

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

**FACULTAD DE AGRONOMÍA**

**ÁREA INTEGRADA**



**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**ESTUDIO REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

**CINDY ALASKA ESTRADA MONTIEL**

**GUATEMALA OCTUBRE, 2015**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

ÁREA INTEGRADA

TRABAJO DE GRADUACIÓN

**ESTUDIO REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE  
GUATEMALA, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO  
PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, SANTA LUCIA  
COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A.**

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

POR

**CINDY ALASKA ESTRADA MONTIEL**

EN EL ACTO DE INVESTIDURA COMO  
INGENIERA AGRÓNOMA

EN

RECURSOS NATURALES RENOVABLES  
EN EL GRADO ACADÉMICO DE LICENCIADA

**GUATEMALA OCTUBRE, 2015**

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

**RECTOR**

**Dr. Carlos Guillermo Alvarado Cerezo**

**JUNTA DIRECTIVA DE LA FACULTAD DE AGRONOMÍA**

<b>DECANO</b>	<b>Ing. Agr. Mario Antonio Godínez López</b>
<b>VOCAL PRIMERO</b>	<b>Dr. Tomás Antonio Padilla Cámbara</b>
<b>VOCAL SEGUNDO</b>	<b>Ing. Agr. M.Sc. César Linneo García Contreras</b>
<b>VOCAL TERCERO</b>	<b>Ing. Agr. M.Sc. Erberto Raúl Alfaro Ortiz</b>
<b>VOCAL CUARTO</b>	<b>P. Agr. Josué Benjamín Boche López</b>
<b>VOCAL QUINTO</b>	<b>Br. Rut Raquel Curruchich Cúmez</b>
<b>SECRETARIO</b>	<b>Ing. Agr. Juan Alberto Herrera Ardón</b>

**GUATEMALA, OCTUBRE 2015**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2015

**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: **ESTUDIO REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA , DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA, 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”

Cindy Alaska Estrada Montiel

## **ACTO QUE DEDICO A:**

**A DIOS** Por ser el que llena mi vida de fortaleza y esperanza, fuente de sabiduría e inspiración

**MIS PADRES** Roberto Estrada y Leticia Montiel por ser unos padres ejemplares que con sus consejos y apoyo incondicional me impulsaron a culminar mis estudios, y por todo su amor y comprensión en cada momento de mi vida

**MI ABUELITO** Antonio Estrada por ser un ejemplo de fortaleza y valentía, por enseñarme que los sueños no tienen límites.

**MIS HERMANOS** Yorgan Estrada, y Abraham Estrada por siempre protegerme y ser mis ejemplos a seguir, gracias por estar a mi lado en todo momento.

**FAMILIA EN GENERAL** A mis tíos Braulio, Francisco y Guillermo Estrada, por todo su apoyo incondicional a lo largo de mi vida, y muy especialmente a mi tía Rosaura Montiel por ser mi segunda mamá y siempre darme consejos llenos de sabiduría y amor.

### **PROMOCIÓN FORESTALES 05-07**

A mis amigos de promoción y compañeros de estudios, gracias a todos por su apoyo incondicional y por los momentos inolvidables que hemos vivido como forestales: Elena Morataya, Melanie Herrera, Yaraví López, Elida Chutá, Álvaro Serrano, Rolando Curley.

### **AMIGOS EN GENERAL**

A mis muy queridos amigos ENCA-FAUSAC primeramente por estar conmigo ya por diez años de convivencias inolvidables: Elena Morataya (Canche), Luis Hernández (Winnie), Francisco Delgado y a todos los nuevos amigos FAUSAC: Alma Santos, Renato De León, Daunno Chew, Jorge Robles, Pablo Mendía, Raúl Álvarez, Andrea Herrera, Carlos Mansilla (Calush), Otto Palencia, Edson Hernández, Lucho Si, Rosario Gómez.

## **COMPAÑEROS ICC**

Agradecer la oportunidad de haber realizado mi EPS en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, y el apoyo de todo su equipo para culminar esta etapa tan importante en mi formación profesional: Alfredo Suárez, Carlos Ramírez, Juan Andrés Nelson (Pollito), Francisco Fuentes, Sergio Gil, Obed López y cada uno de los que apoyaron esta etapa de mi vida.

## **AGRADECIMIENTOS**

### **MI ASESOR**

#### **Dr. Marvin Salguero**

Por haberme guiado en este camino de la realización de la investigación y en el Ejercicio Profesional Supervisado, por haberme proporcionado los conocimientos necesarios para llegar a un feliz término, por ayudarme a formarme profesionalmente, tener la paciencia de corregir documentos, muy agradecida por la oportunidad de formación.

### **MI SUPERVISOR**

#### **Ing. Agr. Horacio Ramírez**

Por todo el apoyo en todo el proceso del EPS, así como en la dirección y guía durante la culminación del mismo, y la paciencia durante esta etapa que al fin culmina. Así mismo agradecerle su amistad

### **INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO**

Por brindarme la oportunidad de realizar mi EPS en tan prestigiosa institución, y contribuir con mi formación profesional y darme la oportunidad de ser parte de un equipo de trabajo tan especial.

### **MI ALMA MATER ESCUELA NACIONAL CENTRAL DE AGRICULTURA –ENCA-**

Por ser la única de su tipo en formación de educación media en el campo de Agricultura y Recursos Naturales, por haberme permitido iniciar en este campo tan amplio y por permitirme formarme con el lema Aprender Haciendo.

### **FACULTAD DE AGRONOMÍA**

Por la formación superior en la especialización de mi carrera, con técnicas más actualizadas, procesos distintos y experiencias diferentes.

### **UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**

Tricentenaria Universidad, la única de su tipo en el país, gracias por la oportunidad de estudios superiores en la Universidad Pública del Estado.





## ÍNDICE GENERAL

<b>Contenido</b>	<b>Página</b>
<b>Resumen General</b> .....	v
LISTADO DE ACRÓNIMOS .....	vii
1. CAPÍTULO I.....	1
1.1. PRESENTACIÓN.....	2
1.2. MARCO REFERENCIAL.....	3
1.3. OBJETIVOS.....	9
1.4. METODOLOGÍA.....	10
1.5. RESULTADOS.....	12
1.6. CONCLUSIONES.....	35
1.7. RECOMENDACIONES .....	35
1.8. BIBLIOGRAFIA .....	36
2. CAPÍTULO II.....	37
2.1. PRESENTACIÓN .....	38
2.2. MARCO TEÓRICO.....	39
2.3. MARCO REFERENCIAL .....	48
2.4. OBJETIVOS .....	52
2.5. METODOLOGÍA.....	53
2.6. RESULTADOS .....	64
2.7. CONCLUSIONES.....	83
2.8. RECOMENDACIONES.....	84
2.9. BIBLIOGRAFIA.....	85
3. CAPÍTULO III INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS .....	86
3.1. INVENTARIO DE LA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS.....	87
3.1.1. OBJETIVOS.....	87
3.1.2. MARCO TEORICO.....	88
3.1.3. METODOLOGÍA.....	91
3.1.4. RESULTADOS.....	98
3.1.5. CONCLUSIONES.....	110
3.1.6. RECOMENDACIONES.....	111
3.1.7 BIBLIOGRAFÍA.....	112

## Índice de Cuadros

<b>Cuadro</b>	<b>Página</b>
Cuadro 1 Actividades del área de climatología.....	16
Cuadro 2 Actividades del área de Hidrología.....	18
Cuadro 3 Actividades del área de hidrología subterránea .....	18
Cuadro 4 Actividades no planificadas.....	19
Cuadro 5 Porcentaje de cumplimiento por línea de investigación.....	21
Cuadro 6 Escala de porcentaje de cumplimiento.....	24
Cuadro 7 Priorización de actividades .....	32
Cuadro 8 Análisis FODA –INSIVUMEH-.....	33
Cuadro 9 Estaciones meteorológicas en la vertiente del Pacífico.....	53
Cuadro 10. Promedios anuales de estaciones meteorológicas del ICC.....	65
Cuadro 11. Promedios anuales de estaciones meteorológicas del INDE. ....	65
Cuadro 12. Promedios anuales de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH .....	67
Cuadro 13. Análisis de componentes principales para precipitación pluvial .....	69
Cuadro 14 Análisis de componente principales para temperatura.....	70
Cuadro 15 Ubicación de las estaciones meteorológicas de ICC.....	99
Cuadro 16 Alturas de sensores por estación.....	102
Cuadro 17 Orientación azimutal de los sensores. ....	104
Cuadro 18 Evidencia de los elementos de la obra civil.....	107
Cuadro 19 Estado de la obra civil.....	108
Cuadro 20 Equipo adicional. ....	109

## Índice de Figuras

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
Figura 1 Mapa de ubicación de la Finca Camantulul (Liere Quevedo, 2011) .....	4
Figura 2 Estructura organizacional del ICC .....	8
Figura 3 Estructura organizacional del programa de clima e hidrología.....	12
Figura 4 Líneas de investigación de Clima e Hidrología, ICC.....	15
Figura 5 Cumplimiento de actividades área de climatología .....	26
Figura 6 Cumplimiento de actividades área de hidrología .....	27
Figura 7 Porcentaje de actividades planificadas y no planificadas.....	29
Figura 8 Cumplimiento de actividades por línea de trabajo .....	30
Figura 9 Cumplimiento general del programa de clima e hidrología .....	31
Figura 10. Efecto de la inclinación de la Tierra (Salas, 2000).....	39
Figura 11 Factores y elementos del clima (Salas, 2000).....	41
Figura 12 Localización de la vertiente del Pacífico.....	48
Figura 13 Cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico .....	50
Figura 14 Zonas de vida de la vertiente del Pacífico.....	51
Figura 15 Formato de texto requerido por el software RClimdex.....	56
Figura 16 Proceso de interno de RClimdex .....	57
Figura 17 Verificación de anomalías en la base de datos.....	58
Figura 18 Tabla dinámica de conteos anuales .....	59
Figura 19 Procedimiento de análisis de componentes principales en Infostat .....	60
Figura 20 Selección de análisis por conglomerados.....	61
Figura 21 Proceso de análisis por conglomerados .....	61
Figura 22 Procedimiento de regresión múltiple en Excel .....	62
Figura 23 Procedimiento de integración de interpolaciones.....	63
Figura 24 Dendograma de análisis por conglomerados para precipitación pluvial.....	71
Figura 25 Ubicación de conglomerados de precipitación pluvial.....	72
Figura 26 Dendograma de análisis por conglomerados para temperatura máxima .....	73
Figura 27 Ubicación de conglomerados de temperatura máxima .....	74
Figura 28 Dendograma de análisis de conglomerados para temperatura mínima .....	75
Figura 29 Ubicación de los conglomerados de temperatura mínima .....	76
Figura 30 Regresión múltiple para precipitación pluvial.....	77
Figura 31 Precipitación histórica anual regionalizada para la vertiente del Pacífico .....	78
Figura 32 Regresión múltiple para temperatura máxima .....	79
Figura 33 Temperatura máxima histórica regionalizada para la vertiente del Pacífico.....	80
Figura 34 Regresión múltiple para temperatura mínima .....	81
Figura 35 Temperatura mínima histórica regionalizada para la vertiente del Pacífico.....	82
Figura 36 Equipo de estaciones meteorológicas (Abac,2012) .....	90
Figura 37 Ficha de campo utilizada en inventario de estaciones meteorológicas.....	91

