .....	8
1.3	Objetivos .....	10
1.3.1	Objetivo General.....	10
1.3.2	Objetivos Específicos .....	10
1.4	Metodología .....	11
1.4.1	Elaboración del Plan de Diagnóstico.....	11
A	Recopilación de Información.....	11
1.4.2	Análisis de la información .....	11
1.5	Resultados .....	12
1.5.1	Estructura organizacional del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos .....	12
A	Departamento de Investigación y Servicios Climáticos .....	12
B	Objetivos del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos.....	15
C	Principales normas, reglas del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos .....	15

**Página**

1.5.2	Metodología para la utilización de herramientas en el análisis del control de la calidad del dato.....	15
1.6	Conclusiones .....	18
1.7	Recomendaciones .....	18
1.8	Bibliografía.....	19

**CAPÍTULO II: EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, PERÍODO 1971-2010 CON BASE EN INFORMACIÓN ..... ESTADÍSTICA, GUATEMALA, C.A.**

2.1	Introducción .....	23
2.2	Planteamiento del problema.....	26
2.3	Marco teórico .....	27
2.3.1	Marco conceptual.....	27
A	Atmósfera.....	27
B	El clima .....	30
2.3.2	Cambio climático.....	35
A	Factores naturales que modifican el clima.....	35
B	Viento.....	39
C	Radiación Solar .....	39
D	Factores antropogénicos que afectan al clima.....	40
E	Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Guatemala.....	41
F	Clima de Centroamérica.....	42
G	Capa de ozono.....	43
H	Zona de convergencia intertropical (ITZC).....	45
I	Sectores más afectados por el cambio climático .....	46
J	Vulnerabilidad al cambio climático en Guatemala.....	47
K	Olas de calor .....	49
L	Fenómenos climáticos extremos .....	49
2.4	MARCO REFERENCIAL.....	51
2.4.1	Localización geográfica .....	51
2.4.2	Características geológicas .....	51
2.4.3	Características hidrográficas .....	52



	<b>Página</b>
2.4.4	Vertiente del Océano Pacífico..... 52
2.4.5	Características climáticas ..... 52
2.4.6	Características ecológicas ..... 53
2.4.7	Información Socioeconómica ..... 53
2.4.8	Ubicación de estaciones meteorológicas ..... 54
2.5	Objetivos ..... 57
2.5.1	Objetivos generales: ..... 57
2.5.2	Objetivos específicos: ..... 57
2.6	Hipótesis ..... 58
2.7	Metodología ..... 59
2.7.1	Procedimiento para calcular los índices climáticos ..... 59
2.7.2	Selección de datos ..... 60
2.7.3	Análisis y Control de Calidad ..... 60
A	Procesamiento de la información..... 60
B	Control de calidad interno RClimDex ..... 68
C	Cálculo de índices ..... 68
D	Realización de mapas ..... 70
2.8	RESULTADOS Y DISCUSION ..... 72
2.8.1	Tendencia de variación en las temperaturas máximas y mínimas de la vertiente del Pacífico..... 72
A	Análisis de Varianza para las variables temperatura máxima y mínima ..... 75
2.8.2	Tendencia de Variación en la precipitación de la vertiente del Pacífico ..... 77
A	Análisis de Varianza para la variable precipitación pluvial ..... 79
2.8.3	Análisis de los indicadores de temperatura y precipitación pluvial a través del cálculo de los índices de cambio climático. .... 80
A	Indicadores de temperatura ..... 80
B	Indicadores de precipitación pluvial ..... 88
C	Tendencia de variación en la temperatura y precipitación pluvial a través de los índices climáticos. .... 95
2.9	Conclusiones..... 100
2.10	Recomendaciones..... 101
2.11	Bibliografía ..... 102

CAPÍTULO III: SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA, E HIDROLOGÍA. INSIVUMEH

3.1	Presentación.....	107
3.2	Servicio 1: Análisis de control de calidad de los datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial de las estaciones de la red meteorológica nacional para el período de 1970 al 2011. ....	108
3.2.1	Objetivos .....	108
A	Objetivo general .....	108
B	Objetivos Específicos .....	108
3.2.2	Metodología .....	109
A	Evaluación de control de calidad de datos climáticos .....	109
B	Panorama general de las bases de datos mediante gráficas de series de tiempo .....	111
3.2.3	Resultados .....	121
A	Análisis de estaciones.....	121
B	Cuantificación del porcentaje de datos faltantes.....	124
3.2.4	Evaluación.....	126
3.2.5	Conclusiones.....	127
3.2.6	Recomendaciones.....	128
3.3	APÉNDICES .....	129
	Análisis de varianza de la variable precipitación pluvial.....	129
	Gráficas de tendencia decadal de las variables temperatura máxima temperatura mínima y precipitación pluvial.....	134
	Gráficas de tendencias de los índices climáticos.....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Título</b>	<b>Página</b>
Figura 1. Ubicación del INSIVUMEH.....	4
Figura 2. Organigrama institucional. ....	9
Figura 3. Organigrama del departamento de investigación y servicios climáticos. ....	12
Figura 4. Metodología para la realización del análisis de calidad del dato. ....	16
Figura 5. Capas de la atmósfera.....	29
Figura 6. Efecto de la inclinación de la Tierra en la radiación solar.....	30
Figura 7. Factores del clima.....	33
Figura 8. Esquema de la alteración del efecto invernadero.....	36
Figura 9. Procesos del ciclo de carbono. ....	37
Figura 10. Composición vectorial de cualquier movimiento de traslación sobre la superficie de la tierra. ....	38
Figura 11. Efecto de la radiación solar sobre la región ecuatorial. ....	40
Figura 12. Cambios de la temperatura del planeta en relación con el aumento de dióxido de Carbono. ....	42
Figura 13. Capa de ozono .....	44
Figura 14. Zona de Convergencia Intertropical .....	46
Figura 15. Mapa de Ubicación de estaciones climáticas .....	54
Figura 16. Mapa Base de la vertiente del Pacífico .....	55
Figura 17. Pasos para el cálculo y análisis de los índices de cambio climático.....	59
Figura 18. Gráfica de datos faltantes. ....	63
Figura 19. Histograma. ....	63
Figura 20. Archivos generados por RClimDex .....	64
Figura 21. Archivos generados por RClimDex .....	65
Figura 22. Fichero de texto (outliers) .....	66
Figura 23. Fichero de texto (flatline).....	67
Figura 24. Gráfica de temperatura máxima y temperatura mínima.....	73
Figura 25. Gráfica de temperatura máxima por década. ....	74
Figura 26. Gráfica de temperatura mínima por década. ....	74
Figura 27. Gráfica de precipitación acumulada anual.....	78
Figura 28. Gráfica de lluvia. ....	79
Figura 29. Mapa de rango diurno de temperatura (DTR). ....	81
Figura 30. Mapa de valor máximo de temperatura máxima (TXx).....	82

	<b>Página</b>
Figura 31. Mapa valor máximo de temperatura mínima (TNx).....	83
Figura 32. Mapa de valor mínimo de temperatura máxima (TXn). ....	84
Figura 33. Mapa de días cálidos (TX90p).....	85
Figura 34. Mapa de noches cálidas (TN90p).....	86
Figura 35. Mapa de noches frías (TN10p).....	87
Figura 36. Mapa de días fríos (TX10p).....	88
Figura 37. Mapa de cantidad máxima de precipitación en un día (RX1Day).....	90
Figura 38. Mapa de días muy húmedos. (R95p).....	91
Figura 39. Mapa de días secos consecutivos (CDD).....	92
Figura 40. Mapa de número de días con precipitación muy intensa (R20).....	93
Figura 41. Mapa de precipitación total anual en los días húmedos (PRCPTOT).....	94
Figura 42. Gráfico de tendencias de los índices de cambio climático. ....	99
Figura 43. Proceso del análisis de la información.....	110
Figura 44. Gráfico de visualización de datos faltantes.....	112
Figura 45. Histograma de la estación analizada. ....	113
Figura 46. Archivos que genera RClimDex_extraQC.....	113
Figura 47. Gráfico de boxplot mensual de tmax, tmin y Ppt de la estación San Marcos. ....	114
Figura 48. Gráfico boxplot anual de tmax, tmin y Ppt de la estación San Marcos. ....	115
Figura 49. Diagrama de gráficas de redondeo de tmax, tmin y Ppt.....	115
Figura 50. Reporte de outliers. ....	116
Figura 51. Reporte de flatline. ....	117
Figura 52. Ubicación de estaciones climáticas. ....	118
Figura 53. Gráficas tipo boxplot mensuales de Tmax, Tmin, Ppt y amplitud térmica.....	122
Figura 54. Gráficas tipo boxplot anuales de Tmax, Tmin, Ppt y amplitud térmica. ....	123
Figura 55. Diagramas de valores de redondeo de Tmax, Tmin y Ppt. ....	124
Figura 56 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Asunción Mita.....	134
Figura 57 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Catarina. ....	134
Figura 58 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación El Capitán.....	135
Figura 59 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Esquipulas.....	135
Figura 60 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Labor Ovalle.....	135
Figura 61 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación La Ceibita. ....	136
Figura 62 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Los Esclavos. ....	136
Figura 63 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Montufar. ....	136

**Página**

Figura 64 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Quezada. ....	137
Figura 65 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Retalhuleu. ....	137
Figura 66 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Sabana Grande. ....	137
Figura 67 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación San José Aeropuerto. ....	138
Figura 68 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación San Marcos. ....	138
Figura 69 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Suiza Contenta. ....	138
Figura 70 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Camantulul. ....	139
Figura 71 A. Evolución del índice climático DTR para la estación Labor Ovalle. ....	139
Figura 72 A. Evolución del índice climático TXx para la estación Labor Ovalle. ....	140
Figura 73 A. Evolución del índice climático TNx para la estación Labor Ovalle. ....	140
Figura 74 A. Evolución del índice climático TXn para la estación Labor Ovalle. ....	140
Figura 75 A. Evolución del índice climático TX90p para la estación Labor Ovalle. ....	141
Figura 76 A. Evolución del índice climático TN90p para la estación Labor Ovalle. ....	141
Figura 77 A. Evolución del índice climático TN10p para la estación Labor Ovalle. ....	141
Figura 78 A. Evolución del índice climático TX10p para la estación Labor Ovalle. ....	142
Figura 79 A. Evolución del índice climático RX1day para la estación Labor Ovalle. ....	142
Figura 80 A. Evolución del índice climático R95p para la estación Labor Ovalle. ....	143
Figura 81 A. Evolución del índice climático CDD para la estación Labor Ovalle. ....	143
Figura 82 A. Evolución del índice climático R20 para la estación Labor Ovalle. ....	143
Figura 83 A. Evolución del índice climático PRCPTOT para la estación Labor Ovalle. ....	144

## ÍNDICE DE CUADROS

<b>Título</b>	<b>Página</b>
Cuadro 1. Estaciones utilizadas en el análisis de tendencias. ....	56
Cuadro 2. Ejemplo de formato de entrada utilizado en el programa RCLimDex.....	61
Cuadro 3. Formato de entrada para correr RCLimDex .....	69
Cuadro 4. Índices climáticos utilizados para evidenciar el cambio en la Vertiente del Pacífico. ....	71
Cuadro 5. Valores de variación decadal de temperaturas máxima y mínima. ....	72
Cuadro 6. Resumen de tendencia significativas y no significativas por estación de la temperatura máxima. ....	75
Cuadro 7. Resumen de tendencia significativas y no significativas por estación de la temperatura mínima.....	76
Cuadro 8. Valores de variación decadal de precipitación. ....	77
Cuadro 9. Resumen de tendencia significativas y no significativas por estación de la variable lluvia. ....	79
Cuadro 10. Tendencias de los índices de cambio climático de las estaciones de la vertiente del Pacífico.....	97
Cuadro 11. Análisis de porcentaje de tendencias según cuadro de tendencia. ....	98
Cuadro 12. Listado de estaciones meteorológicas. ....	118
Cuadro 13. Análisis de la estación Asunción Mita. ....	121
Cuadro 14. Resumen del análisis de datos faltantes de las estaciones de la red meteorológica nacional. ....	124
Cuadro 15 A. Análisis de datos faltantes de las estaciones de la red meteorológica nacional. ....	145

## TRABAJO DE GRADUACIÓN

### **EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, PERIODO 1971-2010 CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH, GUATEMALA. C.A.**

#### RESUMEN

El Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía (EPSA) tiene como objetivo poner en práctica los conocimientos adquiridos por el estudiante a lo largo de la carrera en la entidad donde sea ubicado, por esta razón, y debido al importante trabajo realizado por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, INSIVUMEH, en aspectos de climatología, a través del departamento de investigación y servicios climáticos, se desarrolló dicho ejercicio para colaborar en la solución de problemas y comprensión de fenómenos climáticos a nivel nacional.

En el presente informe integrado se describen las actividades realizadas para el diagnóstico, la investigación y los servicios prestados en el departamento de investigación y servicios climáticos. El diagnóstico descrito en el primer capítulo permitió conocer con más detalle la estructura organizacional del departamento, así como la metodología para la utilización de herramientas en el análisis de control de calidad de los datos climáticos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial. Con la información obtenida en este capítulo fue posible definir el tema de investigación, así como los servicios prestados en el departamento.

El segundo capítulo se ha dedicado a la presentación de la investigación realizada durante el EPSA en el departamento de investigación y servicios climáticos. La investigación tuvo como objetivos evidenciar la tendencia presentada por la temperatura máxima, mínima y

precipitación pluvial en el período de 1971 al 2010, así como el análisis de índices de cambio climático. Los resultados mostraron una tendencia de aumento para la temperatura máxima, la cual oscila entre 0.17C y 1.5C. En el caso de la temperatura mínima, la tendencia también es hacia el aumento en un rango de 0.17C y 1.3C. De igual forma, la precipitación pluvial muestra una tendencia de aumento en un rango de 16 mm y 220 mm. A través del análisis de índices de cambio climático, se logró determinar un incremento del 38% de las noches cálidas, un incremento del 32% de los días cálidos, un incremento del 95% en las cantidades máximas mensuales de precipitación en un día y un incremento del 95% en los días húmedos.

En el capítulo 3 se describe el servicio prestado al departamento de investigación y servicios climáticos, el cual incluye el análisis de calidad de los datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial de las estaciones de la red meteorológica nacional para el período de 1970 al 2011, empleando para dicho servicio el software estadístico RClimdex. Tras el desarrollo de esta actividad se logró realizar el control de calidad, para las variables climáticas anteriormente mencionadas, a las 51 estaciones que componen la red meteorológica nacional. Se determinó que el porcentaje de datos faltantes para la variable de precipitación pluvial oscila en un rango entre 2.37% a 81.32%, para la temperatura máxima el porcentaje de datos faltantes oscila un rango entre 2.75% a 81.34% y para la temperatura mínima el porcentaje de datos faltantes oscila en un rango entre 2.45% a 81.29%.



## **CAPÍTULO I**

**DIAGNÓSTICO DEL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS  
CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA,  
METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA INSIVUMEH**



## 1.1 Presentación

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es una organización científica del gobierno de Guatemala. El instituto fue creado para estudiar y monitorear fenómenos y eventos atmosféricos, geofísicos e hidrológicos, sus riesgos para la sociedad, y ofrecer información y recomendaciones al gobierno y el sector privado en la ocurrencia de un desastre natural. El INSIVUMEH fue creado el 26 de marzo de 1976, poco después del terremoto de 1976, y forma parte del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

El instituto tiene cuatro disciplinas principales: Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, en el cual la sección de Meteorología tiene a su cargo todo lo relacionado con el desarrollo de procesos y fenómenos atmosféricos y su incidencia en el territorio nacional. El presente diagnóstico tiene como objetivos conocer y describir la estructura organizacional del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos, así como la descripción de la metodología para la utilización de herramientas en el análisis de control de la calidad del dato.

La metodología para la elaboración del presente documento consistió de las siguientes fases: elaboración del plan de diagnóstico, recopilación de información y análisis de información.

Finalmente, se concluye que el Departamento de Investigación y Servicios Climáticos está compuesto por las secciones de Climatología, Agrometeorología, Red Meteorológica y Meteorología Sinóptica y Aeronáutica y que la metodología empleada para la utilización de herramientas en el análisis de control de calidad del dato consta de las siguientes fases: Selección de datos, revisión y descarte de series inconsistentes de datos, comparación con hojas de campo y análisis de control de calidad.

## 1.2 Marco referencial

### 1.2.1 Localización Geográfica

El INSIVUMEH se encuentra localizado en la Ciudad capital en la 7ª. Avenida 14-57, zona 13. Frente al Aeropuerto Internacional La Aurora. Tiene una elevación de 1,502 msnm, localizada geográficamente entre las coordenadas Longitud  $-90^{\circ}53'28''$  y Latitud  $14^{\circ}58'64''$ .

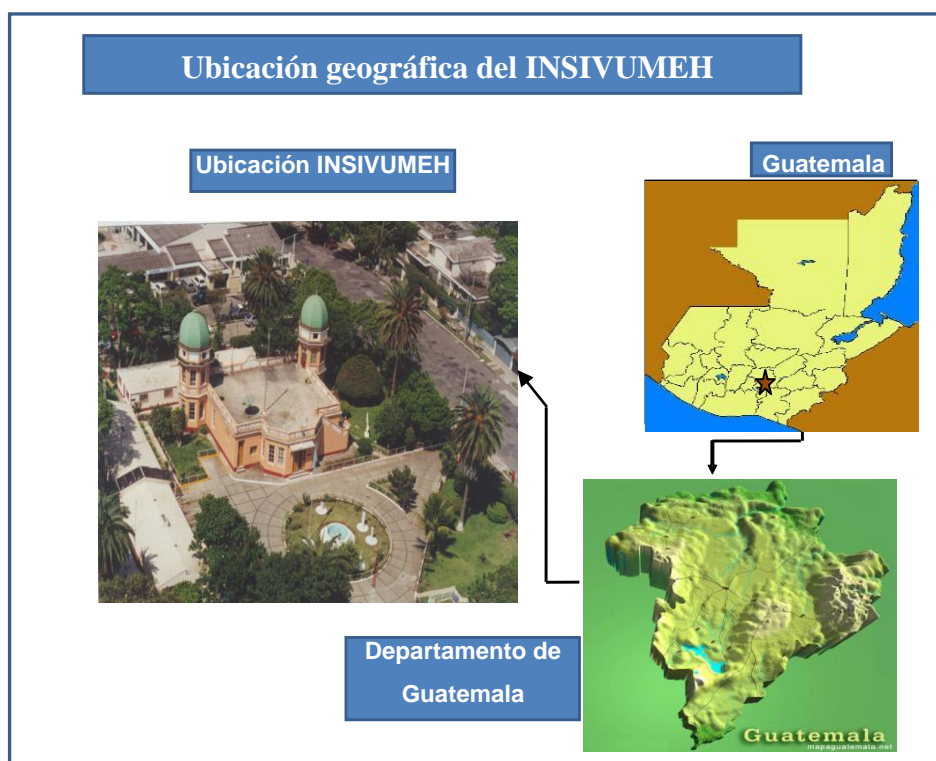


Figura 1. Ubicación del INSIVUMEH

### 1.2.2 Información general del INSIVUMEH

El Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) es una organización científica del gobierno de Guatemala. El instituto fue creado para estudiar y monitorear fenómenos y eventos atmosféricos, geofísicos e hidrológicos, sus riesgos para la sociedad, y ofrecer información y recomendaciones al gobierno y el sector

privado en la ocurrencia de un desastre natural. El INSIVUMEH fue creado el 26 de marzo de 1976, poco después del terremoto de 1976, y forma parte del Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda.

El instituto tiene cuatro disciplinas principales: Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, en el cual la sección de Meteorología tiene a su cargo todo lo relacionado con el desarrollo de procesos y fenómenos atmosféricos y su incidencia en el territorio nacional. Desde 1976 a la fecha, esta actividad centró su accionar en proporcionar servicios meteorológicos y climatológicos a la navegación aérea, al sector de atención a los desastres, a la agricultura, a la planificación y aprovechamiento de los recursos hídricos del país, al diseño y planificación de las obras de infraestructura nacional, a diversos proyectos de interés nacional y al sector público y privado en general.

#### **A Funciones del INSIVUMEH**

Tiene como funciones principales administrar, coordinar, operar y comunicar las actividades técnicas y científicas relacionados a la evaluación y el monitoreo de los recursos hidráulicos, océano-atmosféricos, hidrogeológicos, meteorológicos, climatológicos, sismológicos, vulcanológicos, geográficos e hidroquímicos de la república de Guatemala

#### **B Investigaciones y servicios**

Se encarga de realizar investigaciones y estudios especializados en los antecedentes y causas de catástrofes que pueden constituir calamidades públicas, como: inundaciones, sequías, fallas geológicas e hidrogeológicas, hundimientos, deslizamientos de tierra, erupciones volcánicas, actividad sísmica y terremotos, tsunamis, heladas, lluvias de alta intensidad, olas de calor, marea roja, frentes fríos, vigilancia hidrometeorológica y mareográfica nacional y la variabilidad y el cambio climático en el país.

## **C Aplicaciones de los servicios del INSIVUMEH**

La información técnica que recolecta, procesa y administra el INSIVUMEH sirve de base para la definición, formulación, diseño, planificación y ejecución de proyectos de: ingeniería, arquitectura, agropecuarios, forestales, comunicaciones, ecológicos, educativos y socio-económicos. Entre las principales aplicaciones pueden ser los siguientes diseños: hidroeléctricos, puertos, carreteras, puentes, abastecimientos de agua potable, establecimiento de plantaciones agrícolas, sistemas de medición y control ambiental, vigilancia meteorológica y marítima nacional, actividad aeronáutica, vigilancia y predicción de incendios forestales y de pastizales.

## **D Misión INSIVUMEH**

El INSIVUMEH es una institución técnico-científica altamente calificada que contribuye a la optimización de actividades del sector productivo de la República de Guatemala asociadas a las ciencias atmosféricas, geofísicas e hidrológicas, coordinando servicios con el sector privado y actuando como asesor técnico del gobierno en caso de desastres naturales; además planifica, diseña y ejecuta estudios y monitoreo sistematizados con la tecnología adecuada, enriqueciendo las bases de datos y sistemas de información geográfica referencial del país, contribuyendo así con la modernización y especialización del sector educativo a todo nivel en el campo de su competencia. Y en delegación subsidiaria del Estado, los representa como miembro activo en organismos Nacionales e Internacionales.

### **1.2.3 Departamentos y áreas del Instituto De Sismología, Vulcanología, Meteorología E Hidrología (INSIVUMEH)**

A continuación, se describen algunos de los departamentos que pertenecen al INSIVUMEH:

## **A Departamento de Investigación y Servicios Hídricos**

El Departamento de Investigación y Recursos Hídricos del INSIVUMEH, ejecuta actividades y presta servicios en materia de hidrología al país; con el fin de tener y mantener un banco de datos hidrometeorológicos para hacer investigación, aplicar técnicas, y sentar las bases que permitan optimizar el aprovechamiento del recurso hídrico de la república.

De manera específica el Departamento de Investigación y Servicios Hídricos centra su actividad en la operación de la Red Nacional de Estaciones Hidrológicas y especiales de tipo meteorológico; así como en el procesamiento y preparación de estudios regionales sobre el comportamiento de los parámetros hidrológicos básicos y suministra información básica primaria, útil en la planificación y uso del recurso agua; formulación y ejecución de proyectos de desarrollo local, tales como hidroelectricidad, riego, agua potable, etc.; como la ayuda a la prevención de desastres naturales, tales como inundaciones operando sistemas de alerta temprana en cuencas especiales. Esta información también sirve de fundamento para investigaciones y proyectos relacionados con la ingeniería hidráulica, represas, regulación de ríos, planeación de obras hidráulicas, control de aguas, hidrología e hidrogeología, desarrollo comercial e industrial y turístico, obras de infraestructura, utilización de recursos naturales, y otras áreas de interés socioeconómico del país.

## **B Departamento de Investigación y Servicios Geológicos**

En el departamento de geofísica, se realiza la vigilancia y estudio de fenómenos relacionados con las ciencias de la tierra en el territorio nacional, siendo sus principales actividades las siguientes:

### **a Sismología (Vigilancia de la actividad sísmica)**

Se cuenta con una red de estaciones sísmicas radiotelemétricas que cubren principalmente la costa sur y el centro del territorio nacional que en forma permanente registran los movimientos que se generan en la corteza terrestre.

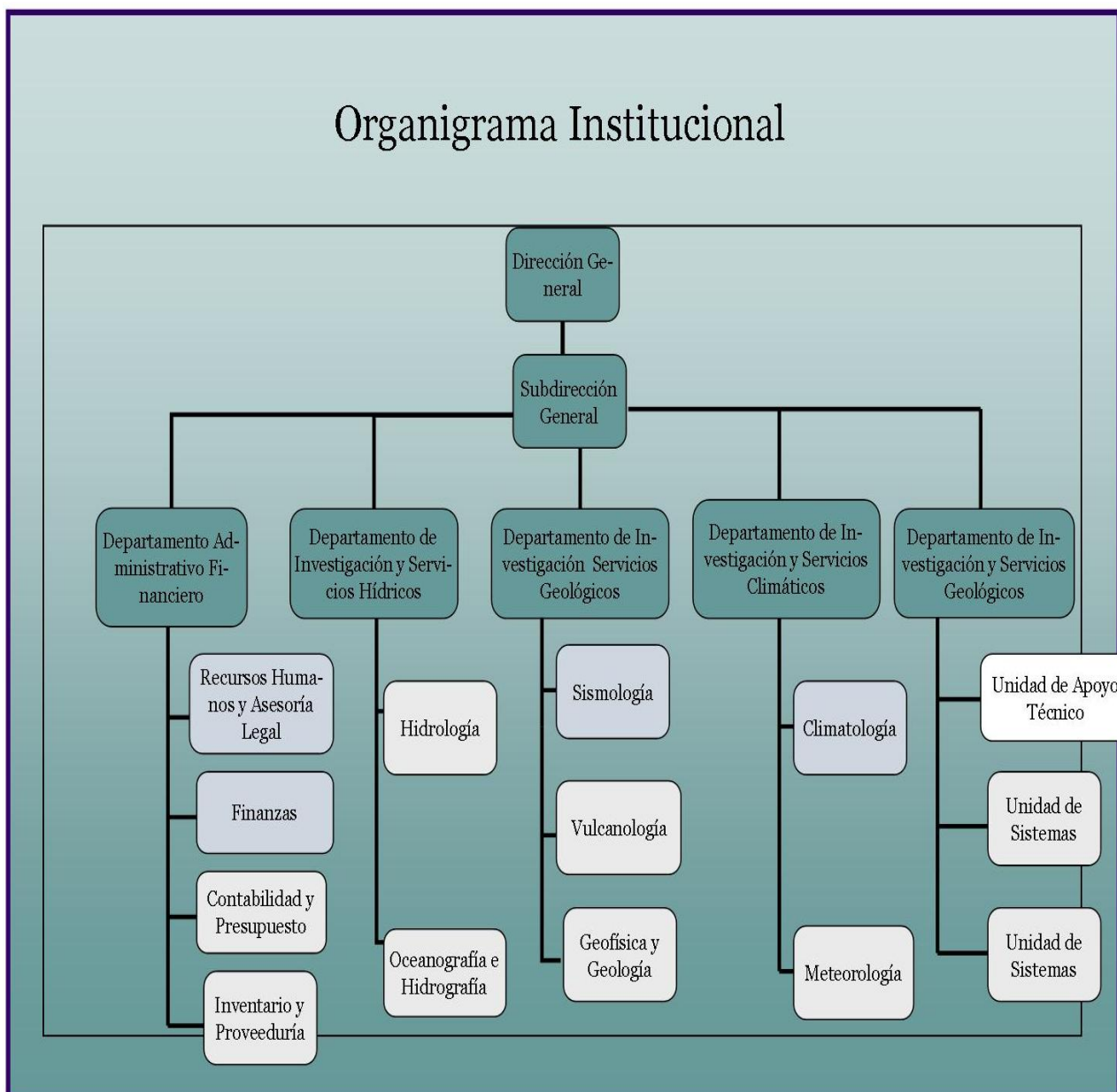
### **b Vulcanología (Vigilancia volcánica)**

La cual se realiza principalmente en los cuatro volcanes más activos de Guatemala: Pacaya, Fuego, Santiaguito y Tacaná, también se monitorea el volcán de Agua. Esta actividad se realiza por medio de la vigilancia visual y estaciones sismo-volcánicas, muestreo geoquímico, y se complementa con reconocimientos a los alrededores de los volcanes para identificar fenómenos y zonas que podrían ser potenciales amenazas para las comunidades de los alrededores

## **1.2.4 Organigrama institucional**

En la figura 2 se presenta el organigrama institucional del INSIVUMEH.





**Figura 2.** Organigrama institucional.

## **1.3 Objetivos**

### **1.3.1 Objetivo General**

Conocer la situación actual del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, de Guatemala.

### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- Describir la estructura organizacional del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos.
- Describir la metodología para la utilización de herramientas en el análisis de control de calidad del dato.

## **1.4 Metodología**

La metodología que se utilizó para llevar a cabo el presente diagnóstico del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos del INSIVUMEH se puede dividir en las siguientes fases.

### **1.4.1 Elaboración del Plan de Diagnóstico**

En este se describió la metodología y materiales para la elaboración del presente diagnóstico. Dicho plan consistió de las siguientes actividades:

#### **A Recopilación de Información**

Se reunió información general de las principales actividades que se realizan en el Departamento de Investigación y Servicios Climáticos y de su organización actual.

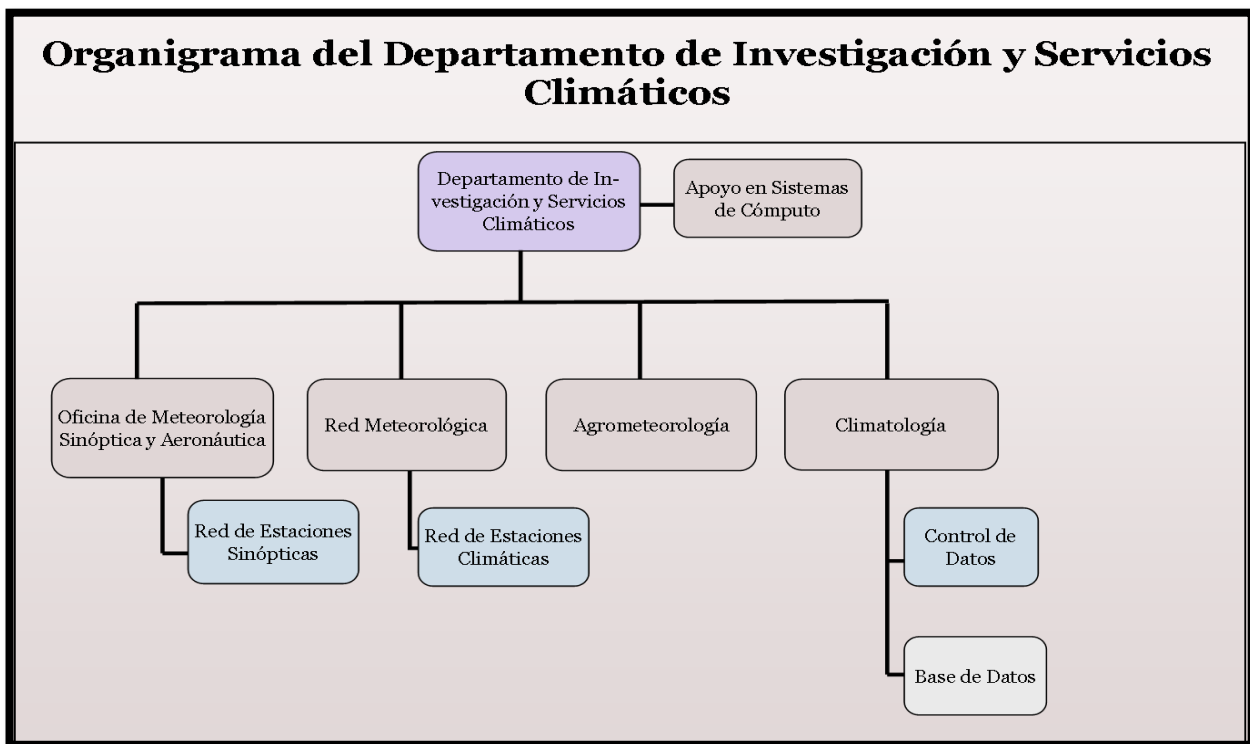
Se recopiló información sobre las actividades diarias realizadas en el Departamento de Investigación y Servicios Climáticos, así como la organización y funciones del personal que labora en este, se hizo a través de observación y toma de datos sobre las actividades diarias, de esta manera se identificó el servicio que se llevaría a cabo.

### **1.4.2 Análisis de la información**

La Información recopilada fue debidamente ordenada para priorizar los servicios que se realizarían al Departamento de Investigación y Servicios Climáticos.

## 1.5 Resultados

### 1.5.1 Estructura organizacional del Departamento De Investigación Y Servicios Climáticos



**Figura 3.** Organigrama del departamento de investigación y servicios climáticos.

#### A Departamento de investigación y servicios climáticos

A continuación se describe al departamento de investigación y servicios climáticos, en el cual se realizó el ejercicio profesional supervisado EPS, por lo que se encuentra más detallado. La estructura organizacional actual del departamento es funcional, sin embargo, es necesario definir de manera más específica las funciones de cada uno de los miembros para lograr un mejor aprovechamiento del recurso humano.

**a) Generalidades**

La posición geográfica de nuestro país nos permite tener diversas condiciones climáticas, agradables o adversas en algunos casos, lo que hace necesario tener conocimientos de los fenómenos que la provocan. El departamento de meteorología y climatología tiene a su cargo todo lo relacionado con fenómenos atmosféricos y su incidencia en el territorio nacional. Su importancia radica en los servicios que presta a la navegación aérea, la agricultura, a diversos proyectos de interés nacional y al público en general.

El departamento se encuentra integrado por tres secciones: Sinóptica-Aeronáutica, Climatología y Agrometeorología.

**b) Funciones**

Las principales funciones de este departamento son:

1. Operación de la red de estaciones meteorológicas distribuidas en todo el país, análisis de la información meteorológica mundial y operación de la estación de satélites meteorológicos.
2. Proporcionar información meteorológica a la navegación aérea, prensa, radio, televisión y al público en general.
3. Recopilar, procesar y publicar la información climática que sirve de base a proyectos agrícolas, hidroeléctricos, de abastecimiento de agua potable, etc.

El departamento de meteorología y climatología del INSIVUMEH, es el encargado de monitorear, formular, investigar, evaluar, procesar, registrar, modelar, cartografiar y analizar las series de registros meteorológicos, climáticos y agrometeorológicos, en tiempo real e histórico para la elaboración de boletines, pronósticos, proyectos, estudios especiales e informes técnicos a ser utilizado por los principales sectores económicos del país, como la agricultura, ganadería, industria, silvicultura, avicultura, construcción y en el diseño e infraestructura vial, en la navegación aérea y marítima y muy especialmente en la prevención de desastres naturales de origen océano-atmosférico, en los estudios del ambiente por la variabilidad y el cambio climático.

Toda actividad que ejecuta este departamento vela por el bienestar, confort y seguridad ambiental de todas las personas que habitan en el territorio guatemalteco, a fin de pronosticar la presencia de cualquier fenómeno natural adverso que constituya un peligro para la vida de las personas, los animales, las plantaciones, la infraestructura, el transporte, las comunicaciones y las edificaciones.

A continuación, se presentan las secciones que integran al Departamento de Investigación y Servicios Climáticos:

**c) Sección de climatología**

Se encarga de recopilar la información de la red de estaciones climatológicas en tiempo diferido procesando datos numéricos y gráficos, con el objeto de fortalecer el banco de datos climatológicos del INSIVUMEH.

**d) Sección de meteorología sinóptica y aeronáutica**

Se utiliza la información y los registros de la red sinóptica-aeronáutica en tiempo real para proveer la información necesaria que demandan la navegación aérea y marítima.

Se encarga de la vigilancia Meteorológica Nacional, en este proceso se observan en forma continua todos aquellos fenómenos atmosféricos locales y regionales (tormentas, huracanes, frentes fríos, olas de calor, etc.) que pueden causar algún desastre natural emitiendo boletines y avisos oportunos a las autoridades y público en general.

**e) Sección de agrometeorología**

Se realizan actividades con la aplicación de datos meteorológicos climáticos e hidrológicos de INSIVUMEH en aplicaciones directas para el sector agropecuario del país con el fin de mejorar la productividad de los mismos.

**f) Red meteorológica**

El Departamento de Investigación y Servicios Climáticos de INSIVUMEH tiene a su cargo una red de estaciones convencionales y una red de estaciones automáticas que tienen a

su cargo la observación y medición de las variables meteorológicas, las estaciones cumplen con las normas de la Organización Meteorológica Mundial (OMM), por lo tanto, sirven de herramienta primordial en el desarrollo técnico-científico, económico y social del territorio guatemalteco, ello implica, que los datos climáticos son una fuente de información básica para diversos estudios multidisciplinarios.

## **B Objetivos del departamento de investigación y servicios climáticos**

1. Contribuir a las actividades del sector productivo asociados a las Ciencias Atmosféricas.
2. Asesorar al Gobierno en caso de desastres naturales.
3. Planificar, diseñar y ejecutar estudios relacionados al tiempo y el clima en el país.
4. Monitoreo sistemático de las condiciones meteorológicas y climáticas de Guatemala.
5. Enriquecer la base de datos climática.

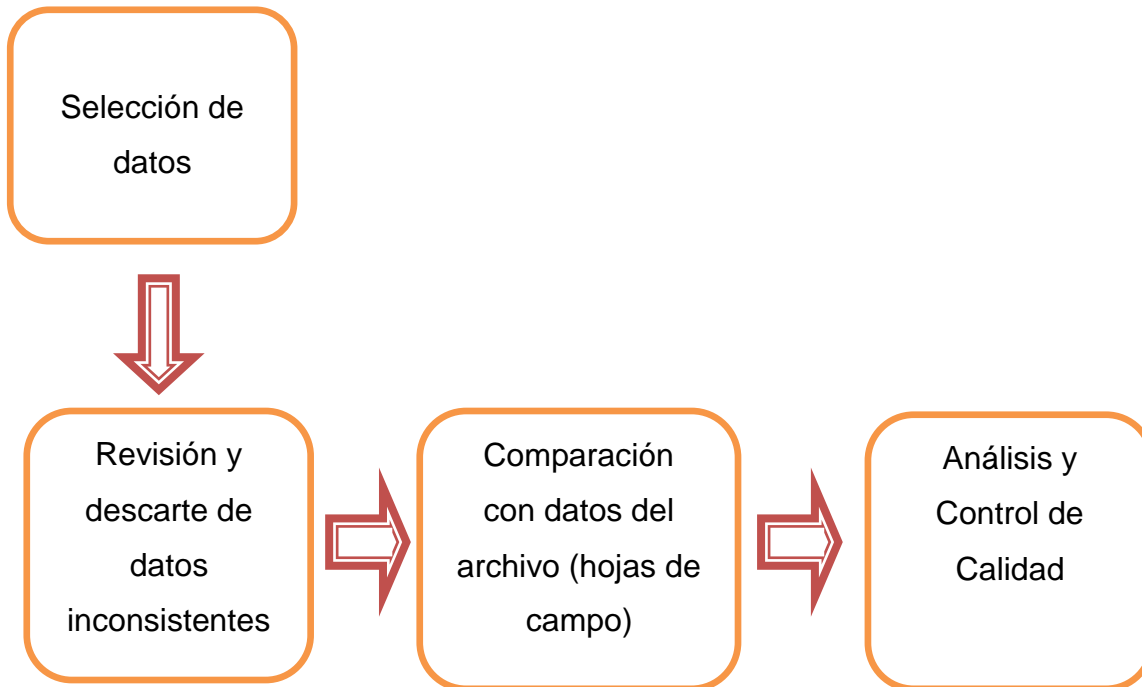
## **C Principales normas, reglas del departamento de investigación y servicios climáticos**

1. Respetar el horario de trabajo establecido.
2. Utilizar gafete para identificación personal.
3. Respetar el horario de almuerzo.
4. Cuidado del equipo de cómputo.
5. Respetar actividades asignadas según contrato.

### **1.5.2 Metodología para la utilización de herramientas en el análisis del control de la calidad del dato**

El proceso de incorporación de datos meteorológicos a sistemas de base de datos es un complejo proceso, que posee varias etapas. Idealmente cada una de las etapas debería tener su procedimiento de control de calidad, pero muchas veces por el volumen de los

datos se procede solamente a tener un control de calidad a base de inspección visual, pero la inspección visual no es suficiente para determinar valores atípicos.



**Figura 4.** Metodología para la realización del análisis de calidad del dato.

Debido a que una de las principales responsabilidades del Departamento de Investigación y Servicios Climáticos es la de brindar a los usuarios una calidad del dato para los usos que ellos crean convenientes, al igual que, para el uso interno o institucional de los datos para investigación científica, que puede ser de gran importancia para el país, es importante contar con una base de datos sólida, ya que cada día hay una mayor demanda en datos climáticos. Esta demanda de datos climáticos se ha dado en los últimos años, debido a la búsqueda del entendimiento de la variabilidad climática.

El control de calidad de los datos es de suma importancia, ya que en la serie de tiempo pueden existir valores extraños que no cumplan con el comportamiento habitual de la variable en cuestión. Estos datos pueden ser de origen humano, como los errores que se realizan al momento de la digitalización de los datos, errores sistemáticos por mala calibración o reemplazo de los instrumentos, o bien por cambio de observador o mala



capacitación del mismo, entre otras; aunque pueden también ser registros verídicos de la ocurrencia de eventos extremos.

Se requiere entonces, realizar el control de calidad de los datos, utilizando criterios estadísticos a través del programa RClimdex, El software estadístico RClimDex utiliza desviaciones estándar, la cual es definida por el usuario, y ayuda para conocer la desviación que presentan los datos en su distribución, respecto a la media, el objetivo principal es tener una inspección visual, para poder interpretar errores con mayor facilidad. Para el cálculo de los índices se utilizan los percentiles.

## 1.6 Conclusiones

- El Departamento de Investigación y Servicios Climáticos está compuesto por las secciones de Climatología, Agrometeorología, Red Meteorológica y Meteorología Sinóptica y Aeronáutica. Cada una de estas secciones tiene funciones específicas que garantizan el buen desarrollo del departamento.
- La metodología empleada para la utilización de herramientas en el análisis de control de calidad del dato consta de las siguientes fases: Selección de datos, revisión y descarte de series inconsistentes de datos, comparación con hojas de campo y análisis de control de calidad.

## 1.7 Recomendaciones

- Desarrollar un manual de funciones específicas de cada uno de los miembros que componen el Departamento de Investigación y Servicios Climáticos para un óptimo aprovechamiento del recurso humano.
- Implementar un proyecto que incluya capacitaciones continuas con los observadores de las estaciones meteorológicas para disminuir el error humano en la toma de datos, así como el mantenimiento y adecuada calibración de los equipos de medición con los que cuenta cada estación meteorológica.