Figura 38 Etiqueta de código de inventario de los sensores. ....	92
Figura 39 A. Pluviómetro tipo normal. B. Pluviómetro tipo Pro. ....	93
Figura 40 Toma de altura de los sensores. ....	94
Figura 41 Toma de orientación de los sensores. ....	94
Figura 42 Cableado de pluviómetro en buen estado y debidamente ordenados.....	95
Figura 43 Inspección del candado(a), malla (b), mástil (c) y cables tensores (d).....	96
Figura 44 Inspección de pararrayos (a) y registros de tierras (b).....	96
Figura 45 Pluviómetros convencionales (a) y tanque de evaporación (b). ....	97
Figura 46 Calibre de cable de los registros de tierras. ....	106
Figura 47 Estado de pararrayos El Bálsamo (a) Trinidad (b). ....	106

# **ESTUDIO REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DE GUATEMALA, DIAGNÓSTICO Y SERVICIOS REALIZADOS EN EL INSTITUTO PRIVADO DE INVESTIGACIÓN SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO, SANTA LUCIA COTZUMALGUAPA, ESCUINTLA, GUATEMALA, C.A**

## **Resumen General**

El presente documento posee tres capítulos, el diagnóstico del plan operativo anual, del programa de investigación en clima e hidrología del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático. El diagnóstico se realizó en el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-, sobre el cumplimiento del plan operativo anual del programa de Clima e Hidrología.

Para la realización del diagnóstico se utilizaron fuentes de información primaria siendo estas entrevistas con el coordinador y técnico del programa de Clima e Hidrología, además de fuentes de información secundaria siendo estas el Plan Estratégico del ICC y el Plan Operativo Anual, en el cual se evaluaron los porcentajes de ejecución de cada línea de investigación dentro del programa, y con esto priorizar que actividades eran necesarias reforzar para lograr su cumplimiento.

La investigación estudió el comportamiento homogéneo de la precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima en la vertiente del Pacífico, el tercer capítulo presenta los servicios realizados durante la realización del presente documento.

La investigación se realizó analizando la base histórica de la precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima, que han registrado las estaciones meteorológicas del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-, Instituto de Electrificación –INDE- y el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC- en la vertiente del Pacífico de Guatemala. Para el análisis se tomaron series históricas entre 14 y 39 años de registro, y el porcentaje anual de captura de datos oscila entre 89-92%, representado 324-335 anuales, ya que estos registros históricos anuales de la red de estaciones, representan los valores más estables a través del tiempo. Posteriormente el análisis por conglomerados se utilizó como herramientas para definir regiones que tuvieran un comportamiento homogéneo en cuanto

a las variables en estudio. A partir del análisis, se generaron mapas que muestran de manera objetiva el comportamiento de estas variables climáticas en la vertiente del Pacífico. Para las tres variables climáticas se determinaron 5 zonas de comportamiento homogéneo dentro de vertiente del Pacífico, siendo la región del suroriente, la del noroccidente, la del este, la central y la del litoral. Es importante mencionar que la regionalización climática de un área particular, básicamente radica en ser una herramienta que puede ser aplicada en las distintas problemáticas, que hoy en día se relacionan con el cambio climático; evidenciándose la gran utilidad que esta herramienta brinda. Es por ello que esta investigación es la base que servirá para realizar escenarios de cambio climático para la región y tener bases para una correcta toma de decisiones, para proponer estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático, y se pueda informar a los sectores que se puedan ver afectados por el mismo

Dentro de los servicios realizados se encuentra el inventario de la red de estaciones meteorológicas de la Agroindustria Azucarera de Guatemala. Básicamente consistió en la verificación del estado de los sensores de la estación, la obra civil y el sistema de tierras y pararrayos de 19 estaciones meteorológicas y las 2 repetidoras distribuidas en los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu. Se comprobó que muchos de los sensores no están instalados según las normas de la Organización Meteorológica Mundial –OMM- en cuestiones de altura, como es el caso de los piranómetros, termohigrómetros y pluviómetros de todas las estaciones no se encuentran dentro de los rangos de la OMM.

**LISTADO DE ACRÓNIMOS**

FAUSAC	Facultad de Agronomía, Universidad de San Carlos de Guatemala
MAGA	Ministerio de Agricultura Ganadería y Alimentación
ICC	Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático
INDE	Instituto de Electrificación
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología
IPCC	Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático
IARNA	Instituto de Agricultura, Recursos Naturales y Ambiente
USAC	Universidad de San Carlos de Guatemala
MARN	Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales
CENGICAÑA	Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña
PNUMA	Programa de Naciones Unidas para el Medio Ambiente
OMM	Organización Meteorológica Mundial





## **1. CAPÍTULO I**

**DIAGNÓSTICO DEL PLAN OPERATIVO ANUAL DEL PROGRAMA DE INVESTIGACIÓN EN CLIMA E HIDROLOGÍA DEL INSTITUTO PRIVADO SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO –ICC-.**

## 1.1. PRESENTACIÓN

El Programa de Ejercicio Profesional Supervisado de la Facultad de Agronomía –EPSA-, es la última etapa de formación profesional del estudiante y consiste en conjunto de actividades académicas en el campo de la docencia, la investigación, la extensión y el servicio (EPSA, 2005).

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático –ICC-, es una institución fundada por el sector azucarero de Guatemala, con el objetivo de que contribuya con acciones que desarrollen procesos adecuados de mitigación y adaptación al cambio climático, en las comunidades, procesos productivos e infraestructura de la región. El ICC se encuentra conformado por cinco diferentes programas: Clima e hidrología, Ecosistemas, Gestión de Riesgo de Desastres y Desarrollo de capacidades y divulgación y Manejo Integrado de Cuencas.

Como instituto de investigación sobre el cambio climático, es necesario el establecimiento de líneas bases de investigación, que puedan generar posteriormente las acciones a ejecutar, para la adaptación tanto de las comunidades y sistemas productivos, de cara al cambio climático. Es aquí donde entra el papel tan importante que desempeña el programa de Clima e hidrología como parte investigadora del ICC. En este documento se presentan las distintas líneas de investigación del programa de clima e hidrología y así mismo el porcentaje de ejecución de cada una de las actividades de las distintas áreas de trabajo; para posteriormente evaluar qué áreas necesitan ser reforzadas y evaluar de qué manera ha impactado el trabajo realizado por el programa.

Para la realización del diagnóstico se utilizaron fuentes de información primaria siendo estas entrevistas con el coordinador y técnico del programa de Clima e Hidrología, además de fuentes de información secundaria siendo estas el Plan Estratégico del ICC y el Plan Operativo Anual.

## **1.2. MARCO REFERENCIAL**

### **1.2.1. Ubicación geográfica del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático**

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático se encuentra ubicado en la finca Camantulul km 92.5 carretera a Mazatenango, en las oficinas de Centro Guatemalteco de Investigación y Capacitación de la Caña de Azúcar (CENGICAÑA), Santa Lucía Cotzumalguapa, Escuintla.

El municipio de Santa Cotzumalguapa tiene una extensión territorial de 432 Km<sup>2</sup> y una elevación media: 356m sobre el nivel del mar. La distancia a la cabecera departamental es 34 Km., y a la ciudad capital es 90 Km. Latitud: 14° 18' N Longitud: 91° 1' O.

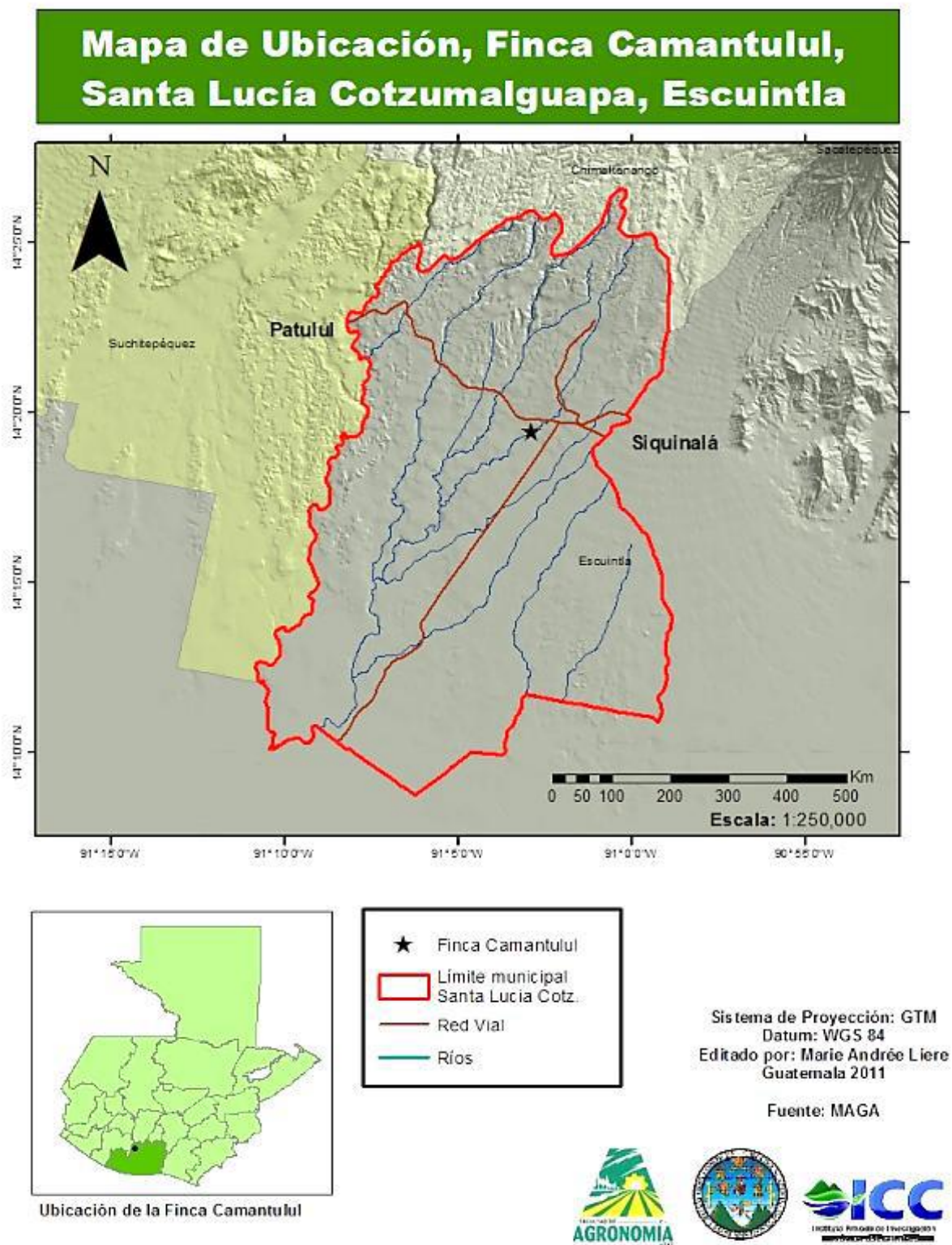


Figura 1 Mapa de ubicación de la Finca Camantulul (Liere Quevedo, 2011)

El Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático es la institución fundada por el sector azucarero de Guatemala, para contribuir en acciones que desarrollen procesos adecuados de mitigación y adaptación al cambio climático en las comunidades, procesos productivos e infraestructura en la región. (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2011).

### **1.2.2. Visión**

Ser una institución privada líder en investigación y desarrollo de proyectos para la mitigación y la adaptación al cambio climático en las comunidades, los procesos productivos y la infraestructura de la región.

### **1.2.3. Misión**

Crear y promover acciones y procesos, que faciliten la mitigación y la adaptación al cambio climático, en la región con base en lineamientos técnico-científicos.

### **1.2.4. Programas que conforman el ICC**

En la actualidad, el instituto cuenta con 5 diferentes programas que se enfocan en lo siguiente:

#### **1.2.4.1. Clima e hidrología**

Su objetivo es generar información y análisis sobre el clima y los recursos hídricos, que sean empleados para la toma de decisiones, relacionadas a los retos presentes y futuros del cambio climático.

### ***Actividades principales***

- Administración de la red de estaciones del sector azucarero
- Elaborar Modelos climáticos y amenazas potenciales
- Estudios de inundaciones
- Realizar análisis de eventos extremos.

#### **1.2.4.2. Ecosistemas**

Su objetivo es generar y validar conocimiento que contribuya a mantener los bienes y servicios que los bosques y los sistemas agrícolas prestan a la sociedad.

### ***Actividades principales***

- Elaborar inventarios de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI)
- Diseñar procesos y/o alternativas tecnológicas para reducir las emisiones de GEI
- Diseño de corredores biológicos
- Aumentar la capacidad de adaptación de ecosistemas

#### **1.2.4.3. Manejo integrado de cuencas**

Este programa persigue impulsar e implementar acciones, para mantener la integridad de los recursos naturales en las cuencas, tomando en cuenta su contexto social.

### ***Actividades principales***

- Fomento y acompañamiento de procesos de organización social para el manejo de cuencas (en los primeros años se trabajará las cuencas prioritarias de la zona cañera de la costa sur).
- Promoción de manejo y protección del bosque.
- Apoyar el manejo integrado del agua.

#### 1.2.4.4. **Gestión de riesgo de desastres**

Este programa persigue influir en la reducción de riesgo de desastres, impulsando acciones con base en el análisis de factores naturales y sociales.

##### ***Actividades principales***

- Evaluación de la vulnerabilidad de poblados, infraestructura y sistemas de producción
- Análisis de amenazas, especialmente de las inundaciones
- Elaboración de propuestas de obras para reducción de desastres y adaptación al cambio climático.

#### 1.2.4.5. **Desarrollo de capacidades y divulgación**

Su objetivo es difundir información y conocimientos, que aumenten la capacidad de la población y de los sistemas productivos, de mitigar y adaptarse al cambio climático.

##### ***Actividades principales***

- Capacitar a grupos clave de la población sobre el cambio climático.
- Publicaciones sobre el cambio climático.
- Asesoría técnica para la mitigación y adaptación al cambio climático.

#### 1.2.5. **Estructura organizacional del ICC**

El equipo consta del Director, cinco coordinadores de programa, personal administrativo, personal técnico y de campo. (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2011)



Figura 2 Estructura organizacional del ICC



## **1.3. OBJETIVOS**

### **1.3.1. Objetivo General**

- 1.3.1.1. Diagnosticar la situación actual del Programa de Investigación en Clima e Hidrología del Instituto Privado de Investigación sobre el Cambio Climático –ICC-.

### **1.3.2. Objetivos Específicos**

- 1.3.2.1. Recopilar información acerca de las líneas de investigación del Programa de Investigación en Clima e Hidrología.
- 1.3.2.2. Evaluar el grado de cumplimiento de las actividades por línea de investigación del Programa de Investigación en Clima e Hidrología por área de trabajo.
- 1.3.2.3. Identificar las líneas de investigación del Programa de Investigación en Clima e Hidrología, que requieran ser fortalecidas.
- 1.3.2.4. Priorizar la problemática en cuanto a la ejecución de actividades por línea de investigación, del Programa de Investigación en Clima e Hidrología.

## **1.4. METODOLOGÍA**

### **1.4.1. Primera Fase: Recopilación de información con fuentes primarias y secundarias**

La recopilación de información de fuentes primarias se realizó con distintos actores, relacionados con el Programa de Investigación en Clima e Hidrología, a través de entrevistas. Dentro de los actores que se consideraron para esta primera fase del diagnóstico fueron:

- ✓ Coordinador del Programa de Investigación en Clima e Hidrología
- ✓ Técnico del Programa de Investigación en Clima e Hidrología
- ✓ Instituciones aliadas del Programa de Investigación en Clima e Hidrología: INSIVUMEH.

En cuanto a la recopilación de información secundaria, se obtuvo a través de revisión bibliográfica acerca del ICC, como por ejemplo el Plan Estratégico del ICC, el Plan Operativo Anual 2012, con su respectiva evaluación.

#### **1.4.1.1. Clasificación de actividades**

En esta etapa se realizó un cuadro, donde se clasificaron las actividades planteadas en el POA 2012, por línea de investigación tomando en cuenta las ramas de acción de cada una de las líneas.

#### **1.4.1.2. Análisis de ejecución de actividades**

Esta fase se realizó en dos etapas:

- ✓ La primera consistió en la generación de cuadros donde se muestran las actividades y el porcentaje de cumplimiento asignado a cada una ellas en el POA.
- ✓ La segunda etapa, consistió en generar gráficas que reflejen el cumplimiento de las actividades.
- ✓ Luego se obtuvieron porcentajes de cumplimiento por línea de trabajo, basados en datos obtenidos en el POA 2012.

- ✓ Para la evaluación general del programa, se tomó en cuenta los porcentajes alcanzados por línea de trabajo.

#### **1.4.1.3. Priorización de Actividades no ejecutadas**

En base al análisis de cumplimiento de actividades del POA 2012, se realizó otra matriz donde se prioriza las actividades por línea de investigación, según la necesidad de generación de estudios.

#### **1.4.1.4. Percepción de aliados mediante análisis FODA**

Para el análisis FODA del programa de Clima e Hidrología, se realizó una entrevista a actores claves en el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-.

## 1.5. RESULTADOS

El programa de investigación en Clima e Hidrología, es parte de una de las cinco unidades técnico-científicas del ICC. Teniendo a cargo exclusivamente, los proyectos relacionados con temas de climatología e hidrología. Al igual que los demás programas, cuenta con un coordinador, un técnico y personal de apoyo para la ejecución de los proyectos.

El programa tiene por objetivo generar información, análisis sobre el clima y los recursos hídricos, que contribuyan al bienestar de la población y a la sostenibilidad de los sistemas productivos. En especial, se busca que los mismos no se vean afectados por eventos extremos y los cambios que se puedan dar a futuro, lo cual cae en el ámbito de la adaptación al cambio climático. (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, 2011)

### 1.5.1. Estructura organizacional del Programa de Investigación en Clima e hidrología

El programa de clima e hidrología está compuesto por un Coordinador y un técnico; cuenta con el apoyo de un especialista en modelaciones hidrológicas e hidráulicas; además de tener alianzas con otras instituciones relacionadas con los temas de clima e hidrología. En la figura 3 se muestra la organización del programa de clima e hidrología.

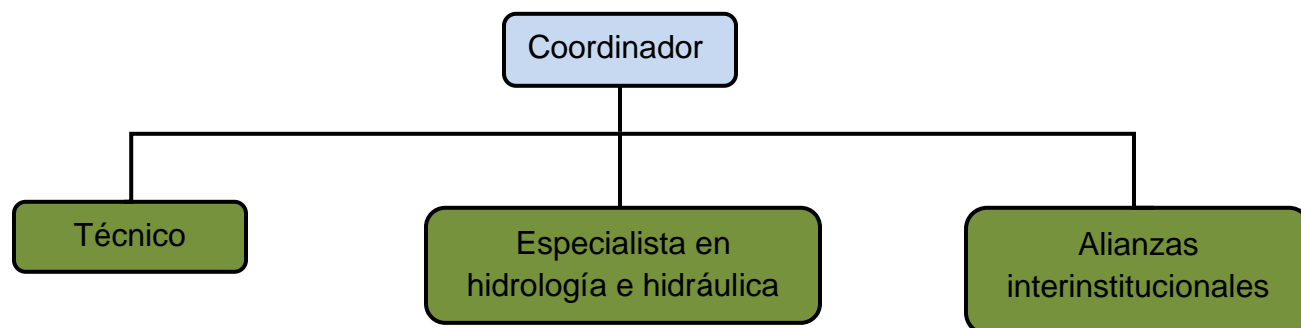


Figura 3 Estructura organizacional del programa de clima e hidrología

### **1.5.2. Alianzas interinstitucionales**

El programa de clima e hidrología se ha ido dando a conocer con instituciones que trabajan con los temas de interés del programa, tal es el caso de las constantes participaciones en actividades del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-.

Como un logro muy importante del programa, es la participación en el comité el cual el INSIVUMEH presenta las condiciones meteorológicas y climáticas de forma semanal, además del trabajo conjunto en proyectos de investigación.

### **1.5.3. Líneas de Investigación del Programa de Investigación en Clima e Hidrología**

El programa de investigación sobre Clima e Hidrología, cuenta con tres líneas de investigación principales, siendo éstas son: Climatología, hidrología subterránea e hidrología, cada una de ellas cuenta con sub áreas de trabajo.(Ver figura 4)

#### **1.5.3.1. Climatología**

Esta área de trabajo del programa, se planteó como línea principal de investigación, la modelación de los escenarios climáticos futuros de Guatemala; contribuyendo al planteamiento de recomendaciones, para la mitigación y adaptación al cambio climático, de los sistemas productivos y comunidades que estén dentro del área de acción del ICC.