## 1.8 Bibliografía

1. INSIVUMEH (Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, GT). Tarjetas de registro climatológicas de la estación meteorológica de Amatitlán 1982. Guatemala. Sin Publicar.
2. Simmos, ChS. 1956. Descripción de los suelos que aparecen en la carta agrológica de reconocimiento de la república de Guatemala: hoja Guatemala. Guatemala, Instituto Agropecuario Nacional. Esc. 1:200,000.
3. Vásquez, J. 2006. Importancia de base de datos climática (en línea). México. Consultado 02 de jul de 2012. Disponible en [http://www.csva.gob.mx/foro\\_medioambiente/MA/pdf/ForoMA%209%20Datos.pdf](http://www.csva.gob.mx/foro_medioambiente/MA/pdf/ForoMA%209%20Datos.pdf)



*Rolando Barrios*



## **CAPÍTULO II**

**EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE  
GUATEMALA, PERIODO 1971-2010 CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA,  
GUATEMALA, C.A.**

**EVIDENCE OF CLIMATE CHANGE ON THE PACIFIC VERSANT OF GUATEMALA,  
1971-2010 PERIOD BASED ON STATISTICAL INFORMATION, GUATEMALA, CA**



## 2.1 Introducción

Actualmente se hace énfasis en la importancia de la generación de información y realización de estudios relacionados a los eventos climáticos extremos, debido al impacto directo que estos ocasionan, tanto sobre la sociedad en general, como en el ambiente. Debido a que Guatemala se encuentra ubicada en una zona geográfica de alto riesgo, y posee gran vulnerabilidad a los efectos de fenómenos naturales de tipo geológico e hidrometeorológico, esto la convierte en un país muy castigado por las perturbaciones atmosféricas de origen ciclónico. Esta condición es debida, en gran parte, a su ubicación al sur-oeste de la región del Caribe y al norte de la zona de tormentas tropicales, donde se desarrolla anualmente una intensa actividad ciclónica; característica que la convierte en una zona de desastre, según la Organización Meteorológica Mundial (OMM).

Dicha situación puede ser una amenaza a la vida y salud humana, ya que puede ocasionar la pérdida de los medios de subsistencia y producir daños a la infraestructura básica, a la vez que se afectan la calidad de vida de los habitantes de las áreas vulnerables, también se agravan las condiciones socioeconómicas de la población y éstas situaciones pueden aumentar los conflictos sociales, sin dejar de lado la importancia de la degradación de los recursos naturales.

Por otra parte, el territorio guatemalteco se encuentra ubicado entre dos océanos, relativamente cercanos uno del otro, los cuales tienen diferentes condiciones térmicas y de circulación marina. Esta cercanía da lugar a que el aire húmedo de un océano atraviese el país cuando en el otro se está desarrollando una actividad ciclónica, es decir, cuando por el Atlántico o la zona norte de la República pasa un ciclón, la costa sur sufre copiosas lluvias y viceversa.

Estas características geográficas, topográficas, sísmicas, etc., determinan la importancia de estos fenómenos naturales, cuyos efectos y consecuencias han sido las inundaciones y crecidas de ríos en las regiones bajas de las cuencas fluviales, siendo estas las que

mayores daños han causado al desarrollo económico y agrícola del país, especialmente en la región del pacífico.

Por otra parte, es probable que en los últimos años los días fríos, las noches frías y las escarchas hayan sido menos frecuentes en la mayoría de las áreas terrestres, y que los días y noches cálidos hayan sido más frecuentes; también se ha determinado que en los últimos años, Guatemala ha sufrido los impactos del exceso de precipitación, períodos de sequía y una variación térmica inusual, eventos que han dado como resultado la pérdida de ecosistemas y la reducción de la calidad y disponibilidad de recursos hídricos.

Sin embargo, no se ha determinado de manera objetiva, cómo el cambio climático ha afectado las variables meteorológicas en Guatemala, ya que solamente se tiene una percepción subjetiva sobre un aumento en la temperatura y cambios drásticos de precipitación pluvial, pero no existe un estudio que determine de forma cuantificada la variación de la temperatura y precipitación pluvial, convirtiendo estas condiciones en los objetivos de la presente investigación.

La metodología empleada consistió de una primera fase, en la cual se realizó una selección de datos, tanto de temperatura como de precipitación pluvial. Los datos seleccionados correspondieron a un período de 40 años, ubicados desde el año 1971 hasta el año 2010. Seguidamente se realizó una revisión y descarte de series de datos inconsistentes. Posterior a esto, se procedió a realizar un análisis de control de calidad de las series de datos empleadas, así como una revisión de datos anómalos los cuales fueron corroborados con las hojas de campo. Para el desarrollo de esta fase se empleó el software estadístico RCLimDex.

Una vez finalizada la primera fase, se trabajó en el desarrollo de los índices climáticos, dentro de los cuales se encuentra la amplitud diaria de temperatura, máximo de temperatura máxima, máximo de temperatura mínima; entre otros, así como las tendencias de dichos índices. Para esta fase también fue necesaria la utilización del Software RCLimDex.



En cuanto a la temperatura máxima, se logró determinar de forma cuantitativa, en cada una de las estaciones analizadas, que existe un evidente aumento en los valores medios de dicha variable a lo largo del periodo analizado, el cual corresponde a 40 años comprendidos entre 1971 al 2010. Este aumento ha presentando magnitudes diferentes en los valores medios de cada década, sin embargo, la tendencia al aumento de esta variable es evidente. Una situación similar se presenta en la temperatura mínima, pues los valores medios de las décadas ha ido en aumento, remarcando la tendencia al aumento de esta variable.

Dicha tendencia se presenta en cada una de las estaciones analizadas, por lo cual es evidente que el cambio en el clima es un fenómeno global y no puede ser tratado como un efecto aislado o propio de una región. En cuanto a la precipitación pluvial, se presenta un escenario de incremento en los valores medios decadales con magnitudes que varían de una región a otra debido a las características fisiográficas de cada región, sin embargo, la tendencia en cada una de las estaciones es al incremento de dicha variable.

Finalmente, se logró concluir que la temperatura máxima, temperatura mínima y la precipitación pluvial presentan una tendencia al aumento de sus valores a lo largo del periodo analizado. Esta tendencia está presente en todas las estaciones analizadas, las cuales representan la vertiente del Pacífico. Así mismo se evidencia un aumento en la frecuencia de días calurosos y una ligera disminución en la frecuencia de días frescos. En cuanto a la precipitación, se evidencia un aumento de los valores acumulados anuales, así como los eventos de lluvias intensas.

## 2.2 Planteamiento del problema

El clima afecta por doquier a la vida y a los medios de subsistencia de las personas (OMM,s.f.), el aumento y variabilidad de la temperatura y los cambios de la precipitación, presenta amenazas hacia la humanidad.

En los últimos años, el tema de cambio climático ha tomado auge, tanto a nivel nacional como a nivel mundial, y se habla que los países más afectados son los de la región Centroamericana, ya que su pobreza limita las capacidades económicas para poder implementar mecanismos de adaptación. Sin embargo, no se tiene aún definido en forma objetiva cómo el Cambio Climático ha afectado las variables meteorológicas en Guatemala, ya que solamente se habla que la temperatura ha aumentado y que han habido cambios drásticos de precipitación pluvial, pero no se tiene la evidencia de cómo ha influenciado la variación de los índices climáticos.

De manera intuitiva, se presume que la alteración de la frecuencia e intensidad de los fenómenos meteorológicos extremos, sumada al aumento del nivel del mar, tendrán previsiblemente efectos extremadamente adversos sobre los sistemas naturales y humanos y que el calentamiento antropógeno podría producir impactos abruptos e irreversibles, en función de la rapidez y magnitud del cambio climático (IPCC, 2007).

En la Vertiente del Pacífico de Guatemala, el cambio climático es de gran importancia ya que puede afectar negativamente a la producción agrícola, pecuaria, pesquera y forestal, las cuales se encuentran bien desarrolladas en dicha vertiente.

## 2.3 Marco teórico

### 2.3.1 Marco conceptual

#### A Atmósfera

##### a Composición

La atmósfera está formada por el aire, que es una mezcla de diferentes gases, con diferentes propiedades, acompañados de partículas sólidas y líquidas en suspensión como polen, cenizas volcánicas, residuos de combustión, agua, etc. La composición de la atmósfera terrestre ha ido evolucionando a través del tiempo y hoy es muy distinta a la que había cuando se inició la formación de la Tierra. Entre los gases que componen la atmósfera actual, los tres más abundantes son el nitrógeno, el oxígeno y el argón; el resto representan pequeñas cantidades. (Villegas, s.f.)

Sin embargo, la importancia climática no está en relación directa con su proporción en la atmósfera. Así los más abundantes, nitrógeno y oxígeno, apenas influyen en el clima mientras que el dióxido de carbono y el vapor de agua resultan fundamentales en la regulación térmica y en muchos procesos meteorológicos.

El aire no está repartido de manera uniforme por toda la atmósfera sino que se encuentra concentrado cerca de la superficie, comprimido por la atracción de la gravedad, disminuyendo su densidad con gran rapidez conforme aumenta la altitud. Así, en los 5.5 kilómetros más cercanos a la superficie se encuentra la mitad de la masa total de aire y por debajo de los 15 kilómetros está el 95% de toda la materia atmosférica.

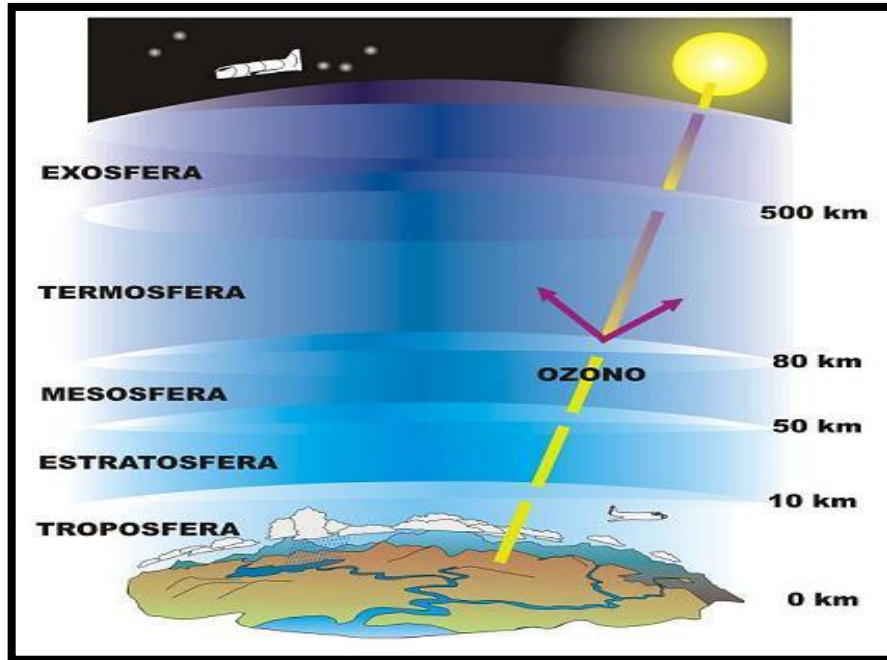
(educaplus, clima TIC s.f.)

##### b Capas de la atmósfera

La atmósfera es un todo indivisible. No obstante, desde el punto de vista térmico, se consideran varias regiones constituyentes: la **troposfera**, la **estratosfera**, la **mesosfera** y la **termosfera** o **ionosfera**. Las mayores temperaturas se registran en las proximidades de la superficie terrestre por la absorción de radiación solar pero también pueden

presentarse a grandes alturas (Villegas, s.f.) A continuación se definen cada una de las regiones que componen la atmósfera.

1. **La tropósfera:** es la capa o región más baja de la atmósfera en la que la temperatura disminuye con la altitud. Aquí se encuentra la mayor parte de la masa atmosférica y los sistemas meteorológicos. El límite superior es la tropopausa a unos 18 kilómetros de altura
2. **La estratósfera:** es la capa que se inicia luego de la tropopausa y se puede encontrar desde los 12 km y se extiende hasta los 50 kilómetros; a partir de aquí se manifiesta un ascenso lento de la temperatura. Después de los 32 kilómetros ese ascenso es rápido. Su límite superior es la estratopausa
3. **La mesósfera:** la temperatura desciende a medida que aumenta la altura alcanzando valores mínimos a los 80 kilómetros. Aquí principia la mesopausa
4. **La termósfera o ionósfera:** es la capa que se puede encontrar en un rango de entre los 90km y 500 km de altura, (termopausa).
5. **La exósfera:** es la última capa de la atmósfera, se localiza por encima de la termosfera. Es la región en la cual la temperatura no varía y el aire pierde sus cualidades físico-químicas, y es la capa más distante de la superficie terrestre.
6. **La temperatura:** los valores de la temperatura se mantienen en ascenso hasta los 500 kilómetros de altura en periodos de actividad solar y hasta los 400 kilómetros cuando cesa dicha actividad.



**Figura 5.** Capas de la atmósfera.  
Fuente: Salas, 2000.

### c Energía de la atmósfera

Cuando se aplica la ley de la conservación de la energía, a la energía que recibe la atmósfera, se obtiene de sus diversas transformaciones, una orientación sobre la generación de los “complejos fenómenos atmosféricos que llamamos tiempo” (Miller, citado por Fallas; Oviedo, 2003).

Los procesos de información, se inician cuando la energía que llega a la Tierra procedente del Sol, es interceptada a lo largo de su trayectoria por la atmósfera, hacia la superficie de la Tierra, por tres procesos físicos que son:

1. **La absorción:** una pequeña parte es absorbida por ciertos gases como el oxígeno, el ozono y el vapor de agua, el ozono por ejemplo impide que la radiación ultravioleta llegue a la superficie terrestre. Mientras la superficie terrestre también absorbe parte de la energía.

2. **La reflexión:** otra parte se refleja al espacio por la atmósfera misma, sus nubes y las superficies blancas del planeta.
3. **La dispersión:** una pequeña cantidad queda dispersa en la atmósfera, esta dispersión es la que produce los colores en el cielo, el color azul que se observa es porque la energía radiante al “chocar” con las partículas suspendidas en la atmósfera, cambia su nivel de energía, mostrando ese tono. Al amanecer o al atardecer se observan anaranjados o rojizos por la posición del Sol con respecto al horizonte. Este fenómeno óptico se observa también cuando se hace pasar luz blanca a través de un prisma y éste la separa en sus componentes (los colores del arcoíris), solo que la atmósfera dispersa más el azul.

## B El clima

### a Definición

La palabra CLIMA etimológicamente significa: INCLINACION. Este concepto surge porque el Clima variará según la inclinación en que llega la radiación solar a la Tierra. Por esta razón, existe tanta diversidad climática en el planeta. (Fallas; Oviedo 2003).



**Figura 6.** Efecto de la inclinación de la Tierra en la radiación solar  
**Fuente:** Salas, 2000.

El clima es el “conjunto fluctuante de las condiciones atmosféricas, caracterizado por los estados y evoluciones del tiempo de un dominio espacial determinado.”(Ascaso, citado por Fallas; Oviedo 2003).

"Clima es el conjunto fluctuante de condiciones atmosféricas caracterizado por los estados y la evolución del tiempo, en el curso de un periodo suficientemente largo y en un dominio espacial determinado". (Salas, 2000).

Se define al clima como “el estado medio de la atmósfera, observado por un período de tiempo razonablemente largo” (OMM citado por Fallas; Oviedo 2003).

## **b Componentes físicos**

El sistema se completa con los componentes físicos que se describen a continuación:

1. **La atmósfera** según se explicó, constituye la parte más variable del sistema.
2. **La hidrosfera** es el agua sobre la superficie terrestre: ríos, lagos, océanos y agua subterránea. Los océanos participan de los cambios climáticos debido a que absorben mayor radiación que los continentes.
3. **La criosfera** compuesta por las masas de hielo, glaciares y toda la superficie terrestre cubierta de nieve.
4. **La litosfera** que es la superficie terrestre propiamente, comprendido las montañas, fondos marinos y superficies rocosas.
5. **La biosfera** que comprende la vegetación y animales en el aire, mar y tierra.

### c Factores del clima.

Se menciona que las características del clima dependen para su consolidación de tres factores que actúan en conjunto y que definen los rasgos climáticos de un lugar, ellos son: factor astronómico, factor geográfico y factor meteorológico (Fallas; Oviedo (2003):

**A) Factor astronómico:** corresponde a la influencia que posee la posición de la Tierra durante los movimientos de rotación sobre su eje y traslación alrededor del Sol, definen la cantidad de radiación solar recibido. Los movimientos de la tierra y la inclinación del eje terrestre determinan situaciones importantes. Por el movimiento de rotación se da la alterabilidad del día y de la noche y por la inclinación del eje los rayos solares inciden con diferentes ángulos sobre la superficie, variando la duración de los días en el transcurso del año (Villegas, s.f.)

En virtud del movimiento de traslación y por la inclinación del eje el calentamiento de la tierra por el sol es diferente. La altura del sol en el horizonte es consecuencia de la latitud del lugar, la hora del día y la época del año. Si el eje terrestre no estuviera inclinado no se darían las estaciones. Cuando el sol atraviesa el plano del ecuador celeste, la duración del día y de la noche es igual en cualquier parte de la tierra. Se manifiestan dos veces por año con un intervalo de seis meses entre ambos. Estos puntos se denominan **equinoccios** y se producen el 21 de marzo (inicio de la primavera) y el 22 de septiembre (el otoño). Los puntos de la eclíptica que están más alejados del ecuador celeste son los **solsticios** que también se producen en un intervalo de 6 meses: el 21 de junio el de verano y el 21 de diciembre el de invierno (Villegas, s.f.).

**B) Factor geográfico:** corresponde a la influencia que genera la altitud, las barreras topográficas, la latitud, la influencia de los océanos y de los continentes. La superficie de la tierra no es homogénea (Fallas; Oviedo, 2003). Una parte es sólida (los continentes) y otra líquida (los océanos). La superficie de los continentes no es lisa, existen montañas, cordilleras, mesetas, valles y llanuras, produciendo efectos diferentes ante la acción de los elementos:



1. Efectos térmicos: la temperatura disminuye con la latitud. Las montañas se calientan o enfrían más rápidamente que una llanura aunque se localicen en una misma latitud. Entre las montañas se calientan o enfrían más rápidamente que una llanura aunque se localicen en una misma latitud, entre las montañas y los valles se establecen circulaciones de carácter térmico (Villegas, s.f.)
2. Efectos dinámicos: las montañas y cordilleras modifican los patrones del viento. Para juzgar los efectos, hay que considerar la orientación de las mismas.
3. Efecto de la altitud: la atmosfera atenúa los efectos de la radiación. El calor del día se disipa rápidamente al cesar la acción directa del sol. El proceso es más acelerado en las montañas.
4. Efecto de la distancia al litoral: la temperatura presenta mayor variación en el interior de un territorio que en el litoral. Se presentaran climas más húmedos cerca de la costa porque el litoral recibe aire húmedo del mar constantemente.

C) **Factor meteorológico**: definido por los elementos con que se identifica el estado de la atmósfera; éstos son temperatura, humedad, viento, lluvia y otros. (Fallas; Oviedo, 2003).



**Figura 7.** Factores del clima  
Fuente: Salas, 2000.

## **d Elementos del clima**

En climatología, se define como elementos del clima al conjunto de componentes que caracterizan el clima o el tiempo y que interactúan entre sí en las capas inferiores de la atmósfera, llamada tropósfera. Estos componentes o elementos son el producto de las relaciones que se producen entre distintos fenómenos físicos que les dan origen y que a su vez se relacionan con otros elementos. (Educaplus, s.f.)

### **i Temperatura**

Es una magnitud referida a las nociones comunes de caliente, tibio, frío que puede ser medida, específicamente, con un termómetro.

### **ii Precipitación**

En meteorología, la precipitación es cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Este fenómeno incluye lluvia, llovizna, nieve, agua, nieve y granizo. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico.

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, responsable del depósito de agua dulce en el planeta y, por ende, de la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales, que requieren del agua para vivir. La precipitación es generada por las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar el punto en que se precipitan por la fuerza de gravedad (Educaplus, s.f.).

### **iii Medición de la Precipitación**

Los instrumentos más frecuentemente utilizados para la medición de la lluvia y el granizo son los pluviómetros y pluviógrafos, estos últimos se utilizan para determinar las precipitaciones pluviales de corta duración y alta intensidad. Estos instrumentos deben ser instalados en locales apropiados donde no se produzcan interferencias de edificaciones, árboles, o elementos orográficos como rocas elevadas. La precipitación pluvial se mide en mm, que equivale al espesor de la lámina de agua que se formaría con la precipitación de un litro de lluvia sobre una superficie plana e impermeable, de 1 m<sup>2</sup>.(Educaplus, s.f.).

#### **2.3.2 Cambio climático**

Se define el cambio climático como la variación del valor medio del estado del clima que ha persistido durante largos períodos, generalmente decenios o más años, y que es identificable mediante pruebas estadísticas. El cambio climático de la Tierra puede deberse a procesos internos naturales, a forzamientos externos o a cambios antropogénicos constantes en la composición de la atmósfera o del uso de la tierra (IPCC, 2007).

La convención Marco sobre el Cambio Climático (CMCC) de las Naciones Unidas, en el artículo 1, define el cambio climático como “el cambio de clima atribuido directa o indirectamente a la actividad humana, que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observada durante períodos de tiempo comparables”. La CMCC diferencia, pues, entre el cambio climático atribuible a fenómenos naturales y el que es alterado por las actividades humanas (IPCC, 2007).

#### **A Factores naturales que modifican el clima**

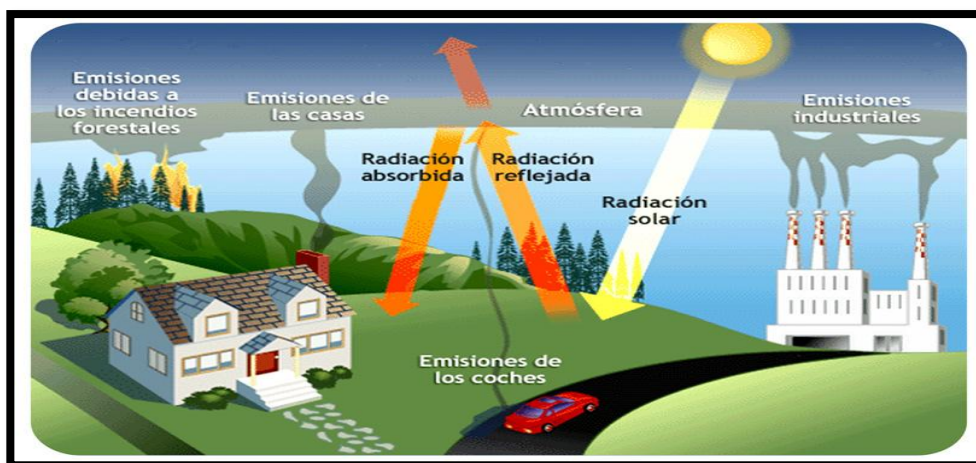
##### **a Efecto invernadero**

La atmósfera de la Tierra está compuesta de muchos gases. Los más abundantes son el nitrógeno y el oxígeno (este último es el que necesitamos para respirar). El resto, menos

de una centésima parte, son gases llamados "de invernadero". No los podemos ver ni oler, pero están allí. Algunos de ellos son el dióxido de carbono, el metano y el dióxido de nitrógeno.

En pequeñas concentraciones, los gases de invernadero son vitales para nuestra supervivencia. Cuando la luz solar llega a la Tierra, un poco de esta energía se refleja en las nubes; el resto atraviesa la atmósfera y llega al suelo. Gracias a esta energía, por ejemplo, las plantas pueden crecer y desarrollarse. Pero no toda la energía del Sol es aprovechada en la Tierra; una parte es "devuelta" al espacio. Como la Tierra es mucho más fría que el Sol, no puede devolver la energía en forma de luz y calor. Por eso la envía de una manera diferente, llamada "infrarroja". Un ejemplo de energía infrarroja es el calor que emana de una estufa eléctrica antes de que las barras comiencen a ponerse rojas.

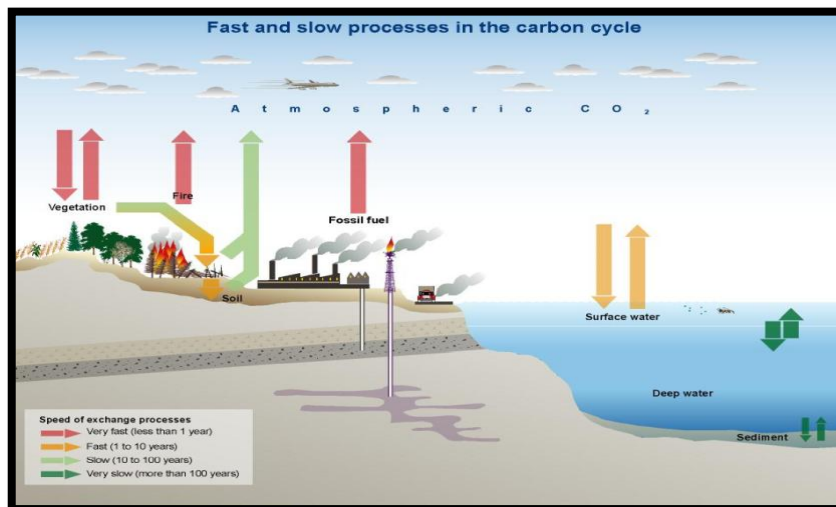
Los gases de invernadero absorben esta energía infrarroja como una esponja, calentando tanto la superficie de la Tierra como el aire que la rodea. Si no existieran los gases de invernadero, el planeta sería cerca de 30 grados más frío de lo que es ahora. El efecto de calentamiento que producen los gases se llama efecto invernadero: la energía del Sol queda atrapada por los gases, del mismo modo en que el calor queda atrapado detrás de los vidrios de un invernadero.



**Figura 8.** Esquema de la alteración del efecto invernadero.  
Fuente: Salas, 2000.

En 1990 y 1992, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC) desarrolló varios escenarios de emisiones a largo plazo, que han sido utilizados para el análisis de un posible cambio climático, sus repercusiones y las opciones para mitigar sus efectos (IARNA-URL 2011). Las emisiones futuras de gases de efecto invernadero (GEI) son el producto de complejos sistemas dinámicos movidos por fuerzas determinantes como el crecimiento demográfico, el desarrollo socioeconómico, el cambio tecnológico, entre otros. Los escenarios son imágenes alternativas futuras, y constituyen un instrumento apropiado para analizar de qué manera influirán esas fuerzas en las emisiones, así como para evaluar el margen de incertidumbre de dicho análisis (IARNA-URL 2011).

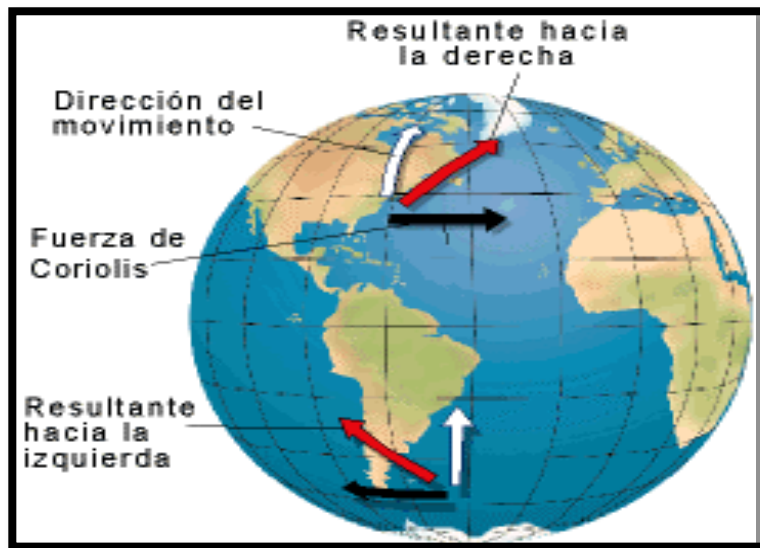
La variación de las concentraciones de gases de efecto invernadero (GEI) y aerosoles en la atmósfera, y las variaciones de la cubierta terrestre y de la radiación solar, alteran el equilibrio energético del sistema climático. Las emisiones mundiales de GEI por efecto de actividades humanas han aumentado, desde la era preindustrial, en un 70% entre 1970 y 2004. El dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) es el GEI antropógeno más importante. Sus emisiones anuales aumentaron en torno a un 80% entre 1970 y 2004. La disminución a largo plazo de las emisiones de  $\text{CO}_2$  por unidad de energía suministrada invirtió su tendencia a partir del año 2000 (IPCC, 2007).



**Figura 9.** Procesos del ciclo de carbono.  
Fuente: IPCC, 2003.

## b Fuerza de Coriolis

La denominada fuerza de Coriolis influye en todos los fenómenos de traslación que se realizan sobre la superficie de la tierra. Debido a su rotación, se genera una fuerza que, en el hemisferio Sur, desvía hacia el Este toda partícula en movimiento de Norte a Sur y hacia el Oeste a las que lo hacen de Sur a Norte.



**Figura 10.** Composición vectorial de cualquier movimiento de traslación sobre la superficie de la tierra.

**Fuente:** Gulizia, s.f.

Es decir, en el hemisferio Sur, la fuerza de Coriolis desvía hacia la izquierda los movimientos de las masas de aire y agua. En el hemisferio Norte se produce el efecto inverso: la desviación se produce hacia la derecha.

## c Desviación por la fuerza de Coriolis

La rotación terrestre genera la denominada fuerza de Coriolis que se produce de forma perpendicular a la dirección del movimiento. En el hemisferio sur, el aire procedente de los anticiclones es desviado hacia la izquierda, girando en el sentido contrario de las agujas del reloj. En las depresiones, el viento gira en sentido de las agujas del reloj. En el

hemisferio norte se produce el efecto contrario, lo que explica que el viento de las borrascas y los anticiclones gire en sentido inverso. Este efecto es la base de la denominada Ley de Buys-Ballot que enuncia que un observador que se coloque cara al viento en el hemisferio sur tendrá siempre las bajas presiones a su derecha y las altas presiones a su izquierda.

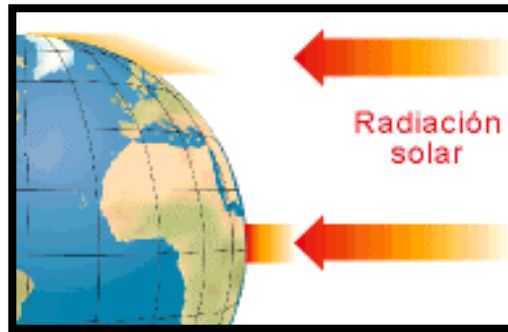
## **B Viento**

El viento es uno de los elementos de mayor importancia en la meteorología, porque afecta la formación y evolución del estado del tiempo y modifica los climas del planeta. Este elemento meteorológico no es otra cosa que el movimiento del aire con respecto de la tierra. Tiene dirección y velocidad. La dirección significa de donde viene y no hacia dónde va, mientras la velocidad es la magnitud con que se desplaza de un punto a otro, en un determinado intervalo de tiempo (Fallas; Oviedo, 2003). Para que el viento se genere debe presentarse la suma de diversas fuerzas en la atmósfera, entre esas están: las fuerzas que existen independiente de los movimientos del aire y las que surgen solamente después del movimiento. En el primer grupo se encuentra la influencia de la fuerza de la gravedad y la diferencia de la presión atmosférica, la cual se manifiesta tanto a nivel inferior como a nivel superior de la tropósfera, producidas por la misma dinámica del planeta y por los contrastes de la temperatura, debido a la desigual en la distribución de la radiación solar en la superficie del planeta. En el segundo grupo se encuentra la influencia de la fuerza de fricción, y los efectos de la rotación del planeta. El efecto de la rotación de la Tierra, juega un papel determinante en el cambio de dirección del aire en movimiento, cuando el viento es de gran o mediana escala (Fallas; Oviedo, 2003).

## **C Radiación Solar**

La energía calorífica de la radiación solar es la generatriz de todos los procesos meteorológicos y climáticos que se dan en la tierra. Al incidir sobre el planeta, atraviesa el gas atmosférico sin apenas calentarlo; en cambio sí calienta la superficie terrestre que es la que acaba transmitiendo el calor al aire atmosférico en contacto con ella. Así pues, es la

tierra la que calienta directamente la atmósfera y no la radiación solar. Esto tiene una importante trascendencia para entender la dinámica de todos los procesos que se dan en meteorología. Sin embargo, no toda la superficie de la tierra recibe por igual la misma energía: los polos son las que menos y las zonas ecuatoriales son las que más. De este modo, la superficie de la tierra no transmite de una forma uniforme el calor al aire que tiene sobre ella (Castellanos; Guerra, 2008).



**Figura 11.** Efecto de la radiación solar sobre la región ecuatorial.

**Fuente:** Castellanos; Guerra, 2008.

Esto origina que se produzcan intercambios térmicos entre las zonas más calientes y las más frías para restablecer el equilibrio: el aire caliente se desplaza hacia los polos y el aire frío hacia el ecuador. De este modo, las masas de aire nivelan y suavizan el clima en la Tierra y establecen los principios de la circulación general (Castellanos; Guerra, 2008).

#### **D Factores antropogénicos que afectan al clima**

Las actividades humanas pueden alterar el sistema climático en muy poco tiempo. La principal causa de esto se relaciona con el efecto invernadero de la atmósfera terrestre. Desde el inicio de la revolución industrial (1750 aproximadamente) el ser humano siempre ha buscado mejorar sus condiciones de vida haciendo uso de diferentes destrezas. Desde que ha utilizado los combustibles fósiles, como el carbón y el petróleo en los procesos industriales, ha ocasionado emanaciones de CO<sub>2</sub> a la atmósfera y ha aumentado su concentración; por consiguiente, el efecto natural de invernadero se ha alterado por la



presencia de una mayor concentración de este gas y como consecuencia la temperatura del planeta ha empezado a incrementarse (Fallas; Oviedo, 2003).

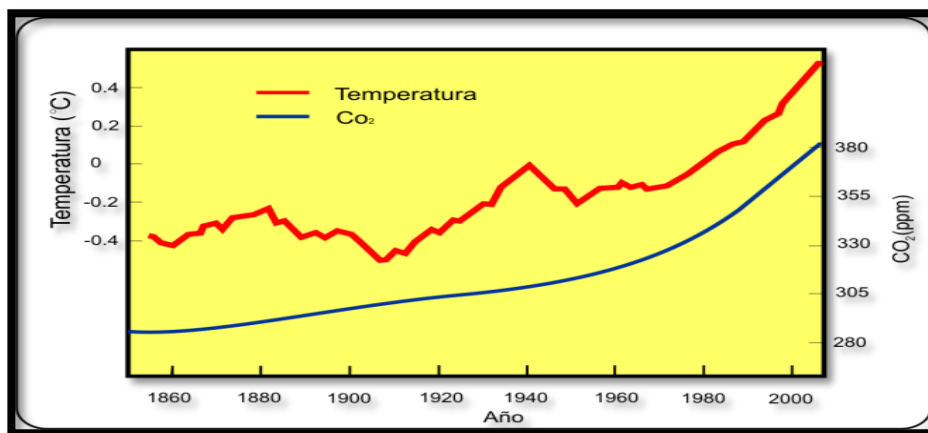
Otras actividades humanas como la quema de bosques, algunas actividades agrícolas (producción de arroz) y ganaderas producen emisiones de otros gases como el metano ( $\text{CH}_4$ ), aún más potente que el dióxido de carbono, óxido nitroso ( $\text{NO}_2$ ) y el monóxido de carbono (CO) que también alteran el efecto natural de invernadero (Fallas; Oviedo, 2003). Las concentraciones atmosféricas mundiales de  $\text{CO}_2$ , metano ( $\text{CH}_4$ ) y óxido nitroso ( $\text{N}_2\text{O}$ ) han aumentado notablemente por efecto de las actividades humanas desde 1750, y son actualmente muy superiores a los valores preindustriales, determinados a partir de núcleos de hielo que abarcan muchos milenios (IPCC, 2007).

### **E Emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) en Guatemala**

Las emisiones y absorciones de gases de efecto invernadero se estimaron para el año 1990, que es el año base acordado por la COP2 de 1996 (MARN, Citado por Castellanos; Guerra2008). Se aprecia que el  $\text{CO}_2$  es el gas de efecto invernadero más emitido en el país y sus fuentes principales son el sector energético (49.4%), compuesto principalmente por el sector transporte (28.3%) y la energía usada en la industria manufacturera (10.8%) entre otros, y el cambio de uso de la tierra por la conversión de bosques y sabanas (43.3%) (MARN Consultado por Castellanos; Guerra2008). Los procesos industriales que ocupan el tercer lugar en emisiones de  $\text{CO}_2$  (7.3%) involucran principalmente la producción de cemento y cal. En cuanto a la absorción de  $\text{CO}_2$  se estimó que los bosques y suelo de Guatemala absorbieron 42,903.727 Gg, que luego de restar las emisiones (7,489.619 Gg), dan una absorción neta de 35,414.108 Gg (MARN, citado por Castellanos; Guerra2008). Este resultado asume que los bosques de Guatemala están en continuo crecimiento, incluso los bosques maduros, y este crecimiento compensa por mucho el carbono perdido a causa de la deforestación.

Sin embargo, en la actualización al año 2000, se indica que mientras las emisiones a nivel nacional por deforestación van creciendo (aumento de 231%), la capacidad nacional de

absorción de CO<sub>2</sub> va disminuyendo (reducción de 38%, debido al aumento de la deforestación) (MARN consultado por Castellanos; Guerra2008). El cambio climático está dado por la modificación de los factores atmosféricos y biofísicos. Algunos gases encontrados en la atmósfera regulan el clima debido a que absorben y retienen el calor del Sol, de tal forma que un aumento o disminución en sus concentraciones es determinante para que la temperatura se incremente. Algunos de estos gases son conocidos como gases de efecto invernadero y entre ellos están el carbono (CO<sub>2</sub>), óxidos de nitrógeno (NXOY), ozono (O<sub>3</sub>) y metano (NH<sub>4</sub>). Estos gases naturalmente se encuentran en la atmósfera. Sin embargo, algunas actividades humanas, como la agricultura extensiva, la deforestación y el uso excesivo de combustibles fósiles como la gasolina y el diesel, han promovido la generación y liberación de estos gases en grandes cantidades (Magaña, 2005).



**Figura 12.** Cambios de la temperatura del planeta en relación con el aumento de dióxido de Carbono.

Fuente: IPCC, 2007.

## F Clima de Centroamérica

Se indica que la región se encuentra localizada entre las latitudes 4°00' y 19°00' Norte y las longitudes 82°00' y 87°00' Oeste. La influencia del Mar Caribe al este y el Océano Pacífico al oeste, hacen que la mayoría de los elementos del clima no presenten grandes oscilaciones en sus promedios mensuales. Sin embargo la influencia de la orografía

genera condiciones climáticas muy particulares a lo largo del istmo centroamericano. (Fallas; Oviedo 2003).

Es importante tener presente que las condiciones climáticas de la región están influenciadas por:

1. El régimen sinóptico del viento alisio durante todo el año.
2. Las ondas tropicales, usualmente de junio a noviembre.
3. Los ciclones tropicales que se ubican en la cuenca del Mar Caribe, por lo general de junio a noviembre.
4. La zona de convergencia intertropical, usualmente desde marzo a noviembre.
5. La influencia de los sistemas frontales que se proyectan hasta la región, por lo general de noviembre a marzo.
6. El sistema de brisas durante todo el año.

Cabe indicar que cada uno de los países de la región Centroamericana se ve afectado en diferente medida por cada uno de los sistemas meteorológicos antes indicados. Por lo que cabe dar una descripción de algunos elementos meteorológicos que afectan a Guatemala.

Se indica que las variaciones de la temperatura más significativas se manifiestan por la diferencia de altitud. En las tierras bajas, la temperatura media durante el año fluctúa entre 23° y 26° C.; en las regiones intermedias, se oscila entre 18° y 23° C y en las regiones altas varía entre 10° y 17° C (Fallas; Oviedo 2003).

## **G Capa de ozono**

El ozono es un gas azul oscuro y venenoso (más tóxico que el cianuro). Su nombre proviene del griego "Ozein". El ozono es una molécula muy selecta dentro de las existentes en la atmósfera, ya que es triatómica, o sea, la forman tres átomos de oxígeno. A pesar de que en la atmósfera de la Tierra el contenido de ozono es muy bajo, éste constituye uno de los componentes más importantes para la vida en el planeta. Se

encuentra presente en toda la atmósfera, pero las mayores concentraciones se localizan entre los 25 y los 40 kilómetros de altitud, a esta se le conoce como la Capa de Ozono. (Fallas; Oviedo, 2003).

Se manifiesta una estación relativamente seca de noviembre hasta abril y una estación lluviosa que se presenta de mayo a octubre, siendo la zona noroeste del país la de menor precipitación anual (500 mm) y la zona sur la de mayor precipitación anual (5000 mm). Se presenta junio y septiembre como los meses más significativos de lluvia, en particular siendo septiembre el de mayor precipitación. El ozono es un componente minoritario de la atmósfera terrestre, sin embargo, es un importante protector de la vida sobre la superficie terrestre debido a que cumple la función de un filtro protector contra la radiación ultravioleta (RUV), principalmente de longitud de onda entre los 280 y 320 nm. La concentración máxima de ozono se encuentra aproximadamente entre los 20 y 27 km de altura, a esta concentración ubicada en la estratosfera se le denomina “la capa de ozono”(Suárez, 2000).



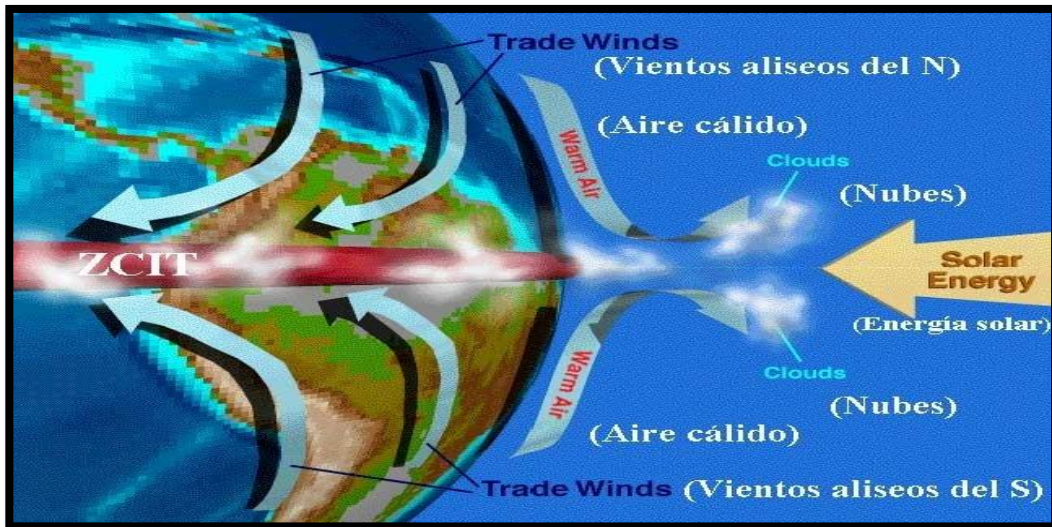
**Figura 13.** Capa de ozono  
**Fuente:** Gulizia, s.f.

## **H Zona de convergencia intertropical (ITZC)**

Esta zona es un cinturón de baja presión atmosférica que circunda el globo terrestre en la región cercana al Ecuador, donde convergen los vientos alisios provenientes de los hemisferios Norte y Sur. Tales vientos son empujados a la zona por la acción de la célula de Hadley (un rasgo atmosférico a mesoescala que forma parte del sistema planetario de distribución de calor y humedad) y transportados verticalmente hacia arriba, por la actividad convectiva de las tormentas. En tal sentido, se constituye en un cinturón perpetuo, aunque migratorio y discontinuo, de nubes (cumulonimbos, generalmente) que produce precipitaciones en las regiones cercanas al norte y sur del Ecuador. (IARNA-URL, s.f.).

La ubicación de la ITZC define la presencia o ausencia de precipitaciones a nivel de mesoescala. Las regiones influenciadas por la ITZC reciben precipitación más de 200 días al año, como en el caso de Guatemala y Centroamérica (Rauscher et al., citado por IARNA-URL s.f.).

Asociado a la ITZC, existe un ciclo diario regional, en el cual se desarrollan cúmulos convectivos a mediodía, que forman tormentas por la tarde y noche. Un ejemplo típico de este fenómeno es el observado en la bocacosta del sur de Guatemala, donde las bajas presiones causadas en el sistema montañoso local generan condiciones de atracción de nubes cargadas de alta humedad, desde el océano Pacífico hacia regiones continentales. En Mesoamérica, este fenómeno climático contribuye, sobre todo, a la precipitación en el oeste y sur de esta región, es decir en el Pacífico (Rauscher et al., citado por IARNA-URL s.f.).



**Figura 14.** Zona de Convergencia Intertropical  
**Fuente:** Gulizia, s.f.

## I Sectores más afectados por el cambio climático

A nivel global, se prevé que los países más afectados por el cambio climático son aquellos con menor desarrollo socioeconómico. Los mayores cambios en el clima y un aumento significativo de vulnerabilidad podrían ocurrir en la segunda mitad del siglo XXI. Ante tales conjeturas, se considera urgente atender el tema de adaptación (Pattet *al.*, citado por IARNA-URL s.f.).

Como consecuencia del aumento de la temperatura media global, actualmente se observa que los efectos adversos también se han incrementado, en particular sobre los siguientes sectores: recursos costeros, biodiversidad y ecosistemas marinos. Algunos de estos sectores –en particular, la agricultura, la productividad de ecosistemas terrestres y, posiblemente, el sector forestal-, son caracterizados por una relación parabólica entre los cambios en la temperatura y sus impactos, es decir, que habrá beneficios con cambios bajos, y daños con cambios altos. Por otro lado, en los sectores de recursos hídricos, salud y energía, los impactos son aún inciertos. Sin embargo, se generaliza el concepto de que con el aumento de la temperatura de 3°C a 4°C en el presente siglo, todos los

sectores serán afectados, excepto, probablemente, el forestal, en algunas regiones particulares (Hitz y Smith citado por IARNA-URL s.f.).

Aunque la población pobre probablemente sea la más afectada por el cambio climático, todos los habitantes de Guatemala podrían sufrir efectos directos e indirectos. Entre los efectos directos podría estar la pérdida de infraestructura vial por eventos extremos de lluvia, que afectaría fuertemente la actividad productiva tanto agrícola como industrial. Las experiencias con el huracán Mitch y la tormenta Stan demostraron lo vulnerable que es la infraestructura ante estos eventos, que probablemente sucedan más a menudo. Como efectos indirectos podría darse el aumento en la criminalidad por la desesperación de la gente directamente afectada por algún fenómeno climático. La migración hacia la capital o hacia los Estados Unidos es otro efecto indirecto que los eventos climáticos podrían incrementar, tal como ya se vio durante el huracán Mitch (CEPAL citado por Castellanos; Guerra, 2008).

## **J Vulnerabilidad al cambio climático en Guatemala**

La vulnerabilidad ha sido definida en el campo del cambio climático como el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de soportar los efectos adversos del cambio climático como el grado al cual un sistema es susceptible o incapaz de soportar los efectos adversos del cambio climático, incluyendo la variabilidad climática y los extremos. (Castellanos; Guerra 2008).

La vulnerabilidad es una función del carácter, magnitud y tasa de cambio y variación climática a la que un sistema se expone, su sensibilidad y su capacidad de adaptación (IPCC citado por Castellanos; Guerra 2008).

Guatemala es un país vulnerable. Las condiciones sociales del país (índice alto de pobreza, inequidad y exclusión social) hacen que gran parte de la población sufra fácilmente ante situaciones de tensión política, económica y natural, incluyendo fenómenos climáticos. Entre otros, los factores que hacen vulnerable a una población

mayormente rural están la dependencia de la lluvia para cultivar, la falta de acceso a servicios de salud, el analfabetismo o escolaridad baja y la falta de acceso a crédito. La vulnerabilidad del país, presente y futura, hará que las condiciones que traiga el cambio climático tengan impactos muy fuertes en todos los aspectos de la vida nacional, a menos que haya mejoras sustanciales en las condiciones socioeconómicas. Es bien sabido que en Guatemala, como se vio durante el terremoto de 1976, el huracán Mitch y la tormenta Stan, el impacto es altamente diferenciado, con mayor repercusión en la población indígena del área rural y la ubicada en áreas marginales de la capital (Plant Wisner, et ál. citado por Castellanos; Guerra 2008).

Se considera que, a nivel mundial, la población más pobre de países en desarrollo es la que se verá afectada más severamente por el cambio climático, a pesar de tener la menor responsabilidad encausarlo (PNUD, 2007; citado por Castellanos; Guerra 2008). Guatemala ciertamente está dentro de esos países y su población pobre será la más afectada (Castellanos; Guerra 2008).

La vulnerabilidad alta en que viven miles de comunidades en Guatemala se ha creado históricamente por los modelos económico-políticos que han regido el país. La acumulación de riqueza en un porcentaje pequeño de la población ha resultado no sólo de la distribución desigual de la tierra sino del acceso a mano de obra barata que las fincas grandes han tenido (Castellanos; Guerra 2008).

Se ha mantenido deliberadamente el estatus marginal de los campesinos, con políticas sociales y económicas que garantizan mano de obra barata (Plant, 1978; Dardón y Morales, 2006; citado por Castellanos; Guerra 2008). Durante la época colonial la población indígena fue ubicada en “pueblos indígenas”, pero era forzada a trabajar cada año en las tierras de los colonizadores. Después de la independencia, la obligación de vivir en pueblos indígenas fue abolida, pero el trabajo forzoso existió hasta 1944 (Plant, 1978; Schweigert, 2004 citado por Castellanos y Guerra 2008). Sin embargo, la legislación represiva ya no era necesaria para proveer mano de obra rural ya que los campesinos del



altiplano fueron y han sido forzados a continuar su migración estacional (Castellanos; Guerra 2008).

### **K Olas de calor**

El calor es normal en verano. Pero en ocasiones las temperaturas permanecen muy altas durante largos períodos de tiempo pudiendo durar varios días o incluso semanas. La situación se agrava aún más cuando se suceden varias noches con valores térmicos elevados. Este fenómeno climático se denomina “ola de calor” (Vásquez, 2004).

Las altas temperaturas pueden afectar a la salud humana favoreciendo la aparición de cuadros de deshidratación, golpe de calor, agotamiento, “stress por calor”, trastornos hidroelectrolíticos, calambres, lipotimias, arritmias, problemas renales u otros. No hay muchos estudios que hayan valorado el efecto sanitario global que provoca el fenómeno de las olas de calor. Sin embargo existen numerosos apuntes y datos parciales procedentes de diversos lugares del mundo que nos alumbran sobre su verdadera influencia en la salud. Pese a ser un problema importante, el tremendo impacto que ocasionan las olas de calor en la salud humana no recibe el interés que se merece tanto en la clase médica, como a nivel socio-político aunque al final ocasione más muertes que las inundaciones u otros desastres climáticos más espectaculares. (Vásquez, 2004).

### **L Fenómenos climáticos extremos**

El calentamiento global del planeta ocasiona no sólo un aumento de la temperatura sino una mayor frecuencia de fenómenos climáticos extremos destacando entre ellos una mayor frecuencia e intensidad de las lluvias, tormentas e inundaciones en ciertas regiones, sequías más severas y duraderas en otras zonas y una agudización general de los trastornos climáticos relacionados con el fenómeno El Niño. Durante el último cuarto del siglo XX hubo una media de unas 120.000 muertes anuales achacables a catástrofes climáticas, la mayoría en África y Asia. Los datos son escalofriantes pero aún es más

preocupante escuchar las alertas de un empeoramiento progresivo de todo esto debido al calentamiento global (Vásquez, 2004).

### **a Inundaciones**

Se menciona que una de las situaciones climáticas más temidas por el hombre son las inundaciones. El cambio climático genera una mayor incidencia de tormentas intensas, precipitaciones torrenciales e inundaciones a nivel regional o local (Vásquez, 2004)

Algunos otros autores definen las inundaciones como un aumento anormal en el nivel de las aguas en el cauce de un río, causando desbordamientos que se extienden sobre las áreas adyacentes. Pueden clasificarse en dos tipos: inundación por crecidas repentinas provocadas por lluvias intensas o inundación por lluvias menos intensas pero continuas y de larga duración (Fallas; Oviedo, 2003).

### **b Sequías**

Un aumento en la incidencia y duración de las sequías produce importantes consecuencias en la salud humana pérdida de cosechas con problemas de malnutrición en países subdesarrollados, aumento de la incidencia de trastornos respiratorios de diversa índole, problemas derivados de la sequedad ocular, cuadros de deshidratación, contaminación de las aguas para el consumo humano e incluso desarrollo de brotes infecciosos. La intensificación de las sequías conduce a un mayor número de incendios forestales. Por un lado el calentamiento global unido a una mayor frecuencia e intensidad de las sequías favorece la aparición de incendios. Por otra parte la combustión de los bosques produce una enorme cantidad de CO<sub>2</sub> (el principal gas con efecto invernadero) (Vásquez, 2004).

Y, por último, la destrucción de los grandes bosques por los incendios hace disminuir la capacidad natural de la biosfera para reconvertir el exceso de CO<sub>2</sub> atmosférico en oxígeno gracias a la fotosíntesis, un proceso químico que en este planeta sólo pueden realizar las especies vegetales. Conviene recordar aquí la severidad de algunos incendios forestales,

que en ocasiones son capaces de producir un efecto calórico igual al de varias armas nucleares. Un apunte que invita a una seria reflexión es el escalofriante dato de un estudio que se llevó a cabo en Portugal: una superficie quemada de más de 100.000 hectáreas supone el 7% de las emisiones globales anuales de CO<sub>2</sub> de este país (Vásquez, 2004).

## **2.4 MARCO REFERENCIAL**

### **2.4.1 Localización geográfica**

La franja correspondiente a la vertiente del Pacífico de Guatemala se ubica entre las coordenadas 13°55" – 15° Latitud Norte y de los 89° 10" – 92° 15" Longitud Oeste (Castillo, 2005).

### **2.4.2 Características geológicas**

El origen geológico de la región en términos generales se subdivide en:

- A. En la parte alta
  - ✓ Rocas volcánicas del Cuaternario, incluyen coladas de lava, material lahárico y tobas.
  
- B. En la parte media
  - ✓ Rocas plutónicas sin dividir, incluyen granitos y dioritas de edad pre-pérmico, cretácico y terciario.
  
- C. En la parte baja
  - ✓ Aluviones Cuaternarios, productos de los procesos de la erosión hídrica

### **2.4.3 Características hidrográficas**

Guatemala presenta dos grandes regiones hidrográficas determinadas por el sistema orográfico. La primera región está formada por los ríos que desembocan en el Océano Pacífico (vertiente del Océano Pacífico) y la segunda región, formada por los ríos que desembocan en el Océano Atlántico, la cual se subdivide en la vertiente del Golfo de México y la vertiente del Mar de las Antillas.

### **2.4.4 Vertiente del Océano Pacífico**

En esta vertiente se ubican 18 cuencas hidrográficas que se originan en la Sierra Madre con una extensión de 23,990 Km<sup>2</sup>, lo cual representa el 22% del territorio nacional.

Los afluentes en su origen son de curso corto (110 Km. con longitud en promedio) y pendientes 10 – 20 por ciento. Por esta razón, en la época lluviosa estos ríos de régimen torrencial presentan una descarga de sedimentos aportados principalmente por material volcánico de origen geológico reciente (Mapa Geológico de la República de Guatemala citado por Castillo, 2005).

Por lo anterior, los lechos de estos ríos son generalmente inestables cuando entran en la planicie costera donde forman meandros para disipar energía (Océano citado por Castillo, 2005).

### **2.4.5 Características climáticas**

Las condiciones climatológicas que dominan en el área varían sustancialmente tanto a lo ancho como a lo largo. Hay unos lugares en donde se reportan precipitaciones que van de 500 a 1,000 mm anuales y otros en donde los rangos van de los 3,000 a 4,000 mm anuales (Guatemala. Instituto Geográfico Nacional, citado por Castillo, 2005). En cuanto a biotemperaturas el rango general va de los 12°C como mínimo y 27 °C como máximo (Cruz citado por Castillo, 2005).

#### **2.4.6 Características ecológicas**

La vertiente del Pacífico de Guatemala se caracteriza por su diversidad climática y ecológica expresada en zonas de vida, influenciada principalmente por el gradiente altitudinal que muestra su fisiografía (Atlas Nacional de la República de Guatemala citado por Castillo, 2005). De esta manera se tiene que para toda la vertiente las zonas de vida que se expresan son:

1. Bosque Seco Sub-tropical.
2. Bosque Húmedo Sub-tropical Cálido.
3. Bosque muy Húmedo Sub-tropical Cálido.
4. Bosque muy Húmedo Montano bajo Sub-tropical.
5. Bosque Húmedo Montano bajo Sub-tropical.
6. Bosque Húmedo Sub-tropical Templado.
7. Bosque Húmedo Sub-tropical Frío.
8. Bosque Seco tropical.
9. Bosque muy Húmedo Montano Sub-tropical [Mapa de zonas de vida a nivel de reconocimiento de la república de Guatemala; según el sistema Holdridge (INAFOR 1983, citado por Castillo, 2005).

#### **2.4.7 Información Socioeconómica**

De acuerdo con el X censo de población y habitación realizado en el año 1994 (Instituto Nacional de estadística, 1995, consultado por Luna et. al) la República de Guatemala tenía 8, 322,051 habitantes, de los cuales el 5.63% habitaban la costa del Pacífico. La densidad de población estimada para la costa del Pacífico fue de 110 habitantes/km<sup>2</sup>, es étnicamente no-indígena y el idioma utilizado es el español. La población económicamente activa es de aproximadamente el 30%, los sectores económicos que generan empleos son: agricultura (56%), comercio (14%), industria manufacturera (12%) y otros (18%).

## 2.4.8 Ubicación de estaciones meteorológicas



**Figura 15.** Mapa de Ubicación de estaciones climáticas  
Fuente: INSIVUMEH.

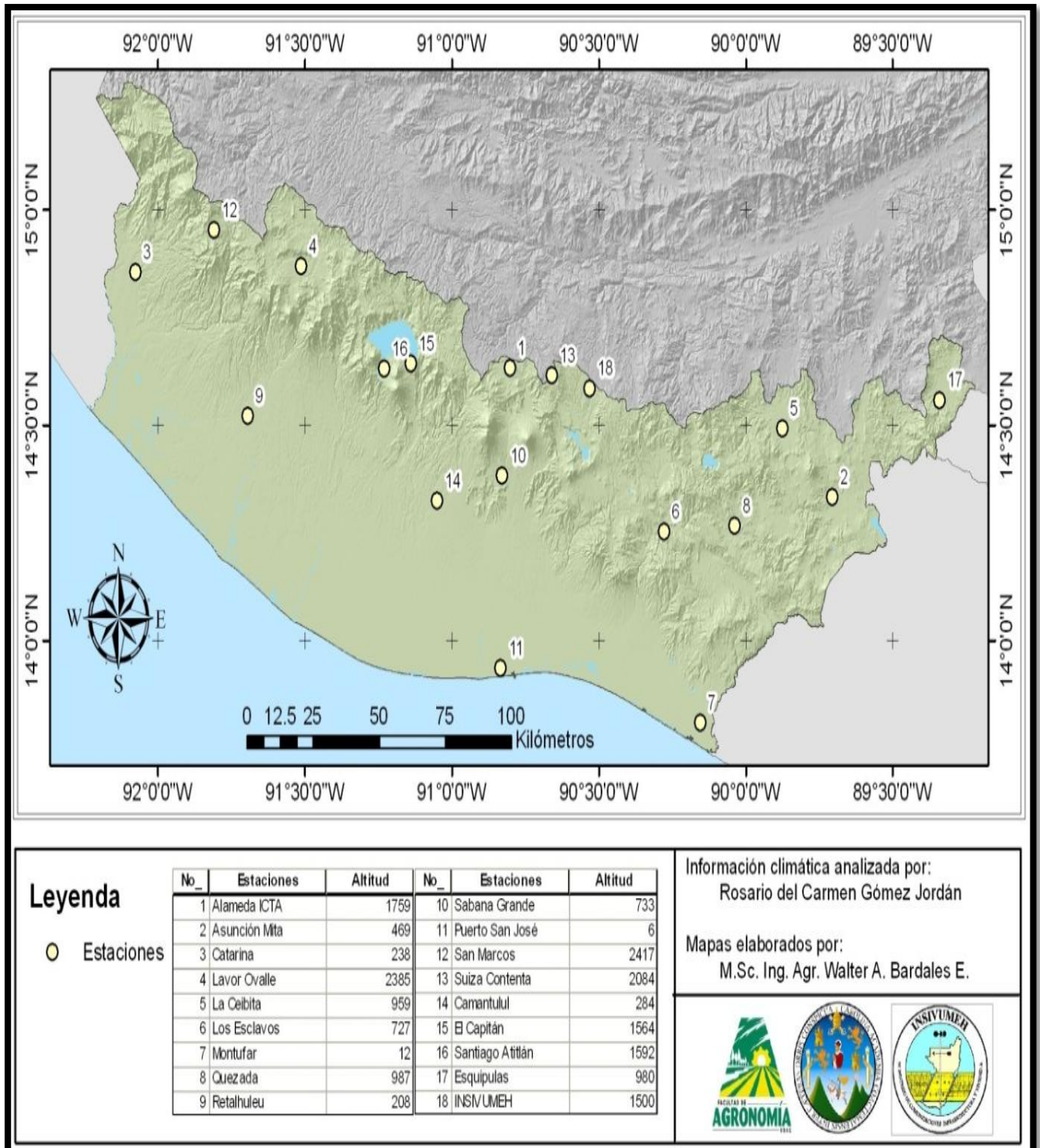


Figura 16. Mapa Base de la vertiente del Pacífico

**Cuadro 1.** Estaciones utilizadas en el análisis de tendencias.

No.	Longitud	Latitud	Departamento	Estación	Temperatura		Lluvia	
					Max	Min	Pluviómetro	Pluviógrafo
1	-89.7058	14.3344	Jutiapa	Asunción Mita	x	X	x	x
2	-90.155	13.8089		Montufar	x	X	x	x
3	-90.0378	14.2661		Quezada	x	X	x	x
4	-91.5139	14.87	Quetzaltenango	Labor Ovalle	x	X	x	x
5	-90.2783	14.2528	Santa Rosa	Los Esclavos	x	X	x	x
6	-92.0772	14.8556	San Marcos	Catarina	x	X	x	x
7	-91.8094	14.9541		San Marcos	x	X	x	x
8	-91.0508	14.325	Escuintla	Camantulul	x	X	x	x
9	-90.8292	14.3828		Sabana Grande	x	X	x	x
10	-90.8344	13.9361		San José	X	X	x	x
11	-90.6611	14.6169	Sacatepéquez	Suiza Contenta	X	X	x	x
12	-90.8033	14.6338	Chimaltenango	Alameda ICTA	X	X	x	x
13	-91.6958	14.5219	Retalhuleu	Retahuleu	x	X	x	x
14	-91.1405	14.693	Sololá	El Capitán	x	X	x	x
15	-89.5086	14.5589	Chiquimula	Esquipulas	x	X	x	x
16	-89.8756	14.4928	Jalapa	La Ceibita	x	X	x	x

**Fuente:** Elaboración propia.



## **2.5 Objetivos**

### **2.5.1 Objetivos generales:**

1. Evidenciar los cambios y tendencias del clima en la Vertiente del Pacífico, período de 1971 a 2010.

### **2.5.2 Objetivos específicos:**

1. Determinar la tendencia de variación en las temperaturas máximas y mínimas de la vertiente del Pacífico.
2. Determinar la tendencia de variación en la precipitación de la vertiente del Pacífico.
3. Analizar indicadores de temperatura y precipitación pluvial con ayuda de los cálculos de índices de cambio climático.

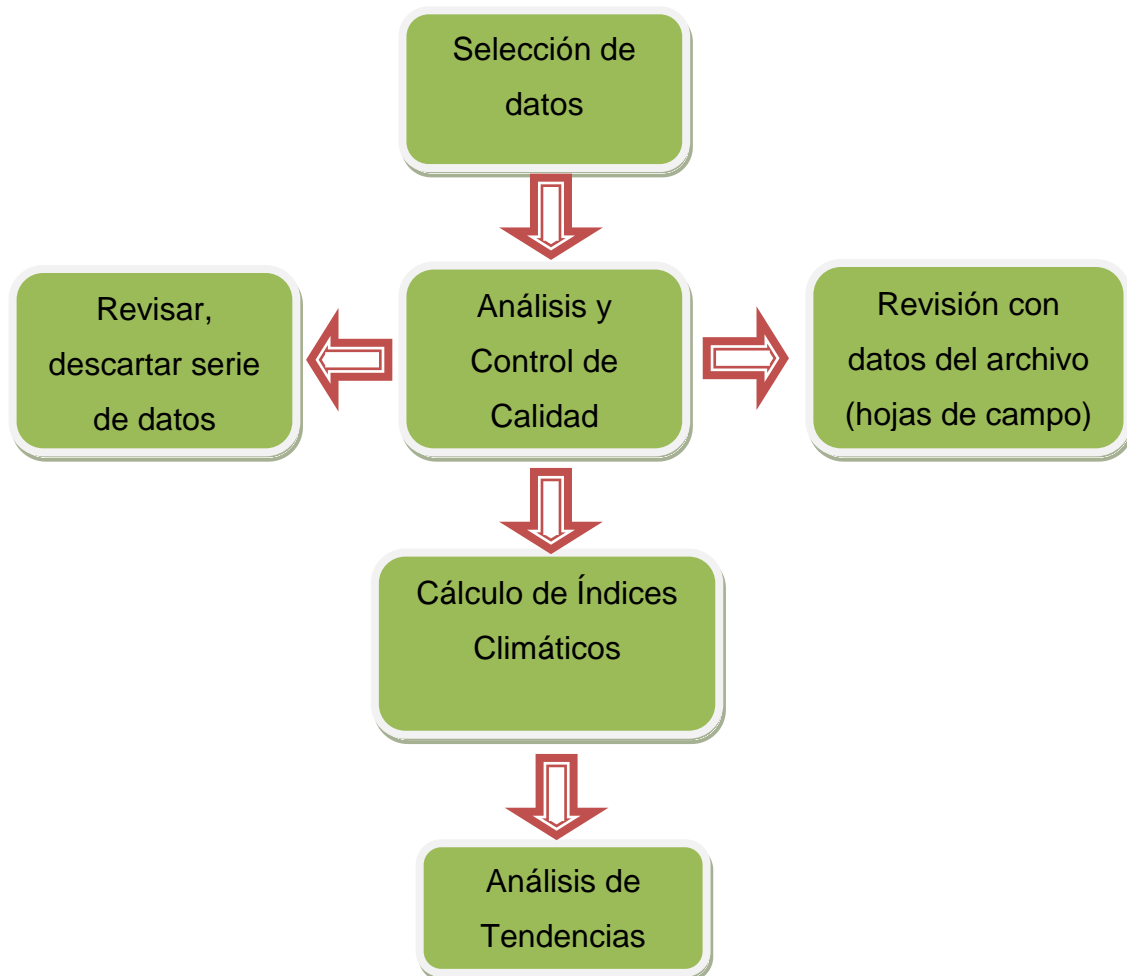
## **2.6 Hipótesis**

Existe una tendencia de aumento en la temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación estadísticamente significativa.

## 2.7 Metodología

### 2.7.1 Procedimiento para calcular los índices climáticos

El cálculo de los índices climáticos consta de varios pasos dependientes entre sí, como se ilustra en la figura 13.



**Figura 17.** Pasos para el cálculo y análisis de los índices de cambio climático.

## 2.7.2 Selección de datos

En este estudio se utilizaron series históricas de 40 años de datos diarios de las variables precipitación, temperatura máxima y temperatura mínima, de la Vertiente del Pacífico de Guatemala, desde enero de 1971 hasta diciembre de 2010. Para tales efectos, los datos de precipitación, temperaturas máximas y mínimas se tomaron de la base de datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología así:

1. Inicialmente se identificaron las estaciones meteorológicas que estuvieran ubicadas en el área de la Vertiente del Pacífico.
2. Se seleccionaron aquellas que contaban con los registros de los años en estudio (1971-2010) y aquellas que miden las variables a utilizar (precipitación y temperaturas máximas y mínimas).

## 2.7.3 Análisis y Control de Calidad

Para el análisis de control de calidad se utilizó el software estadístico RCLIMDEX, el cual es un programa basado en Microsoft Excel que proporciona un paquete computacional, tanto para el control de calidad como para el cálculo de Índices de extremos climáticos los cuales ayudaron para monitorear y detectar cambio climático. El software fue desarrollado por Byron Gleason del Centro Nacional de Datos Climáticos (NCDC por sus siglas en inglés) de la Administración Nacional Oceánica y atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés), y ha sido utilizado en talleres de equipo de expertos sobre detección del cambio climático (CCI/CLIVAR) sobre índices climáticos, desde el 2001. El procedimiento para el control de calidad de los datos climáticos incluyó los siguientes pasos:

### A Procesamiento de la información

Los datos de precipitación, temperatura máxima y mínima de las estaciones que finalmente fueron seleccionadas, se sistematizaron, de tal forma que cumplieran ciertas

características y se ajustaran a los formatos de entrada de los archivos utilizados en el programa RClimdex.

Los requisitos de formato de entrada para cada archivo fueron los siguientes:

1. Una primera columna que indica el año de registro.
2. La segunda columna el número del mes.
3. La tercera columna indica el día.
4. La cuarta columna el dato de precipitación, con un decimal. Los vacíos fueron cambiados con el número -99.9 (valor indiferente al programa y por lo tanto no alteró los resultados).
5. La quinta y sexta columna corresponden a los datos de temperatura máxima y temperatura mínima respectivamente con un decimal. Los vacíos también fueron cambiados con el número -99.9 (valor indiferente al programa y por lo tanto no alteró los resultados).
6. El archivo de 6 columnas se grabó como texto (TXT).
7. Cuando en una fecha faltaban los tres datos, se procedió a eliminarlos según el caso.

**Cuadro 2.** Ejemplo de formato de entrada utilizado en el programa RClimDex.

year	month	day	Prcp	tmax	tmin
1973	7	25	5	18	8
1973	7	26	2.2	15.5	2.5
1973	7	27	5.4	18	6.5
1973	7	28	-99.9	20	10
1973	7	29	4	18	10.5
1973	7	30	4.8	18.6	7
1973	7	31	14	19.5	11.2
1973	8	1	7.3	18.8	3.5

Fuente: Elaboración propia.

El control de calidad (CC) de los datos, es un prerrequisito para el cálculo de los índices, por lo tanto, se realizó un CC interno del software y un CC realizado por el usuario, para lo que se realizaron los siguientes pasos:

### **1) Control de calidad software y control de calidad de usuario.**

Los datos de temperatura (máxima y mínima) y precipitación se sometieron a un control de calidad interno mediante el software RClimDex y otro control de calidad realizado por el usuario que básicamente se hizo por medio de visualización de los datos y gráficas, en las cuales se logró identificar valores extremos que estuvieron sujetos a revisión. Cabe mencionar que se utilizaron tres desviaciones estándar para dicho análisis.

### **2) Análisis de reportes de datos fuera del rango estimado.**

Mediante gráficas se logró identificar los valores extraños, que excedían o disminuían exageradamente el rango de variación habitual de la variable que se analizó, es decir, valores poco comunes que estuvieron sujetos de verificación.

### **3) Comparación con datos archivados.**

Los valores que estuvieron considerablemente fuera del rango de variación habitual fueron comparados con los datos del archivo (hojas de campo) y se trató de identificar la causa del error (si fueron de origen humano mediante la digitalización, si fueron errores del personal que tomó las lecturas, entre otros). Se comparó también con datos de estaciones cercanas para verificar si fué error o si se trata de un valor extremo.

En las gráficas siguientes se observan marcados con rojo los datos faltantes, lo cual ayudó a visualizar el porcentaje de los mismos y así poder revisar si realmente no fueron registrados los datos, no se encontraron los archivos o porque simplemente no fueron ingresados los datos. El software generó una gráfica de tmax, una gráfica de tmin y una gráfica de amplitud térmica. Igualmente generó histogramas.

Las gráficas observadas, pertenecen a la estación de San Marcos, ubicada en el departamento de San Marcos; en el período de 1970-2011.

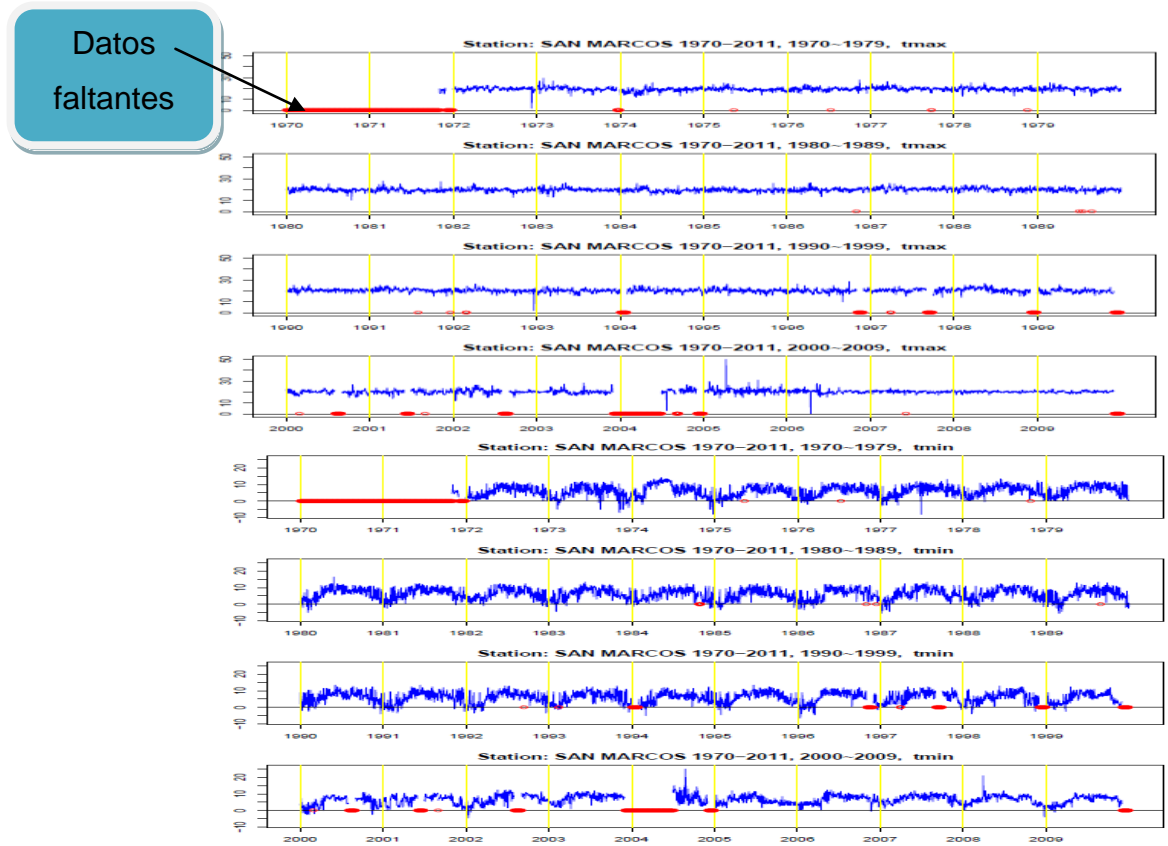


Figura 18. Gráfica de datos faltantes.

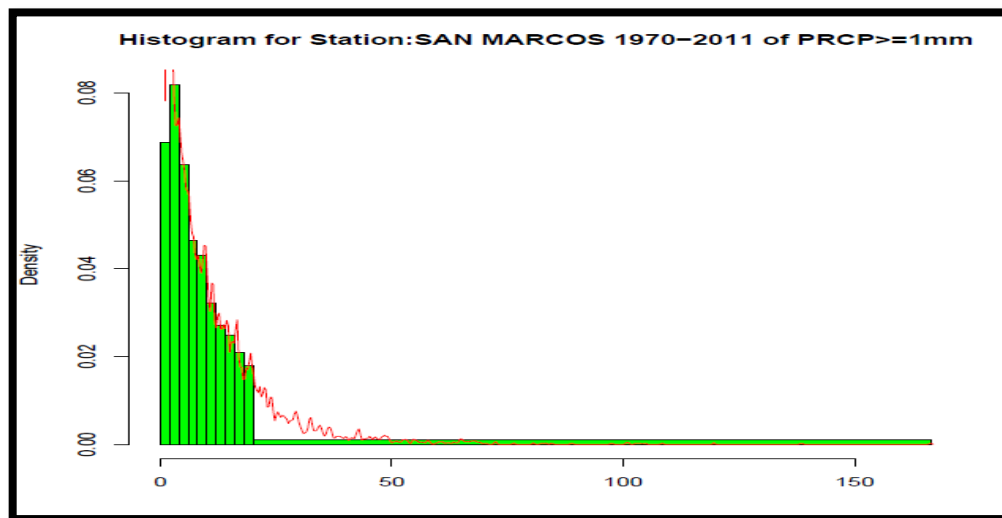
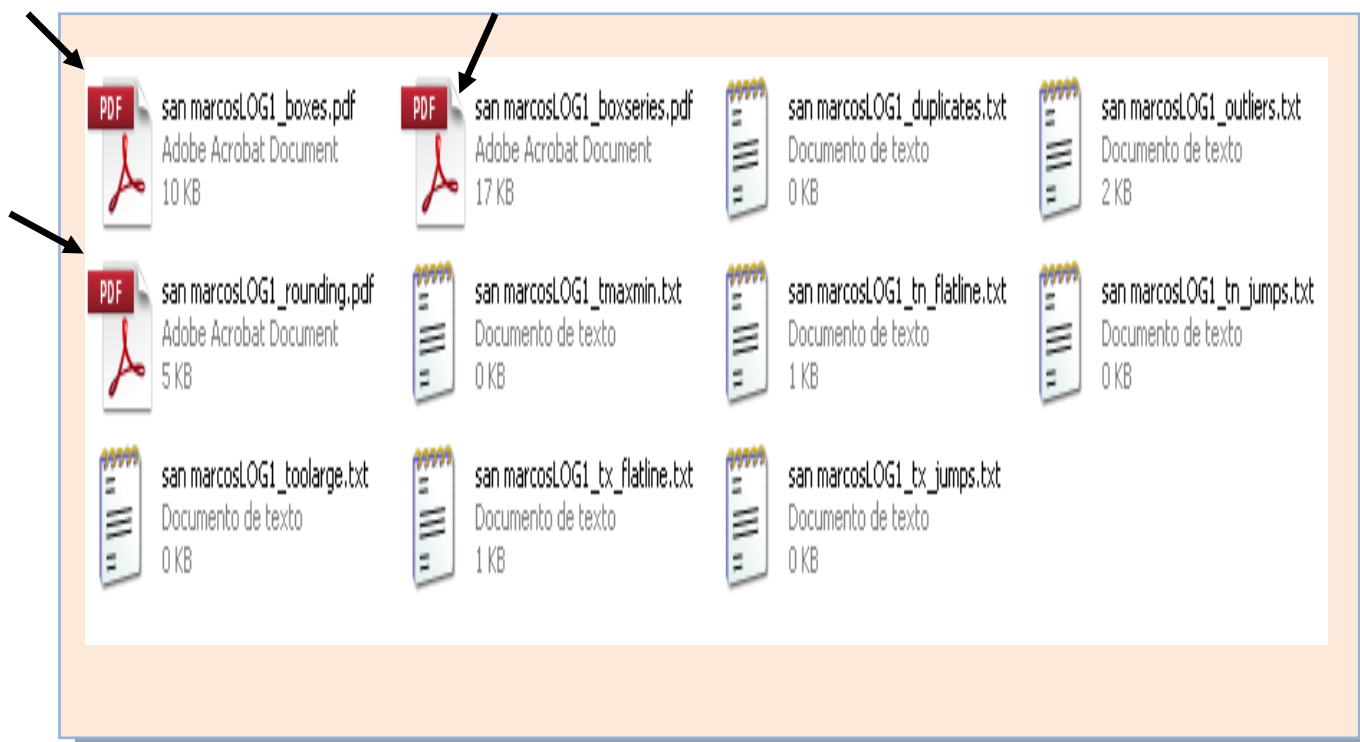


Figura 19. Histograma.

## Archivos que genera RClimDex\_extra QC

### 4) Generación de archivos e interpretación.

Así mismo el programa generó 11 archivos, 3 en PDF y 8 archivos de texto los cuales se describen a continuación:



**Figura 20.** Archivos generados por RClimDex

Tres archivos con gráficos.

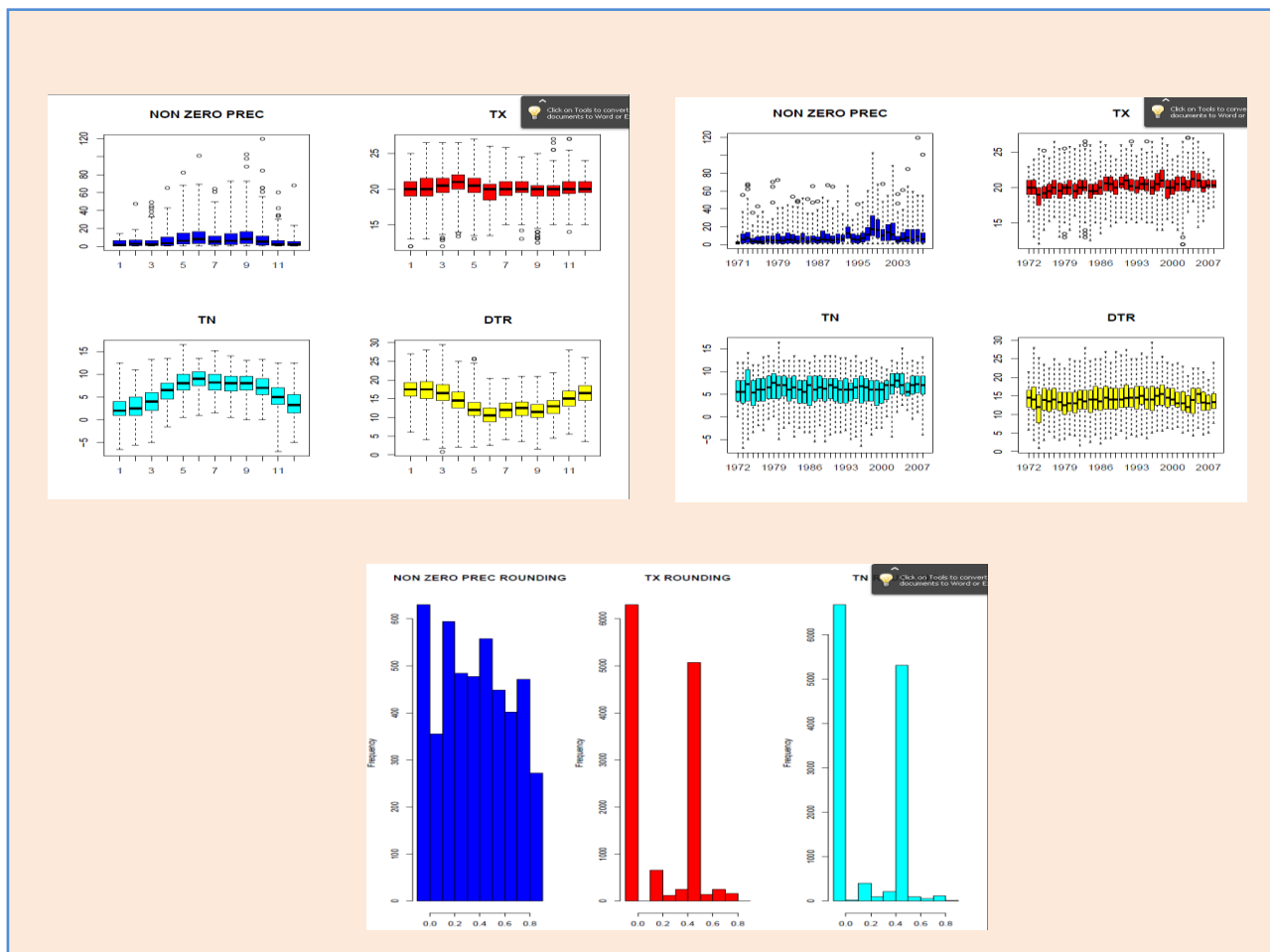
1. **miestacion\_boxes.pdf:** diagramas box-plot mensuales para el conjunto de la serie, para precipitación por encima de 0 mm; temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y DTR (máxima – mínima). Aparecen identificados en forma de círculo aquellos valores que superan el tercer cuartil + 3 veces el rango intercuartílico (5 en precipitación) o los que no alcanzan el primer cuartil – 3 veces el rango intercuartílico (5 en precipitación). Los datos así resaltados representan



outliers y su localización concreta – habitualmente evidente precisamente por la singularidad – puede obtenerse a partir de la inspección del fichero `miestacion_outliers.txt`

2. **miestacion\_boxseries.pdf**: diagramas de caja para las mismas variables, pero graficados como series anuales.
3. **miestacion\_rounding.pdf**: diagramas de frecuencia de los 10 valores posibles del punto decimal (i.e., x.0, x.1, x.2, ... x.9). En precipitación se omiten los valores 0 y permite comprobar si las series están redondeadas.

**Ejemplo de archivos con gráficos de la estación de San Marcos; `miestacion_boxseries.pdf`, `miestacion_boxseries.pdf`, `miestacion_rounding.pdf`**



**Figura 21.** Archivos generados por RCLimDex

## Ocho ficheros de texto

1. **miestacion\_duplicates.txt:** volcado de fechas duplicadas. En caso de que una combinación de año/mes/día aparezca más de una vez, será mostrada en este fichero.
2. **miestacion\_outliers.txt:** volcado de los valores observados determinados como outliers según las especificaciones indicadas para el gráfico 1.
3. **miestacion\_tmaxmin.txt:** volcado de registros en los que la temperatura máxima es inferior o igual a la mínima.
4. **miestacion\_tn\_flatline.txt:** volcado de valores de temperatura mínima que participan en rachas de al menos tres valores consecutivos idénticos. Naturalmente, se excluye la precipitación 0.0. En caso de series redondeadas al entero, este test es de poca utilidad.
5. **miestacion\_tx\_flatline.txt:** análogo al anterior, para temperatura máxima
6. **miestacion\_tn\_jumps.txt:** volcado de diferencias en temperatura mínima en dos días consecutivos superiores a 20°C
7. **miestacion\_tx\_jumps.txt:** análogo al anterior, para temperatura máxima.
8. **miestacion\_toolarge.txt:** volcado de valores considerados excesivamente elevados (valor absoluto > 50 para tx y tn y 200 mm para precipitación).