Además, es de suma importancia mencionar que esta línea de investigación también trabaja en el análisis del comportamiento de los sistemas climáticos globales y regionales; además de considerar la posible generación de 27 índices definidos internacionalmente, para lograr monitorear el cambio climático en Guatemala.

### 1.5.3.2. **Hidrología**

Esta área de trabajo tiene por objetivo principalmente el generar información, que sea útil para la mitigación y reducción de la vulnerabilidad, tanto de sistemas productivos, como comunidades ante el cambio climático; la información generada, es un insumo de suma importancia para complementar el área de acción del programa de Gestión de Riesgos de Desastres. Es importante mencionar, que ésta área de trabajo está constituida por tres líneas de investigación: la primera está dirigida a realizar análisis de eventos extremos en las cuencas prioritarias para el ICC. La segunda pretende generar modelos hidrológicos e hidráulicos en los cauces principales, de las cuencas prioritarias; y por último la tercera línea, va enfocada a mapear las zonas con fuerte amenaza a inundaciones, la cual incluye un análisis de dichos eventos en el pasado, como la modelación a partir de escenarios de eventos extremos.

### 1.5.3.3. **Hidrología subterránea**

Ésta línea de investigación es de mucha importancia para el ICC, debido a que se desconoce las consecuencias, de la constante explotación actual de los manto acuíferos de la costa sur; es por esto que el área de hidrología subterránea tiene como fin analizar el comportamiento de dichos mantos y la dinámica que esto puedan estar teniendo dentro de las cuencas hidrológicas.

Además se contempla que se realicen actividades, como un mapeo hidrogeológico de las cuencas prioritarias de la costa sur, un análisis de la dinámica de los mantos acuíferos y estudios de la cantidad y calidad del agua disponible en estos mantos.

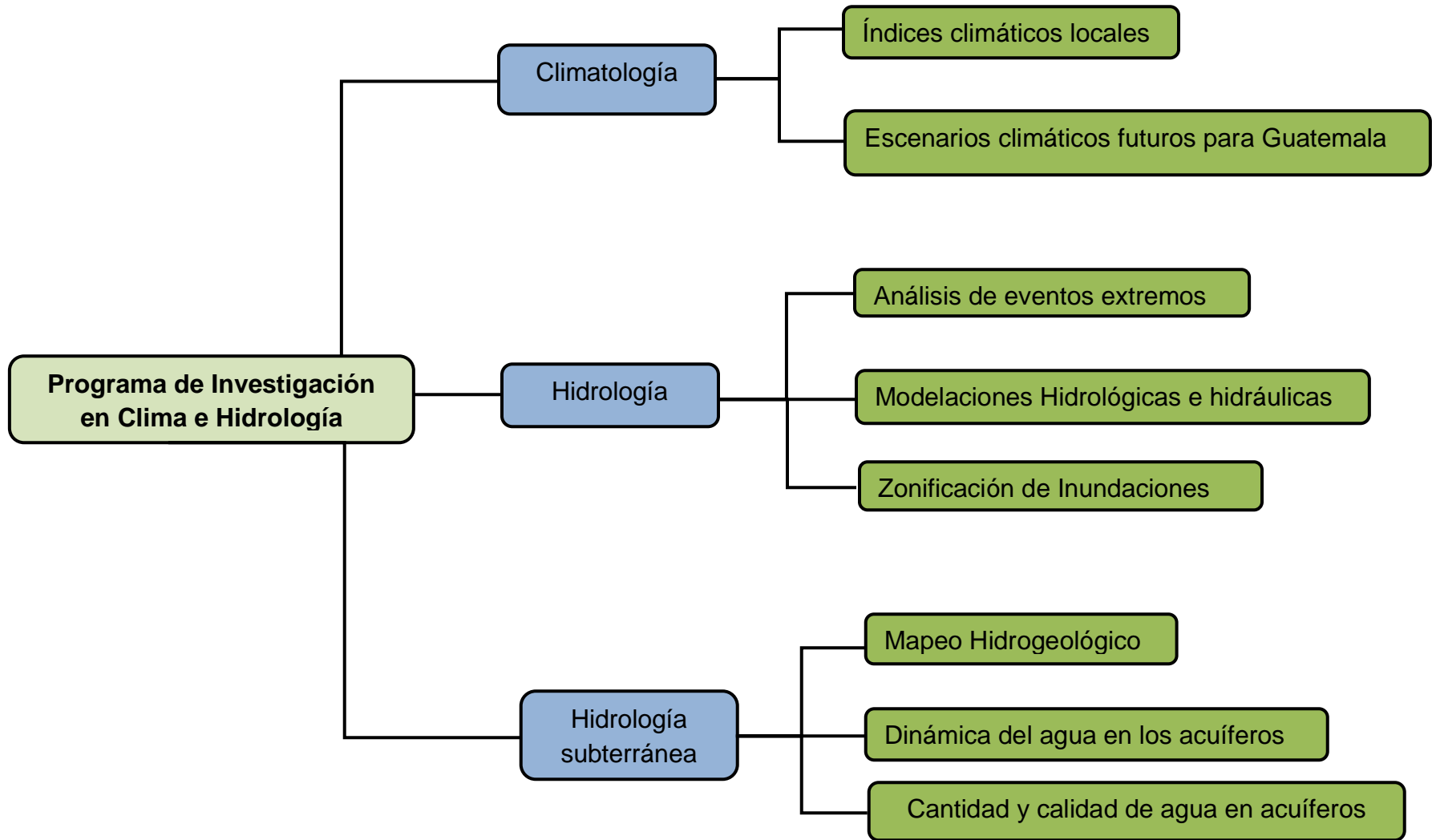


Figura 4 Líneas de investigación de Clima e Hidrología, ICC.

### 1.5.4. Actividades por línea de investigación

Cada línea de investigación anteriormente mencionada, cuenta con una serie de actividades, que se han realizado desde la creación del ICC hasta finales del año 2012. En el cuadro 1, 2 y 3 a continuación se muestran las actividades realizadas por línea de investigación.

#### 1.5.4.1. Líneas de Investigación: Climatología

Cuadro 1 Actividades del área de climatología

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES
<b>Climatología</b>	Captura de información meteorológica
	Estructuración, actualización y corrección de la base de datos, estaciones automáticas
	Estructuración, actualización y corrección de la base de datos, estaciones convencionales
	Servicio a estaciones automáticas
	Instalación de estaciones de reemplazo (año 2011)
	Reemplazo de estaciones (plan 2012)
	Instalación de estaciones en ubicaciones nuevas (plan 2011)
	Adquisición e instalación de nuevas estaciones (plan 2012)
	Elaboración de boletines climáticos semanales
	Índices locales de variabilidad climática y su relación con sistemas regionales
	Índices de cambio climático
Validación de análisis de vientos	



	Elaboración de boletines según solicitudes
	Metodología (downscaling)
	Evaluación de los efectos de ENSO en la costa sur de Guatemala.

Fuente. Elaboración propia.

Como se muestra en el cuadro anterior el área de climatología ha realizado 15 actividades distintas que se encuentran dentro de las dos subáreas tanto de índices climáticos locales como el de escenarios climáticos futuros.

Cabe mencionar que muchas de las actividades realizadas en ésta área se realizan a diario o bien semanalmente, como el de la elaboración del boletín climático; y el servicio y mantenimiento mensual a las estaciones mensualmente.

#### 1.5.4.2. Línea de Investigación: Hidrología

En el cuadro 2 se muestra las actividades del área de hidrología, y en el cual se observa que son 8 actividades las cuales componen esta área, estas actividades van desde el análisis de eventos extremos con el estudio de períodos de retorno de crecidas; el estudio hidráulico de la cuenca del río María Linda y la propuesta de generación de información hidrológica hasta la elaboración de boletines de balance hídrico.

Cuadro 2 Actividades del área de Hidrología

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES
<b>Hidrología</b>	Elaboración de boletines de balance hídrico (cada 10 días)
	Estudio de períodos de retorno de crecidas en María Linda y Achiguate
	Estudio hidráulico de la cuenca del río María Linda
	Análisis histórico de zonas inundadas
	Mapeo de áreas susceptibles a inundaciones
	Propuesta de generación de información hidrológica
	Diagnóstico de la situación actual de la generación de información hidroclimática
Revisión bibliográfica sobre almacenamiento y cosecha de agua y diseño de un proyecto piloto	

Fuente. Elaboración propia.

#### 1.5.4.3. Línea de Investigación: Hidrología Subterránea

Cuadro 3 Actividades del área de hidrología subterránea

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES
<b>Hidrología subterránea</b>	Análisis de perfiles de pozos de la cuenca del río Acomé
	Promoción de estudio geológico (base para estudio de aguas subterráneas)

Fuente. Elaboración propia.

El cuadro 3, muestra que el área de hidrología subterránea básicamente ha realizado dos actividades, que incluyen el análisis de los perfiles de pozos ubicados en la cuenca del río Acomé y un estudio geológico.

Al comparar los cuadros anteriores, se comprueba que la línea de investigación de climatología, es la que cuenta con más actividades específicas establecidas con un total de 15 actividades, seguidamente el área de hidrología con un total de 8 actividades y por último el área de hidrología subterránea, únicamente con 2 actividades. Estos resultados reflejan que el área de climatología es la línea mayormente desarrollada y con mayores fortalezas.

### 1.5.5. Actividades No Planificadas

Además de las actividades listadas para cada una de las líneas de investigación, el programa de clima e hidrología atiende actividades que no se planifican y siempre son de interés para el programa y el instituto, o bien proyectos propuestos por otras instituciones que trabajan con aspectos climáticos e hidrológicos. Estas actividades no planificadas, representan entre el 30 y 40 % del total de actividades que el programa realiza anualmente (Suárez, 2013). En el cuadro 4, se muestran las actividades no planificadas realizadas en el año 2012.

Cuadro 4 Actividades no planificadas

	<b>Actividad</b>
1	Atención a reuniones de ingenios para colaborar en la estimación de producción para la zafra 2012/2013
2	Elaboración de informes especiales sobre el comportamiento del ENSO y predicciones para la zafra 2012/2013
3	Colaboración en la redacción y elaboración de componentes de modelación para el proyecto USAID
4	Colaboración en la redacción y elaboración de componentes del cultivo de la caña de azúcar para el proyecto UK Hadley
5	Revisión de literatura, establecimiento de contactos para el proyecto de levantamiento topográfico de la zona cañera con LIDAR
6	Supervisión del procedimiento de migración de tecnología telemétrica (UHF) a GPRS

	para la red de estaciones meteorológicas
7	Supervisión en la ejecución de los proyectos de uso actual de la caña, cambio de uso en caña y parcelamientos de la costa sur
8	Establecimiento de redes de trabajo y colaboración con la ERIS y el INSIVUMEH (intercambio de experiencias y revisión de documentos)
9	Participación en reuniones y redacción de documentos del Comité de Ciencias de la Tierra y Observación del Espacio del CONCYT
10	Asesoría a Asoc. Vivamos Mejor en climatología e hidrología

Fuente. Elaboración propia.