### miestacion\_outliers.txt:

	A	B	C	D	E	F	
pc up							
1	1983	2	26	47.7	18	10.5	7.5
2	1981	3	9	44.6	18.5	7.5	11
3	1983	3	15	49	16	7	9
4	1987	3	7	38.8	17	5	12
5	1993	3	8	34.3	19.2	9.5	9.7
6	2005	3	10	42.8	21	8.5	12.5
7	1995	4	25	64.9	18.5	9.5	9
8	2002	14	82.4	17	8	9	
9	2008	6	100.8	17.2	9.6	7.6	
10	1993	7	3	11	18.5	7.5	11
11	1998	7	1	64.2	18	9.5	8.5
12	1998	9	8	97.5	17	10	7
13	1998	9	9	102.8	17	10	7
14	2002	9	24	88.9	20.5	10.5	10
15	2004	10	7	61	18	9	9
16	2005	10	4	65	20	5	15
17	2005	10	5	84.6	22	3	17
18	2005	10	6	65.4	21	5	16
19	2007	10	11	119.6	18	11	7
20	1985	11	3	35	16.5	5	11.5
21	1997	11	10	60.3	14	8.5	5.5
22	2006	11	7	33.7	20.5	8	12.5
23	2006	11	15	42	19	7.7	11.3
24	2000	12	2	68	21	4.5	16.5
25	tx up						
26	2004	10	18	0	26.5	8	18.5
27	2004	10	20	0	27	12	15
28	2004	10	31	0	25.5	7	18.5
29	2005	10	20	0	25.5	3.6	21.9
30	2003	11	25	0	27	6.5	20.5
31	2003	11	26	0	27	8.5	18.5
32							

Figura 22. Fichero de texto (outliers)

El software RClimDex\_extraqc generó también reportes de precipitación, tmax, tmin y amplitud térmica de datos dudosos, los cuales fueron revisados nuevamente con los valores de archivo.

**miestacion\_tn\_flatline.txt**

	A	B	C
1	1973	6 3	9.5 3
2	1981	1 15	0 3
3	1985	2 15	0.5 3
4	1990	10 14	6.5 3
5	1991	1 12	1 3
6	1991	2 23	1 3
7	1991	10 5	7.5 3
8	1998	5 31	5 4
9	1999	9 13	7.5 3
10	2000	9 25	7.5 3
11	2001	7 16	8 3
12	2001	7 20	7.5 3
13	2003	2 1	2 6
14	2003	9 2	8.5 3
15	2005	6 27	10.5 3
16	2005	12 6	5 4
17	2006	1 22	0.5 3
18	2007	12 24	3 3
19			
20			
21			
22			
23			
24			

**Figura 23.** Fichero de texto (flatline)

La inspección de flatline permitió identificar rachas excesivamente largas de valores iguales. En éste reporte se mostró el año, mes, día, el valor y el número de veces que aparece repetido. En función de esto último se aplicó el conocimiento sobre la variabilidad climática del lugar y se actuó.

Por otro lado, se debe tener en cuenta que el método de QC no es identificar solamente errores, sino identificar también una gama amplia de valores sospechosos que con el conocimiento que se tenga se debe decidir si se trata de un error o de un valor legítimo que muy probablemente sea un valor extremo.

Con cada valor identificado se decidió:

- a) Se trata de un valor correcto: Validación.
- b) Se trata de un valor incorrecto y se puede sustituir: Corrección.
- c) Se trata de un valor incorrecto, pero no se puede inferir en el valor real: Sustitución por -99.9

## **B Control de calidad interno RClimDex**

- 1) Para el CC interno de RClimDex se desarrolló el siguiente procedimiento:
  - A. Se reemplazaron todos los datos faltantes (actualmente codificados como -99.9) en un formato interno que reconoce R (por ejemplo: NA, no disponible).
  - B. Se reemplazaron todos los valores no razonables por NA. Estos valores incluyeron:
    - a. Cantidades de precipitación diarias menores que cero.
    - b. Temperatura máxima diaria menor que temperatura mínima diaria.
- 2) CC realizado por el usuario:
  - a) Se identificaron valores extremos (“outliers”) en temperaturas diarias máximas y mínimas.
  - b) Los valores extremos fueron valores diarios que se encontraron fuera de una región definida por el usuario.
  - c) Se escogió la media (3,0) desviaciones típicas para marcar los datos problemáticos de temperatura.
  - d) Finalmente el usuario definió si dejaba, modificaba o eliminaba el dato.

## **C Cálculo de índices**

La serie de índices resultantes fueron almacenados en un subdirectorío titulado INDICES en formato Excel. Para propósitos de visualización, se graficaron series anuales, junto con tendencias calculadas por regresión lineal de mínimos cuadrados y regresión lineal con ponderamientos locales. Estadísticas del ajuste de curvas lineal se mostraron en los gráficos. Estos gráficos se guardaron en un subdirectorío llamado PLOTS en formato JPEG.

En la parte inferior de los gráficos se destaca el p-value el cual indica si la serie es estadísticamente significativa ( $p\text{-value} < 0,05$ ) ó no, y la tendencia estimada (slope estimate), la cual define el valor de cambio del indicador.

### a Formato de entrada de datos

El formato de datos para el corrimiento de los índices es igual que los datos usados para el paso de “Control de Calidad”:

1. Archivo de texto ASCII.
2. Columnas con las siguientes secuencias: Año, mes, día, lluvia, temperatura máxima, temperatura mínima. (NOTA: unidades de PRCP=milímetros y unidades de Temperatura=grados Celsius).
3. Para los registros de datos, los datos faltantes **deben** ser codificados como -99.9; los registros de datos **deben** estar en orden cronológico. Se permite fechas faltantes.

**Cuadro 3.** Formato de entrada para correr RCLimDex

1977	2	24	0	24	5
1977	2	25	0	23.5	4
1977	2	26	0	24.5	3
1977	2	27	0	21	4
1977	2	28	0	24	7
1977	2	29	-99.9	-99.9	-99.9
1977	2	30	-99.9	-99.9	-99.9
1977	2	31	-99.9	-99.9	-99.9
1977	3	1	0	20.5	10.5

En un pequeño resumen se presenta básicamente lo que se realizó con los datos:

1. Se verificaron errores lógicos, (que la temperatura máxima no fuera menor que la temperatura mínima y que no existieran valores de lluvia menores que cero).

2. Se verificó la base de datos vs. Las hojas de campo o sea, registros originales en papel.
3. Se marcaron como datos a verificar los valores que excedían de un límite determinado y se verificaron.
4. Se realizó una inspección visual muy cuidadosa de las gráficas de serie de tiempo.
5. En el caso de valores extremos se recurrió con fuentes de información alternas para verificar si existía evidencia física que justificara los valores de los datos por ejemplo paso de frentes fríos, impactos de ciclones tropicales o situaciones meteorológicas sinópticas específicas.
6. Se compararon también los datos pocos comunes de una fecha en particular, con observaciones de una estación cercana a la analizada.

#### **D Realización de mapas**

Los resultados del Rclimdex son de carácter alfanumérico, y se transformaron a datos numéricos (0, 1 y 2), posteriormente estos se interpolaron con un software de SIG haciendo uso del modelo de elevaciones digital para integrar la variación fisiográfica en los resultados.

**Cuadro 4.** Índices climáticos utilizados para evidenciar el cambio en la Vertiente del Pacífico.

ID	NOMBRE DEL INDICADOR	DESCRIPCION	UNIDAD	INDICADOR
<b>DTR</b>	Amplitud diaria de temperatura.	Diferencia media mensual entre temperatura máxima y mínima.	°C	Indicador de temperatura
<b>TXx</b>	Máximo de temperatura máxima.	Valor mensual máximo de temperatura máxima diaria.	°C	
<b>TNx</b>	Máximo de temperatura mínima.	Valor mensual máximo de temperatura mínima diaria.	°C	
<b>TXn</b>	Mínimo de temperatura máxima	Valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria	°C	
<b>TX90p</b>	Días calientes.	Contador de días con temperatura máxima por encima del percentil 90.	Días	
<b>TN90p</b>	Noches calientes.	Contador de días con temperatura mínima por encima del percentil 90.	Días	
<b>TN10p</b>	Noches frías	Porcentaje de días cuando TN<10mo percentil	%	
<b>TX10p</b>	Días fríos	Porcentaje de días cuando TX<10mo percentil	%	
<b>RX1day</b>	Cantidades máximas de precipitación en un día.	Máximo anual de precipitación en un día.	Mm	Indicador de precipitación
<b>R95p</b>	Días largos húmedos.	Precipitación anual total superior al percentil 95.	mm	
<b>CDD</b>	Días secos consecutivos	Número máximo de días consecutivos con RR<1mm	Días	
<b>R20</b>	Precipitación muy intensa	Número de días en un año en que PRCP>=20mm	Días	
<b>PRCPTOT</b>	Precipitación total anual en los días húmedos	Precipitación anual total en los días húmedos (RR>=1mm)	mm	

**Fuente:** Elaboración propia.

## 2.8 RESULTADOS Y DISCUSION

### 2.8.1 Tendencia de variación en las temperaturas máximas y mínimas de la vertiente del Pacífico.

Tras realizar el análisis de los datos de temperatura máxima se logró establecer que, a excepción de la estación Catarina, todas las estaciones muestran un aumento que oscila entre 0.17C y 1.5C. Para el caso de la temperatura mínima, todas las estaciones mostraron un aumento que va desde 0.17C a 1.3C. Para ambas variables climáticas, estos aumentos se traducen en una evidente tendencia al aumento de dichas variables.

En el cuadro 6 se detalla el comportamiento decadal de la temperatura máxima y mínima para cada una de las estaciones analizadas.

**Cuadro 5.** Valores de variación decadal de temperaturas máxima y mínima.

No.	Estación	Tmax (oC )	Tendencia	Tmin (oC)	Tendencia
1	Alameda ICTA	0.82	+	0.74	+
2	Asunción Mita	0.45	+	0.17	+
3	Catarina	-1.34	-	1.6	+
4	El Capitán	1.5	+	1.3	+
5	Esquipulas	1.12	+	0.86	+
6	Labor Ovalle	0.61	+	0.45	+
7	La Ceibita	0.17	+	0.38	+
8	Los Esclavos	0.92	+	1.1	+
9	Montufar	1.1	+	2	+
10	Quezada	0.69	+	0.32	+
11	Retalhuleu	0.3	+	0.81	+
12	Sabana Grande	1.07	+	1.15	+
13	San José Aeropuerto	2	+	1.15	+
14	San Marcos	0.92	+	0.25	+
15	Suiza Contenta	0.68	+	1.27	+
16	Camantulul	0.75	+	0.86	+

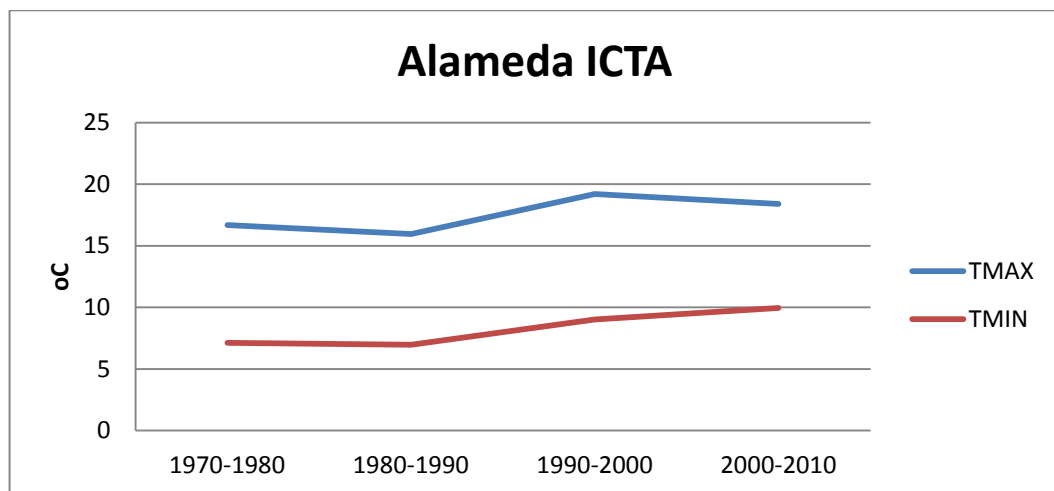
**Fuente:** Elaboración propia.

El cuadro muestra la variación de la media diaria decadal de la temperatura máxima y mínima de las diferentes estaciones que se analizaron. En cuanto a la temperatura

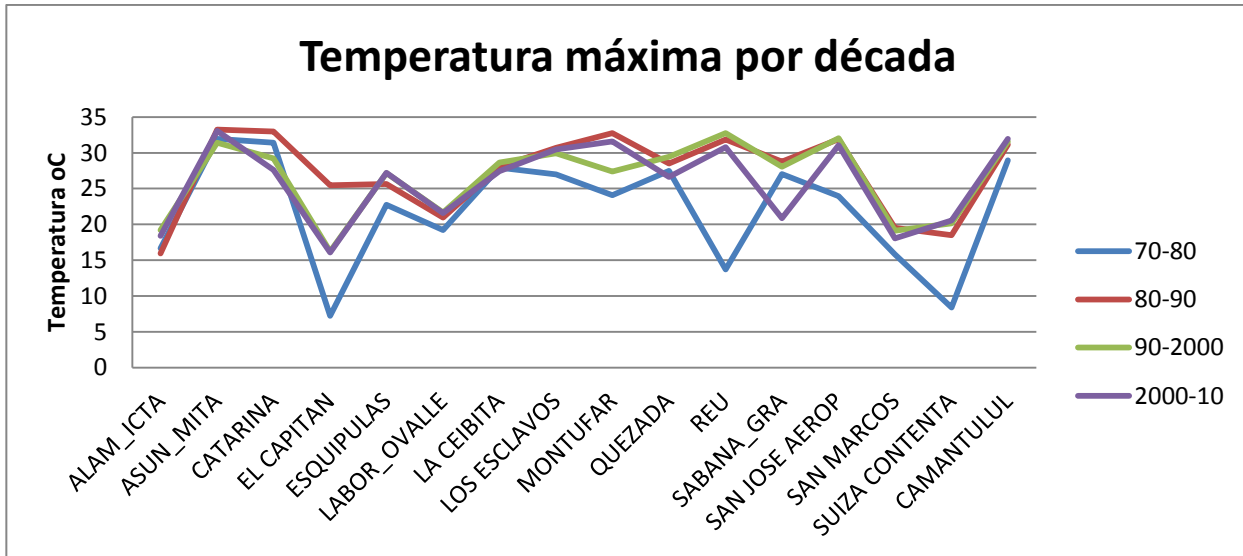


máxima se observa un cambio importante en la estación de Catarina, la cual ha tenido un leve cambio negativo, lo que quiere decir que con el paso de los años la temperatura máxima ha ido disminuyendo su valor, lo contrario para la estación de Sabana grande, que ha tenido un cambio de 1.97 °C en aumento en promedio por década al igual que Esquipulas con 1.12°C, y San José con cambio de 2°C las demás estaciones presentan un cambio menor a 1°C. En el caso de la temperatura mínima Sabana Grande y San José han tenido un aumento de 1.15°C por década en promedio lo cual coincide también con el aumento en temperatura máxima, la estación de Montufar también ha tenido un aumento de 2°C tanto en la temperatura máxima como en la mínima, el resto de estaciones han tenido un cambio menor de 1°C.

A continuación se presenta la gráfica de la estación Alameda ICTA en la cual se muestra la tendencia de la temperatura máxima y mínima que se ha presentado por década en un período de 40 años (1971-2010); aunque con una serie de datos con tan pocos años de registro, es complicado llegar a conclusiones definitivas en el tema de tendencias. En anexos se observan las gráficas de las demás estaciones.

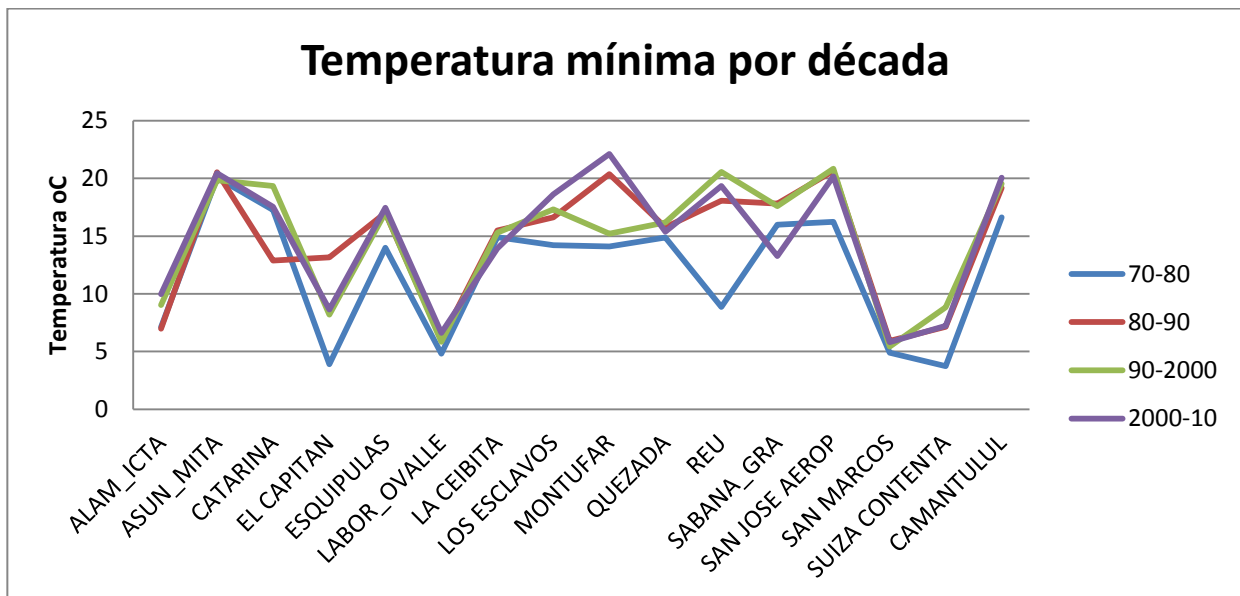


**Figura 24.** Gráfica de temperatura máxima y temperatura mínima.



**Figura 25.** Gráfica de temperatura máxima por década.

La gráfica muestra la variación por década de la temperatura máxima para las diferentes estaciones analizadas, la cual representa que las décadas del 81 al 2000 mostraron un comportamiento muy similar y la década del 71-80 en la mayoría de las estaciones había un comportamiento diferente de la temperatura máxima ya que estaba por debajo de las demás, pero también se puede observar que en décadas anteriores hubo temperaturas máximas más altas que la última década del 2001-2010.



**Figura 26.** Gráfica de temperatura mínima por década.

La gráfica muestra el comportamiento por década de la temperatura mínima y se puede observar al igual que las demás que la década 1971-80 está por debajo del resto de las décadas, lo cual nos indica que hubo un posible aumento por década en los últimos años de la temperatura mínima. En algunas estaciones se observa que en algunas décadas ha habido temperaturas mínimas mayores a las de la última década.

### A Análisis de Varianza para las variables temperatura máxima y mínima

Una vez determinada la tendencia de la temperatura máxima y mínima, fue necesario establecer si dicha tendencia, medida como un rango de amplitud térmica, presenta una diferencia que sea estadísticamente significativa a largo de los 40 años que analizados. A continuación se presenta un cuadro resumen en donde se muestra el tipo de tendencia (positiva o negativa) que presenta la temperatura máxima para cada una de las estaciones analizadas. Así mismo, se establece si la diferencia en los valores decadales de la temperatura máxima presenta una diferencia estadísticamente significativa (S) o bien, no presenta una diferencia estadísticamente significativa (NS).

**Cuadro 6.** Resumen de tendencia significativas y no significativas por estación de la temperatura máxima.

Estación	Tendencia	Diferencia estadística
Alameda ICTA	+	S
Asunción Mita	+	S
Catarina	+	S
El Capitán	+	S
Esquipulas	+	NS
Labor Ovalle	+	S
La Ceibita	-	S
Los Esclavos	+	S
Montufar	+	S
Quezada	+	S
Retalhuleu	+	S
Sabana Grande	+	NS
San José Aeropuerto	+	S
San Marcos	+	S
SuizaContenta	+	S
Camantulul	+	S

Fuente: Elaboración Propia.

La mayor parte de estaciones fueron diferentes estadísticamente en el cambio de temperatura decadal, observándose que en cada década hubo un aumento en el valor de las medias.

**Cuadro 7.** Resumen de tendencia significativas y no significativas por estación de la temperatura mínima.

Estación	Tendencia	Diferencia estadística
Alameda ICTA	+	S
AsunciónMita	+	NS
Catarina	+	S
El Capitán	+	S
Esquipulas	+	S
LaborOvalle	+	S
La Ceibita	+	NS
Los Esclavos	+	S
Montufar	+	S
Quezada	+	S
Retalhuleu	+	NS
SabanaGrande	+	S
San JoséAeropuerto	+	NS
SanMarcos	+	S
SuizaContenta	+	NS
Camantulul	+	S

**Fuente:** Elaboración Propia.

Para el análisis de temperatura mínima, como se puede observar en el cuadro anterior, la mayor parte de estaciones han presentado una diferencia estadísticamente significativa en el cambio de temperatura a través de las 4 décadas analizadas. En el análisis de varianza se muestra que todas las estaciones han tenido cambio en los valores de medias y todas han sido con tendencia al aumento, pero no todas fueron diferentes estadísticamente, esto puede haberse dado por muchos factores, entre ellos, la inadecuada calibración de los aparatos, así como su correcto funcionamiento, que el observador haya tenido una confusión al momento de tomar el dato, o en otro caso, que la estación esté mal ubicada, o que haya tenido algún factor externo que influenciara a la toma del dato, como un árbol que afectara en la toma de dato de la temperatura, ya que el abrigo meteorológico tiene que estar alejado de todos estos factores que puedan causar variaciones en la toma de datos.

### 2.8.2 Tendencia de Variación en la precipitación de la vertiente del Pacífico

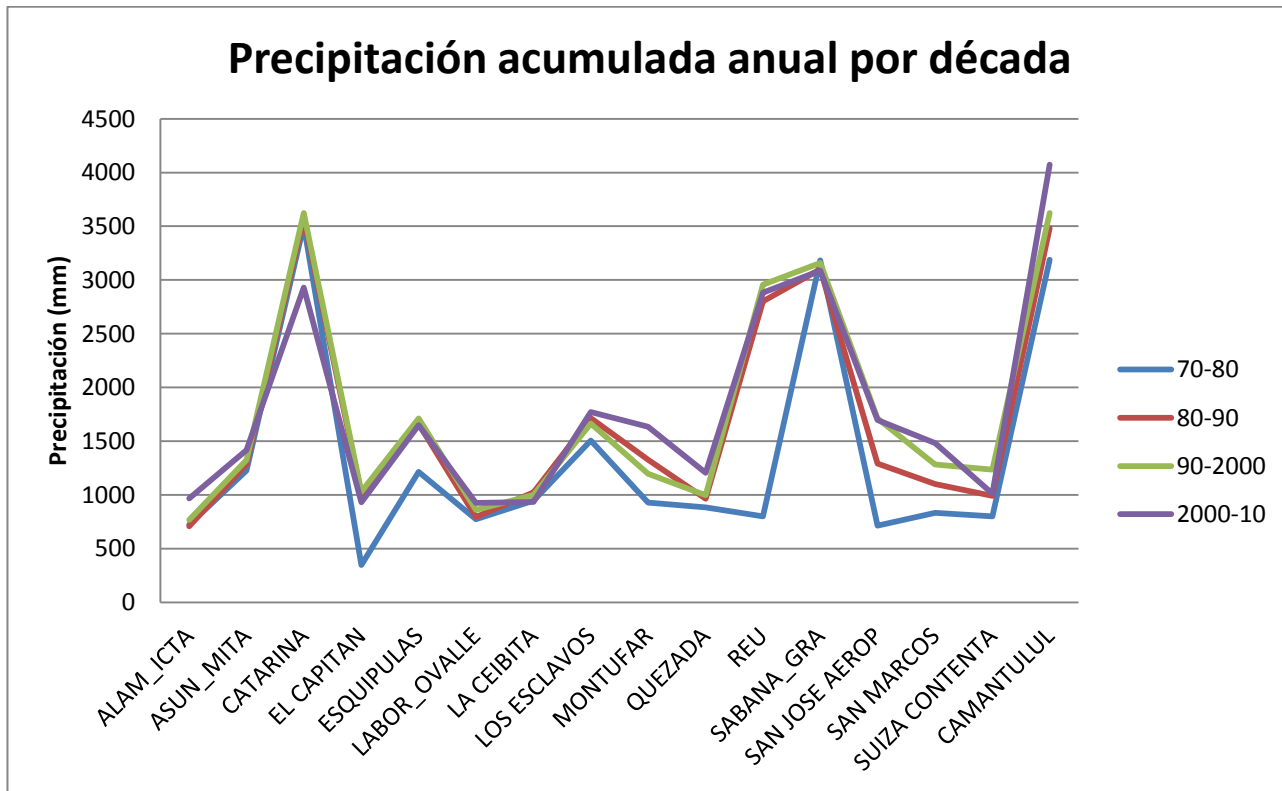
Tras realizar el análisis de los datos de precipitación se logró establecer que todas las estaciones muestran un aumento que oscila entre 16mm y 220mm. En el cuadro 5 se detalla el comportamiento decadal de la precipitación para cada una de las estaciones analizadas.

**Cuadro 8.** Valores de variación decadal de precipitación.

No.	Estación	Lluvia (mm)	Tendencia
1	Alameda ICTA	65	+
2	Asunción Mita	47	+
3	Catarina	173.9	+
4	El Capitán	24.6	+
5	Esquipulas	123.6	+
6	Labor Ovalle	37.6	+
7	La Ceibita	16.5	+
8	Los Esclavos	65.8	+
9	Montufar	176.5	+
10	Quezada	80.3	+
11	Retalhuleu	51.8	+
12	Sabana Grande	23.79	+
13	San José Aeropuerto	249.7	+
14	San Marcos	162.07	+
15	Suiza Contenta	108.14	+
16	Camantulul	220.61	+

El cuadro muestra la variación de la media de la precipitación anual por décadas de las diferentes estaciones que se analizaron. Por lo que se puede observar las estaciones que presentan mayor variabilidad respecto a la lluvia son las estaciones de San José, Catarina, Montufar, Camantulul, y San Marcos con cantidades arriba de 150 mm por década. La gráfica que se muestra a continuación muestra la media de la precipitación acumulada anual por década en la que se puede observar que la línea de color azul que representa la década de 1971-1980 es la que tiene menor acumulado de lluvia con respecto a las demás décadas, las cuales se observa que en algunos años se mantuvo la cantidad de lluvia y que por lo tanto no muestra una variación importante, lo cual no quiere decir que los daños por lluvia se hayan mantenido, ya que puede haber una precipitación

muy similar pero quizá la distribución de la lluvia ha variado conforme los años, por lo que si antes llovía por ejemplo 50 mm en dos semanas, ahora puede ser lo mismo pero en menor tiempo por lo que los daños son diferentes.



**Figura 27.** Gráfica de precipitación acumulada anual.

La gráfica de lluvia que se muestra a continuación, indica que en la estación Alameda ICTA, en las últimas décadas, ha tenido un aumento alrededor de 65 mm por década. Es importante resaltar, que a pesar de que el fenómeno del aumento en la tendencia de la precipitación se observa en todas las estaciones, la magnitud del valor no es el mismo, lo cual puede ser debido a las condiciones fisiográficas propias de cada área en la cual se encuentra ubicada cada una de las estaciones analizadas.

El resto de las gráficas, en las cuales se muestra se puede observar la evidente tendencia al aumento de la precipitación, pueden ser revisados en los anexos del documento.

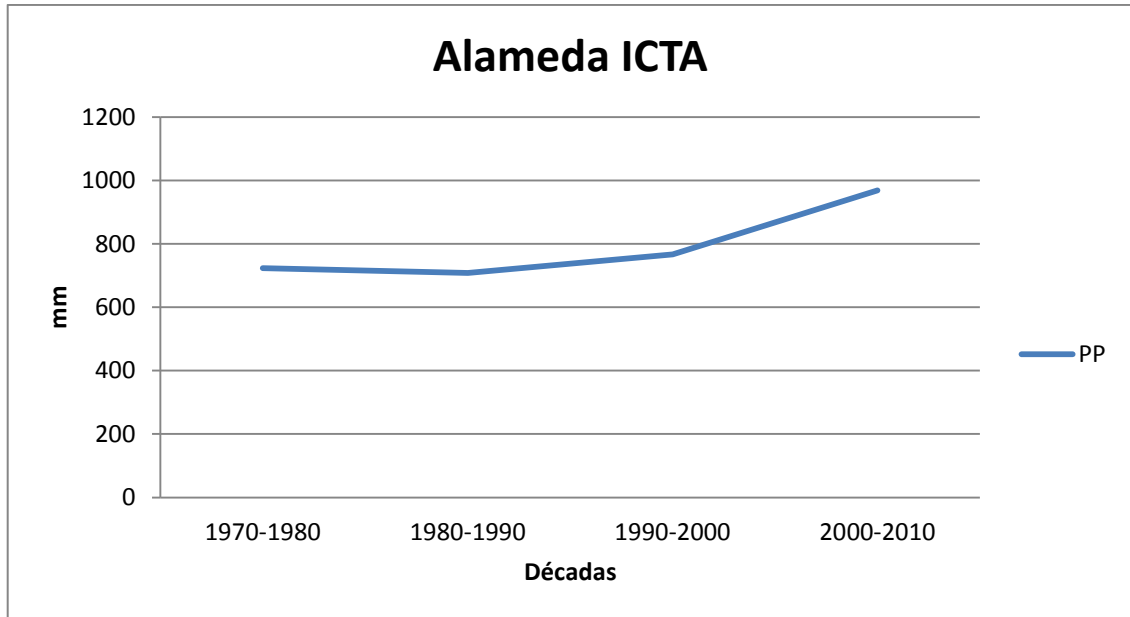


Figura 28. Gráfica de lluvia.

### A Análisis de Varianza para la variable precipitación pluvial

Cuadro 9. Resumen de tendencia significativas y no significativas por estación de la variable lluvia.

Estación	Tendencia	Diferencia estadística
Alameda ICTA	+	NS
Asunción Mita	+	NS
Catarina	+	NS
El Capitán	+	NS
Esquipulas	-	NS
Labor Ovalle	+	NS
La Ceibita	-	NS
Los Esclavos	+	NS
Montufar	+	NS
Quezada	+	NS
Retalhuleu	+	NS
Sabana Grande	+	NS
San José Aeropuerto	+	S
San Marcos	+	S
Suiza Contenta	+	NS
Camantulul	+	S

Fuente: Elaboración Propia.

Según el análisis de varianza que se realizó para cada estación por década, para la precipitación pluvial, la estación Puerto San José, San Marcos y Camantulul, decadalmente mostraron un aumento en lluvia y estadísticamente si mostraron diferencia significativa. En la estación La Ceibita, se observa una disminución de precipitación pero no es estadísticamente significativo, al igual la estación Esquipulas en la última década se observa la tendencia a disminuir pero no es estadísticamente significativo. En el resto de estaciones se observa también un incremento en lluvia en las últimas décadas pero no son estadísticamente significativos. Y en la última parte del análisis se realizó un promedio regional en el cual se observar un incremento en la precipitación en cada década, pero el incremento no es estadísticamente significativo.

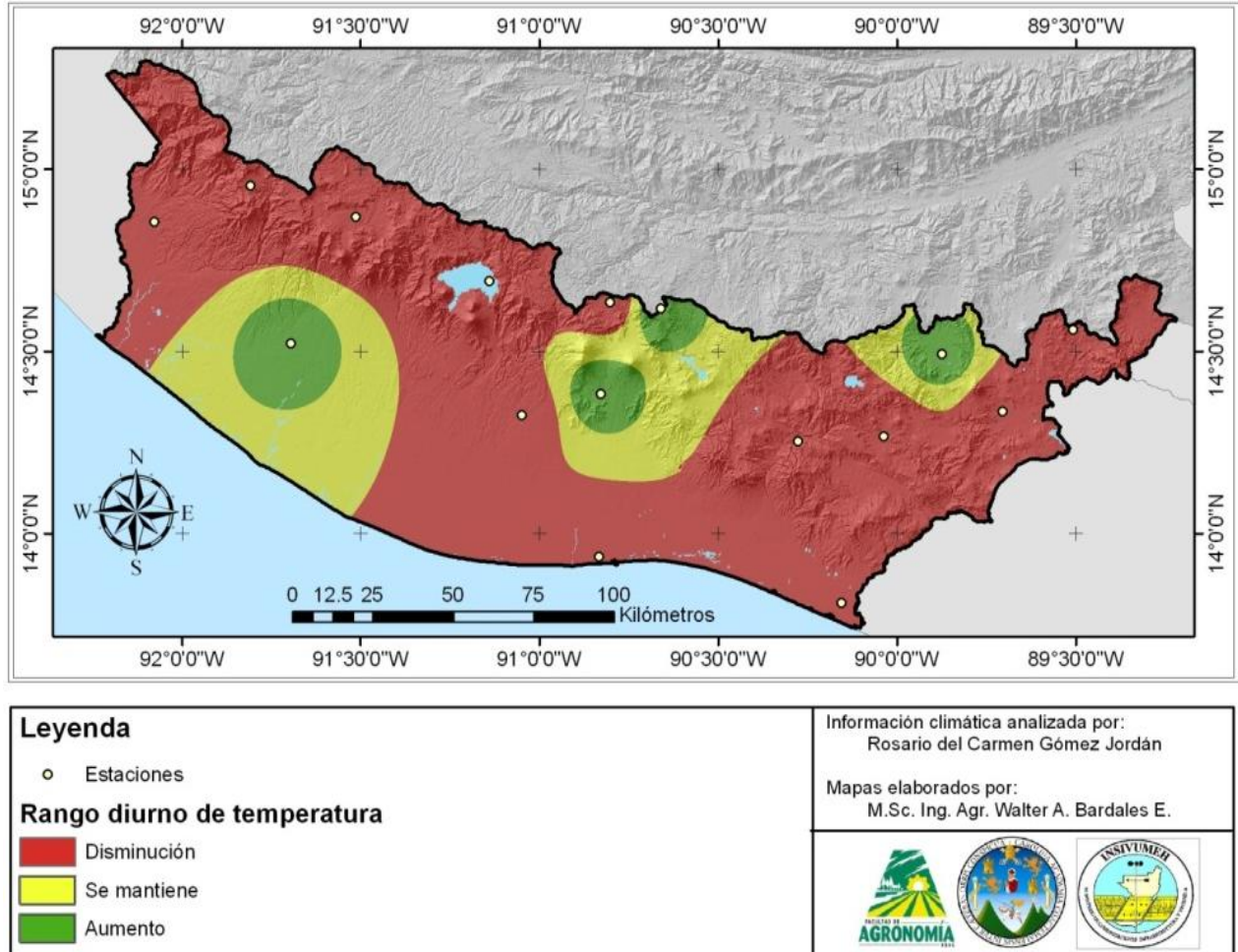
Las diferencias de las medias no son tan distantes unas de otras, por eso la mayoría de las estaciones no muestran diferencia significativa, debido a las condiciones ambientales en cuanto a la precipitación no han variado en el área de estudio. Al contrario con las 3 estaciones que si muestran diferencia significativa es porque las medias sí son distantes unas de otras.

### **2.8.3 Análisis de los indicadores de temperatura y precipitación pluvial a través del cálculo de los índices de cambio climático.**

#### **A Indicadores de temperatura**

Espacialmente, se presenta una mayor área con disminución de la amplitud térmica, y se observan que zonas muy locales tienden a aumentar la amplitud térmica, esto es debido, principalmente, al aumento de la temperatura máxima, además existen zonas de transición en las cuales no se pueden observar cambios en las tendencias (figura 25). Esto es de mucha importancia para el sector agrícola, debido a que la temperatura está ligada a los procesos metabólicos de las plantas, y a su vez a la capacidad de evapotranspiración. El incremento de la temperatura incrementaría la evapotranspiración y los requerimientos de agua en la planta, motivos por lo cual se tendría que trabajar con especies capaces de adaptarse a las variación y cambio del clima.

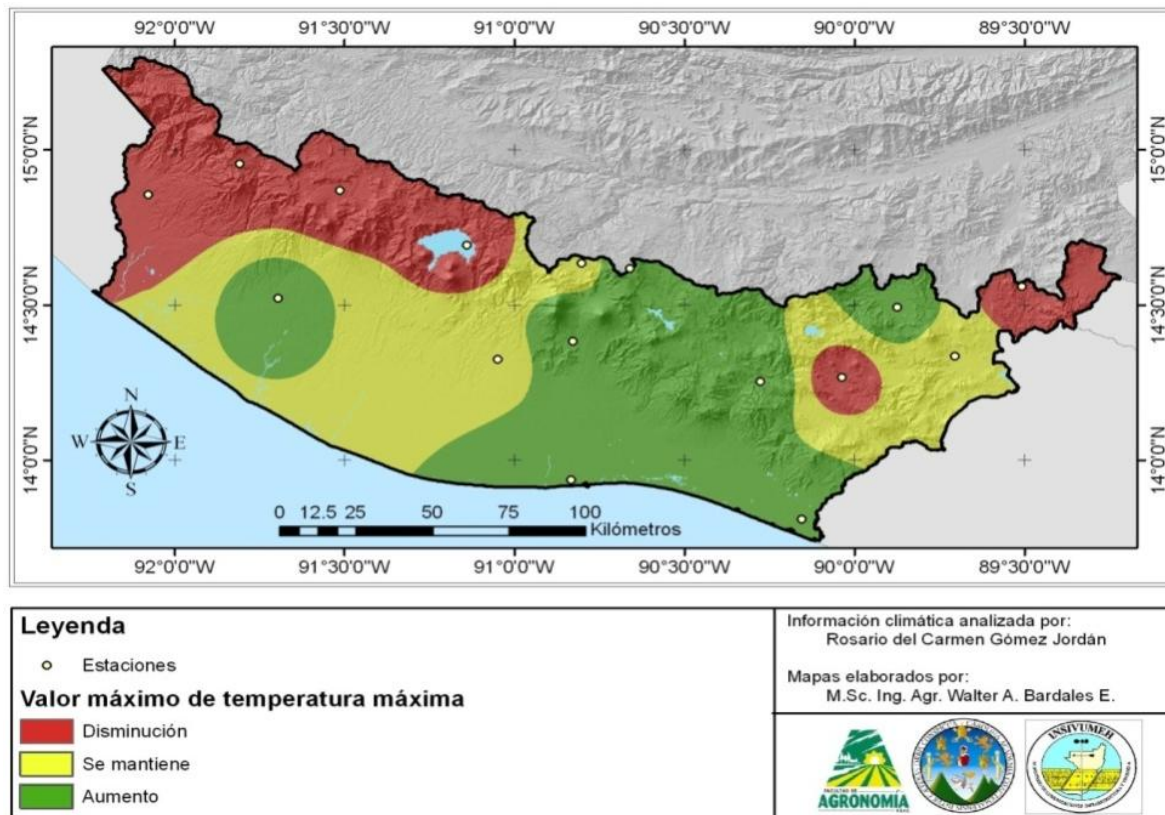




**Figura 29.** Mapa de rango diario de temperatura (DTR).

El índice TXx, contabiliza el valor de la temperatura máxima absoluta al año. En la figura 25 se observa que el valor mensual máximo de la temperatura máxima diaria, tiene una tendencia a disminuir en la parte Occidente de la Vertiente, esto asociado al incremento de la nubosidad por la época, al igual que algunas zonas del oriente de la vertiente, en la parte central las temperaturas máximas mantienen su tendencia. La mayor frecuencia de las temperaturas máximas se registran durante la finalización de la época seca y el inicio de la época lluviosa (Febrero, Marzo, Abril y Mayo), siendo el mes de Abril el que reporta mayor frecuencia en el registro de eventos de máxima temperatura, esto se debe principalmente a la baja humedad atmosférica, a la baja cantidad de nubes y al incremento de la radiación solar, favoreciendo la evaporación de grandes masas de agua en océanos

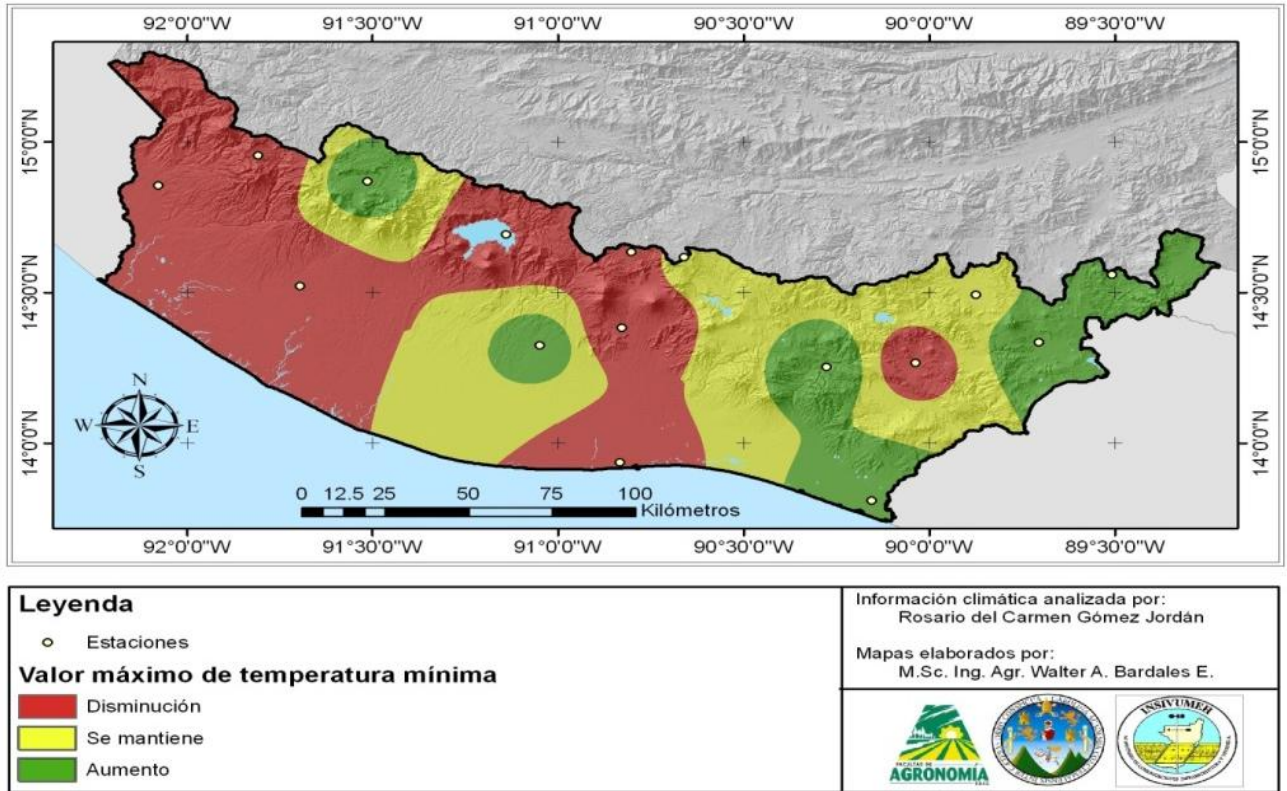
y lagos. Por tal situación, los forzantes atmosféricos (alta presión, radiación solar de onda corta y humedad específica) se han presentado con la misma frecuencia durante su período de influencia, sin embargo los uso del suelo han cambiado afectando el albedo de la zona, lo que provoca el incremento en los registros de los valores máximo de temperatura máxima.



**Figura 30.** Mapa de valor máximo de temperatura máxima (TXx)

El índice TNx es el valor máximo anual de temperatura mínima, y representa el umbral superior de la temperatura mínima. En la figura 26 se observa que el valor mensual máximo de temperatura mínima diaria (TNx) tiende a disminuir en la parte occidente de la vertiente, caso contrario ocurre en la parte oriental y la zona central se ha mantenido igual. Estas tendencias se asocian a los fenómenos locales que ocurren en cada zona, y a fenómenos de mayor escala como lo son las bajas presiones, la radiación y humedad específica de la época lluviosa, siendo en esta época donde se marcó la mayor frecuencia

e intensidad, por lo tanto, el valor mínimo de temperatura máxima cada vez es más alto, consecuencia de un calentamiento.

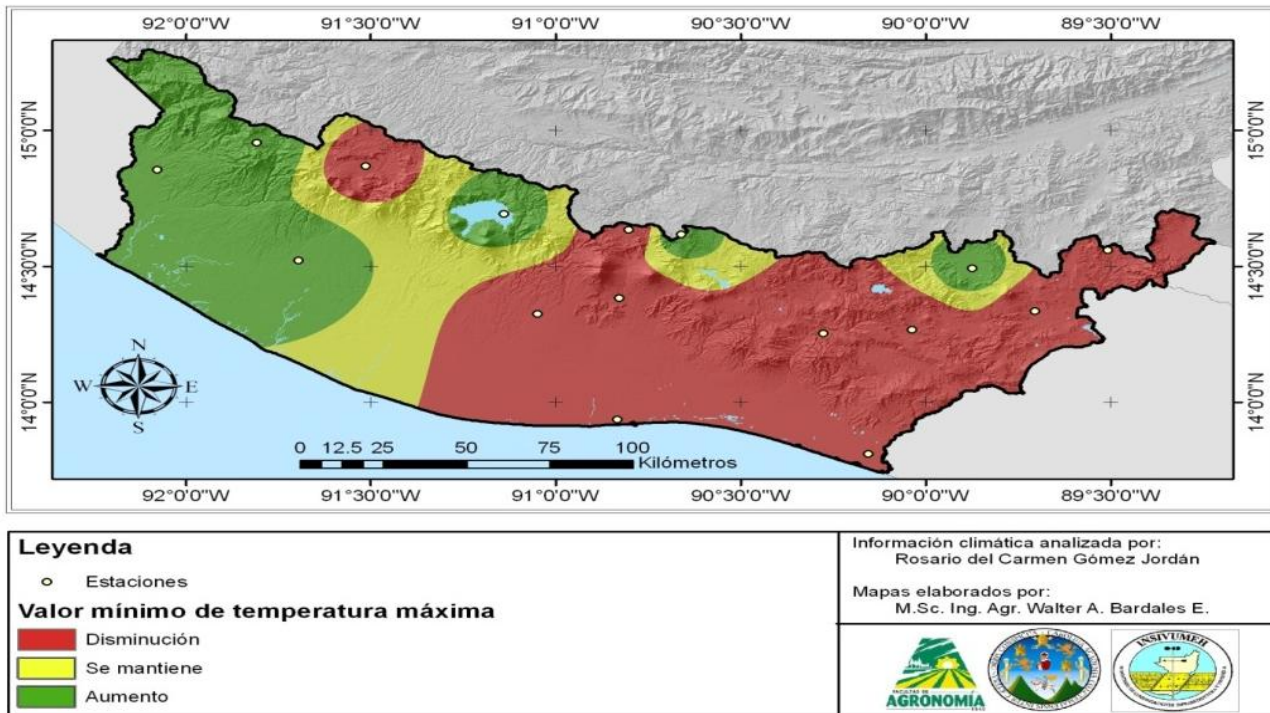


**Figura 31.** Mapa valor máximo de temperatura mínima (TNx).

En la figura 27 se observa que el índice del valor mensual mínimo de temperatura máxima diaria (TXn), muestra una disminución en casi toda la parte oriental de la Vertiente y un aumento en la parte occidental y en algunas zonas muy puntuales en la parte norte de la Vertiente. Según el índice **TXn valor mínimo anual de la temperatura máxima** existe un comportamiento de decremento, por lo que se puede concluir que a través del tiempo no se ha dado un cambio importante o significativo para éste índice. Generalmente alcanza su mayor frecuencia en los meses de Noviembre, Diciembre y Enero, por lo que se asocia con los sistemas de alta presión, viento moderado y poca humedad (masa de aire fresca), los cuales predominan en época seca, a su vez por bajas presiones y abundante nubosidad que son más prevaletientes en la época lluviosa. Se observa también, una tendencia negativa en el período de tiempo analizado, lo que significa que el valor



mensual mínimo de temperatura máxima diaria ha tenido una leve tendencia de disminución, el salto que se puede ver en la última década puede ser error en la serie de datos.



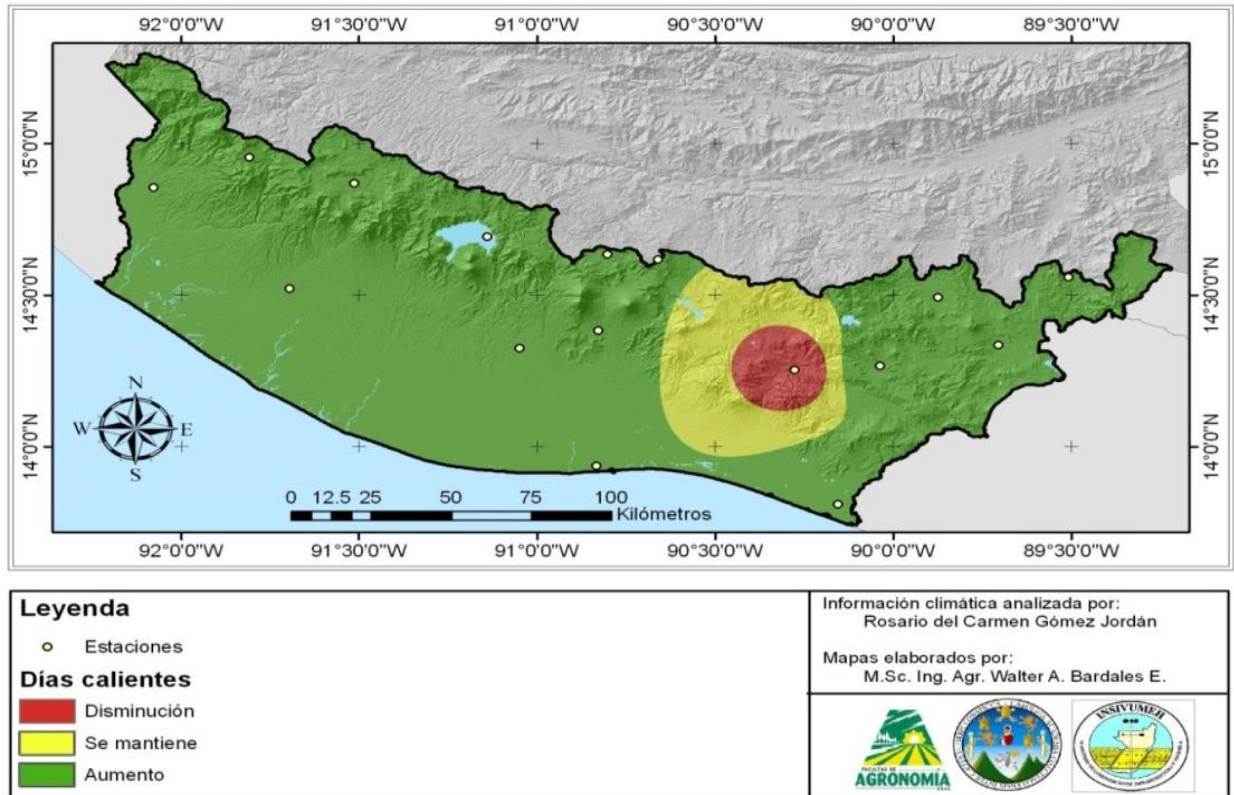
**Figura 32.** Mapa de valor mínimo de temperatura máxima (TXn).

En el índice de días calientes (TX90p) se contabilizan los días en que la temperatura máxima ha sobrepasado el percentil 90. La mayor frecuencia para dicho índice, se ubica dentro del período de finales de época seca (Febrero, Marzo, Abril), siendo el mes de marzo el que registra más frecuencia en el año. Ese período se caracteriza por presencia de sistemas de alta presión, y valor bajo de humedad.

La figura 20 muestra una tendencia positiva en el período de tiempo analizado, lo que significa que los días calientes ha tenido una tendencia de aumento, o sea, son más frecuentes cada día. En el mapa los días calientes (TX90p) tienen una tendencia de aumento en la Vertiente, sin embargo la estación de Los Esclavos ubicada en el departamento de Santa Rosa tiene una tendencia a disminuir, por lo que se dice que en Los Esclavos los días son más fríos que en el resto de estaciones, ésta diferencia se

puede dar por muchos factores como que algún instrumento de medición tenga una mala calibración, o que no se hayan realizado bien las observaciones.

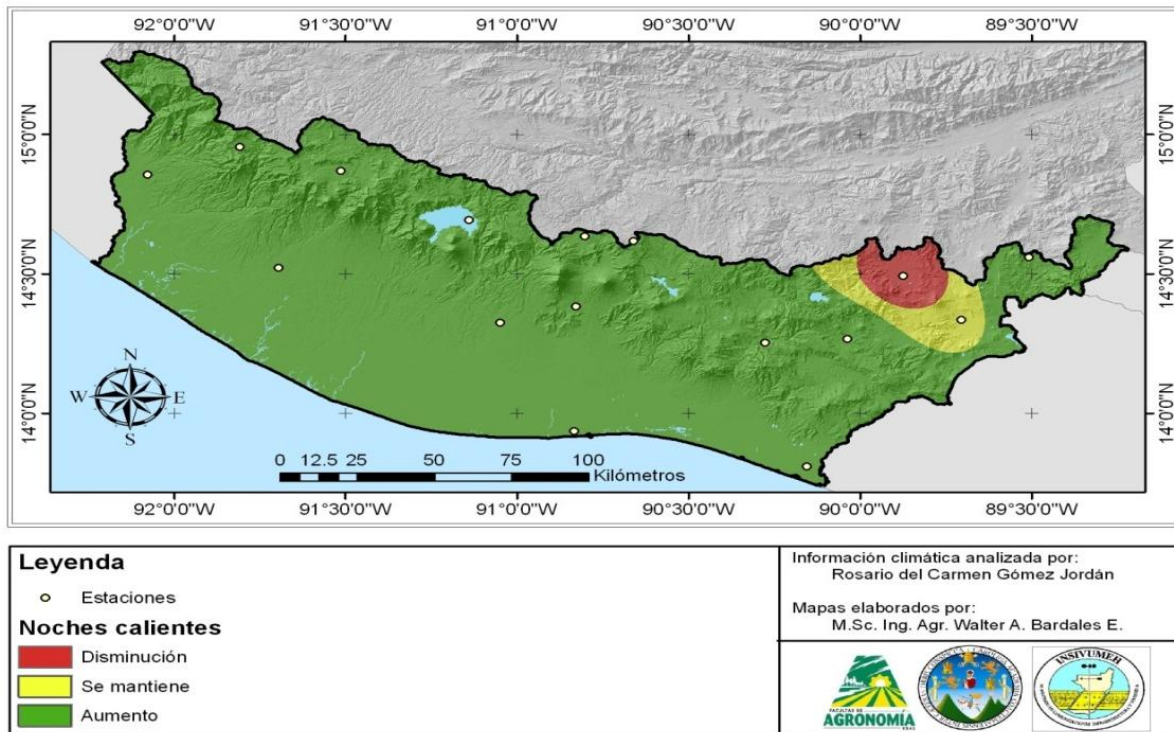
También pudieron haber influenciado las altas presiones y la radiación, las cuales probablemente han sido más frecuentes durante su tiempo de influencia. Por lo que se concluye que es más frecuente hoy en día alcanzar la categoría de tardes cálidas.



**Figura 33.** Mapa de días cálidos (TX90p).

En éste índice se contabilizan los días en que la temperatura mínima ha sobrepasado el valor del percentil 90, éste valor puede ser alcanzado al inicio de la estación lluviosa (Mayo-Julio) y durante los meses de la finalización de la época lluviosa (Agosto, Septiembre, Octubre). En la gráfica de la figura 23 se puede observar una tendencia positiva en el período de tiempo analizado, lo que significa que las noches cálidas han tenido una leve tendencia de aumento, o sea, son un poco más frecuentes cada día. En el mapase puede observar que las noches cálidas (TN90p), tiene un aumento en la mayor parte y una leve disminución en la estación de La Ceibita.

En relación a éste índice **TN90P noches cálidas** existe una fuerte señal de incremento a través del tiempo y muestra su mayor valor en la década más reciente, esto puede ser debido al aumento de frecuencia de bajas presiones, alto contenido de humedad en la época de influencia. Por lo tanto, se puede decir que es más frecuente hoy en día alcanzar la categoría de noches cálidas.



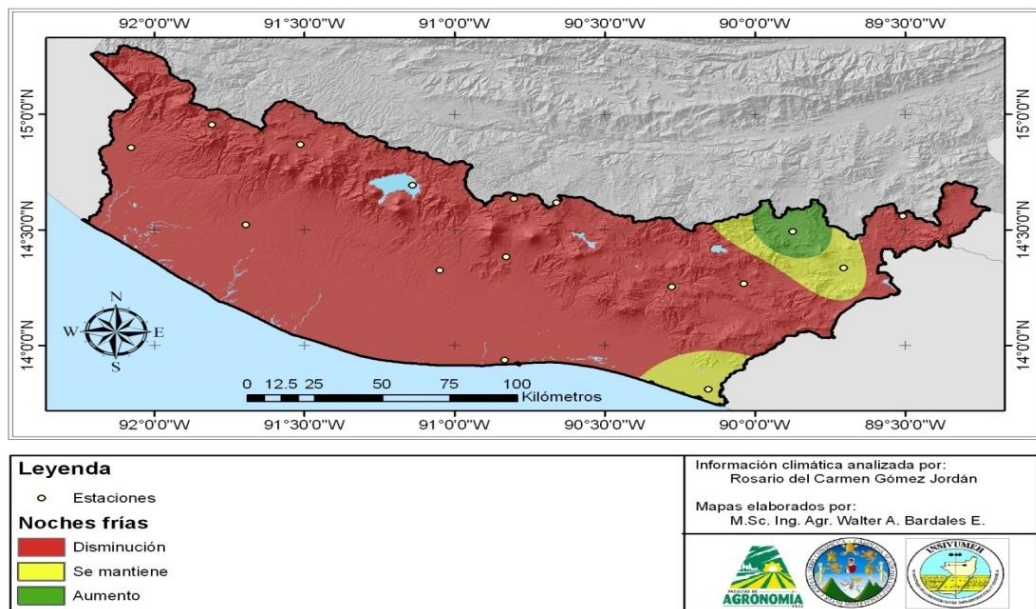
**Figura 34.** Mapa de noches cálidas (TN90p).

El índice de noches frías por año (TN10p), hace referencia a los días en que la temperatura mínima logra disminuir por debajo del valor del percentil 10. Tales condiciones generalmente se registran en los meses de la época seca (Noviembre, Diciembre, Enero, Febrero, Marzo), sin embargo, su mayor frecuencia se da en el mes de Enero en horas de la madrugada o durante el período en que sale el sol. En relación al índice **TN10P noches frías** existe un comportamiento negativo del umbral superior a través del tiempo. De lo anterior surge la hipótesis de que los forzantes atmosféricos, como los de alta presión, y máximos de radiación de onda larga son cada vez menos frecuentes, o su intensidad ha variado de tal forma que frena la disminución de temperatura mínima, hasta por debajo del umbral del percentil 10 durante el período de

influencia, otra alternativa es que la superficie del suelo y el aire por encima de este permite que el tiempo de enfriamiento sea más lento que antes. La pendiente de este índice es visiblemente negativa.

La gráfica de la figura 21 muestra una tendencia negativa, lo que significa que las noches frías han tenido una tendencia de disminución, o sea, las noches frías han sido menos frecuentes.

En el mapa se observa que las noches frías (TN10p) en la mayor parte de la Vertiente, tiene una tendencia a disminuir, sin embargo en la estación de La Ceibita aumenta, lo que concuerda el contraste con el mapa anterior que muestra que las noches calientes han disminuido en dicha estación.



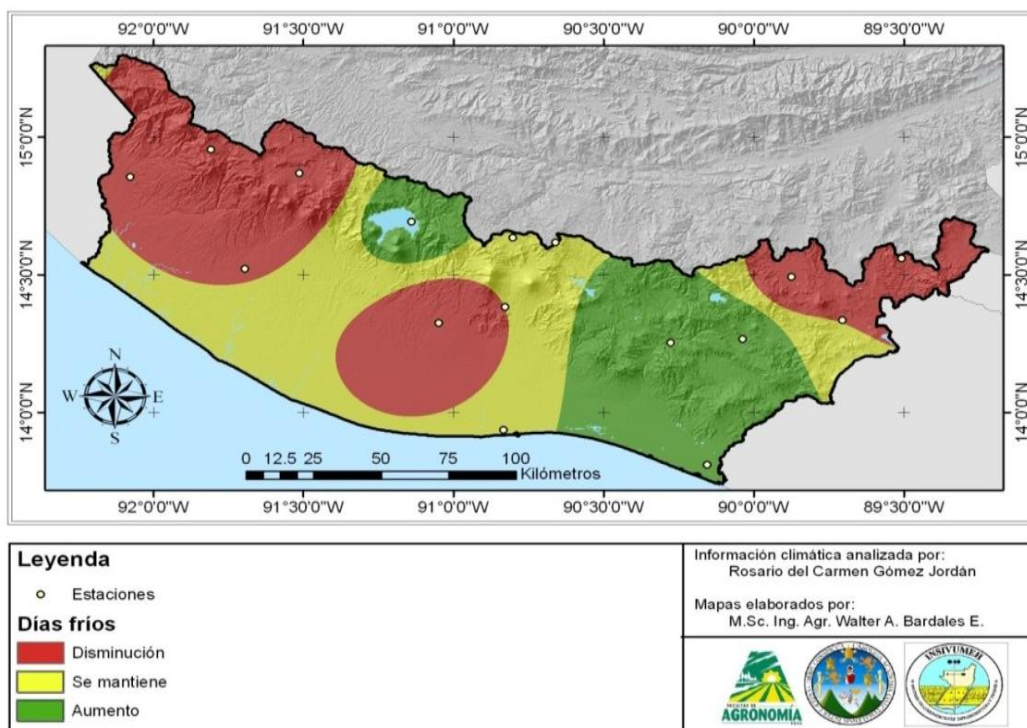
**Figura 35.** Mapa de noches frías (TN10p).

En relación al índice **TX10P días fríos** existe un comportamiento negativo, a través del tiempo. Podría ser ocasionado en la época seca por menor frecuencia de ocurrencia de alta presión o por similar frecuencia y menor intensidad. Al igual en la época lluviosa, puede deberse a la menor frecuencia de ocurrencia de bajas presiones o similar frecuencia y menor intensidad. . La figura 22 muestra una tendencia negativa, lo que



significa que los días fríos han tenido una tendencia de disminución, o sea, que han sido menos frecuentes a lo largo de los años.

Los días fríos en la Vertiente (Tx10p) como se muestra en el mapa, han correspondido a un comportamiento similar en la parte central sin embargo en la parte occidente de la vertiente y una parte central junto con una oriental se ve una disminución en días fríos y un aumento en las estaciones de El Capitán, Los Esclavos, Montufar y Quezada.



**Figura 36.** Mapa de días fríos (TX10p).

## B Indicadores de precipitación pluvial

Se observa que en el caso de los indicadores de precipitación la tendencia para la mayor parte es de aumento, (índice de cantidad máxima de precipitación en un día, precipitación muy intensa, precipitación total anual en los días húmedos, entre otros), lo que significa que es muy probable que el cambio en el clima haya variado la distribución de la lluvia, ya que precipitaciones pluviales muy intensas dañan el suelo porque éste se erosiona, se da



una saturación del espacio poroso del suelo, se concentran volúmenes de agua que generan de forma acelerada la escorrentía superficial y contribuye a la erosión del suelo. En áreas planas o de bajas pendientes se embalsa el agua provocando las inundaciones en plantaciones y la eliminación del volumen de aire en los suelos, lo cual contribuye al estrés de las plantas y por lo tanto, una reducción en la producción. Se crea también un ambiente húmedo dentro de las plantaciones lo que contribuye a la difusión y desarrollo de enfermedades, principalmente fungosas.

También depende en qué época fisiológica se encuentre el cultivo, ya que si se presentan lluvias muy intensas en la época de floración, la fecundación se bloquea por el lavado del polen de las anteras, lo que provoca que al momento de la cosecha se obtengan mazorcas con escasos granos en el caso del maíz.

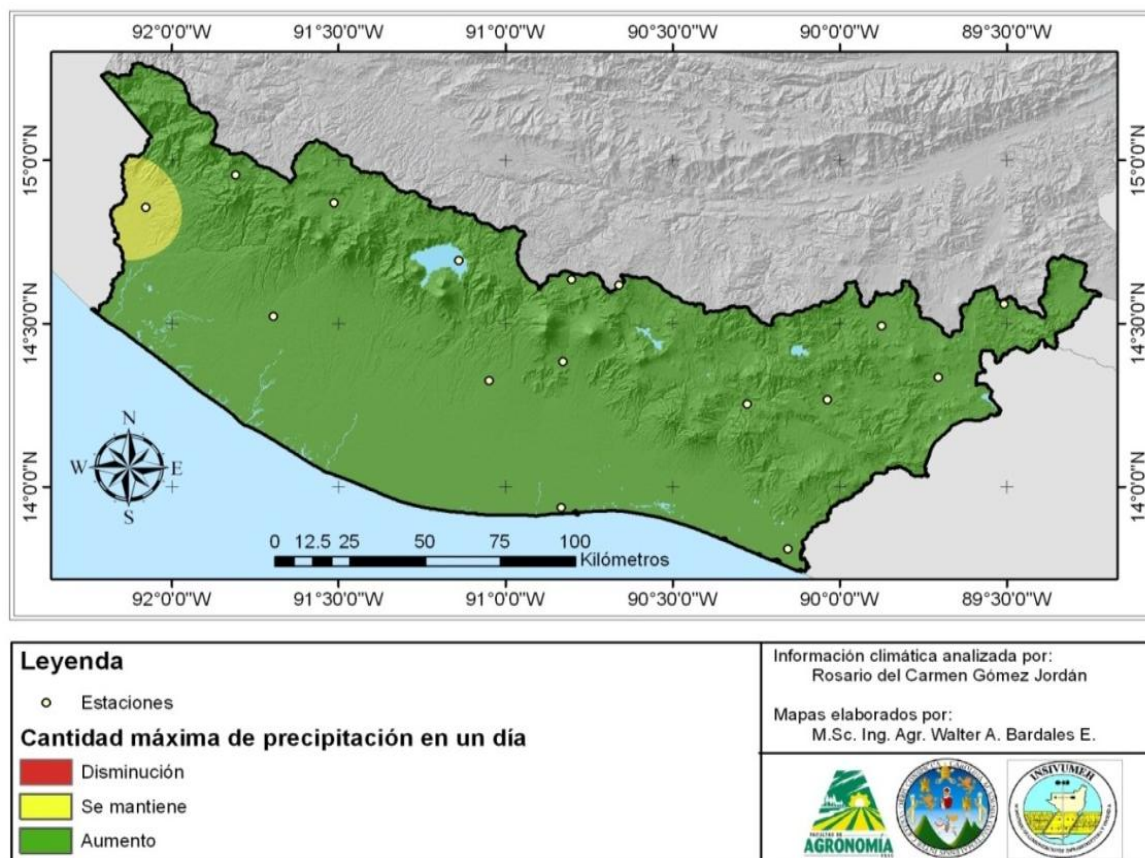
En el caso de especies forestales, muchas veces los bosques pueden estar ubicados en zonas en donde los sistemas radiculares de los árboles no tienen la facilidad de profundizar a niveles considerables, situación que los hace vulnerables ya que con facilidad pueden tumbarse al presentarse lluvias intensas, porque se crea un peso tal que pueden quebrarse las ramas o rajarse, y con esa situación ya no se pueden obtener dimensiones exigidas por alguna norma de exportación o bien si se tienen fustes dañados o quebrados, pueden ser afectados por alguna plaga; en otro caso el moho puede acceder fácilmente y manchar la textura de la madera por lo que reduce el valor de la misma.

Por otro lado pueden presentarse sequías más prolongadas lo cual también tiene consecuencias en la producción de cultivos, ya que al no tener agua disponible para el cultivo, la planta entra en un estrés hídrico y hay un decremento en la producción, hay un aumento de temperatura y se presentan olas de calor, las cuales pueden afectar tanto a los seres humanos (favoreciendo la aparición de cuadros de deshidratación, golpes de calor, agotamiento, etc); como a los animales y plantas, ya que al presentarse sequías muy prolongadas pueden conducir a un mayor número de incendios forestales, por lo que se generaría gran cantidad de CO<sub>2</sub> (principal gas de efecto invernadero), y con la

destrucción de los bosques, se disminuye la capacidad de los bosques de captar el CO<sub>2</sub> y convertirlo en O<sub>2</sub> en el proceso de fotosíntesis.

Daños causados por lluvia intensa, maximización de erosión hídrica, aceleración de erosión geológica, inundación de plantaciones, por lo tanto, puede existir reducción y pérdida de cosechas, así como daños fisiológicos y fenológicos en las plantas. Desgarre de fustes, ramas y copas de árboles, daños en el sotobosque, arranque de árboles en áreas con fuerte pendiente, entre otros daños.

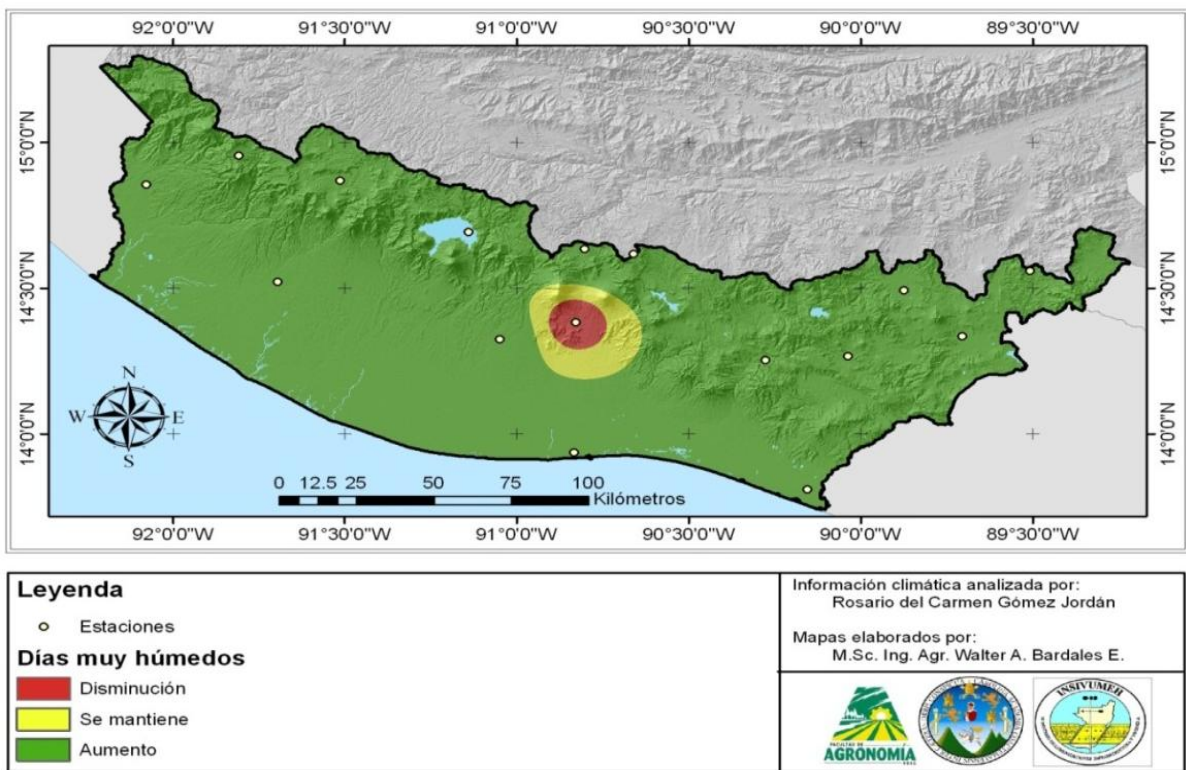
A continuación se explica cada uno de los indicadores de precipitación pluvial y sus respectivos mapas.



**Figura 37.** Mapa de cantidad máxima de precipitación en un día (RX1Day).

Éste índice hace referencia a la cantidad máxima de precipitación en un día, el cual se puede observar en la figura 39 que muestra una tendencia positiva en el período de tiempo analizado, lo que significa que la cantidad de precipitación pluvial máxima ha tenido un aumento, lo que a través de los años se ha observado una cantidad mayor de precipitación diaria, lo que puede ser un problema dado que influye en la distribución de la lluvia.

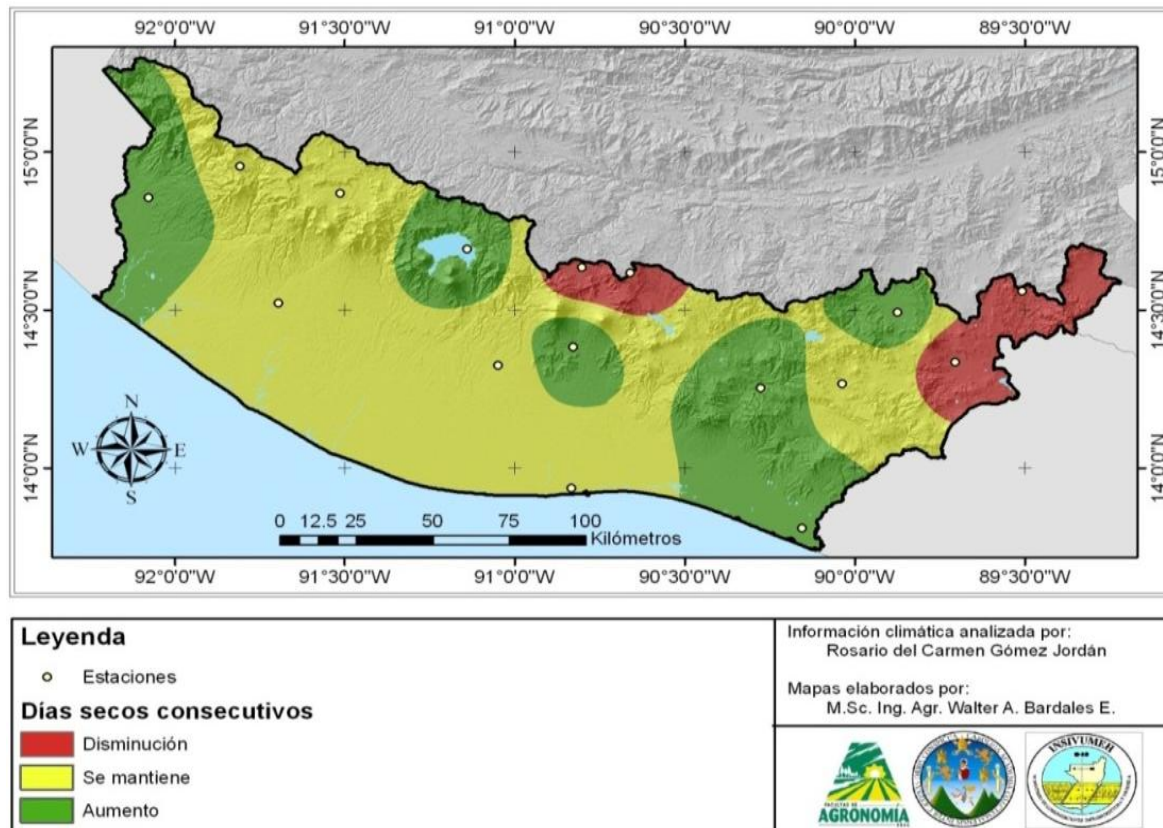
El mapa de cantidad máxima de precipitación en un día que es el máximo mensual de precipitación en un día (RX1day) muestra en casi toda la vertiente, que ha existido un aumento y en una muy pequeña parte que abarca solamente la estación de Catarina, San Marcos la cual se mantiene con la cantidad máxima mensual de precipitación en un día, ésta variación puede deberse a que el valor observado.



**Figura 38.** Mapa de días muy húmedos. (R95p).

La figura 40 muestra una tendencia positiva en el período de tiempo analizado, lo que significa que los días muy húmedos han tenido una tendencia de aumento, o sea, son

más frecuentes cada día. Los días muy húmedos (R95p) se observa un aumento en casi toda la Vertiente, presentando una disminución la estación de Sabana Grande.

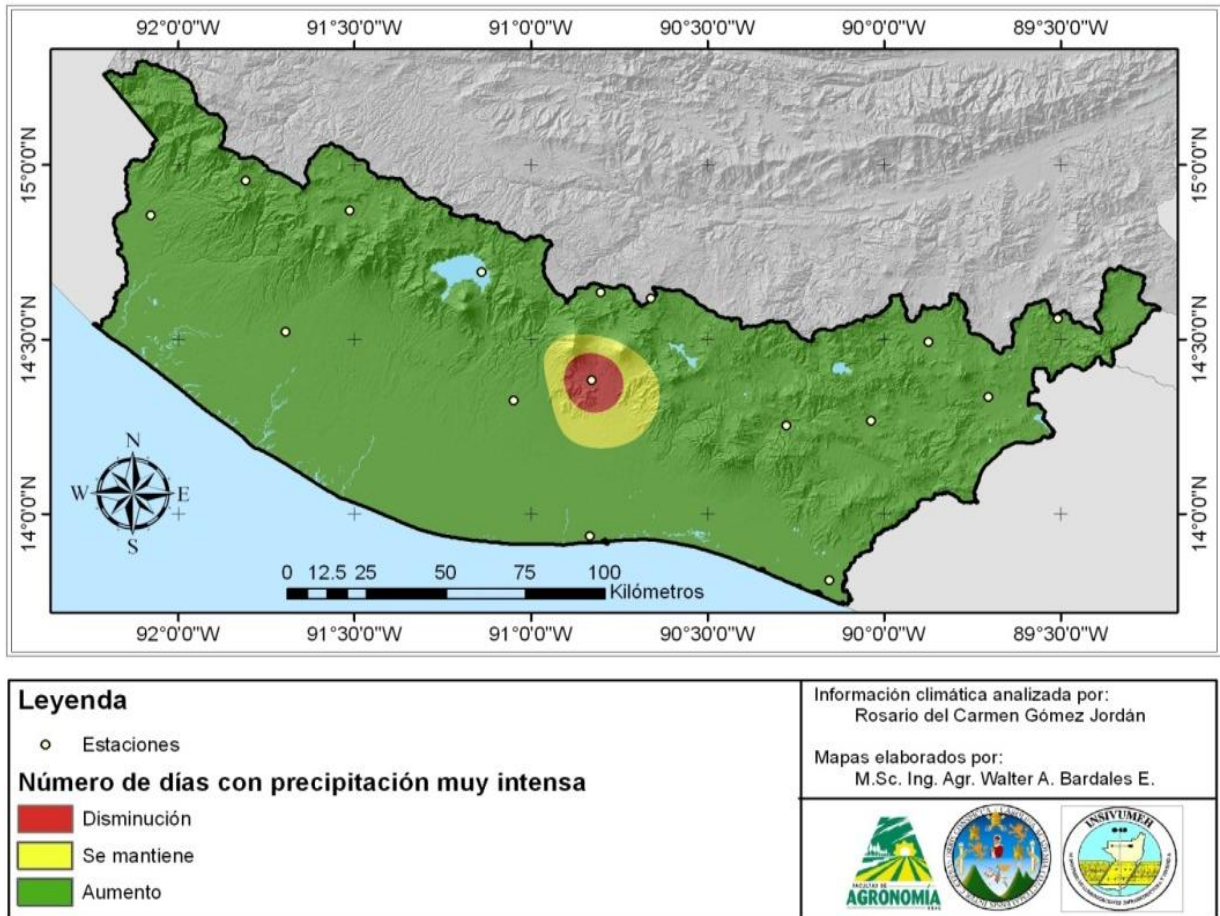


**Figura 39.** Mapa de días secos consecutivos (CDD).

Se observa un comportamiento muy similar en la mayor parte de la Vertiente, los días secos consecutivos, que son el número de días consecutivos con una lluvia menor a 1 mm muestra que en la mayor parte se mantiene la tendencia de días secos, o sea no ha tenido mayor variabilidad, sin embargo en algunas áreas como en la estación de Catarina, San Marcos se ve que los días secos consecutivos han aumentado, al igual que en la estación de Sabana Grande.

La figura 41 no muestra tendencia en el período de tiempo analizado, lo cual podría significar que los días secos consecutivos ha tenido una misma tendencia alrededor de los años.

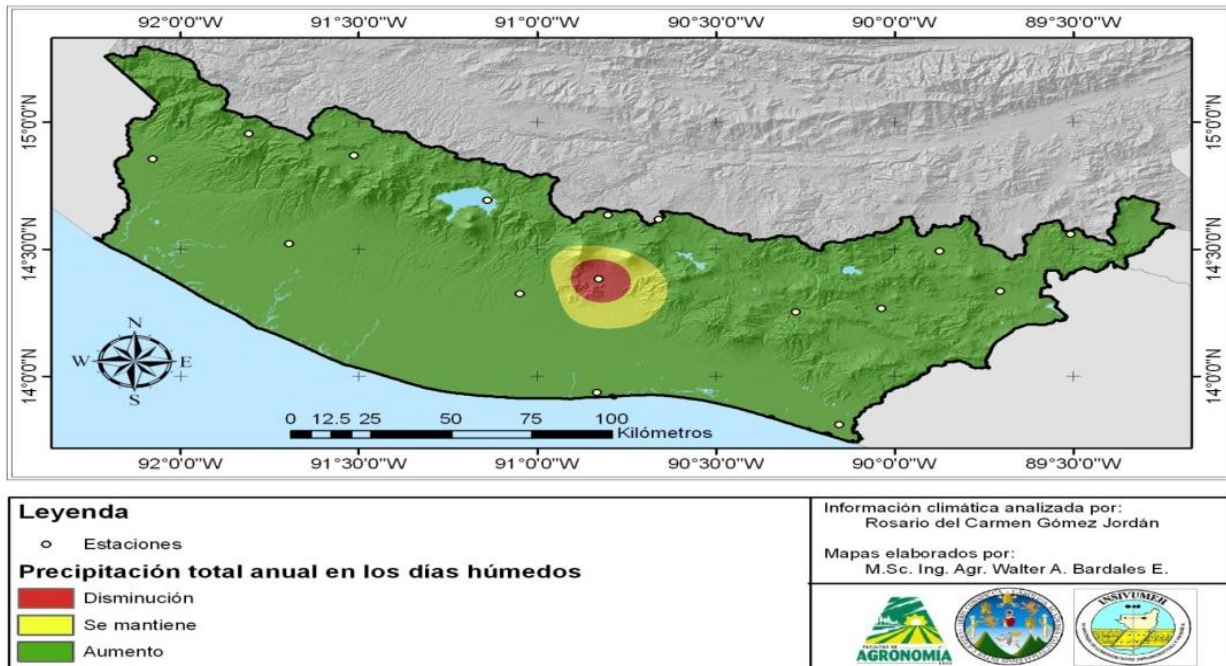




**Figura 40.** Mapa de número de días con precipitación muy intensa (R20).

La figura 42 muestra una tendencia positiva en el período de tiempo analizado, lo que significa que el número de días en que ha habido una precipitación muy intensa han sido más frecuentes, lo cual puede influir en la distribución de lluvia y afectar en la producción de cultivos, ya que la región del Pacífico es una zona de gran actividad agrícola.

El índice de R20 que indica el número de días en un año en que la precipitación es mayor a 20 mm, el cual se puede observar que en la mayor parte de la Vertiente hay una tendencia de aumento, solamente la estación de Sabana Grande presentó una disminución.



**Figura 41.** Mapa de precipitación total anual en los días húmedos (PRCPTOT).

Del mapa, se desprende que en el caso de la Vertiente del Pacífico, el índice de (PRCPTOT) o sea precipitación anual total en los días húmedos en que la precipitación es mayor a 1 mm, proporciona que la mayor parte ha tenido una tendencia de aumento, contrastando con la estación de Sabana Grande que muestra una tendencia de disminución. La figura 43 muestra una tendencia positiva en el período de tiempo analizado, lo que significa que los días en han tenido mayor humedad, ha aumentado la precipitación en comparación con los días con menor humedad.

Por otro lado, algunos factores de la variabilidad climática que afectan al clima es la ITZC. Existe un ciclo diario regional, en el cual se desarrollan cúmulos convectivos a mediodía, que forman tormentas por la tarde y noche. Un ejemplo típico de este fenómeno es el observado en la bocacosta del sur de Guatemala, donde las bajas presiones causadas en el sistema montañoso local generan condiciones de atracción de nubes cargadas de alta humedad, desde el océano Pacífico hacia regiones continentales. En Mesoamérica, este fenómeno climático contribuye, sobre todo, a la precipitación en el oeste y sur de esta región, es decir en el Pacífico. (Rauscher et al., citado por IARNA-URL s.f.).

Por ser el Pacífico una parte baja y ser una zona costera, de donde provienen los vientos cargados de humedad y ascienden a la parte alta y chocan contra la barrera montañosa de la Sierra Madre se originan las precipitaciones, por lo general intensas que acompañadas por la influencia de un ciclón o huracán, vienen a provocar los grandes estragos en cuanto a crecidas e inundaciones por lo menos en todo el litoral del Pacífico. Conjuntamente la variabilidad climática y el calentamiento global mundial, producto de la industrialización, han contribuido al cambio de la precipitación pluvial en la Vertiente del Pacífico.

Según el análisis de varianza, la lluvia ha tenido un aumento en las últimas décadas en la Vertiente del Pacífico pero no todas las estaciones han tenido cambio significativo.

### **C Tendencia de variación en la temperatura y precipitación pluvial a través de los índices climáticos.**

La tendencia de variación solamente es indicador del comportamiento de la temperatura (máxima y mínima) y precipitación en el sitio de medición, representando una región específica. También hay que tener en cuenta que conocer las variaciones locales del clima permite construir e implementar las capacidades adaptativas a la variabilidad y el cambio climático.

A continuación se presenta el resumen de las tendencias de los trece índices de cambio climático de temperatura y precipitación de cada estación. Siendo así el signo (+) el que representa una tendencia de aumentó, el signo (-) el que representa una tendencia de disminución, el signo (=) una tendencia a mantenerse y las celdas vacías muestran las series que contaron con datos faltantes, ya que los algoritmos del software Rclimindex no permitieron generar el índice y las tendencias para esa estación. Por lo tanto, según el cuadro 4 la amplitud térmica en la vertiente del Pacífico tiende a disminuir en un 75% en las estaciones evaluadas, debido a que se registran menos eventos de descenso de la temperatura mínima. Mientras que en las estaciones Sabana Grande (Escuintla), Retalhuleu, La Ceibita (Monjas, Jalapa) y Suiza Contenta (San Lucas, Sacatepéquez)

presentan una tendencia de aumento en la amplitud térmica, esto debido principalmente a que se registran eventos mayores de temperatura máxima, esto indica que en la región se está dando un calentamiento leve y a largo plazo que no es perceptible por el ser humano, sin embargo al someter las series a procesos estadísticos es posible detectar esos cambios.

Las estaciones que se encuentran en la parte baja de la vertiente del pacífico han incrementado los eventos máximos de temperatura, mientras las estaciones que se encuentran en la parte media han tendido a mantener su temperatura a través del tiempo, y las que se encuentran en la parte alta su tendencia ha sido a disminuir los valores de temperaturas máximas.