Como se muestra en el cuadro anterior, las actividades no planificadas fueron 10 en total. Estas actividades van desde colaboración con ingenios para estimación de zafra con respecto al comportamiento del ENSO, establecimiento de redes de trabajo con distintas instituciones y asesorías, en el tema de clima como hidrología.

#### **1.5.6. Evaluación del porcentaje de cumplimiento de actividades**

Es de suma importancia poder tener un mejor panorama en cuanto al cumplimiento de las actividades y en qué medida se ha logrado alcanzar en su totalidad la ejecución de las mismas.

En el cuadro 5 se presentan las actividades realizadas en cada línea de investigación con su respectivo porcentaje de cumplimiento, durante el año 2012. Los porcentajes que se presentan en este cuadro, fueron establecidos de una manera subjetiva por parte del equipo de coordinadores del ICC (Suárez, 2013), en base a que tanto se cumplieron las metas que se plantearon al iniciar la ejecución de cada actividad.

Cuadro 5 Porcentaje de cumplimiento por línea de investigación.

LÍNEA DE INVESTIGACIÓN	ACTIVIDADES	% cumplimiento
<b>Climatología</b>	Captura de información meteorológica	100
	Estructuración, actualización y corrección de la base de datos, estaciones automáticas	100
	Estructuración, actualización y corrección de la base de datos, estaciones convencionales	70
	Servicio a estaciones automáticas	100
	Instalación de estaciones de reemplazo (año 2011)	100
	Reemplazo de estaciones (plan 2012)	100
	Instalación de estaciones en ubicaciones nuevas (plan 2011)	70
	Adquisición e instalación de nuevas estaciones (plan 2012)	100
	Elaboración de boletines climáticos semanales	100
	Índices locales de variabilidad climática y su relación con sistemas	75

	regionales	
	Índices de cambio climático	25
	Validación de análisis de vientos	100
	Elaboración de boletines según solicitudes	100
	Metodología (downscaling)	95
	Evaluación de los efectos de ENSO en la costa sur de Guatemala.	100

<b>Hidrología</b>	Elaboración de boletines de balance hídrico (cada 10 días)	100
	Estudio de períodos de retorno de crecidas en María Linda y Achiguate	150
	Estudio hidráulico de la cuenca del río María Linda	25
	Análisis histórico de zonas inundadas	75
	Mapeo de áreas susceptibles a inundaciones	50
	Propuesta de generación de información hidrológica	100
	Diagnóstico de la situación actual de la generación de información	95

	hidroclimática	
	Revisión bibliográfica sobre almacenamiento y cosecha de agua y diseño de un proyecto piloto	95
<b>Hidrología subterránea</b>	Análisis de perfiles de pozos de la cuenca del río Acomé	0
	Promoción de estudio geológico (base para estudio de aguas subterráneas)	0

Fuente. (Climático I. P., 2012)

Como se puede observar en el cuadro 5, los porcentajes de cumplimiento de las actividades en las distintas líneas de investigación, van de desde un 100% de cumplimiento hasta un 0% de cumplimiento.

Para mejorar la comprensión del grado de cumplimiento, se utilizaron los siguientes colores: el color verde es utilizado para un porcentaje de cumplimiento de 100 a 91, siendo considerado este un cumplimiento alto; de 90 a 80% para un cumplimiento medio y el color rojo, para un grado de cumplimiento por debajo de 80% considerado un cumplimiento bajo o deficiente; estos parámetros fueron establecidos por la junta directiva del ICC. (Suárez, 2013).

Cuadro 6 Escala de porcentaje de cumplimiento.

Rango de porcentaje	Porcentaje	Color
100-91	Alto	Verde
90-85	Medio	Amarillo
Debajo de 85	Bajo	Rojo

Fuente. Elaboración propia.

Para una mejor interpretación de los porcentajes de cumplimiento, de cada una de las actividades realizadas en las distintas líneas de investigación, a continuación se presentan gráficas, que reflejan de mejor manera el porcentaje de cumplimiento de las actividades.

En la figura 5, se muestra los porcentajes de cumplimiento de las actividades del área de climatología, que según los parámetros establecidos, han tenido un deficiente cumplimiento; tal es el caso de la estructuración, actualización y corrección de la base de datos de las estaciones convencionales, siendo su porcentaje de ejecución del 70%; esto debido a que hace falta que el ingenio Santa Ana entregue la información de sus estaciones. Así mismo, se observa que en la instalación de estaciones nuevas el porcentaje de cumplimiento es de 70%, lo cual obedece a que se planteó el establecimiento de 5 estaciones, de las cuales únicamente dos estaciones se instalaron, ya que no se contaba con pararrayos para las demás estaciones.



En cuanto al cumplimiento de los índices locales de variabilidad climática e índices de cambio climático, los porcentajes son deficientes, siendo estos 75 y 25 respectivamente; esto debe a una reestructuración de las actividades planteadas para la obtención de estos productos. El caso particular de los índices locales de variabilidad climática, se ha ido realizando por etapas ya que representa una importante inversión de tiempo para el personal del programa.

Es importante mencionar, que en el caso particular de la instalación de nuevas estaciones, se ha visto limitada la actividad, básicamente por el bajo presupuesto que se tiene para la adquisición del equipo necesario para montar una estación; es necesario elevar el cumplimiento de dicha actividad, debido a la importancia que representa para el ICC, tener mayor monitoreo dentro del área de acción del instituto.

Se puede agregar al análisis, que se hace a la línea de climatología que del total de las 15 actividades que se establecieron, 11 de ellas tienen un porcentaje de cumplimiento alto, siendo el 73% del total de las actividades dentro de este rango de porcentaje.

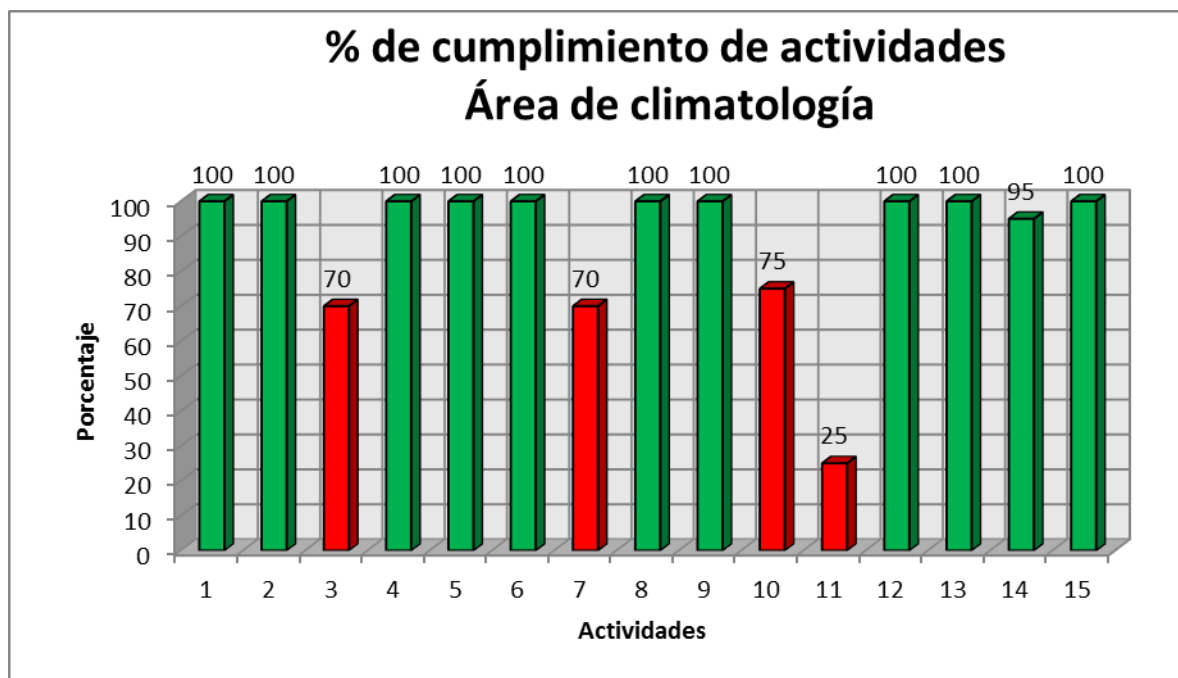


Figura 5 Cumplimiento de actividades área de climatología

No	Actividad
1	Captura de información meteorológica
2	Actualización y corrección base de datos, estaciones automáticas
3	Actualización y corrección base de datos, estaciones convencionales
4	Servicio a estaciones automáticas
5	Instalación de estaciones de reemplazo
6	Reemplazo de estaciones
7	Instalación estaciones en ubicaciones nuevas
8	Adquisición e instalación de nuevas estaciones
9	Elaboración de boletines climáticos
10	Índices locales de variabilidad climática
11	Índices de cambio climático
12	Validación de análisis de vientos
13	Elaboración de boletines según solicitudes
14	Metodología (downscaling)
15	Evaluación de los efectos de ENSO en la costa sur de Guatemala.