**Cuadro 10.** Tendencias de los índices de cambio climático de las estaciones de la vertiente del Pacífico.

ID	DTR	TXx	TNx	TXn	TX90p	TN90p	TN10p	TX10p	RX1day	R95p	CDD	R20	PRCPTOT
Estación Meteorológica	Amplitud diaria de temperatura	Máximo de temperatura máxima	Máximo de temperatura mínima	Mínimo de temperatura máxima	Días calientes	Noches calientes	Noches frías	Días fríos	Cantidades máximas de precipitación en un día	Días largos húmedos	Días secos consecutivos	Precipitación muy intensa	Precipitación total anual en los días húmedos
ALAMEDA ICTA	-	=	-	-					+	+	-	+	+
ASUNCION MITA	-	=	+	-					+	+	-	+	+
CATARINA	-	-	-	+					=	+	+	+	+
EL CAPITAN	-	-	-	+				+	+	+	+	+	+
ESQUIPULAS	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	-	+	+
LABOR OVALLE	-	-	+	-	+	+	-	-	+	+	=	+	+
LA CEIBITA	+	+	=	+	+	-	+	-	+	+	+	+	+
LOS ESCLAVOS	-	+	+	-	-	+	-	+	+	+	+	+	+
MONTUFAR	-	+	+	-	+		=	+	+	+	+	+	+
QUEZADA	-	-	-	-	+	+	-	+	+	+	=	+	+
RETALHULEU	+	+	-	+					+	+	=	+	+
SABANA GRANDE	+	+	-	-					+	-	+	-	-
SAN JOSE AEROPUERTO	-	+	-	-					+	+	=	+	+
SAN MARCOS	-	-	-	+					+	+	=	+	+
SUIZA CONTENTA	+	+	=	+					+	+	-	+	+
CAMANTULUL	-	=	+	-	+	+	-	-	+	+	=	+	+

Fuente: Elaboración propia.

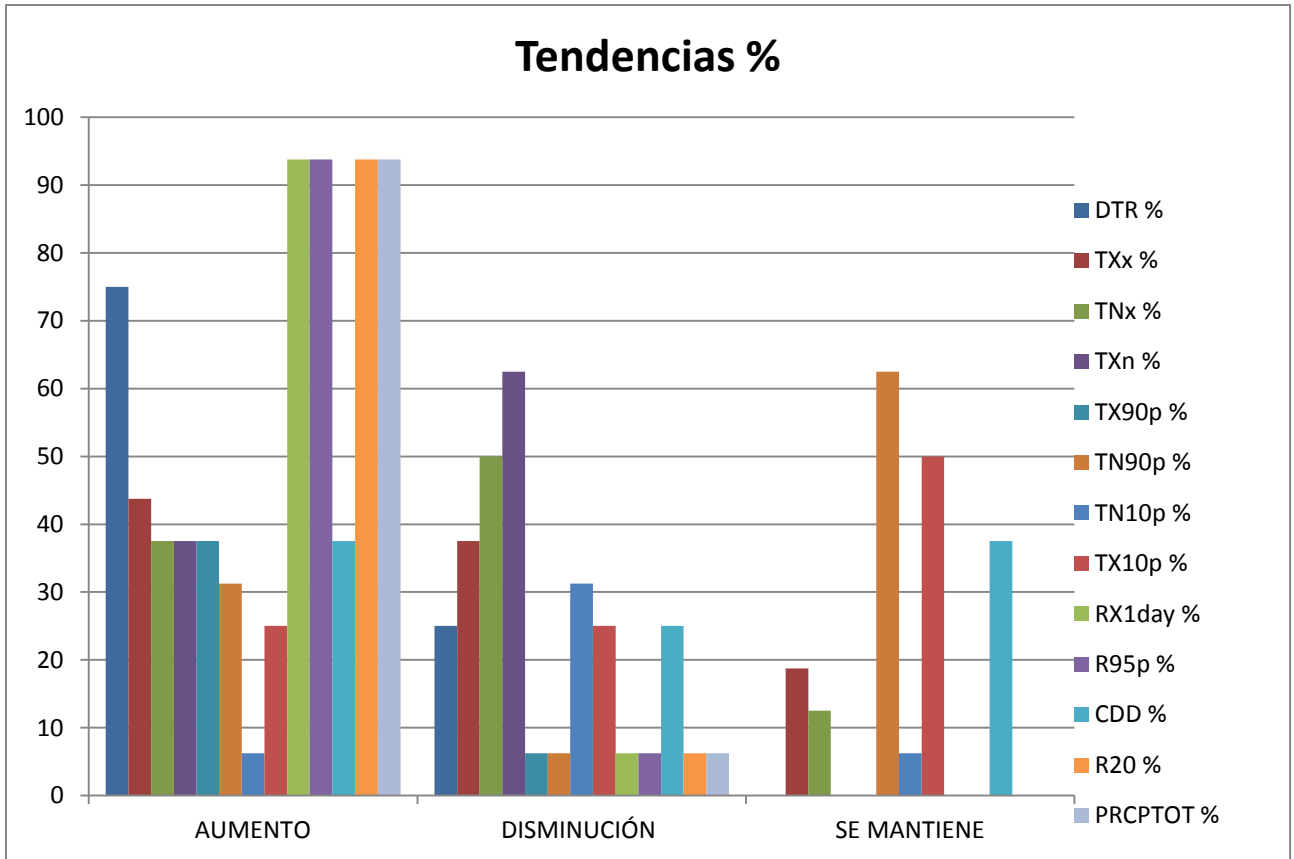
**Cuadro 11.** Análisis de porcentaje de tendencias según cuadro de tendencia.

ESCENARIO	DTR %	TXx %	TNx %	TXn %	TX90p %	TN90p %	TN10p %	TX10p %	RX1day %	R95p %	CDD %	R20 %	PRCPTOT %
AUMENTO	75	43.75	37.5	37.5	37.5	31.25	6.25	25	93.75	93.75	37.5	93.75	93.75
DISMINUCIÓN	25	37.5	50	62.5	6.25	6.25	31.25	25	6.25	6.25	25	6.25	6.25
SE MANTIENE	0	18.75	12.5	0	0	62.5	6.25	50	0	0	37.5	0	0

**Fuente:** Elaboración propia.

Por lo anterior, se establece que las noches cada vez son más cálidas y menos frías en la región del Pacífico, y los días tienden a ser más calurosos. Esto nos da la pauta de que existe un leve calentamiento en la región, que está asociado al efecto de invernadero y cambio climático global.

Las tendencias de la precipitación en la región del pacifico van en aumento, cada vez se tienen mayores registros de eventos máximos de lluvia (95%) y las cantidades acumuladas de lluvia anual han incrementado (94%). Sin embargo, las lluvias se encuentran mal distribuidas en la época lluviosa, ya que cada vez hay más días consecutivos secos (37.5 %), esto es alarmante ya que la agricultura nacional depende de las lluvias y bajo estas tendencias se aumenta la probabilidad de eventos de sequía meteorológica, lo que traería pérdidas y reducción de los rendimientos de aquellos cultivos que no tienen riego.



**Figura 42.** Gráfico de tendencias de los índices de cambio climático.

Según el cuadro 11 y figura 38, se observa la tendencia que tiene cada uno de los índices en porcentaje para la vertiente del Pacífico, en la que se puede observar la diferencia media mensual entre temperaturas máximas y mínimas (DTR) se presenta un 75% de aumento en las estaciones y solamente un 25% de disminución de la amplitud térmica; para el valor mensual máximo de temperatura máxima diaria (TXx) se muestra un 43.75% de aumento y un 37.5% de disminución. Las cantidades máximas mensuales de precipitación en un día (RX1day) han aumentado en un 95% junto con los días muy húmedos (R95p), al igual que el número de días en un año en que la precipitación es mayor a 20 mm (R20) y el índice de precipitación anual total en los días húmedos en que la precipitación es mayor a 1 mm (PRCPTOT).

## 2.9 Conclusiones

1. La tendencia de variación en las temperaturas máximas de la Vertiente del Pacífico ha sido de aumento, la cual presenta una oscilación entre 0.17C y 1.5C. Para el caso de las temperaturas mínimas, la tendencia también muestra un aumento que oscila 0.17 C y 1.3 C. Ambas variables presentan una tendencia de aumento en el período de análisis, comprendido entre los años 1971 al 2010.
2. La tendencia de variación en la precipitación pluvial de la Vertiente del Pacífico ha sido de aumento, la cual presenta una oscilación entre 16 mm y 220 mm en el período de análisis comprendido entre los años 1971 al 2010.
3. Los índices de temperatura máxima en la Vertiente del Pacífico proporcionan evidencia de la existencia de un aumento en la frecuencia de días calurosos y ligera disminución en la frecuencia de días frescos. Los resultados indican que en las últimas décadas se evidencia un incremento en las temperaturas mínimas de las estaciones analizadas, condición que es avalada por el incremento del 38% de las noches cálidas y un incremento de 32 % de los días cálidos. En cuanto a la precipitación, en amplios sectores de la Vertiente del Pacífico de Guatemala, los eventos de grandes precipitaciones tienden a crecer, pues las cantidades máximas mensuales de precipitación en un día, así como los días muy húmedos han aumentado en un 95%. Sin embargo, al realizar análisis de varianza, solamente tres estaciones presentaron incremento en lluvia estadísticamente significativo.

## 2.10 Recomendaciones

1. Se recomienda el mantenimiento de las redes de medición ya que son tareas que deben ser permanentes y consideradas prioritarias ya que ayudan al entendimiento del clima regional, y son de gran ayuda para realizar estudios y tomar en consideración medidas de adaptación y mitigación al cambio climático, ya que se ha observado que en los últimos años las estaciones han tenido una fuerte reducción en el número de estaciones en operación.
2. Dado que estos análisis se basaron en datos observados, es factible evaluar el impacto de estos cambios en diversos sectores como energía, salud, agricultura y en el contexto de toma de decisiones, una de las cuales es la implementación a corto plazo de proyectos de mitigación ante desastres naturales que vayan dirigidos a minimizar los daños en la población más vulnerable, posteriormente, deben implementarse proyectos a mediano y largo plazo, a nivel de gobierno, que velen por el diseño de sistemas de acción inmediata ante eventos climáticos extremos para garantizar un mínimo impacto en cualquier sector económico o social que afecte a la población guatemalteca.
3. Tomando como base los datos obtenidos en esta investigación, se recomienda el desarrollo de un modelo, a través de un análisis de regresión lineal, que estime el comportamiento de las variables climáticas de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial en función del tiempo, así como otras variables climáticas, como la humedad relativa, que ayuden a presentar un modelo que se ajuste de la mejor manera a la realidad.

## 2.11 Bibliografía

1. Castellanos, E; Guerra, A. 2007. El cambio climático y sus efectos sobre el desarrollo humano en Guatemala. Guatemala, Universidad del Valle de Guatemala, Centro de Estudios Ambientales / PNUD. 51 p.
2. EducaPlus.org. 2012. Variables climáticas (en línea). Consultado 21 mar 2012. Disponible en [http://www.educaplus.org/climatic/01\\_atm\\_compo.html](http://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html)
3. Fallas, SJ; Oviedo, J. 2003. Fenómenos atmosféricos y cambio climático, visión centroamericana: guía para el docente (en línea). Costa Rica, MINAE / MEP. 150 p. Consultado 20 mar 2012. Disponible en [www.recursohidricos.org/biblioteca/doc\\_download/183-fenomenos-atmosfericos-y-cambio-climatico-vision-centroamerica](http://www.recursohidricos.org/biblioteca/doc_download/183-fenomenos-atmosfericos-y-cambio-climatico-vision-centroamerica)
4. IARN (Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente, GT). 2011. Cambio climático y biodiversidad (elementos para analizar sus interacciones en Guatemala con un enfoque sistémico). Guatemala, Universidad Rafael Landívar. 99 p.
5. Instituto Geofísico del Perú. 2003. Estudio de la capa de ozono en el observatorio de Huancayo. Lima, Perú. 22 p.
6. IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change, CL). 2008. Cambio climático 2007 informe de síntesis. Chile. 114 p.
7. Lines Escardó, E. 2000. Clima cambio climático (en línea). RAM Revista de Aficionados a la Meteorología. Consultado 20 mar 2012. Disponible en <http://www.tiempo.com/ram/7772/clima-y-cambio-climatico/>
8. Luna, JR. 2005. Vulnerabilidad de la costa del Pacífico de Guatemala ante un posible ascenso del nivel del mar (en línea). Guatemala. Consultado 21 mar 2012. Disponible en [http://cesem.ingenieriasac.edu.gt/index.php?option=com\\_content&view=article&id=15&Itemid=23](http://cesem.ingenieriasac.edu.gt/index.php?option=com_content&view=article&id=15&Itemid=23)
9. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2007. Compilación y síntesis de los estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Guatemala. 43 p.
10. Portalplanetasedna.com.ar. 2012. Efecto invernadero (en línea). Argentina. Consultado 20 mar 2012. Disponible en [http://www.portalplanetasedna.com.ar/efecto\\_invernadero1.htm#efe](http://www.portalplanetasedna.com.ar/efecto_invernadero1.htm#efe)
11. Renom, M. 2009. Temperaturas extremas en Uruguay análisis de la variabilidad temporal de baja frecuencia y su relación con la circulación de gran escala. Tesis

- Ph.D. Argentina, Universidad de Buenos Aires, Área de Ciencias de la Atmósfera y los Océanos. 194 p.
12. Samaniego, J. 2010. El cambio climático en América Latina y El Caribe: una reseña. Santiago, Chile, CEPAL / GTZ. 148 p. (Documento de proyecto).
  13. Vásquez, M. 2004. Consecuencias del cambio climático en la salud de la población mundial. Perú, Ministerio del Ambiente. 60 p.
  14. Villegas, M. 1990. Aspectos generales del clima (el clima de Guatemala). Guatemala, INSIVUMEH. 27 p.
  15. Wikipedia.org. 2012. Elementos del clima (en línea). España. Consultado 21 mar 2012. Disponible en [http://es.wikipedia.org/wiki/Elementos\\_del\\_clima](http://es.wikipedia.org/wiki/Elementos_del_clima)



*Rolando Barrios*





**CAPÍTULO III**  
**SERVICIOS REALIZADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y**  
**SERVICIOS CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA,**  
**VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA (INSIVUMEH)**



### 3.1 Presentación

Tras la realización del diagnóstico en el Departamento de Investigación y Servicios Climáticos del INSIVUMEH, se logró identificar la problemática que existe en la calidad de datos climáticos con las que cuenta el departamento. Debido a la importancia de contar con una base de datos climáticos confiable, se decidió realizar un control de calidad, a través del uso del software estadístico RClimdex, para garantizar la fiabilidad de los mismos.

La metodología empleada consistió de una primera fase, en la cual se reunió toda la información de las estaciones meteorológicas correspondientes al período de 1970 a 2011. Posteriormente, se ordenaron los datos según el formato de entrada que requiere el software RClimdex para poder llevar a cabo el análisis. Finalmente, se analizaron los reportes de datos fuera del rango estimado, así como los reportes de errores, terminado con una comparación de los datos archivados que provienen directamente de las estaciones meteorológicas.

Tras completar exitosamente el análisis de los datos climáticos de temperatura máxima y mínima, así como de la precipitación pluvial, de las 51 estaciones, se logró determinar que el porcentaje de datos faltantes para la variable de precipitación pluvial oscila en un rango entre 2.37% a 81.32%, para la temperatura máxima dicho porcentaje oscila en un rango entre 2.75% a 81.34% y finalmente, para la temperatura mínima la oscilación del porcentaje de datos faltantes se encuentra entre 2.45% a 81.29%.

Tras realizar la evaluación del servicio se estableció que se logró alcanzar un 95% del cumplimiento, ya que el software estadístico RClimdex por tener una metodología de análisis basada en probabilidades, pudo haber obviado algunos valores atípicos de la serie de datos utilizada, a pesar de contar con una adecuada alimentación de datos por parte del operario; y debido a que la corrección de los datos se realiza en base al reporte de dicho software aún cabe la posibilidad de que existan valores erróneos de las variables climáticas analizadas.

### **3.2 Servicio 1: Análisis de control de calidad de los datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial de las estaciones de la red meteorológica nacional para el período de 1970 al 2011.**

#### **3.2.1 Objetivos**

##### **A Objetivo general**

- Realizar un control de calidad de los datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvia de las estaciones meteorológicas que posean registros del período de 1970 a 2011.

##### **B Objetivos Específicos**

- Realizar un control de calidad de los datos de temperatura máxima, mínima y precipitación pluvial a través del uso del software estadístico RClimindex.
- Cuantificar el porcentaje de datos faltantes en la serie de datos de temperatura máxima, mínima y precipitación pluvial.

### 3.2.2 Metodología

#### A Evaluación de control de calidad de datos climáticos

##### a Procesamiento de la información.

1. Se reunió la información de todas las estaciones meteorológicas y se identificaron las estaciones que registran temperatura y precipitación pluvial, al igual las estaciones que tuvieran registro desde el año 1970 al año 2011.
2. Se reunió la información de todas las estaciones y se ordenaron los datos según formato de entrada del programa, para luego correr el software estadístico RClimDex.
3. Los datos fueron sistematizados de tal forma que cumplieran ciertas características y se ajustaran a los formatos de entrada de los archivos utilizados en el programa RClimDex. Los requisitos de cada archivo son los siguientes:
  1. Una primera columna debe ser el año de registro.
  2. La segunda columna el número del mes.
  3. La tercera columna es el día.
  4. La cuarta columna es el dato de precipitación, con un decimal. Los vacíos deben cambiarse con el número -99.9 (valor indiferente al programa y por lo tanto no altera los resultados).
  5. La quinta y sexta columna corresponden a los datos de temperatura máxima y mínima respectivamente, con un decimal. Los vacíos también deben cambiarse con el número -99.9 (valor indiferente al programa y por lo tanto no altera los resultados).
  6. El archivo de 6 columnas se graba como texto (TXT).
  7. Cuando en una fecha faltan los tres datos, se puede eliminar.

**b Análisis de la información.**

1. Se analizaron los valores extremos de temperatura máxima y mínima que se encontraron fuera del rango definido.
2. Se comparó con archivos (hojas de campo) si los datos que se encontraban fuera del rango, fueron mal ingresados o fué error de los observadores al tomar y anotar los valores, también se ingresaron algunos datos faltantes en la serie de datos para que las mismas fueran más consistentes.
3. Se compararon los valores atípicos con los valores de estaciones cercanas para verificar si era un error humano, sistemático o si realmente se trataba de un valor extremo.
4. Finalmente se tomó la decisión de modificar, eliminar o preservar el dato.



**Figura 43.** Proceso del análisis de la información.

**c Control de calidad software y control de calidad de usuario.**

Los datos de temperatura (máxima y mínima) y precipitación se sometieron a un control de calidad interno mediante el software RClimDex y otro control de calidad realizado por el usuario, el cual básicamente se hizo por medio de visualización de los datos y gráficas, en

las cuales se logró identificar valores extremos que estuvieron sujetos a revisión. Cabe mencionar que se utilizaron tres desviaciones estándar para dicho análisis.

**d Análisis de reportes de datos fuera del rango estimado.**

Mediante gráficas se logró identificar los valores extraños, que excedían o disminuían exageradamente el rango de variación habitual de la variable que se analizó, es decir, valores poco comunes que estuvieron sujetos de verificación.

**e Comparación con datos archivados.**

Los valores que estuvieron considerablemente fuera del rango de variación habitual fueron comparados con los datos del archivo y se trató de identificar la causa del error (si es de origen humano mediante la digitalización, si son errores del personal que tomó las lecturas, entre otros). Se comparó también con datos de estaciones cercanas para verificar si fue un valor extremo.

**f Reporte de errores.**

Se realizó un reporte para conocer los valores que se encontraron fuera del rango de variación, en el cuál se incluyó el nombre de la estación, el año, el mes, el día, la variable, el dato original y el valor por el cual fue corregido; así mismo la posible causa de error.

**B Panorama general de las bases de datos mediante gráficas de series de tiempo**

En las gráficas siguientes se observan marcados con rojo los datos faltantes, lo cual ayudó a visualizar el porcentaje de los mismos y así poder revisar si realmente no fueron registrados los datos, no se encontraron los archivos o porque simplemente no han sido ingresados los datos. El software generó una gráfica de  $t_{max}$ , una gráfica de  $t_{min}$  y una gráfica de amplitud térmica. Igualmente generó histogramas. Las gráficas observadas, pertenecen a la estación de San Marcos, ubicada en el departamento de San Marcos; en el período de 1970-2011.

Datos faltantes

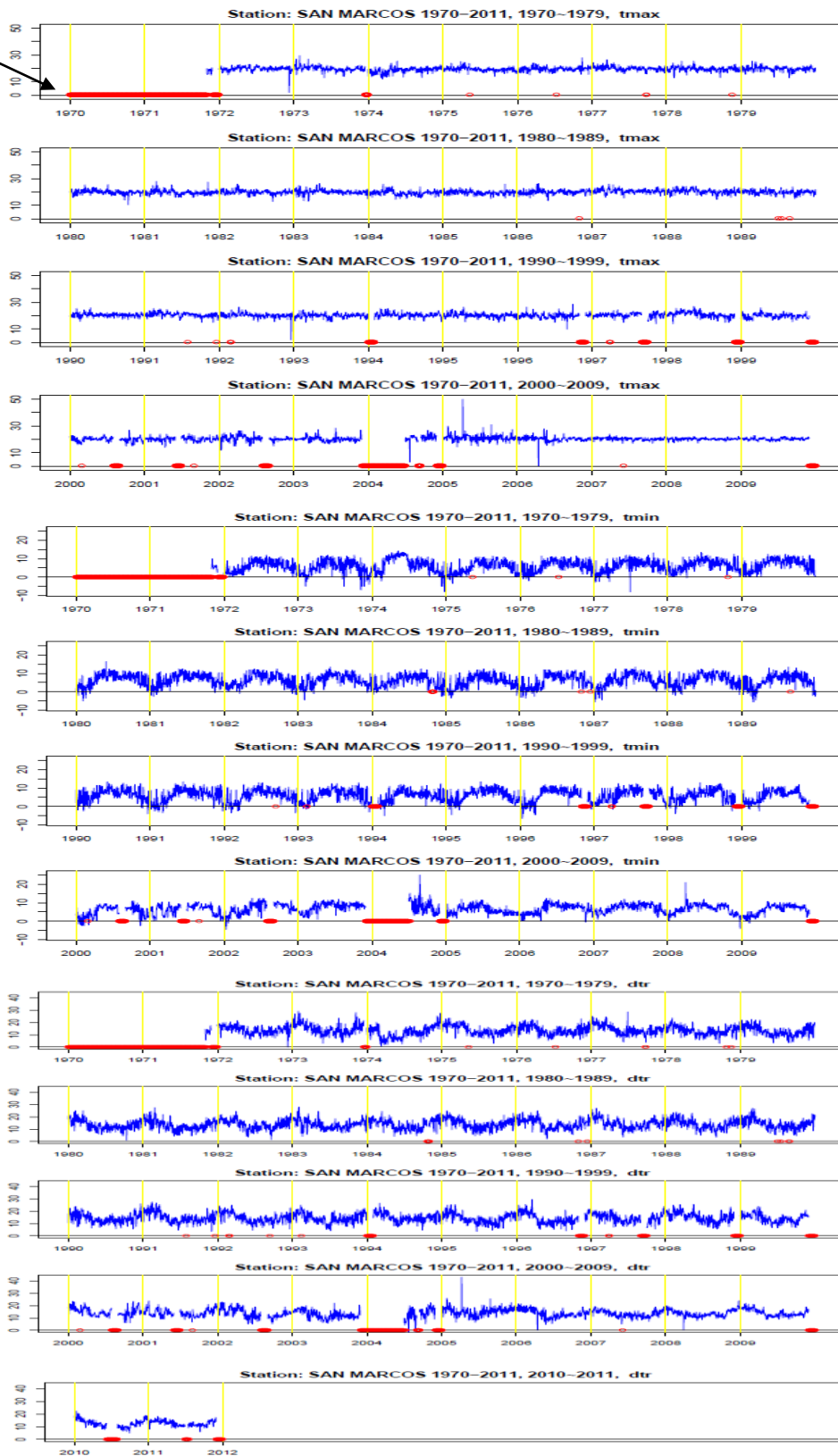


Figura 44. Gráfico de visualización de datos faltantes.



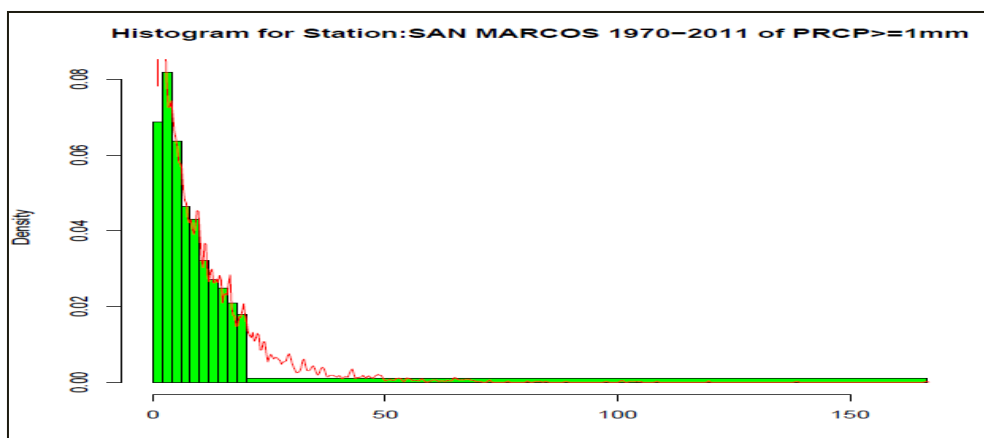


Figura 45. Histograma de la estación analizada.

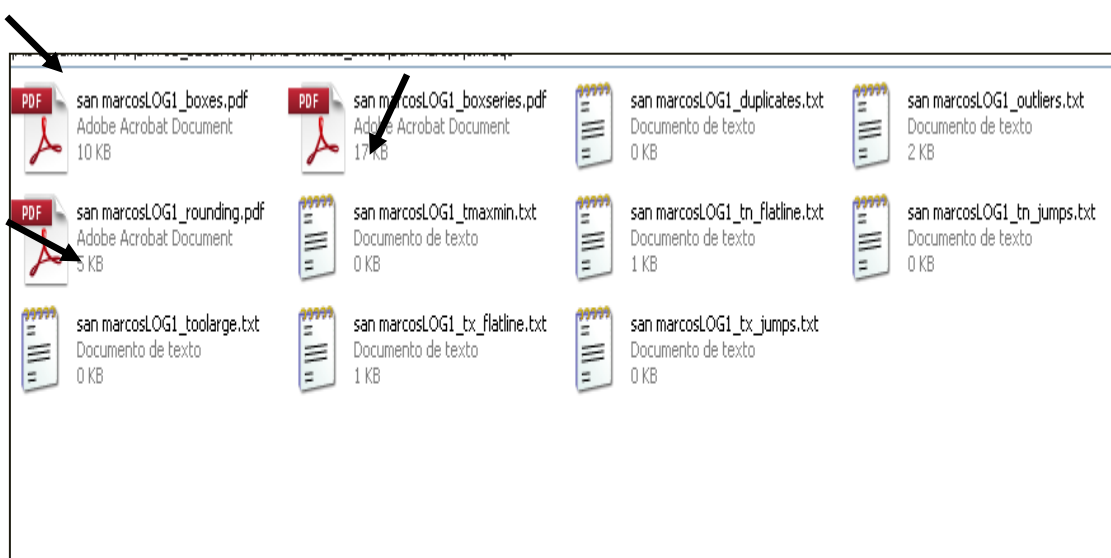


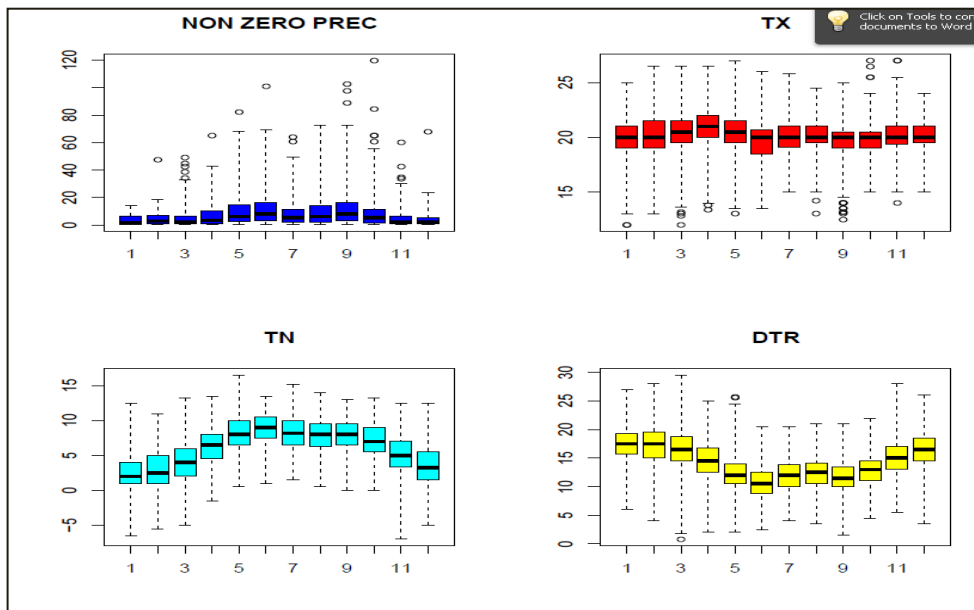
Figura 46. Archivos que genera RCLimDex\_extraQC.

### a Archivos con gráficos.

1. **miestacion\_boxes.pdf**: diagramas box-plot mensuales para el conjunto de la serie, para precipitación por encima de 0 mm; temperatura máxima diaria, temperatura mínima diaria y DTR (máxima – mínima). Aparecen identificados en forma de círculo aquellos valores que superan el tercer cuartil + 3 veces el rango intercuartílico (5 en precipitación) o los que no alcanzan el primer cuartil – 3 veces el rango intercuartílico (5 en precipitación). Los datos así resaltados representan outliers y su localización concreta – habitualmente evidente precisamente por la su

singularidad – puede obtenerse a partir de la inspección del fichero `miestacion_outliers.txt`

2. **miestacion\_boxseries.pdf**: diagramas de caja para las mismas variables, pero graficados como series anuales.
3. **miestacion\_rounding.pdf**: diagramas de frecuencia de los 10 valores posibles del punto decimal (i.e.,  $x.0, x.1, x.2, \dots, x.9$ ). En precipitación se omiten los valores 0 y permite comprobar si las series están redondeadas.



**Figura 47.** Gráfico de boxplot mensual de `tmax`, `tmin` y `Ppt` de la estación San Marcos.

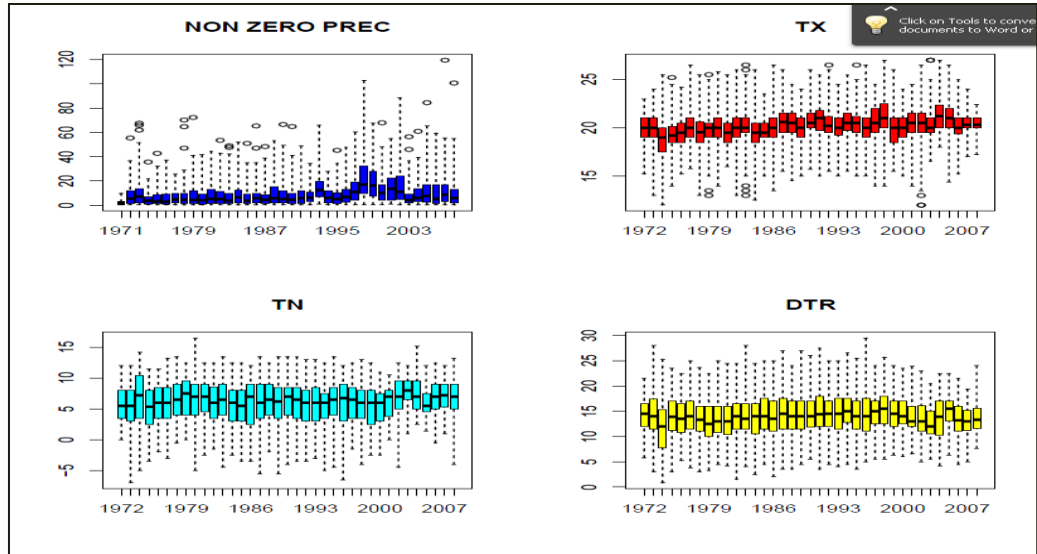


Figura 48. Gráfico boxplot anual de tmax, tmin y Ppt de la estación San Marcos.

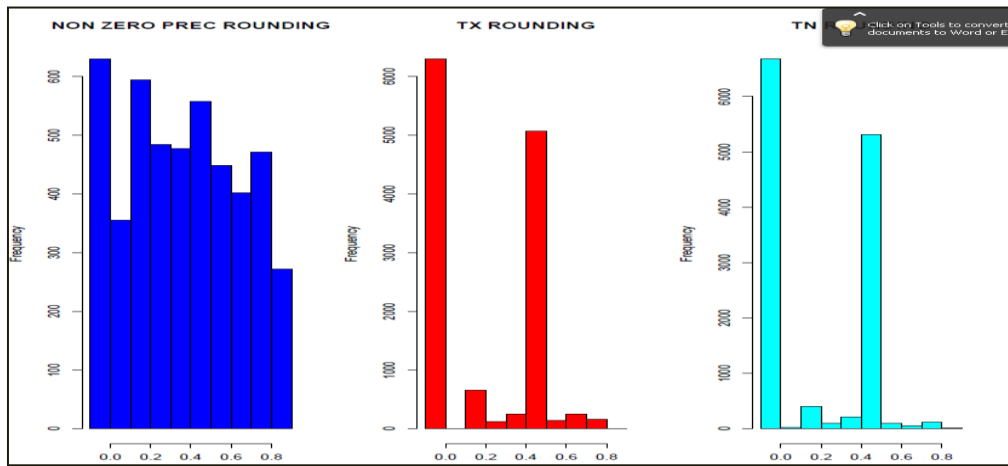


Figura 49. Diagrama de gráficas de redondeo de tmax, tmin y Ppt.

**b Ficheros de texto**

1. **miestacion\_duplicates.txt:** volcado de fechas duplicadas. En caso de que una combinación de año/mes/día aparezca más de una vez, será mostrada en este fichero.
2. **miestacion\_outliers.txt:** volcado de los valores observados determinados como outliers según las especificaciones indicadas para el gráfico 1.
3. **miestacion\_tmaxmin.txt:** volcado de registros en los que la temperatura máxima es inferior o igual a la mínima.

4. **miestacion\_tn\_flatline.txt:** volcado de valores de temperatura mínima que participan en rachas de al menos tres valores consecutivos idénticos. Naturalmente, se excluye la precipitación 0.0. En caso de series redondeadas al entero, este test es de poca utilidad.
5. **miestacion\_tx\_flatline.txt:** análogo al anterior, para temperatura máxima
6. **miestacion\_tn\_jumps.txt:** volcado de diferencias en temperatura mínima en dos días consecutivos superiores a 20°C
7. **miestacion\_tx\_jumps.txt:** análogo al anterior, para temperatura máxima.
8. **miestacion\_toolarge.txt:** volcado de valores considerados excesivamente elevados (valor absoluto > 50 para tx y tn y 200 mm para precipitación).

	A	B	C	D	E	F
1	pc up					
2	1983	2	26.47	7.18	10.5	7.5
3	1981	3	9.44	6.18	5.7	5.11
4	1983	3	15.49	16	7.9	
5	1987	3	7.38	8.17	5.12	
6	1993	3	8.34	3.19	2.9	5.9
7	2005	3	10.42	8.21	8.5	12.5
8	1990	4	29.64	9.18	5.9	5.9
9	2002	5	14.82	4.17	8.9	
10	2008	6	3.10	0.817	2.9	6.7
11	1993	7	3.61	18.5	7.5	11
12	1998	7	1.64	2.18	9.5	8.5
13	1998	9	8.97	5.17	10.7	
14	1998	9	9.10	2.817	10.7	
15	2002	9	24.88	9.20	5.10	10
16	2004	10	7.61	18	9.9	
17	2005	10	4.65	20	5.15	
18	2005	10	5.84	6.22	5.17	
19	2005	10	6.65	4.21	5.16	
20	2007	10	11.11	9.618	11.7	
21	1985	11	3.35	16.5	5.11.5	
22	1997	11	10.60	3.14	8.5	5.5
23	2006	11	7.33	7.20	5.8	12.5
24	2006	11	15.42	7.19	7.7	11.3
25	2000	12	2.68	21.4	5.16.5	
26	tx up					
27	2004	10	18.0	26.5	8.18.5	
28	2004	10	20.0	27	12.15	
29	2004	10	31.0	25.5	7.18.5	
30	2005	10	20.0	25.5	3.6	21.9
31	2003	11	25.0	27.6	5.20.5	
32	2003	11	26.0	27.8	5.18.5	

**Figura 50.** Reporte de outliers.

El software RCLimDex\_extraqc generó también reportes de precipitación, tmax, tmin y amplitud térmica de datos dudosos, los cuales fueron revisados nuevamente con los valores de archivo.

	A	B	C
1	1973	6 3 9.5	3
2	1981	1 15 0	3
3	1985	2 15 0.5	3
4	1990	10 14 6.5	3
5	1991	1 12 1	3
6	1991	2 23 2	3
7	1991	10 5 7.5	3
8	1998	5 31 5	4
9	1999	9 13 7.5	3
10	2000	9 25 7.5	3
11	2001	7 16 8	3
12	2001	7 20 7.5	3
13	2003	2 1 2	6
14	2003	9 2 8.5	3
15	2005	6 27 10.5	3
16	2005	12 6 5	4
17	2006	1 22 0.5	3
18	2007	12 24 3	3
19			
20			
21			
22			
23			
24			

**Figura 51.** Reporte de flatline.

La inspección de flatline permitió identificar rachas excesivamente largas de valores iguales. En éste reporte se mostró el año, mes, día, el valor y el número de veces que aparece repetido. En función de esto último se aplicó el conocimiento sobre la variabilidad climática del lugar y se actuó. Por otro lado, se debe tener en cuenta que el método de QC no es identificar solamente errores, sino identificar también una gama amplia de valores sospechosos que con el conocimiento que se tenga se debe decidir si se trata de un error o de un valor legítimo que muy probablemente sea un valor extremo.

Con cada valor identificado se decidió:

- a) Se trata de un valor correcto: Validación.
- b) Se trata de un valor incorrecto y se puede sustituir: Corrección.
- c) Se trata de un valor incorrecto, pero no se puede inferir en el valor real: Sustitución por -99.9

A continuación se presentan las estaciones a las cuales se les realizó el control de calidad con el software estadístico RCLimDex.

**c Mapa de ubicación de estaciones climáticas.**



**Figura 52.** Ubicación de estaciones climáticas.

**d Listado de estaciones meteorológicas.**

**Cuadro 12.** Listado de estaciones meteorológicas.

No.	Longitud	Latitud	Departamento	Estación
1	-89.8106	15.6083	Alta Verapaz	Santa María Cahabón
2	-90.438889	16.066667		San Agustín Chixoy
3	-89.936944	15.305555		Papalhá
4	-90.4075	15.4667		Cobán
5	-89.6439	15.3972		Panzós
6	-90.614167	15.108889	Baja Verapaz	Cubulco
7	-90.25	15.0611	Chimaltenango	San Jerónimo
8	-90.9153	14.6867		Santa Cruz Balanyá
9	-90.7886	14.7786		San Martín Jilotepeque

<b>10</b>	-90.803333	14.633889		Alameda ICTA
<b>11</b>	-89.3728	14.8206	Chiquimula	Camotán
<b>12</b>	-89.5086	14.5589		Esquipulas
<b>13</b>	-89.949167	15.0525	El Progreso	Los Albores
<b>14</b>	-90.141944	14.930278		Morazán
<b>15</b>	-91.0508	14.325	Escuintla	Camantulul
<b>16</b>	-90.8292	14.3828		Sabana Grande
<b>17</b>	-90.8344	13.9361		San José
<b>18</b>	-90.454722	14.776389	Guatemala	San Pedro Ayampuc
<b>19</b>	-90.5328	14.5864		INSIVUMEH
<b>20</b>	-91.952778	15.406389	Huehuetenango	Cuilco
<b>21</b>	-91.5031	15.3172		Huehuetenango
<b>22</b>	-91.763333	15.495278		San Pedro Necta
<b>23</b>	-91.427222	15.663889		San Pedro Soloma
<b>24</b>	-91.6036	15.5047		Todo Santos
<b>25</b>	-88.9667	15.6		Las Vegas
<b>26</b>	-89.07781	15.42866	Izabal	Mariscos
<b>27</b>	-88.5917	15.7378		Puerto Barrios
<b>28</b>	-89.8756	14.4928		La Ceibita
<b>29</b>	-89.9322	14.7606	Jalapa	Potrero Carrillo
<b>30</b>	-89.7058	14.3344	Jutiapa	Asunción Mita
<b>31</b>	-90.155	13.8089		Montufar
<b>32</b>	-90.0378	14.2661		Quezada
<b>33</b>	-89.8664	16.9147	Petén	Flores
<b>34</b>	-90.948611	17.259722		San Pedro Mactún
<b>35</b>	-91.5139	14.87	Quetzaltenango	Labor Ovalle
<b>36</b>	-91.024444	15.043889	El Quiché	Chiniqué
<b>37</b>	-91.0922	15.2911		Chuitinamit
<b>38</b>	-91.1422	15.3981		Nebaj
<b>39</b>	-91.724444	14.588333	Retalhuleu	El Asintal
<b>40</b>	-91.6958	14.5219		Retalhuleu
<b>41</b>	-90.6611	14.6169	Sacatepéquez	Suiza Contenta
<b>42</b>	-92.0772	14.8556	San Marcos	Catarina

<b>43</b>	-91.809444	14.954167		San Marcos
<b>44</b>	-92.139444	14.673611		Tecún Umán
<b>45</b>	-90.2783	14.2528	Santa Rosa	Los Esclavos
<b>46</b>	-91.140556	14.693056	Sololá	El Capitán
<b>47</b>	-91.1819	14.7903		Santa María El Tablón
<b>48</b>	-91.231389	14.631667		Santiago Atitlán
<b>49</b>	-89.5844	14.9642	Zacapa	La Fragua
<b>50</b>	-89.2911	14.9633		La Unión
<b>51</b>	-89.68	15.03		Pasabién

**Fuente:** Elaboración propia.



### 3.2.3 Resultados

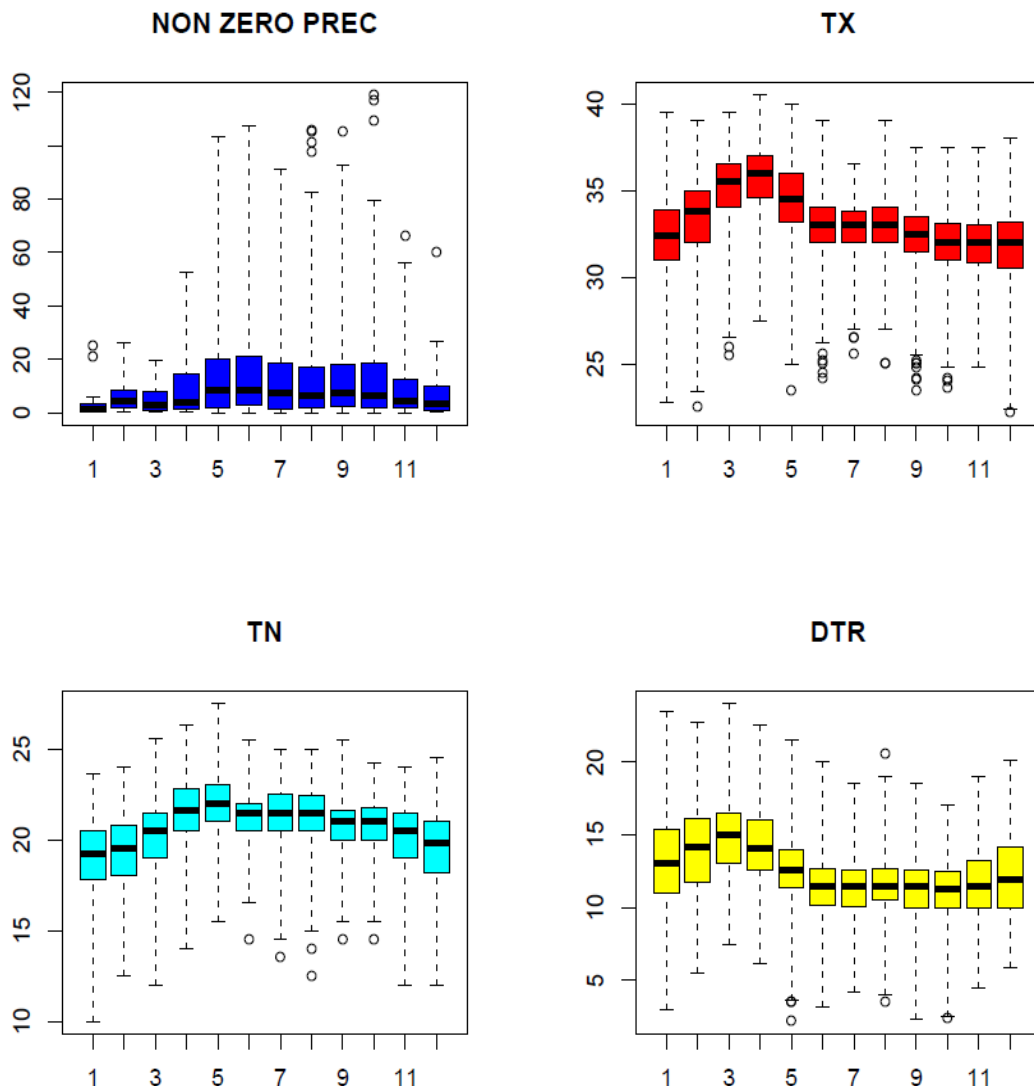
#### A Análisis de estaciones

A continuación se presenta el análisis de cada una de las estaciones a las cuales se les realizó control de calidad. En un primer cuadro se presenta el nombre de la estación analizada, la fecha la cual se encontró un valor dudoso, el dato original, seguidamente está el dato corregido que es el valor por el cual se sustituyó el anterior, y por último una observación la cual indica qué variable fue corregida, si se empleó un promedio, si se realizó un cambio porque estaba mal ingresado o si estaba mal colocado el punto, etc. Luego se muestran los datos totales, datos faltantes, período en años y el porcentaje de datos faltantes de las tres variables analizadas, éste análisis pertenece a la base de datos corregida.