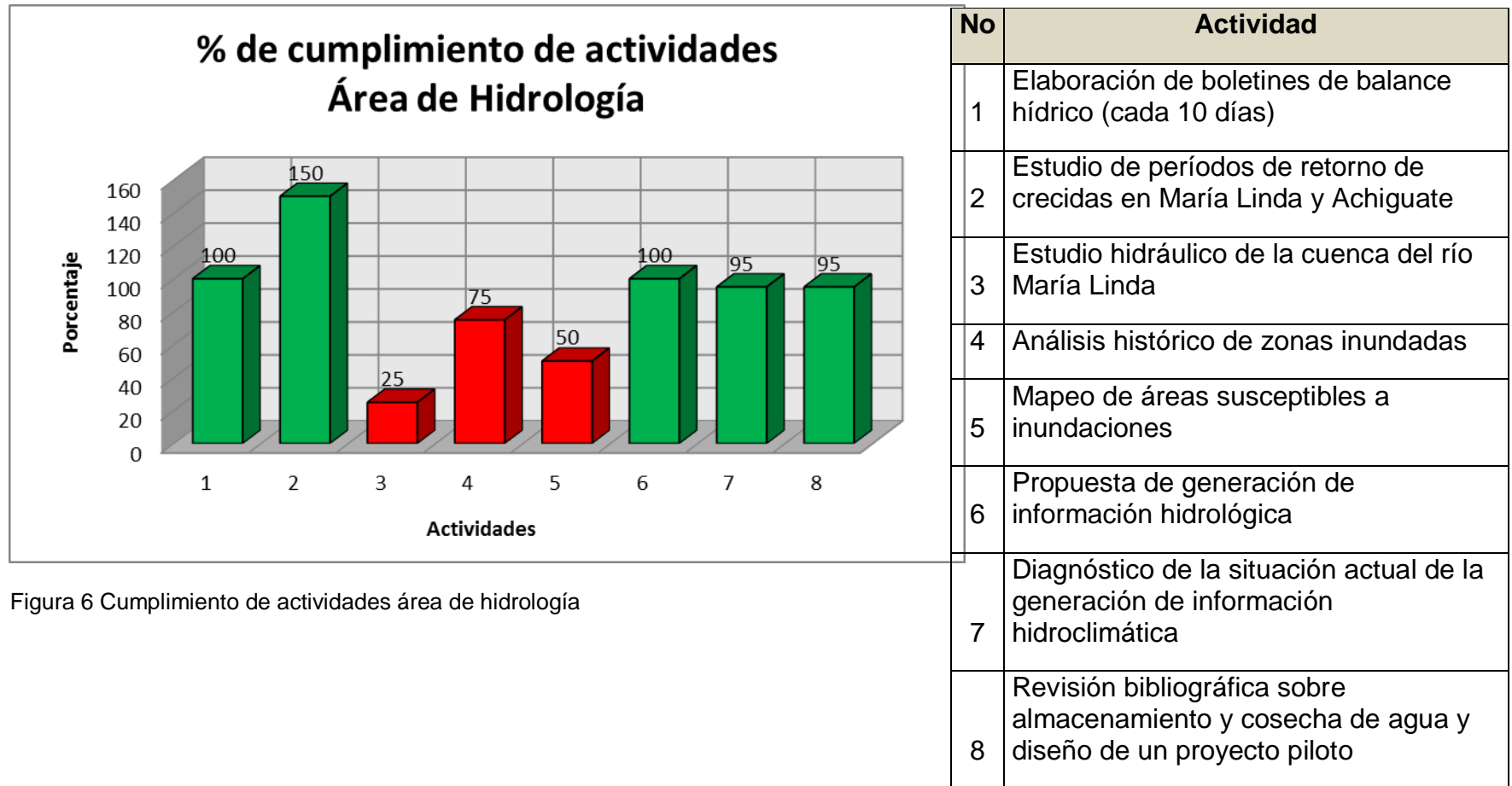


Figura 6 Cumplimiento de actividades área de hidrología

Como se muestra en la figura 6 se puede enfatizar que existen 3 actividades que tienen un cumplimiento bajo. En el caso del estudio hidráulico del río María Linda, que tiene un 25% de cumplimiento, se debe a que para la realización de un estudio de dicha magnitud, se necesita información con la que no se cuenta para su realización.

Las actividades de análisis histórico de zonas inundadas y mapeo de áreas susceptibles a inundaciones, poseen un cumplimiento de 75% y 50% respectivamente; esto se debe a que únicamente, se ha realizado un diagnóstico participativo, de las zonas más afectadas por inundaciones en el área de acción del ICC. Estas actividades se realizan conjuntamente con el programa de Gestión de Riesgo de Desastres.

Estas dos actividades con tan bajo porcentaje de cumplimiento, da idea de la importancia de ser reforzadas, ya que la información que se genere, puede ayudar en un momento dado a proponer alternativas, tanto para evitar una inundación, así como las medidas preventivas que podrían tomarse.

Cabe resaltar que la subárea de análisis de eventos extremos, tiene el mejor cumplimiento en todas sus actividades, pudiéndose resaltar el cumplimiento en la realización del estudio de períodos de retorno de crecidas, en el río María Linda y Achiguate, siendo de 150%, sin dejar de lado que las otras actividades tienen un cumplimiento bueno.

La línea de investigación más deficiente es la de hidrología subterránea, teniendo un 0% de cumplimiento en las actividades programadas lo que coloca al área de hidrología subterránea en un porcentaje de bajo o deficiente cumplimiento según la escala de evaluación de la junta directiva del ICC; sin embargo esto se justifica con que no se cuenta con apoyo de los ingenios para compartir información acerca de sus pozos, ya que es información necesaria para la realización de este estudio. Además para que este proyecto se realice es necesario contar con un especialista en hidrogeología, ya que el programa no cuenta con personal que denomine el tema.

### 1.5.7. Evaluación de actividades planificadas y no planificadas

Como parte de la evaluación de las actividades en general, el análisis que se puede hacer dentro del programa es que en total se ejecutaron 34 actividades de las cuales 25 fueron actividades planificadas en el POA, y las 9 restantes actividades no planificadas, muchas de ellas siendo requerimiento de las instituciones con las que se trabaja, tal como se muestra en la figura 7.

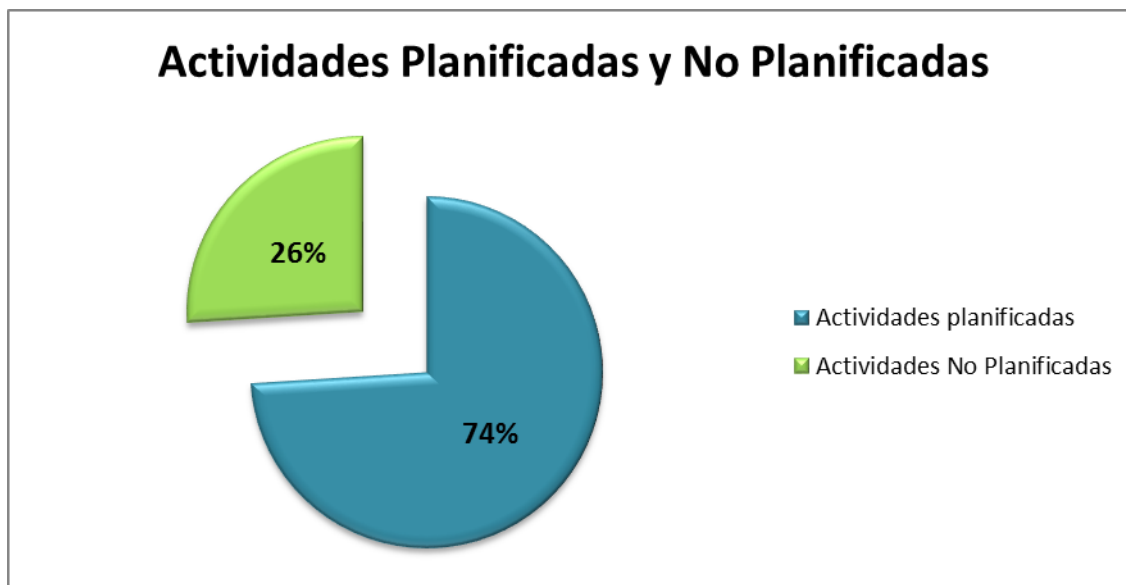


Figura 7 Porcentaje de actividades planificadas y no planificadas

### 1.5.8. Evaluación de las líneas de investigación

En cada una de las líneas de investigación, se plantea año con año, un número de actividades que se pretenden realizar; y que posteriormente se evalúan para definir el porcentaje de ejecución y tener un mejor panorama del cumplimiento de los objetivos, que se plantearon en el plan estratégico del ICC, con respecto a cada una de las líneas de investigación.

Como se mencionó anteriormente, la línea de investigación de climatología para el año 2012 tenía propuestas 15 actividades, el área de hidrología contaba con 8 actividades a realizar y el área de hidrología subterránea únicamente 2 actividades. En la gráfica 5 se muestra en porcentaje el cumplimiento que ha tenido cada una de las líneas de investigación, con respecto a las actividades que estaban propuestas para el año 2012.

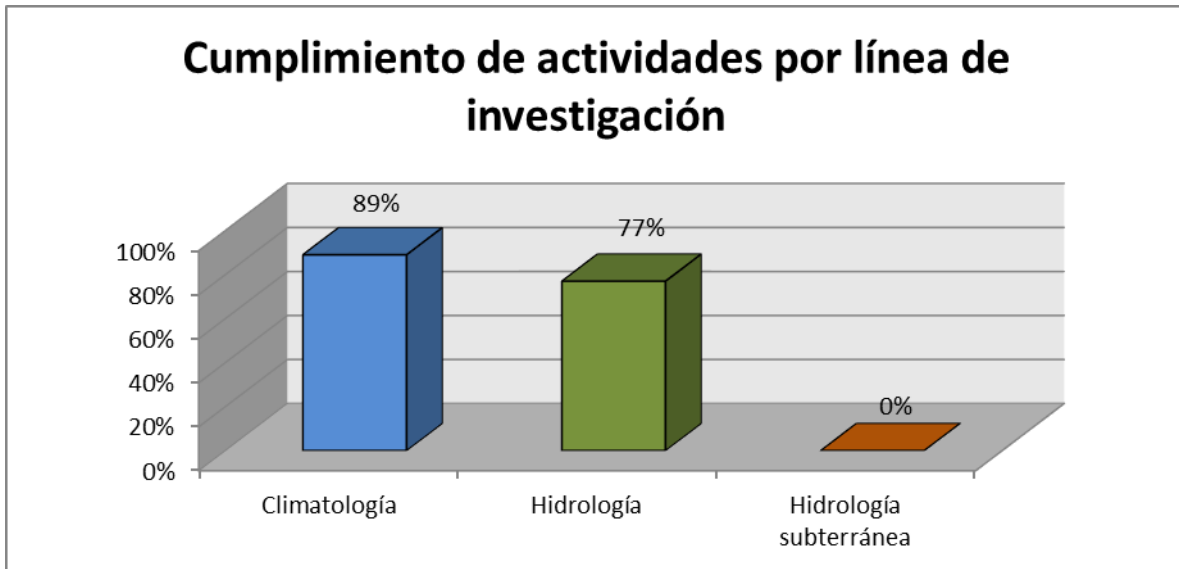


Figura 8 Cumplimiento de actividades por línea de trabajo

Se observa en la figura 8, que la línea de climatología es la línea de investigación dentro del programa de clima e hidrología, que tiene mayor porcentaje de cumplimiento de las actividades que se plantearon con un 89% y tomando la escala anteriormente mencionada, este sería un cumplimiento regular; y en caso del área de hidrología que posee un 77% de sus actividades planteadas tendría un cumplimiento medio, sin embargo está por encima del 50% de cumplimiento; y en el caso del área de hidrología subterránea, que no se ha ejecutado ninguna actividad, posee un 0% de cumplimiento, siendo la línea de investigación que está completamente deficiente.

#### 1.5.9. Evaluación del programa de investigación en clima e hidrología

Es importante la evaluación general del programa basada en las actividades que se han planteado el año. En la gráfica 6, se muestra el porcentaje de cumplimiento de 2012 de las actividades planteadas en el programa.

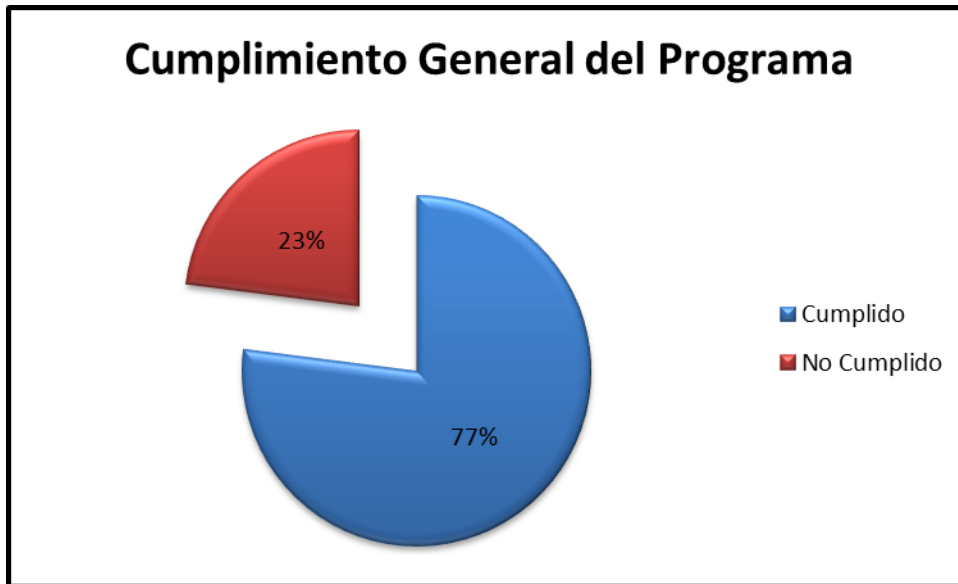


Figura 9 Cumplimiento general del programa de clima e hidrología

Como se muestra en la figura 9, el programa de investigación en clima e hidrología ha cumplido en un 77%, con las actividades que se ha planteado, tanto en el plan estratégico como en el plan operativo anual 2012. Si se toma como medida de evaluación la escala anteriormente mencionada, para la evaluación del cumplimiento de las actividades, en ese caso se podría considerar que el cumplimiento general del programa es bajo, sin embargo, es importante considerar que es un buen porcentaje de desempeño del programa, en un contexto global.

### 1.5.9. Priorización de actividades

Dado el nivel bajo de cumplimiento de las actividades fue necesario realizar una priorización de las actividades, en base al porcentaje de cumplimiento que cada una de ellas tiene, así mismo se tomó en cuenta la ponderación de prioridad asignada a cada una de ellas en la evaluación del plan operativo anual.

En el cuadro 7, se muestra el orden de priorización de las actividades, en un orden de mayor a menor prioridad de ejecución.

Cuadro 7 Priorización de actividades

<b>Actividad</b>	<b>% de cumplimiento</b>
Promoción de estudio geológico (base para estudio de aguas subterráneas)	0
Análisis de perfiles de pozos de la cuenca del río Acomé	0
Estudio hidráulico de la cuenca del río María Linda	25
Índices de cambio climático	25
Mapeo de áreas susceptibles a inundaciones	50
Actualización y corrección base de datos, estaciones convencionales	70
Instalación estaciones en ubicaciones nuevas	70
Índices locales de variabilidad climática	75
Análisis histórico de zonas inundadas	75

Fuente. Elaboración propia.

#### 1.5.10. Análisis FODA

En este caso se elaboró un análisis FODA del programa de investigación en clima e hidrología, con la variante que el análisis fue realizado con una de las instituciones que ha trabajado en conjunto con el programa, y en este caso es el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología –INSIVUMEH-. En el cuadro 7, se muestran los resultados obtenidos del FODA generado por personal del INSIVUMEH, de las áreas de climatología e hidrología.



Cuadro 8 Análisis FODA –INSIVUMEH-

<b>Fortalezas</b>	<b>Oportunidades</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Amplia red de estaciones meteorológicas.</li> <li>• Amplia base de datos.</li> <li>• Disponibilidad de recursos para mantenimiento y funcionamiento de estaciones.</li> <li>• Recursos para inversión en nuevos proyectos</li> <li>• Buena relación con técnicos de otras instituciones.</li> <li>• Pertener al sector privado</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estrechar relaciones con otras instituciones, tanto nacionales como internacionales, relacionadas con la temática del programa.</li> <li>• Libertad de realizar investigación aplicada.</li> <li>• Aplicar a fondos internacionales.</li> <li>• Ser asesorados por especialistas nacionales y extranjeros en la temática</li> </ul>
<b>Debilidades</b>	<b>Amenazas</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• No contar con una red de estaciones hidrológicas</li> <li>• Poco personal de investigación</li> <li>• No tener acceso a bancos de datos grandes.</li> <li>• No son plenamente reconocidos</li> <li>• No se han dado a conocer sus estudios publicados.</li> <li>• Los proyectos van dirigidos únicamente al área de influencia de la industria azucarera.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Criticados por ser parte de la agroindustria azucarera.</li> <li>• Acomodarse en el ámbito nacional, como muchas instituciones.</li> <li>• No poder realizar proyectos conjuntamente con instituciones del sector gubernamental.</li> </ul>

Fuente. Elaboración propia.

En el cuadro 8, se muestra que el programa posee varios elementos internos positivos (fortalezas) que lo diferencian de otros que manejan la misma temática. Dentro de las que se puede destacar la red de estaciones meteorológicas y todas las actividades de mantenimiento, funcionamiento e instalación de nuevas estaciones, como bien se mostraba con el análisis de porcentajes de cumplimiento de actividades por línea de investigación; el área de climatología es la que tiene mayor porcentaje de cumplimiento de actividades, incluyendo un cumplimiento del 100% en las actividades que tienen relación con las estaciones meteorológicas.

En el caso particular de las oportunidades, es importante saber cuáles son esas oportunidades que le ven al programa desde un panorama externo a él; como bien se menciona, el programa tiene muchas oportunidades que ayudarían a proyectarlo de una mejor manera a las instituciones con las que se tiene relación y proyectos conjuntos; así mismo poderse a dar conocer con instituciones con las que se quiera tener relación. Una oportunidad muy importante es la libertad de poder realizar investigación aplicada debido a la temática que maneja el programa, los aportes que pueda hacer con sus investigaciones no son grandes aportes para el sector azucarero sino también pueden ser aportes a nivel nacional. El tema de tener la opción de aplicar a fondos internacionales, favorece el tema de investigación, ya que podrían realizarse más proyectos de ésta índole y poder enriquecer las actividades del programa y así mismo, darse a conocer no solo a nivel nacional, sino también en el extranjero. Cada una de las oportunidades planteadas, si se le da la importancia necesaria, pudiesen ser elementos que el programa puede aprovechar, para darse a conocer aún más y ser punta de lanza para investigación en temas relacionados con clima e hidrología.

## **1.6. CONCLUSIONES**

- 1.6.1.** Las líneas de investigación del programa de Investigación en Clima e Hidrología son 3: Climatología principalmente enfocado al trabajo de generación de índices climáticos y escenarios climáticos futuros para Guatemala; el área de hidrología tiene tres grandes líneas de trabajo que son análisis de eventos extremos, estudios de modelación hidrológica e hidráulica y zonificación de inundaciones; y por último el área de hidrología subterránea que trabaja con mapeos hidrogeológicos y dinámica de los acuíferos.
- 1.6.2.** El grado de cumplimiento de las actividades dentro del programa por línea de investigación, muestran que el área de climatología es la que ha cumplido en mayor porcentaje sus actividades con un 89%, siendo este un cumplimiento bueno; seguido del área de hidrología con un 77% que refleja que hay que reforzar algunas actividades para elevar el porcentaje de cumplimiento de actividades; y el área de hidrología subterránea, con un 0% de cumplimiento de sus actividades planificadas.
- 1.6.3.** En base al análisis realizado para el programa de Clima e Hidrología, la línea de hidrología subterránea, es la que necesita ser reforzada debido a que tiene un 0% de cumplimiento. Este fortalecimiento podría realizarse, a través de formulación de nuevas estrategias, para la obtención de información hidrogeológica de parte de los ingenios y complementándolo con la participación de un especialista en la temática.
- 1.6.4.** La priorización de actividades por línea de investigación es la siguiente: en climatología es necesario realizar el análisis de índices climáticos locales; en el área de hidrología, es de suma importancia retomar y reforzar el tema de mapeo de zonas susceptibles a inundaciones con una base técnica; y en el área de hidrología subterránea, principalmente trabajar el estudio geológico, siendo la base para los posteriores estudios de agua subterránea.

## **1.7. RECOMENDACIONES**

- 1.7.1.** Es importante que año con año se pueda hacer una evaluación del plan operativo anual del programa de investigación en clima e hidrología, para corroborar el porcentaje de cumplimiento de las actividades en cada una de las subáreas del programa; así mismo también poder reestructurar las actividades el plan operativo anual de ser necesario.

## 1.8. BIBLIOGRAFIA

1. Gómez, R. 2013. Análisis FODA. (C. Estrada, Entrevistadora).
2. ICC (Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático, GT). 2011a. Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (en línea). Guatemala. Recuperado 27 feb 2013. De Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático: <http://www.icc.org.gt/?PAGE=2>
3. \_\_\_\_\_. 2011b. Plan estratégico 2011-2020. Guatemala. p.
4. \_\_\_\_\_. 2012. Evaluación cuatrimestral del plan operativo anual. Guatemala. 30 p.
5. Liere Quevedo, MA. 2011. Diagnóstico de general de las cuencas Achiguate, Acomé y Coyolate de la vertiente del Pacífico. Tesis Ing. Agr. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía, 218 p.
6. López, S. 2013. Análisis FODA. (C. Estrada, Entrevistadora).
7. Suárez, A. 2013. Programa clima e hidrología. (C. Estrada, Entrevistadora).

## **2. CAPÍTULO II**

**REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO,**

**GUATEMALA, C.A.**

## 2.1. PRESENTACIÓN

La importancia de la regionalización climática de un área particular, básicamente radica en ser una herramienta que puede ser aplicada en las distintas problemáticas, que hoy en día se relacionan con el cambio climático; evidenciándose la gran utilidad que esta herramienta brinda, cuando se habla de investigaciones de este tipo. Sin embargo, para poder tener un mejor panorama de las evidencias de cambio climático en una región, es necesario contar con información climática no solamente de manera global, de manera regional siendo ésta una forma técnica de asegurar una correcta toma de decisiones, para proponer estrategias de adaptación y mitigación ante el cambio climático, y se pueda informar a los sectores que se puedan ver afectados por el mismo.

Debido a que Guatemala está ubicada en una zona geográfica, de alto riesgo y vulnerabilidad a los efectos de fenómenos naturales de tipo geológico e hidrometeorológico, estos fenómenos son una amenaza a la vida y salud humana, ya que pueden provocar la pérdida de los medios de subsistencia y producir daños a la infraestructura básica. Al mismo tiempo que afectan la calidad de vida de los habitantes de las áreas vulnerables, también agravan las condiciones socioeconómicas de la población. Estas situaciones pueden aumentar los conflictos sociales (MARN, 2007).