**Cuadro 13.** Análisis de la estación Asunción Mita.

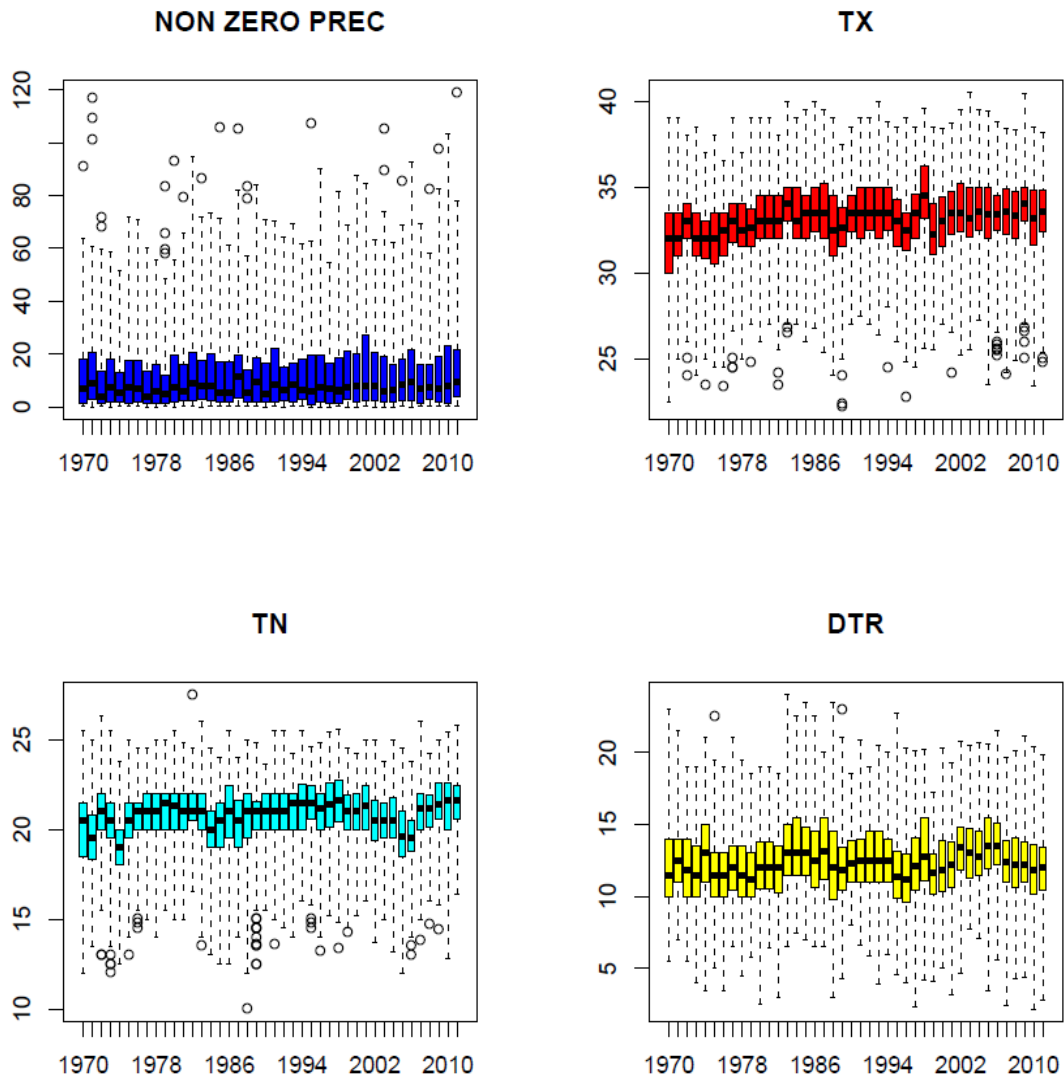
<b>Estación Asunción Mita</b>			
<b>Fecha</b>	<b>Dato Original</b>	<b>Dato Corregido</b>	<b>Observaciones</b>
27/08/1985	105.5	106.9	Corrección Ppt mensual
05/02/1970	22.5	27.2	Mal ingresado
<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Datos totales	15624	15624	15624
Datos faltantes	275	362	365
Período en años	42	42	42
% datos faltantes	1.76%	2.32%	2.34%

**Fuente:** Elaboración propia.



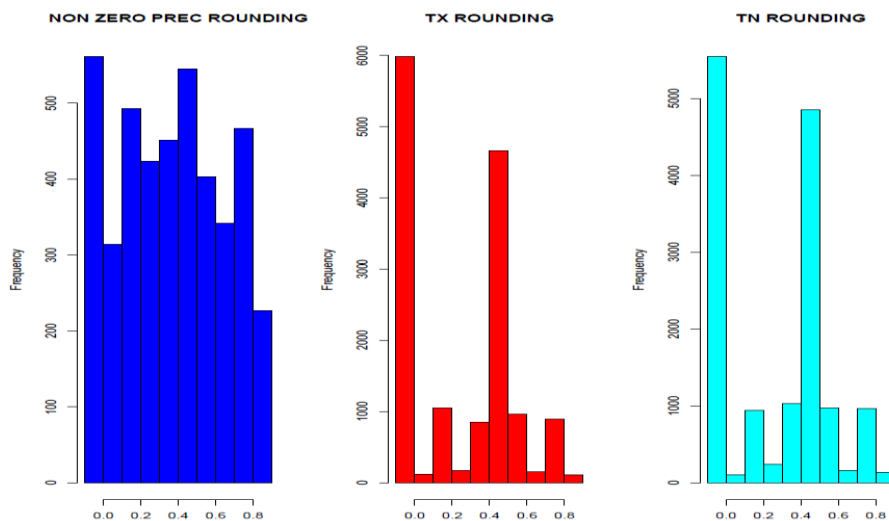
**Figura 53.** Gráficas tipo boxplot mensuales de Tmax, Tmin, Ppt y amplitud térmica.

En la figura 2, se presentan gráficos tipos boxplot mensuales de precipitación pluvial en la que se puede observar que existe un probable valor atípico mayor de 120 mm. En el gráfico de temperatura máxima (TX) se observa que la mayoría de datos se encuentra en un rango de 30C a 35C y que se encuentran algunos valores atípicos menores a 25C. En el caso de la temperatura mínima (TN) se observa que hay posibles valores atípicos menores a 13C y que la mayoría de datos se encuentra en el rango de entre 20C y 23C.



**Figura 54.** Gráficas tipo boxplot anuales de Tmax, Tmin, Ppt y amplitud térmica.

En la figura 3, se observan gráficas tipo boxplot anuales, las cuales ayudan a una inspección visual de la serie de datos a grandes rasgos. En la precipitación (PREC) se observan posibles valores atípicos que se encuentran arriba de los 120 mm. En la temperatura mínima (TN), se observa un valor atípico alrededor del año 1981, el cual indica que la TN es mayor a 25C.



**Figura 55.** Diagramas de valores de redondeo de Tmax, Tmin y Ppt.

En la figura 4, se observan diagramas de frecuencia de los diez valores posibles de punto decimal, los cuales indican que la precipitación pluvial se redondea en 0.0 y 0.5; la temperatura máxima se redondea mayormente en 0.0 al igual que la temperatura mínima.

## B Cuantificación del porcentaje de datos faltantes

En el cuadro 2 se presenta un resumen del análisis de las estaciones pertenecientes a la red meteorológica nacional para los datos de precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima. Como puede observarse, existen estaciones que muestran porcentajes de hasta 80% de datos faltantes, lo cual es debido, en la mayoría de casos, a un mal funcionamiento de los aparatos de medición, así como la falta de observadores durante períodos de tiempo muy prolongados.

**Cuadro 14.** Resumen del análisis de datos faltantes de las estaciones de la red meteorológica nacional.

% DATOS FALTANTES				
No.	Estación	Precipitación	Tmax	Tmin
1	Esquipulas	4.70%	6.00%	4.43%
2	Labor Ovalle	2.89%	3.42%	3.94%
3	Los Esclavos	3.96%	5.40%	5.70%

4	Montufar	13.98%	13.50%	14.43%
5	Quezada	3.59%	5.38%	4.88%
6	Retalhuleu	22.85%	19.91%	22.41%
7	Sabana Grande	4.44%	12.01%	13.29%
8	San Marcos	9.56%	10.34%	10.49%
9	Suiza Contenta	10.15%	18.18%	17.49%
10	Catarina	6.91%	10.34%	19.31%
11	Alameda ICTA	21.04%	19.12%	19.18%
12	Tecún Umán	81.32%	81.34%	81.29%
13	Santa María Cahabón	12.30%	11.97%	12.35%
14	Cobán	5.68%	6.27%	6.27%
15	Panzós	23.25%	32.88%	34.24%
16	Cubulco	22.30%	29.79%	27.71%
17	San Jerónimo	2.92%	3.65%	3.57%
18	Santa Cruz Balanyá	2.92%	3.65%	3.57%
19	San Martín Jilotepeque	2.59%	2.75%	3.53%
20	Camotán	4.08%	5.87%	5.42%
21	Los Albores	61.62%	62.66%	62.14%
22	Camantulul	4.28%	4.26%	4.28%
23	San Pedro Ayampuc	9.94%	39.19%	39.26%
24	INSIVUMEH	2.82%	10.14%	10.32%
25	Cubulco	13.31%	10.86%	8.29%
26	Huehuetenango	2.37%	3.42%	2.45%
27	San Pedro Necta	6.66%	7.16%	7.71%
29	Todos Santos	9.24%	13.11%	8.69%
30	Las Vegas	10.08%	13.17%	12.76%
31	Mariscos	38.94%	37.90%	38.30%
32	Puerto Barrios	3.60%	4.04%	4.20%
33	La Ceibita	3.51%	3.75%	4.19%
34	Potrero Carrillo	9.86%	11.21%	16.30%

35	Flores	9.24%	9.29%	9.34%
36	Chinique	11.46%	13.13%	13.19%
37	Chuitinamit	3.23%	10.82%	5.02%
38	Nebaj	3.84%	10.84%	3.90%
39	El Capitán	29.53%	37.10%	37.23%
40	Santa María el Tablón	57.47%	57.57%	57.58%
41	Santiago Atitlán	11.36%	14.15%	13.32%
42	La Fragua	7.41%	6.80%	6.36%
43	La Unión	6.21%	6.55%	13.28%
44	Pasabien	4.33%	3.76%	4.31%
45	San Pedro Mactún	35.57%	36.16%	36.48%
46	San Agustín Chixoy	14.50%	25.51%	20.39%
47	Papalhá	12.37%	30.64%	32.02%
48	Morazán	11.80%	11.76%	11.92%
49	San Pedro Soloma	14.36%	22.07%	13.78%
50	El Asintal	35.02%	47.31%	36.41%
51	San José	10.78%	8.23%	8.24%

### 3.2.4 Evaluación

Tras la realización del control de calidad, se logró establecer un cumplimiento del 95% con respecto a los objetivos del presente servicio, ya que el software estadístico RClimDex pudo no haber tomado en cuenta todos los valores atípicos en la serie de datos, ya que se corrigieron, únicamente, los datos que se enlistaron en los reportes generados por el software. En cuanto al objetivo de realizar el proceso de control de calidad a 51 estaciones meteorológicas, esto se cumplió al 100%.

En el Departamento de Investigación y Servicios Climáticos de INSIVUMEH, se contaba con una serie de datos disponibles de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial en el período de 1970 al 2011; pero ninguna contaba con la aplicación

de un proceso de control de calidad, por lo tanto eran series de datos no confiables, ya que por diferentes situaciones como errores de origen humano, errores de digitalización de los datos como cuando se ha digitado 350 en vez de 35.0, errores sistemáticos por mala calibración de los instrumentos de medición, entre otros; el departamento no contaba con una serie de datos consistente.

El control de calidad que se realizó a los datos de temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial en el período de 1970 al 2011 servirá a futuro al Departamento de Investigación y Servicios Climáticos para llevar a cabo estudios relacionados con la variabilidad climática, para la elaboración de diferentes productos en el área de agrometeorología, para realizar pronóstico mensual y estacional, y para los diferentes análisis climatológicos que realiza el departamento. Los datos también servirán para la generación de productos operativos y de investigación, ya que los registros climáticos largos de calidad forman la base para la información del clima y es un paso imprescindible para la realización de cualquier estudio climático. Las series de datos con control de calidad pueden servir también para la validación de modelos climáticos, ya que éstos precisan también de series de observaciones de máxima calidad.

### **3.2.5 Conclusiones**

1. Se realizó control de calidad a los datos climáticos a través del software estadístico RCLimDex, a 51 series de datos de precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima correspondientes a las estaciones de la red meteorológica nacional para el período de 1970 a 2011.
2. El porcentaje de datos faltantes para la variable climática de precipitación pluvial oscila en un rango entre 2.37% a 81.32%. Para el caso de la temperatura máxima el porcentaje de datos faltantes oscila en un rango entre 2.75% a 81.34%. Finalmente, para la temperatura mínima, el porcentaje de datos faltantes oscila entre 2.45% a 81.29%.

### 3.2.6 Recomendaciones

1. Se recomienda considerar las diferentes componentes que pueden estar incidiendo de forma conjunta en brechas de valores consecutivos nulos y valores atípicos; estableciendo ciertas normas tanto a los digitalizadores, como a los observadores meteorológicos.
2. Realizar un programa de capacitaciones continuas dirigida, tanto al personal de campo como al personal digitalizador para fomentar la conciencia sobre la importancia de la calidad de los datos climáticos, así mismo, realizar un mantenimiento y calibración continuo a los aparatos de medición con los que cuenta cada estación de la red meteorológica nacional.
3. Hacer énfasis en puntos de control para cada proceso en el que pasa un dato, desde que se origina hasta que es guardado finalmente en una base de datos.



### 3.3 APÉNDICES

#### Análisis de varianza de la variable precipitación pluvial

A continuación se muestra el análisis de varianza analizado por década para cada estación.

##### a) Análisis de varianza Ppt\_Alameda\_Icta

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Alameda Icta	37	0.05	0.00	44.98

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	255986.05	3	85328.68	0.52	0.6686
Década	255986.05	3	85328.68	0.52	0.6686
Error	5370800.59	33	162751.53		
Total	5626786.64	36			

##### b) Análisis de varianza Ppt\_AsunciónMita

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt AsunciónMita	40	0.09	0.02	16.67

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	182897.88	3	60965.96	1.26	0.3036
Década	182897.88	3	60965.96	1.26	0.3036
Error	1745897.52	36	48497.15		
Total	1928795.41	39			

##### c) Análisis de varianza Ppt\_Catarina

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Catarina	40	0.19	0.12	21.68

##### Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	4558717.62	3	1519572.54	2.82	0.0526
Década	4558717.62	3	1519572.54	2.82	0.0526
Error	19400497.95	36	538902.72		
Total	23959215.57	39			

## d) Análisis de varianza Ppt\_El Capitán

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt El Capitán	33	0.11	0.02	43.52

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	720274.74	3	240091.58	1.18	0.3359
Década	720274.74	3	240091.58	1.18	0.3359
Error	5920600.92	29	204158.65		
Total	6640875.67	32			

## e) Análisis de varianza Ppt\_Esquipulas

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Esquipulas	40	0.18	0.12	20.70

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	880697.41	3	293565.80	2.70	0.0604
Década	880697.41	3	293565.80	2.70	0.0604
Error	3920905.58	36	108914.04		
Total	4801603.00	39			

## f) Análisis de varianza Ppt\_LaborOValle

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt LaborOValle	40	0.11	0.03	19.04

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	113375.63	3	37791.88	1.41	0.2552
Década	113375.63	3	37791.88	1.41	0.2552
Error	963659.76	36	26768.33		
Total	1077035.40	39			

## g) Análisis de varianza Ppt\_La\_Ceibita

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt La Ceibita	40	0.03	0.00	21.82

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46442.63	3	15480.88	0.34	0.8000
Década	46442.63	3	15480.88	0.34	0.8000
Error	1663232.99	36	46200.92		
Total	1709675.62	39			

## h) Análisis de varianza Ppt\_Los\_Esclavos

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Los Esclavos	40	0.11	0.04	19.53

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	486772.54	3	162257.51	1.50	0.2318
Década	486772.54	3	162257.51	1.50	0.2318
Error	3901856.82	36	108384.91		
Total	4388629.36	39			

## i) Análisis de varianza Ppt\_Montufar

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Montufar	37	0.20	0.13	26.11

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1115180.60	3	371726.87	2.78	0.0566
Década	1115180.60	3	371726.87	2.78	0.0566
Error	4416268.45	33	133826.32		
Total	5531449.05	36			

## j) Análisis de varianza Ppt\_Quezada

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Quezada	40	0.17	0.10	34.36

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	896987.87	3	298995.96	2.43	0.0812
Década	896987.87	3	298995.96	2.43	0.0812
Error	4431363.60	36	123093.43		
Total	5328351.46	39			

## k) Análisis de varianza Ppt\_Reu

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Reu	34	0.10	0.01	24.56

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1549482.37	3	516494.12	1.11	0.3598
Década	1549482.37	3	516494.12	1.11	0.3598
Error	13938413.43	30	464613.78		
Total	15487895.80	33			

## l) Análisis de varianza Ppt\_Sabana\_Grande

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Sabana Grande	40	3.8E-03	0.00	18.57

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	46081.62	3	15360.54	0.05	0.9870
Década	46081.62	3	15360.54	0.05	0.9870
Error	12205113.07	36	339030.92		
Total	12251194.69	39			

## m) Análisis de varianza Ppt\_San\_José\_Aerop

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt San José Aerop	38	0.30	0.23	31.98

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	3231212.76	3	1077070.92	4.79	0.0069
Década	3231212.76	3	1077070.92	4.79	0.0069
Error	7648471.19	34	224955.04		
Total	10879683.95	37			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=589.07344**

Error: 224955.0351 gl: 34

Década Medias n E.E.

2001-2010 1723.66 10 149.99 A

1991-2000 1722.89 10 149.99 A

1981-1990 1405.00 10 149.99 A B

1971-1980 981.04 8 167.69 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

## n) Análisis de varianza Ppt\_San\_Marcos

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt San Marcos	40	0.23	0.17	35.32

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	1981051.83	3	660350.61	3.60	0.0225
Década	1981051.83	3	660350.61	3.60	0.0225
Error	6597375.60	36	183260.43		
Total	8578427.42	39			

**Test:Tukey Alfa=0.05 DMS=515.61120**

Error: 183260.4333 gl: 36

Década Medias n E.E.

2001-2010 1509.84 10 135.37 A

1991-2000 1316.58 10 135.37 A B

1981-1990 1104.49 10 135.37 A B

1971-1980 917.21 10 135.37 B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

## o) Análisis de varianza Ppt\_Suiza\_Contenta

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Suiza Contenta	39	0.08	3.6E-03	32.32

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	371694.06	3	123898.02	1.05	0.3843
Década	371694.06	3	123898.02	1.05	0.3843
Error	4144494.98	35	118414.14		
Total	4516189.04	38			

## p) Análisis de varianza Ppt\_Camantulul

Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt Camantulul	40	0.23	0.16	14.11

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	2823735.29	3	941245.10	3.53	0.0244
Década	2823735.29	3	941245.10	3.53	0.0244
Error	9607477.33	36	266874.37		
Total	12431212.62	39			

**Test: Tukey Alfa=0.05 DMS=622.21635**

Error: 266874.3703 gl: 36

Década Medias n E.E.

2001-2010	4115.62	10	163.36	A
1991-2000	3580.25	10	163.36	A B
1981-1990	3486.56	10	163.36	B
1971-1980	3464.16	10	163.36	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ( $p \leq 0.05$ )

## q) Análisis de varianza Ppt\_media\_regional

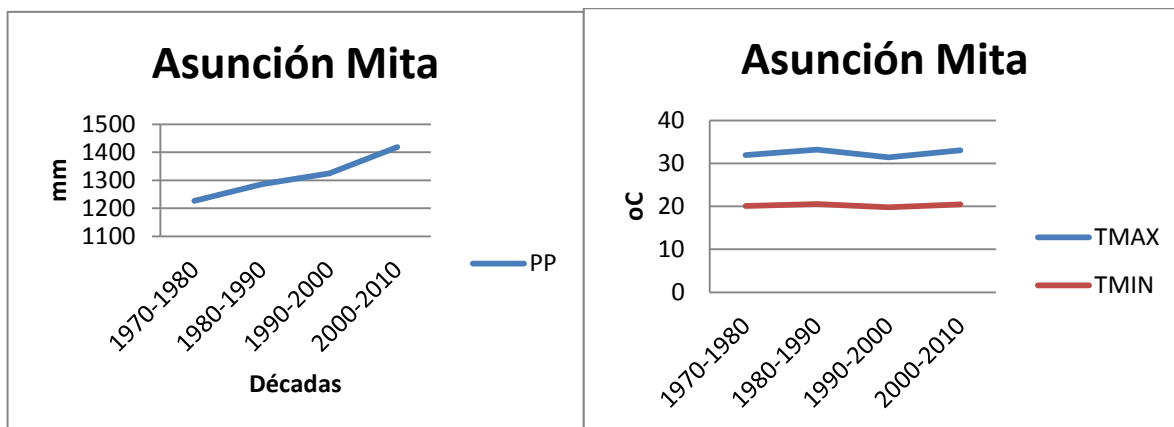
Variable	N	R <sup>2</sup>	R <sup>2</sup> Aj	CV
Ppt media regional	40	0.11	0.03	15.83

**Cuadro de Análisis de la Varianza (SC tipo III)**

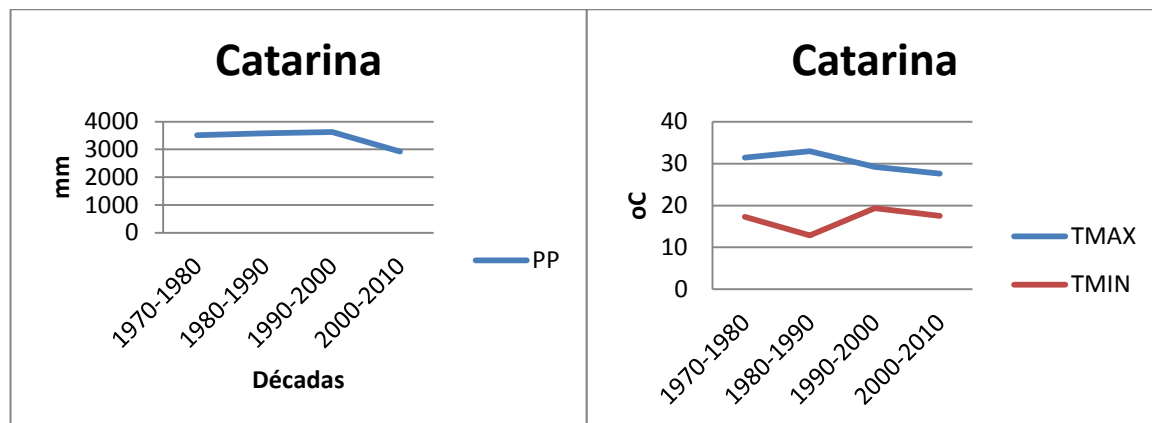
F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor
Modelo.	316238.44	3	105412.81	1.42	0.2535
Década	316238.44	3	105412.81	1.42	0.2535
Error	2676575.25	36	74349.31		
Total	2992813.69	39			

**Gráficas de tendencia decadal de las variables temperatura máxima, temperatura mínima y precipitación pluvial.**

A continuación se presentan gráficos por estación en el que se puede observar la tendencia decadal de precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima.



**Figura 56 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Asunción Mita.



**Figura 57 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Catarina.

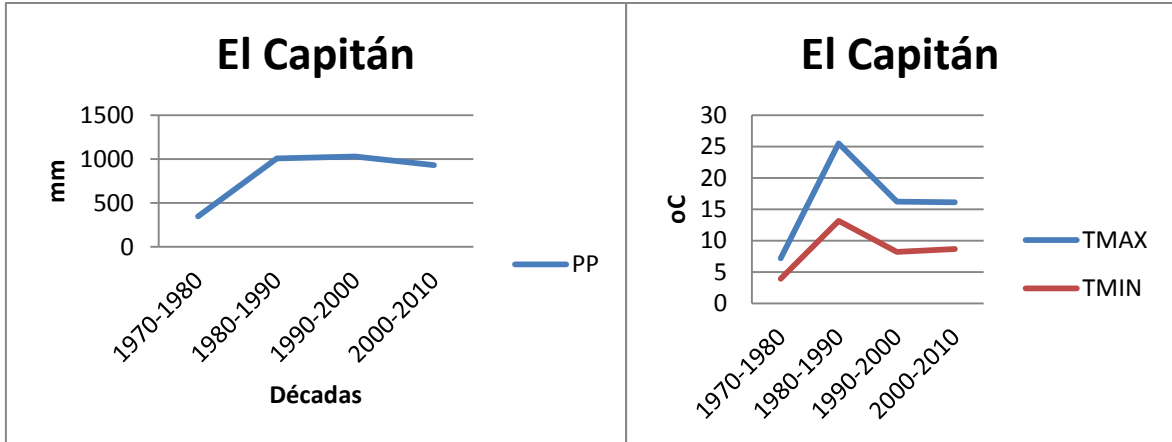


Figura 58 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación El Capitán.

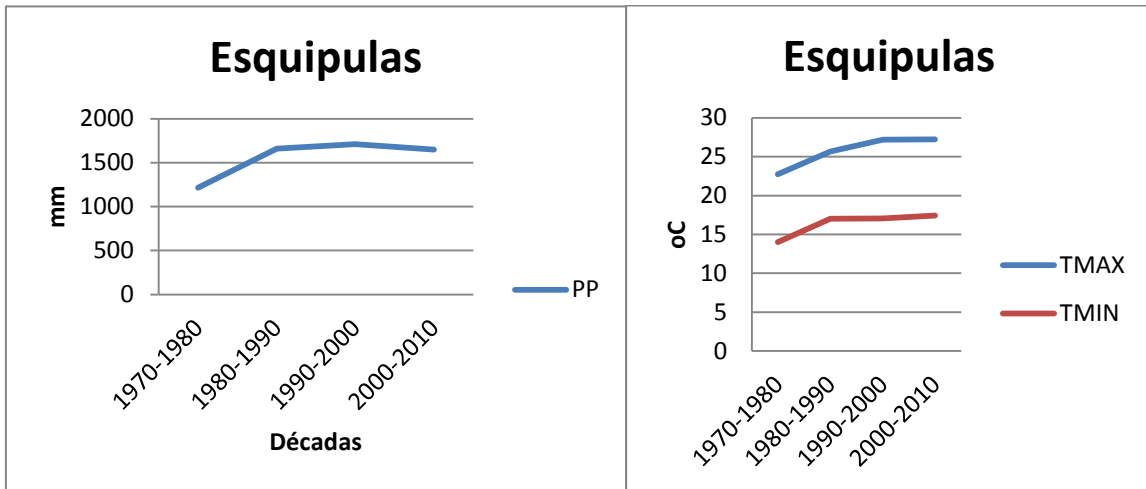


Figura 59 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Esquipulas.

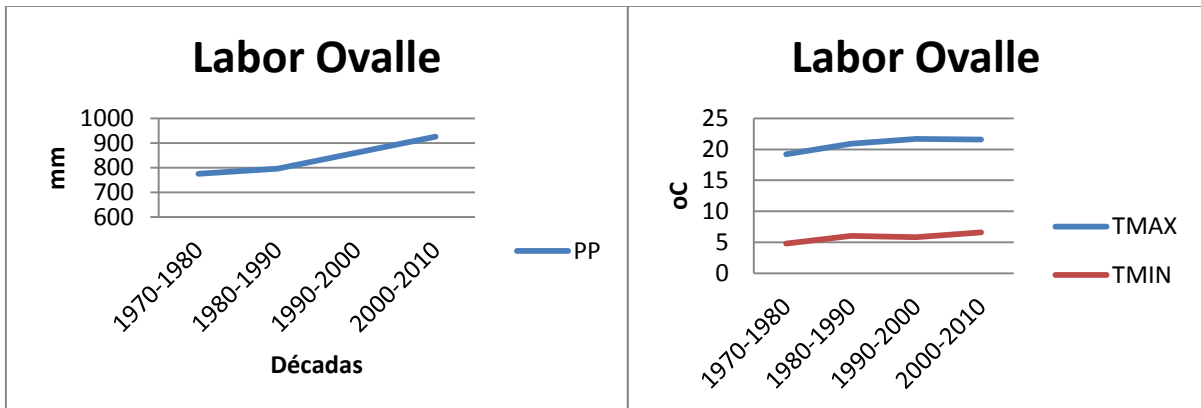


Figura 60 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Labor Ovalle.

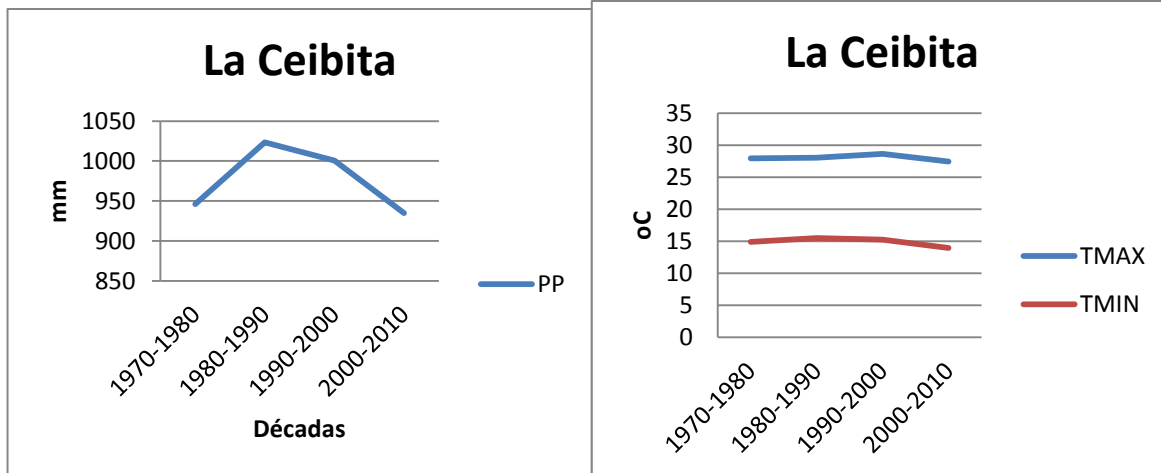


Figura 61 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación La Ceibita.

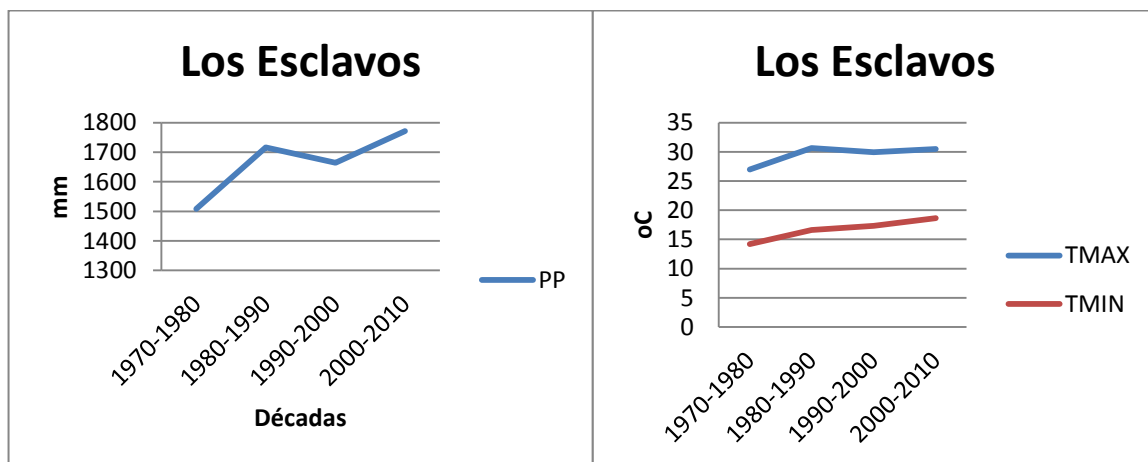


Figura 62 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Los Esclavos.

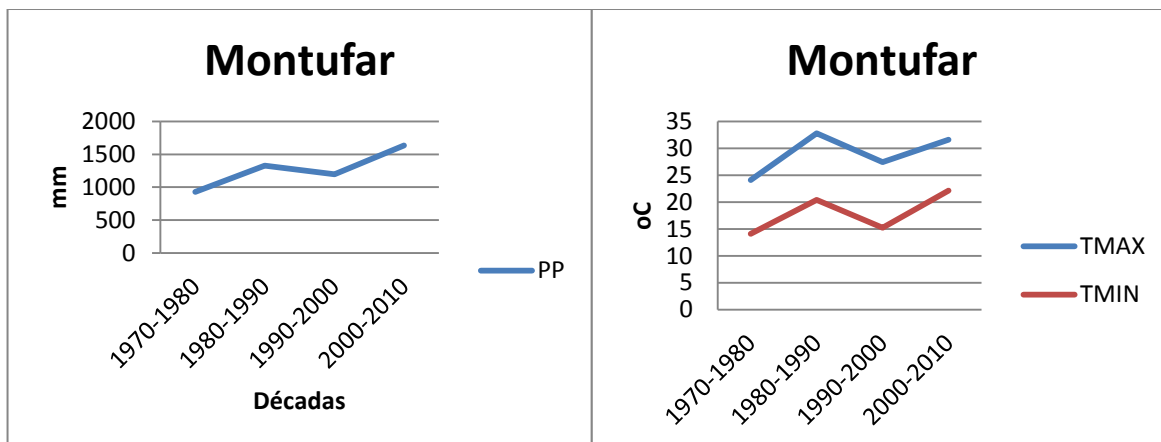
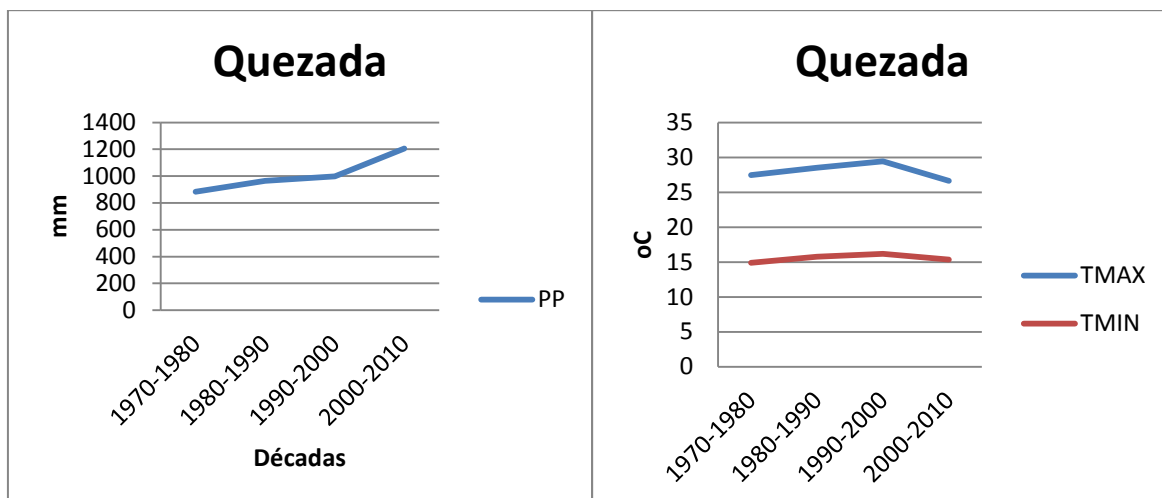
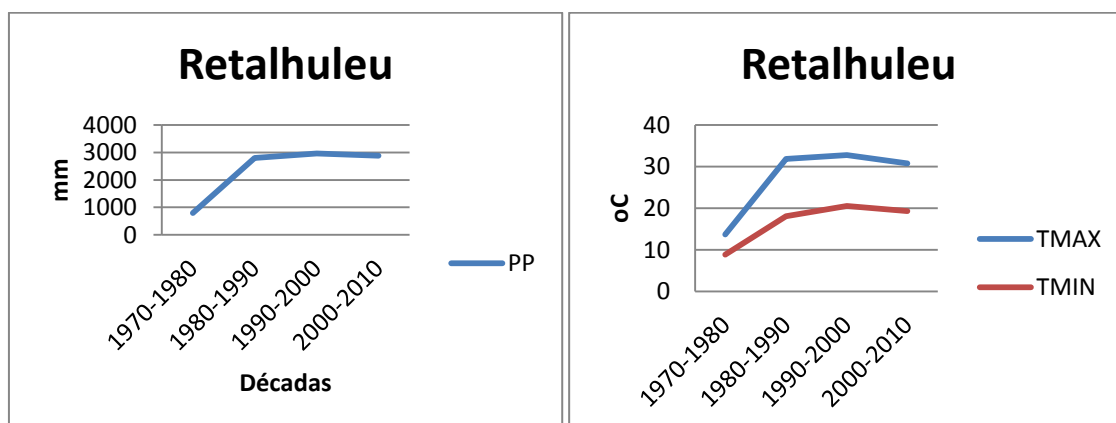


Figura 63 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Montufar.

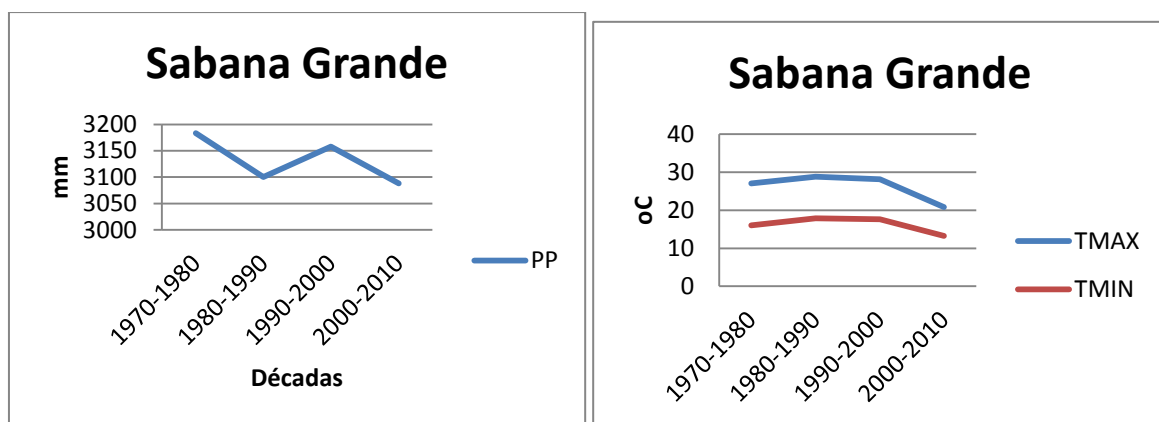




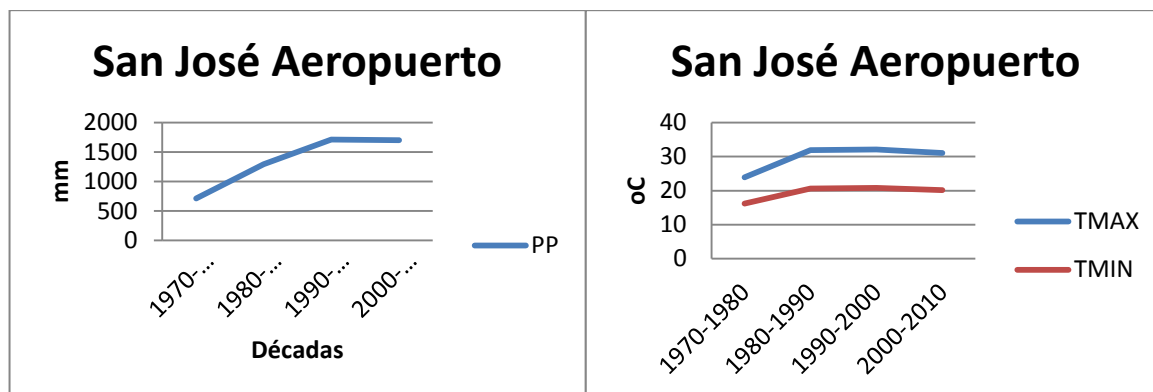
**Figura 64 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Quezada.



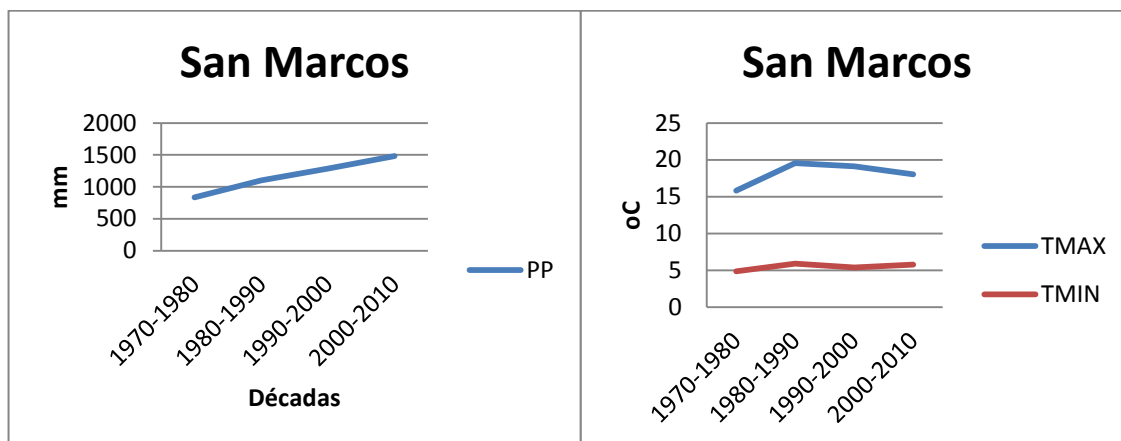
**Figura 65 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Retalhuleu.



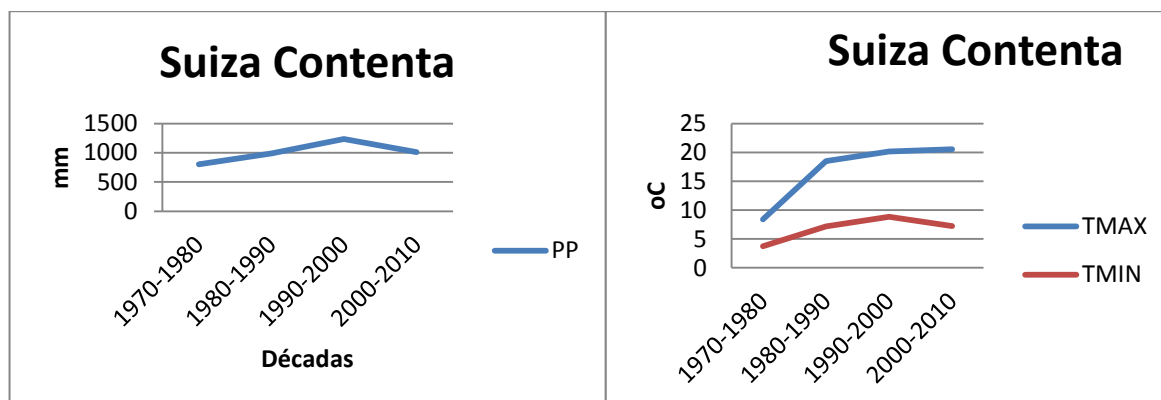
**Figura 66 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Sabana Grande.



**Figura 67 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación San José Aeropuerto.



**Figura 68 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación San Marcos.



**Figura 69 A.** Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Suiza Contenta.

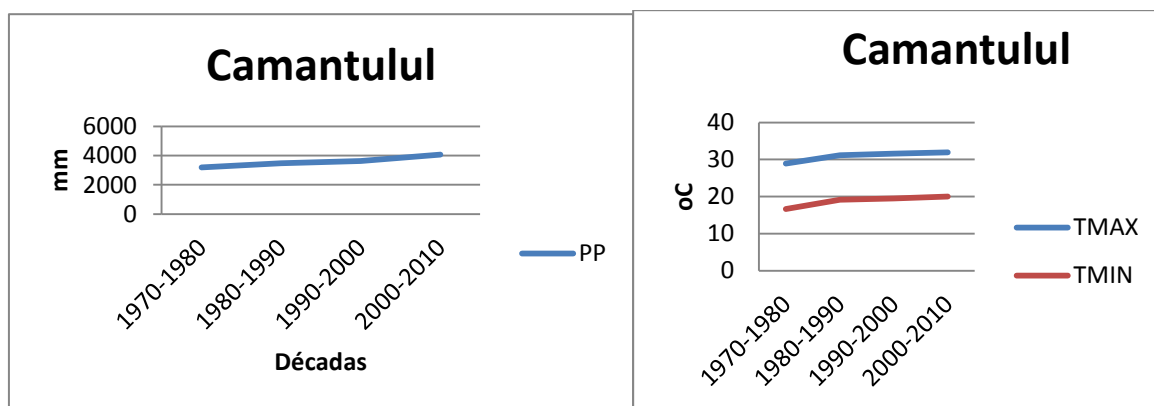


Figura 70 A. Gráfica precipitación pluvial y temperatura, estación Camantulul.

### Gráficas de tendencias de los índices climáticos

A continuación se muestran las gráficas de tendencia generadas por el software estadístico RClimDex para cada una de las estaciones analizadas.

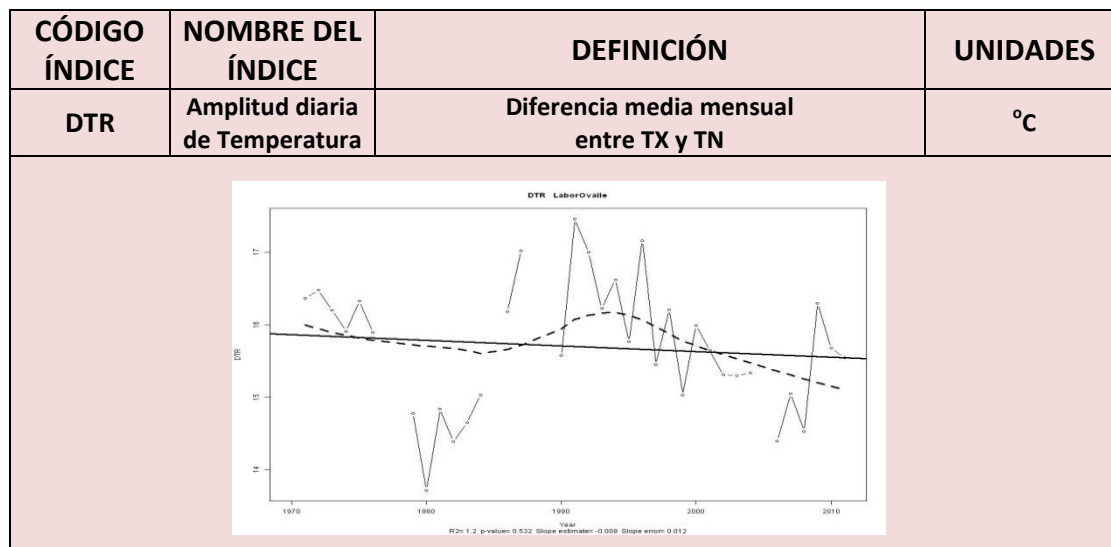


Figura 71 A. Evolución del índice climático DTR para la estación Labor Ovalle.

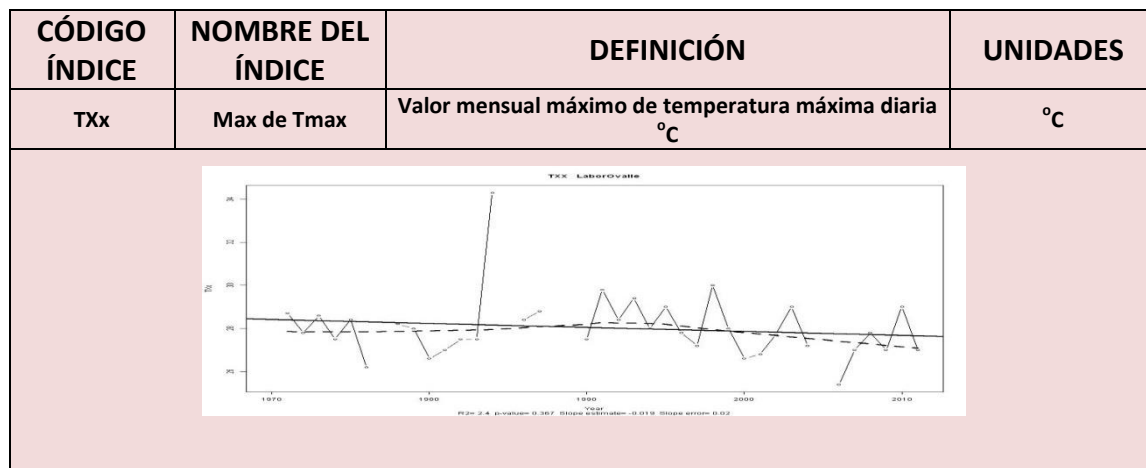


Figura 72 A. Evolución del índice climático TXx para la estación Labor Ovalle.

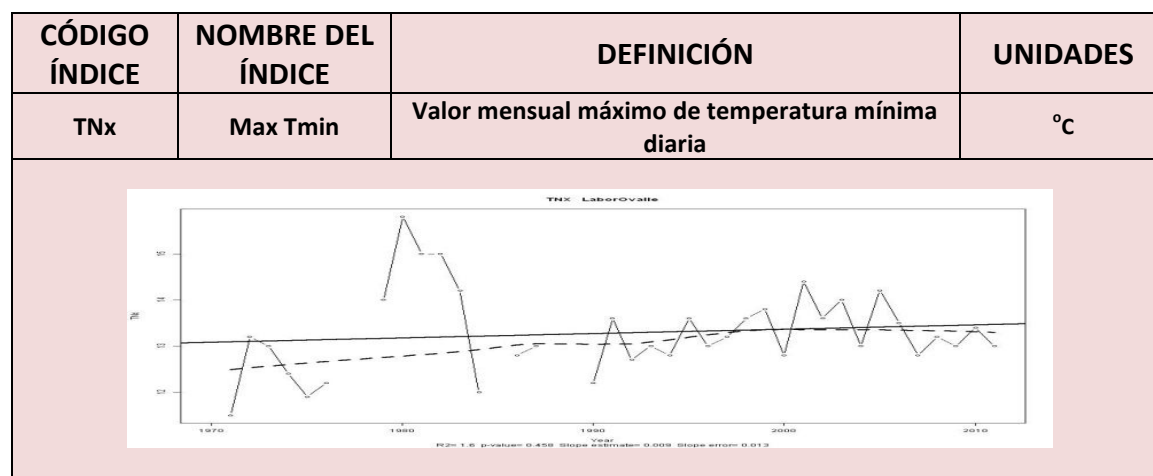


Figura 73 A. Evolución del índice climático TNx para la estación Labor Ovalle.

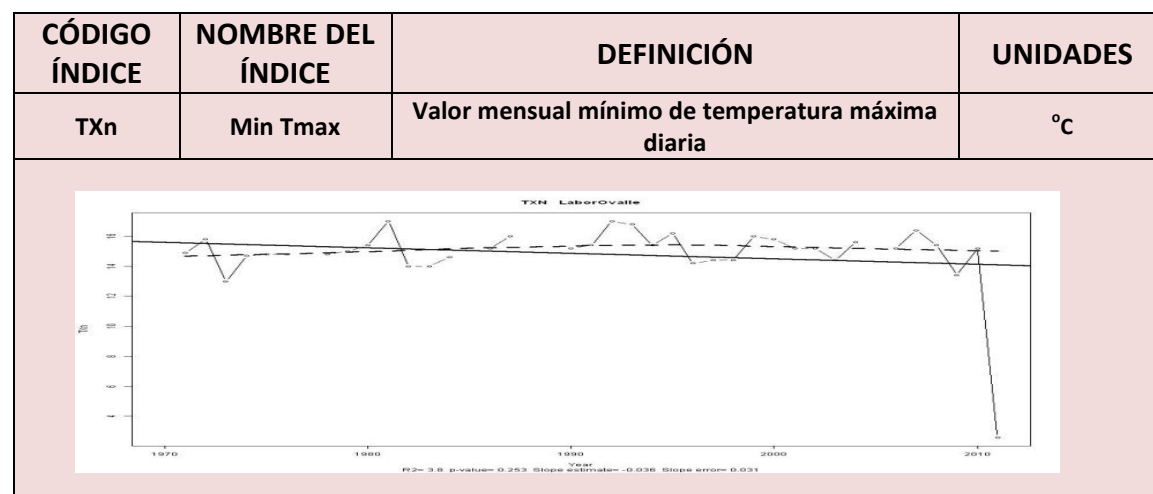


Figura 74 A. Evolución del índice climático TXn para la estación Labor Ovalle.

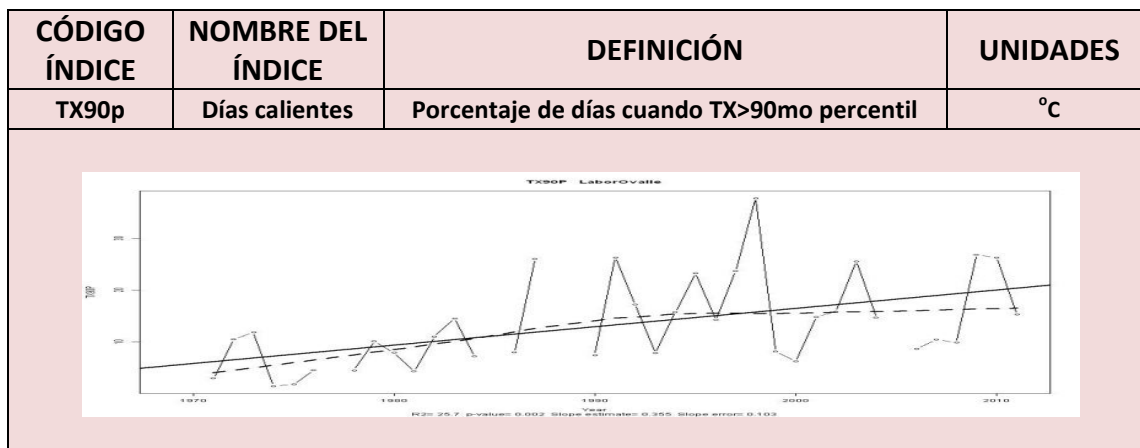


Figura 75 A. Evolución del índice climático TX90p para la estación Labor Ovalle.

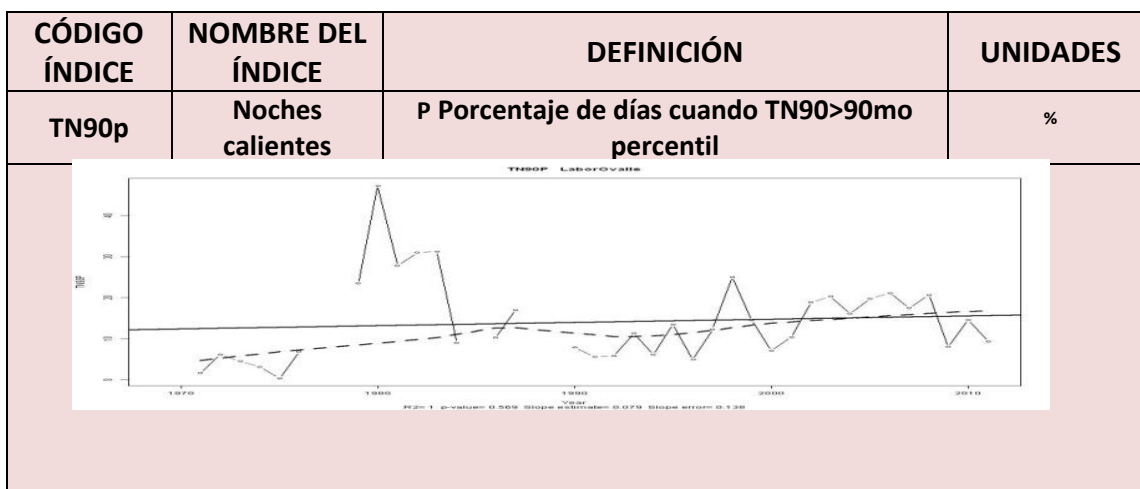


Figura 76 A. Evolución del índice climático TN90p para la estación Labor Ovalle.

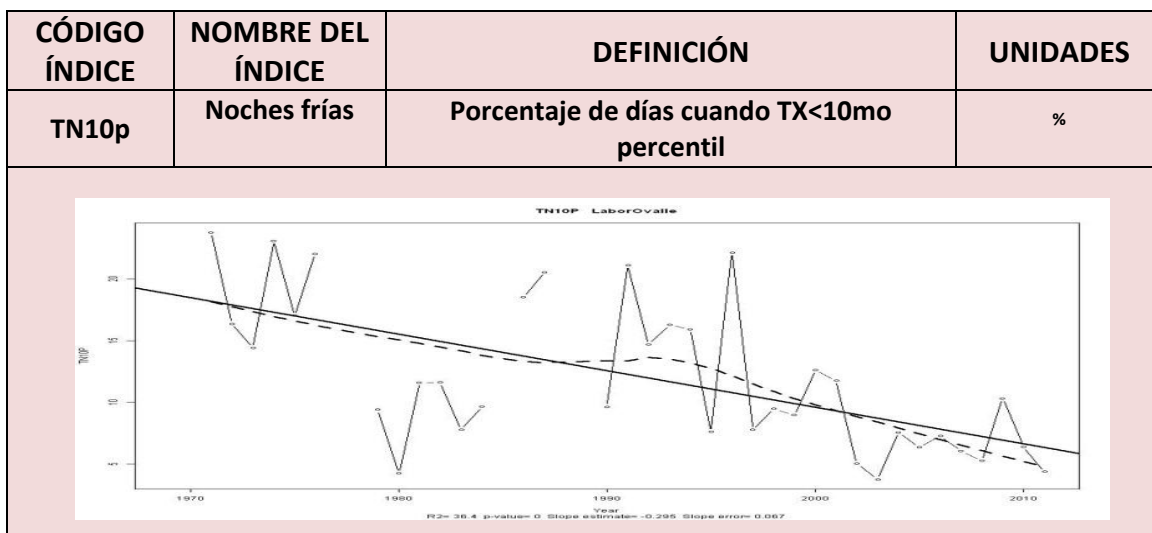


Figura 77 A. Evolución del índice climático TN10p para la estación Labor Ovalle.

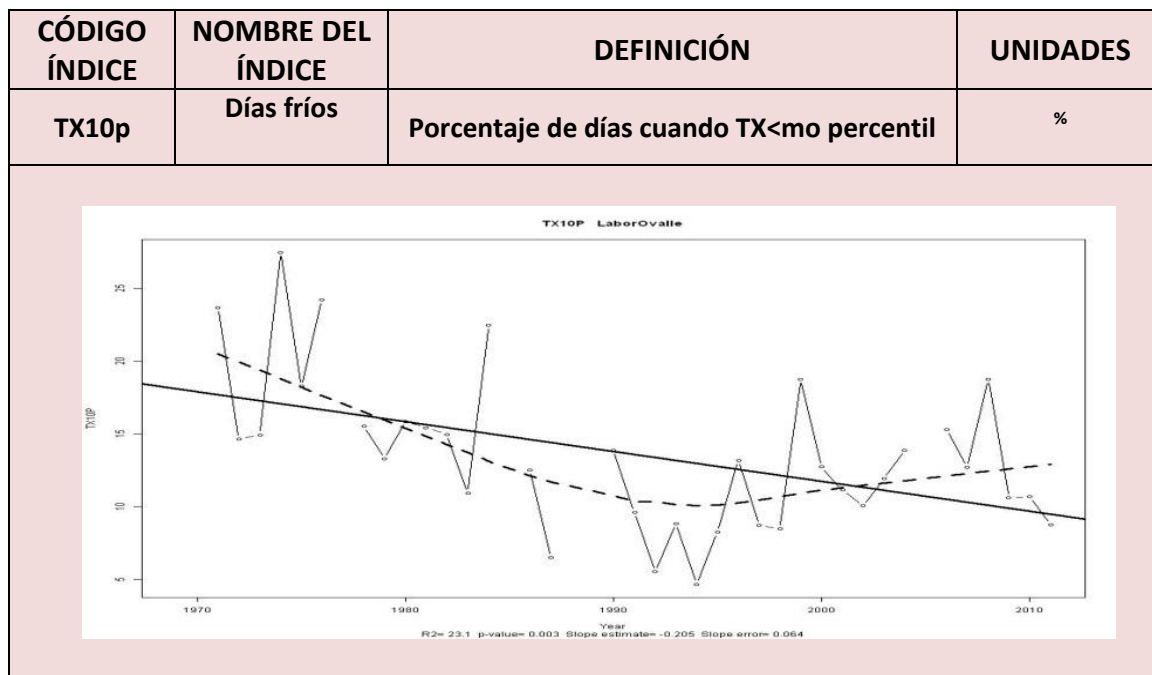


Figura 78 A. Evolución del índice climático TX10p para la estación Labor Ovalle.

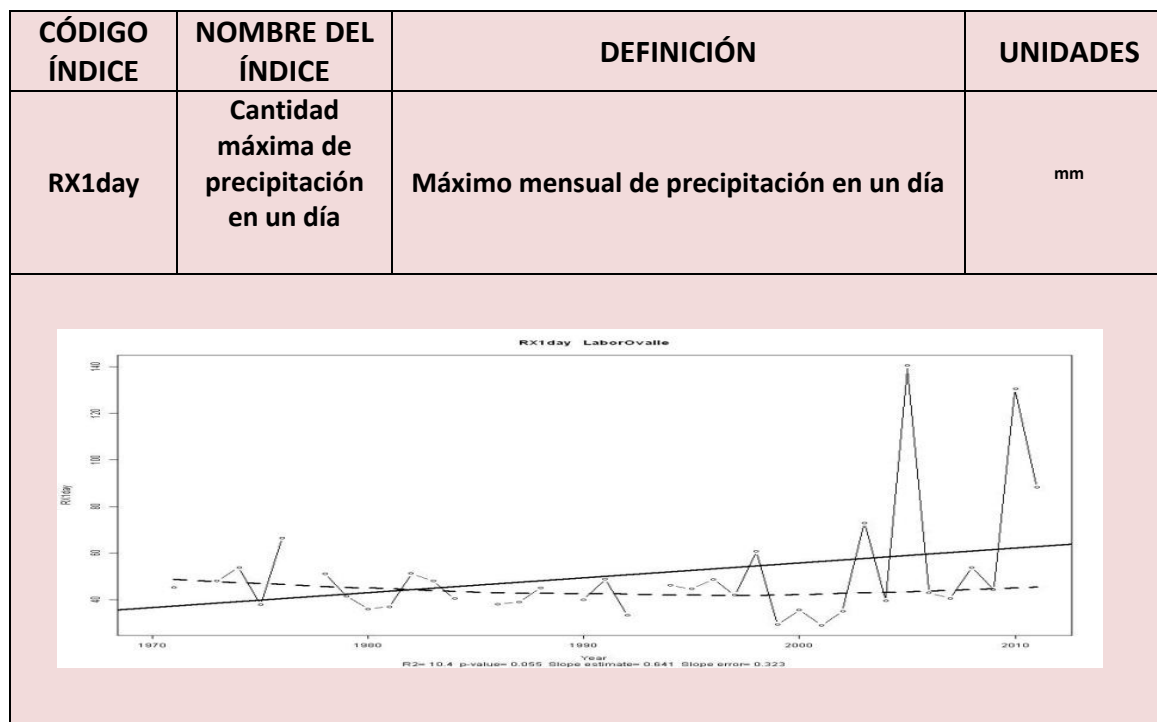


Figura 79 A. Evolución del índice climático RX1day para la estación Labor Ovalle.

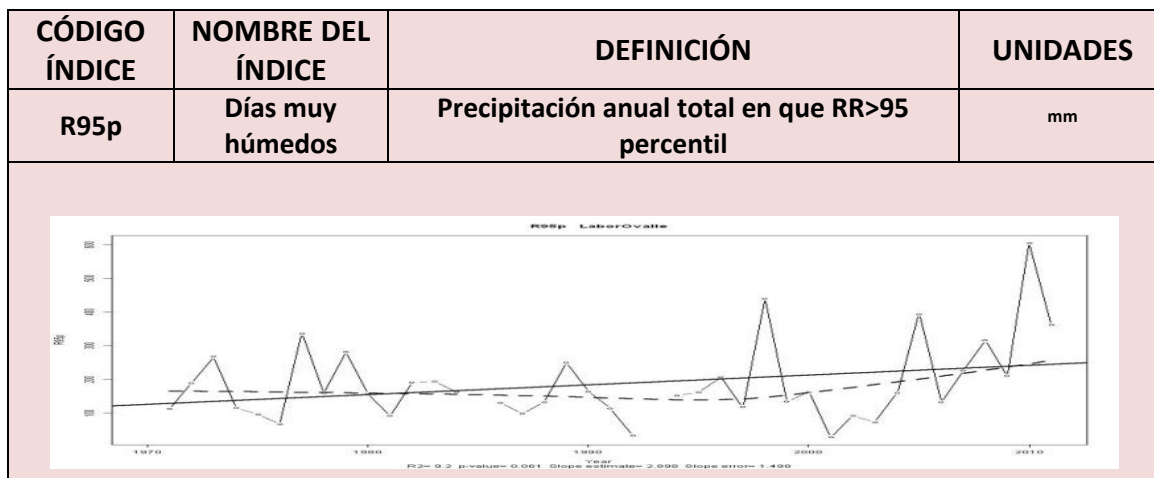


Figura 80 A. Evolución del índice climático R95p para la estación Labor Ovalle.

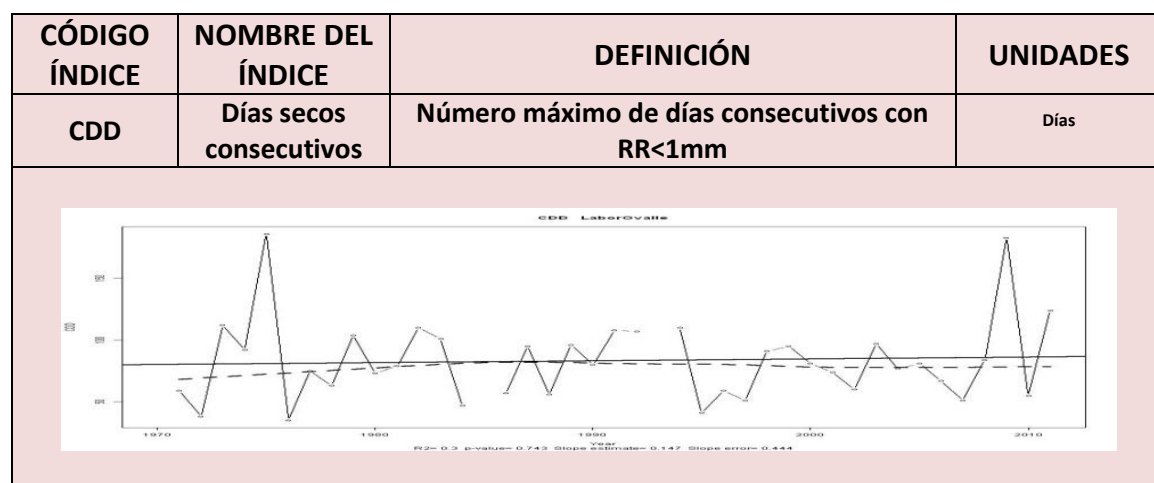


Figura 81 A. Evolución del índice climático CDD para la estación Labor Ovalle.

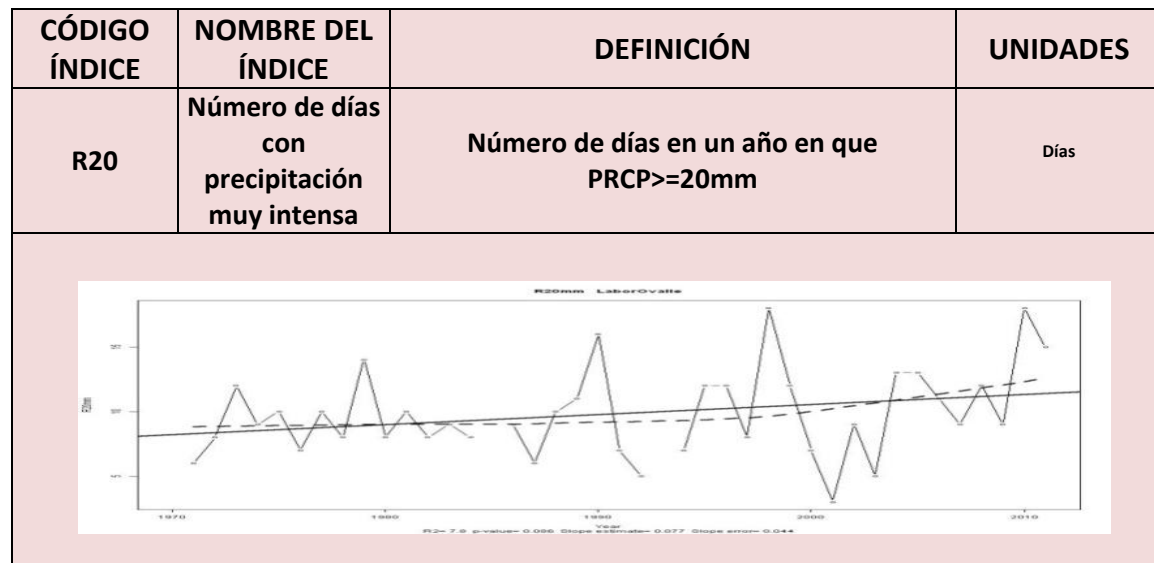
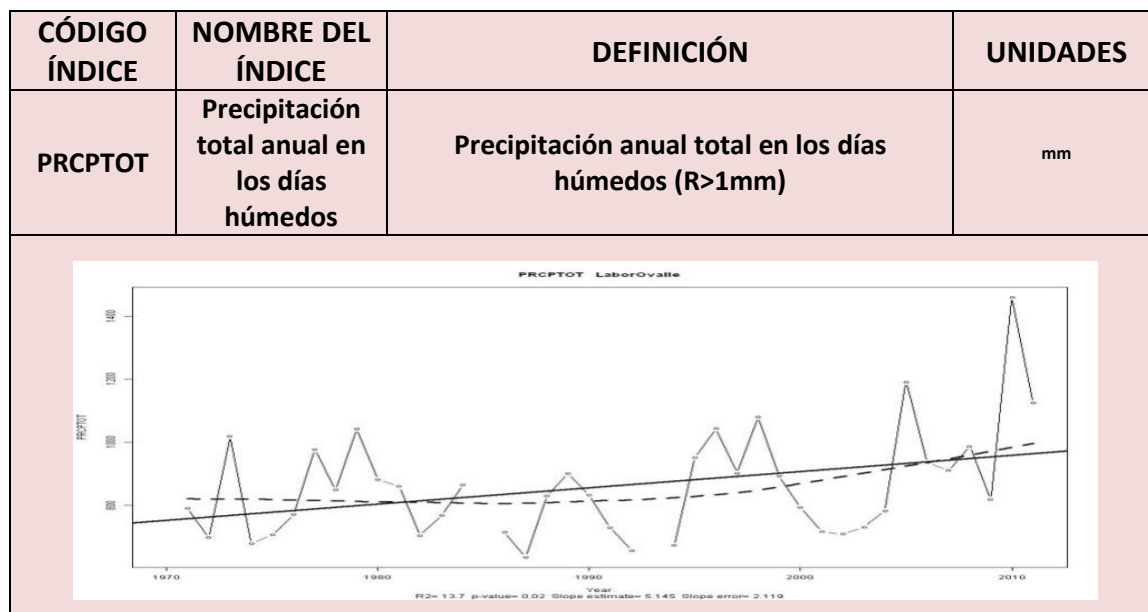


Figura 82 A. Evolución del índice climático R20 para la estación Labor Ovalle.



**Figura 83 A.** Evolución del índice climático PRCPTOT para la estación Labor Ovalle.



**Cuadro 15 A.** Análisis de datos faltantes de las estaciones de la red meteorológica nacional.

<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Esquipulas	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	735	937	692
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>4.70%</b>	<b>6.00%</b>	<b>4.43%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Labor Ovalle	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	452	534	616
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>2.89%</b>	<b>3.42%</b>	<b>3.94%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Los Esclavos	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	619	844	891
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>3.96%</b>	<b>5.40%</b>	<b>5.70%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Montufar	Datos totales	15625	15625	15625
	Datos faltantes	2185	2109	2255
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>13.98%</b>	<b>13.50%</b>	<b>14.43%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Quezada	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	561	841	762
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>3.59%</b>	<b>5.38%</b>	<b>4.88%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Retalhuleu	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	3570	3111	3501
	Período en años	42	42	42

	% datos faltantes	<b>22.85%</b>	<b>19.91%</b>	<b>22.41%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Sabana Grande	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	694	1877	2076
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>4.44%</b>	<b>12.01%</b>	<b>13.29%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Marcos	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1494	1616	1639
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>9.56%</b>	<b>10.34%</b>	<b>10.49%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Suiza Contenta	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1586	2841	2733
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>10.15%</b>	<b>18.18%</b>	<b>17.49%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Catarina	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1079	1615	3017
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>6.91%</b>	<b>10.34%</b>	<b>19.31%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Alameda ICTA	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	3288	2988	2996
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>21.04%</b>	<b>19.12%</b>	<b>19.18%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Tecún Umán	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	12705	12709	12701
	Período en años	42	42	42

	% datos faltantes	<b>81.32%</b>	<b>81.34%</b>	<b>81.29%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Santa María Cahabón	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1921	1870	1929
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>12.30%</b>	<b>11.97%</b>	<b>12.35%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Cobán	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	888	980	979
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>5.68%</b>	<b>6.27%</b>	<b>6.27%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Panzós	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	3633	5137	5349
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>23.25%</b>	<b>32.88%</b>	<b>34.24%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Cubulco	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	3484	4654	4330
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>22.30%</b>	<b>29.79%</b>	<b>27.71%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Jerónimo	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	457	571	558
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>2.92%</b>	<b>3.65%</b>	<b>3.57%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Santa Cruz Balanyá	Datos totales	15624	15624	15624

	Datos faltantes	457	571	558
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>2.92%</b>	<b>3.65%</b>	<b>3.57%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Martín Jilotepeque	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	405	430	551
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>2.59%</b>	<b>2.75%</b>	<b>3.53%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Camotán	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	638	917	847
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>4.08%</b>	<b>5.87%</b>	<b>5.42%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Los Albores	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	9628	9790	9709
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>61.62%</b>	<b>62.66%</b>	<b>62.14%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Camantulul	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	668	666	669
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>4.28%</b>	<b>4.26%</b>	<b>4.28%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Pedro Ayampuc	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1553	6123	6134
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>9.94%</b>	<b>39.19%</b>	<b>39.26%</b>

<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
INSIVUMEH	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	440	1584	1613
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>2.82%</b>	<b>10.14%</b>	<b>10.32%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Cuilco	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	2080	1697	1296
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>13.31%</b>	<b>10.86%</b>	<b>8.29%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Huehuetenango	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	371	535	383
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>2.37%</b>	<b>3.42%</b>	<b>2.45%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Pedro Necta	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1041	1118	1205
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>6.66%</b>	<b>7.16%</b>	<b>7.71%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Todos Santos	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1443	2049	1358
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>9.24%</b>	<b>13.11%</b>	<b>8.69%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Las Vegas	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1575	2057	1993
	Período en años	42	42	42

	% datos faltantes	<b>10.08%</b>	<b>13.17%</b>	<b>12.76%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Mariscos	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	6084	5922	5984
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>38.94%</b>	<b>37.90%</b>	<b>38.30%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Puerto Barrios	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	563	631	656
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>3.60%</b>	<b>4.04%</b>	<b>4.20%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
La Ceibita	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	548	586	655
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>3.51%</b>	<b>3.75%</b>	<b>4.19%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Potrero Carrillo	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1541	1751	2547
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>9.86%</b>	<b>11.21%</b>	<b>16.30%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Flores	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1444	1451	1460
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>9.24%</b>	<b>9.29%</b>	<b>9.34%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Chinique	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1790	2052	2061
	Período en años	42	42	42

	% datos faltantes	<b>11.46%</b>	<b>13.13%</b>	<b>13.19%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Chuitinamit	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	505	1690	785
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>3.23%</b>	<b>10.82%</b>	<b>5.02%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Nebaj	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	600	1693	610
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>3.84%</b>	<b>10.84%</b>	<b>3.90%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
El Capitán	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	4614	5797	5817
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>29.53%</b>	<b>37.10%</b>	<b>37.23%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Santa María El Tablón	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	8979	8995	8997
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>57.47%</b>	<b>57.57%</b>	<b>57.58%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Santiago Atitlán	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1775	2211	2081
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>11.36%</b>	<b>14.15%</b>	<b>13.32%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
La Fragua	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1157	1063	994

	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>7.41%</b>	<b>6.80%</b>	<b>6.36%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
La Unión	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	970	1023	2075
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>6.21%</b>	<b>6.55%</b>	<b>13.28%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Pasabien	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	676	588	673
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>4.33%</b>	<b>3.76%</b>	<b>4.31%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Pedro Mactún	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	5557	5649	5700
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>35.57%</b>	<b>36.16%</b>	<b>36.48%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Agustín Chixoy	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	2266	3986	3185
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>14.50%</b>	<b>25.51%</b>	<b>20.39%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Papalhá	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1932	4787	5003
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>12.37%</b>	<b>30.64%</b>	<b>32.02%</b>



<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
Morazán	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1843	1837	1862
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>11.80%</b>	<b>11.76%</b>	<b>11.92%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San Pedro Soloma	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	2244	3448	2153
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>14.36%</b>	<b>22.07%</b>	<b>13.78%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
El Asintal	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	5472	7392	5688
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>35.02%</b>	<b>47.31%</b>	<b>36.41%</b>
<b>Estación</b>	<b>Categoría</b>	<b>Precipitación</b>	<b>Tmax</b>	<b>Tmin</b>
San José	Datos totales	15624	15624	15624
	Datos faltantes	1684	1286	1288
	Período en años	42	42	42
	% datos faltantes	<b>10.78%</b>	<b>8.23%</b>	<b>8.24%</b>



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA  
ÁREA INTEGRADA**



Guatemala, 18 de marzo de 2014

**Ref. SAIEPSA: Trabajo de Graduación 10-2014**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN:**

EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, PERÍODO 1971-2010 CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH, GUATEMALA. C.A.

**ESTUDIANTE:**

**ROSARIO DEL CARMEN GÓMEZ JORDÁN**

**No. CARNÉ**

**200710746**

**Dentro del Trabajo de Graduación se presenta el Capítulo II que se refiere a la Investigación Titulada:**

“EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, PERÍODO 1971-2010 CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA, GUATEMALA, C.A.”

**LA CUAL HA SIDO EVALUADA POR LOS PROFESIONALES:**

**Ing.Agr. Manuel Martínez  
Dr. Marvin Salguero Barahona  
Ing.Agr.MSc. Ernesto Yac Juárez**

Los Asesores de Investigación, Docente Asesor de EPSA y la Coordinación del Área Integrada, hacen constar que ha cumplido con las normas universitarias y Reglamento de la Facultad de Agronomía. En tal sentido, pase a Decanatura.



**“DID Y ENSEÑAD A TODOS”**

**Ing. Agr. MSc. Ernesto Yac Juárez  
Docente – Asesor de EPS**



**Vo.Bo. Ing.Agr. Alfredo Itzep Manzanera  
Coordinador Subárea de – EPSA**

**Vo.Bo. Ing.Agr. MSc. Pedro Peláez Reyes  
Coordinador Área Integrada**

c.c. Control Académico, Estudiante, Archivo,



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMIA  
COORDINACIÓN AREA INTEGRADA



Guatemala, 14 de marzo de 2014

Ingeniero Pedro Peláez  
Coordinador del Área Integrada  
Universidad de San Carlos –USAC–.

Ingeniero Peláez:

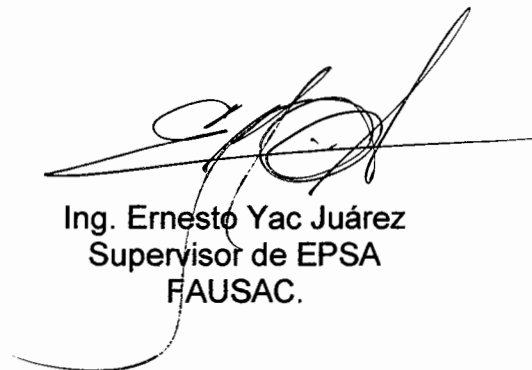
Reciba un cordial saludo deseándole al mismo tiempo éxitos en sus labores cotidianas a frente de tan prestigiosa coordinación.

Por este medio le informo que la estudiante Rosario del Carmen Gómez Jordán carné 2007-10746, ha cumplido con todas las actividades requeridas por el Docente-Asesor del Ejercicio Profesional Supervisado de Agronomía –EPSA–, y por lo tanto se hace entrega del Documento Integrado de Graduación para los trámites correspondientes.

A la presente adjunto el control personal con las calificaciones obtenidas por la mencionada estudiante.

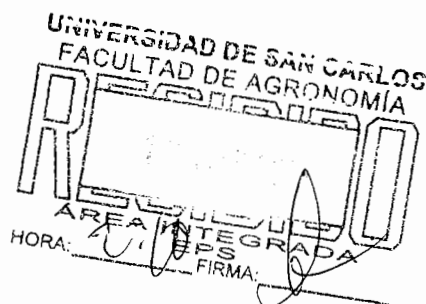
Sin otro particular me despido de usted.

Atentamente,



Ing. Ernesto Yac Juárez  
Supervisor de EPSA  
FAUSAC.

C.C. Archivo





UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE AGRONOMÍA FAUNAC  
INSTITUTO DE INVESTIGACIONES AGRONÓMICAS  
Y AMBIENTALES- IIA



**REF. Sem. 09/2014**

LA TESIS TITULADA:

"EVIDENCIAS DEL CAMBIO CLIMÁTICO EN LA  
VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA,  
PERIODO 1971-2010 CON BASE  
INFORMACIÓN ESTADÍSTICA, GUATEMALA,  
C.A."

DESARROLLADA POR EL ESTUDIANTE:

ROSARIO DEL CARMEN GÓMEZ JORDÁN

CARNE:

200710746

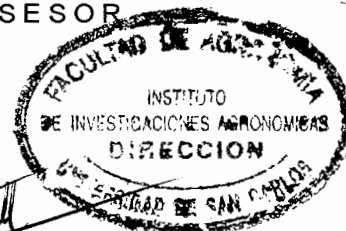
HA SIDO EVALUADO POR LOS PROFESIONALES:

Ing. Agr. Manuel Martínez  
Dr. Marvin Salguero Barahona  
Ing. Agr. Ernesto Yac Juárez

Los Asesores y la Dirección del Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales de la Facultad de Agronomía, hace constar que ha cumplido con las Normas Universitarias y el Reglamento de este Instituto. En tal sentido pase a la Dirección del Área Integrada para lo procedente.

Dr. Marvin Salguero Barahona  
A S E S O R

Ing. Agr. Ernesto Yac Juárez  
SUPERVISOR-ASESOR



MSc. Manuel de Jesús Martínez Ovalle  
DIRECTOR DEL IIA

MDJM,/nm  
c.c. Archivo

No. 10.2014

**Trabajo de Graduación: “EVIDENCIAS DE CAMBIO CLIMÁTICO EN LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, PERÍODO 1971-2010 CON BASE EN INFORMACIÓN ESTADÍSTICA, DIAGNÓSTICO, Y SERVICIOS PRESTADOS EN EL DEPARTAMENTO DE INVESTIGACIÓN Y SERVICIOS CLIMÁTICOS DEL INSTITUTO NACIONAL DE SISMOLOGÍA, VULCANOLOGÍA, METEOROLOGÍA E HIDROLOGÍA, INSIVUMEH, GUATEMALA, C.A.”**

**Estudiante: Rosario Del Carmen Gómez Jordán**

**Carné: 200710746**

**“IMPRIMASE”**



**Dr. Lauriano Figueroa Quiñonez**  
**DECANO**