La investigación se basa en el análisis de las bases de datos de precipitación pluvial, temperatura mínima y máxima, utilizando el software estadístico (R) y ArcGis 10, como herramientas para definir regiones que tengan un comportamiento homogéneo en cuanto a las variables en estudio. A partir del análisis, se generaron mapas que muestran de manera objetiva el comportamiento de estas variables climáticas en la vertiente del Pacífico.

Con esta información se pueden generar acciones que pueden reducir los efectos, que pudiesen tener el comportamiento futuro de las variables climáticas sobre las comunidades y sistemas productivos de la región.

## 2.2. MARCO TEÓRICO

### 2.2.1. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

#### 2.2.1.1. Clima

La palabra "Clima" etimológicamente procede del latín "clima", que a su vez proviene del griego "klima" que significa: INCLINACIÓN. Este concepto surge porque el Clima, variará según la inclinación en que llega la radiación solar a la Tierra, como se muestra en la figura 10. Por esta razón, existe tanta diversidad climática en el planeta. (Fallas y Oviedo, 2003).



Figura 10. Efecto de la inclinación de la Tierra (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 y 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 y Oviedo, 2003).

### 2.2.2. Factores del clima

Las características del clima dependen para su consolidación de tres factores que actúan en conjunto y que definen los rasgos climáticos de un lugar, siendo estos: factor astronómico, factor geográfico y factor meteorológico (Fallas y 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, definiendo la cantidad de radiación solar recibida. 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 y 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:

**B.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. 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.).



**B.2 Efectos dinámicos:** Las montañas y cordilleras modifican los patrones del viento. Para juzgar los efectos, hay que considerar la orientación de las mismas.

**B.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. (Fallas y Oviedo, 2003).

**B.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. (Fallas y Oviedo, 2003).

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 y Oviedo, 2003).



Figura 11 Factores y elementos del clima (Salas, 2000).

### 2.2.3. 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.).

### **2.2.3.1. Temperatura**

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

### **2.2.3.2. 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, aguanieve y granizo. La cantidad de precipitación sobre un punto de la superficie terrestre es llamada pluviosidad, o monto pluviométrico. (Educaplus, s.f.).

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.).

### **2.2.3.3. 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 lugares 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.).

### **2.2.4. 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).

### **2.2.5. 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 (Patt *et 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 y Guerra, 2008).

### **2.2.6. 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, incluyendo la variabilidad climática y los extremos. (Castellanos y 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 y Guerra, 2008).

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 los 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 los efectos del cambio climático tengan impactos muy fuertes en todos los aspectos de la vida nacional, a menos que haya mejoras sustanciales en las condiciones socioeconómicas y la implementación de medidas de mitigación. 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 y Guerra, 2008).

Se considera que a nivel mundial, la población más pobre de los países en desarrollo es la que se verá afectada más severamente por el cambio climático, a pesar de tener la menor responsabilidad en causarlo (PNUD, 2007; citado por Castellanos y 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 y Guerra, 2008).

### **2.2.7. Regionalización**

Los Modelos de la Circulación General acoplada Atmósfera-océano (MCGAO) son las principales herramientas disponibles hoy en día para simular el cambio climático, dado el reciente desarrollo de plataformas informáticas, cada vez más potentes y el aumento de la resolución horizontal de los MCGAO. Sin embargo, la mayor parte de los MCGAO empleados para obtener proyecciones de cambio climático siguen teniendo resoluciones horizontales de unos 100-300 km, que son demasiado pequeñas para dar la información

de cambio climático a escalas tan finas, como las que se requieren para la mayor parte de los estudios de evaluación de impactos.

Esta resolución tampoco permite simular de forma precisa los episodios de tiempo extremo, fundamentales para evaluar muchos de los impactos de cambio climático. Por este motivo, desde finales de la década de 1980 y principios de la de 1990, se han desarrollado diferentes técnicas de “regionalización” para refinar espacialmente la información generada por los MCGAO y suministrar datos útiles para los estudios de evaluación de impactos. (Giorgi, 2008)

Las herramientas de regionalización se han aplicado cada vez más a un amplio abanico de problemas relacionados con el cambio climático, revelándose como un recurso importante en este tipo de investigación. Sin embargo, a la hora de aplicarlas es necesario comprender íntegramente los supuestos fundamentales sobre los que se cimienta su uso, junto con sus posibilidades y limitaciones. Este aspecto es especialmente importante, a la vista del hecho de que al ser más accesibles que los MCGAO desde un punto de vista tanto computacional como técnico, las técnicas de regionalización pueden aplicarse de forma más generalizada por toda la comunidad científica, y suelen representar el último paso de la conexión existente entre la información climática y los impactos y la aplicación a los procesos encaminados a la elaboración de políticas. (Giorgi, 2008)

### **2.2.8. Herramientas de Regionalización**

A grandes rasgos, se puede decir que actualmente, existen cuatro herramientas de regionalización disponibles, destinadas a refinar la escala (“downscaling”) de la información climática generada por los MCGAO.

Estas herramientas se conocen tradicionalmente como:

- Modelos de circulación general atmosférica a “intervalos de tiempo” de alta resolución (MCGA)
- MCGAO de resolución variable (VarMCG)
- Modelos climáticos regionales anidados (MCR)
- Métodos de regionalización estadística (SD)

### **2.2.8.1. Modelos de circulación general atmosférica a “intervalos de tiempo” de alta resolución (MCGA)**

El enfoque de los MCGA consiste en efectuar simulaciones con un modelo global única y exclusivamente atmosférico, para unos períodos de tiempo determinados (o “intervalos de tiempo”), de una simulación del MCGAO transitoria, estableciendo una simulación para las condiciones climáticas del momento actual y otra para las del futuro. La temperatura de la superficie del mar (TSM) necesaria para llevar a cabo estas simulaciones, procede del MCGAO. Debido a que el modelo exclusivamente atmosférico se ejecuta para un período de tiempo de duración limitada, el modelo MCGA puede lograr resoluciones relativamente altas. De hecho, los experimentos de MCGA a intervalos de tiempo recientes, han alcanzado resoluciones de varias decenas de kilómetros, mostrando claramente una mejora cuando las ejecuciones del modelo se realizan con una resolución mayor.

El principal supuesto conceptual para la utilización de los MCGA a intervalos de tiempo, es que el forzamiento de la TSM obtenido a partir del MCGAO, sea consistente con la climatología del MCGA de alta resolución. Puesto que este caso podría no darse siempre, tales inconsistencias deberían valorarse a través del análisis de los resultados. La principal ventaja de los MCGA a intervalos de tiempo, es su cobertura global y su capacidad, para simular patrones de teleconexión entre regiones remotas. Por otro lado, las herramientas de regionalización más caras son los MCGAO, por lo que tienen que ser ejecutados en plataformas informáticas grandes, para lograr una resolución elevada. (Giorgi, 2008)

### **2.2.8.2. MCGAO de resolución variable (VarMCG)**

El enfoque VarMCG, consiste en ejecutar el mismo tipo de simulaciones que en un MCGA, pero utilizando un modelo global con una resolución horizontal, que aumenta gradualmente hacia la zona de interés. De forma similar, al caso de los modelos MCGA a intervalos de tiempo, las posibles incoherencias con los campos TSM rectores representan un problema, aunque este puede ser eludido mediante la relajación de los campos VarMCG hacia los del MCGAO, siempre y cuando la TSM se encuentre fuera de la zona de interés de alta resolución. Otra advertencia importante, es el hecho de que las parametrizaciones físicas utilizadas por el modelo VarMCG, tienen que funcionar en un amplio abanico de escalas espaciales, que en algunos casos, podrían traspasar los límites de aplicación de dichos esquemas. Hoy en día se dispone de bastantes VarMCG para la simulación climática, a resoluciones regionales que pueden ser de varias decenas de kilómetros y recientemente, se ha puesto en marcha un proceso de comparación de VarGCM (Fox-Rabinowitz y otros, citado por Giorgi, 2008).

### **2.2.8.3. Modelos climáticos regionales anidados (MCR)**

El enfoque MCR, consiste en la ejecución del mismo tipo de experimentos que los que se llevan a cabo en un VarMCG, pero con un MCR de área limitada “anidado” sobre la zona de interés. Debido a que el modelo sólo cubre una región limitada, puede alcanzar resoluciones horizontales muy elevadas. Con el fin de poder ser ejecutado, el modelo MCR necesita condiciones de contorno laterales (LBC). (Giorgi, 2008)

En el procedimiento de anidación, estas condiciones son facilitadas por las simulaciones del MCGAO correspondiente o como alternativa, por los campos derivados del análisis a nivel global de las observaciones.

El anidamiento MCR es probablemente, el método de regionalización dinámica más utilizado. El supuesto básico de este enfoque es que el MCGAO simula la respuesta de la circulación global a los forzamientos de gran escala (por ejemplo, forzamiento radiativo de los GEI), mientras que el modelo MCR anidado simula el efecto de los forzamientos regionales a escala inferior a la del MCG (por ejemplo, topografía). Es importante hacer hincapié en el hecho de que, cuando se emplea el modo unidireccional, no se espera que los MCR anidados corrijan los grandes errores de los campos del MCG que se usan, sino que, generalmente, añaden información regional de pequeña escala a la señal climática de gran escala.

### **2.2.8.4. Métodos de regionalización estadística (SD)**

En la técnica de regionalización estadística (Hewitson y Crane, 1996 citado por Giorgi, 2008), la estrategia básica es desarrollar relaciones estadísticas entre los predictandos de interés (por ejemplo, precipitaciones en un lugar determinado) y los predictores que pueden obtenerse de las simulaciones de los modelos globales (por ejemplo, geopotencial de 500 hPa). Estas relaciones se construyen a partir de las observaciones y posteriormente, se aplican a los resultados de las simulaciones del MCGAO del clima futuro, para obtener información del cambio climático a nivel local. Aunque esta es la filosofía básica que subyace en la regionalización estadística, existen muchas otras variantes diferentes.

Los métodos de regionalización estadística se basan en el supuesto esencial, de que las relaciones estadísticas desarrolladas utilizando la información del clima actual son válidas, incluso bajo condiciones climáticas diferentes (Hewitson y Crane, 1996 citado por Giorgi, 2008).

## 2.3. MARCO REFERENCIAL

### 2.3.1. Localización geográfica

La franja correspondiente a la vertiente del Pacífico de Guatemala se ubica entre las coordenadas  $13^{\circ} 55'' - 15^{\circ}$  Latitud Norte y de los  $89^{\circ} 10'' - 92^{\circ} 15''$  Longitud Oeste (Castillo, 2005). Tiene una extensión de  $24,027 \text{ km}^2$ , así como se muestra en la figura 12.

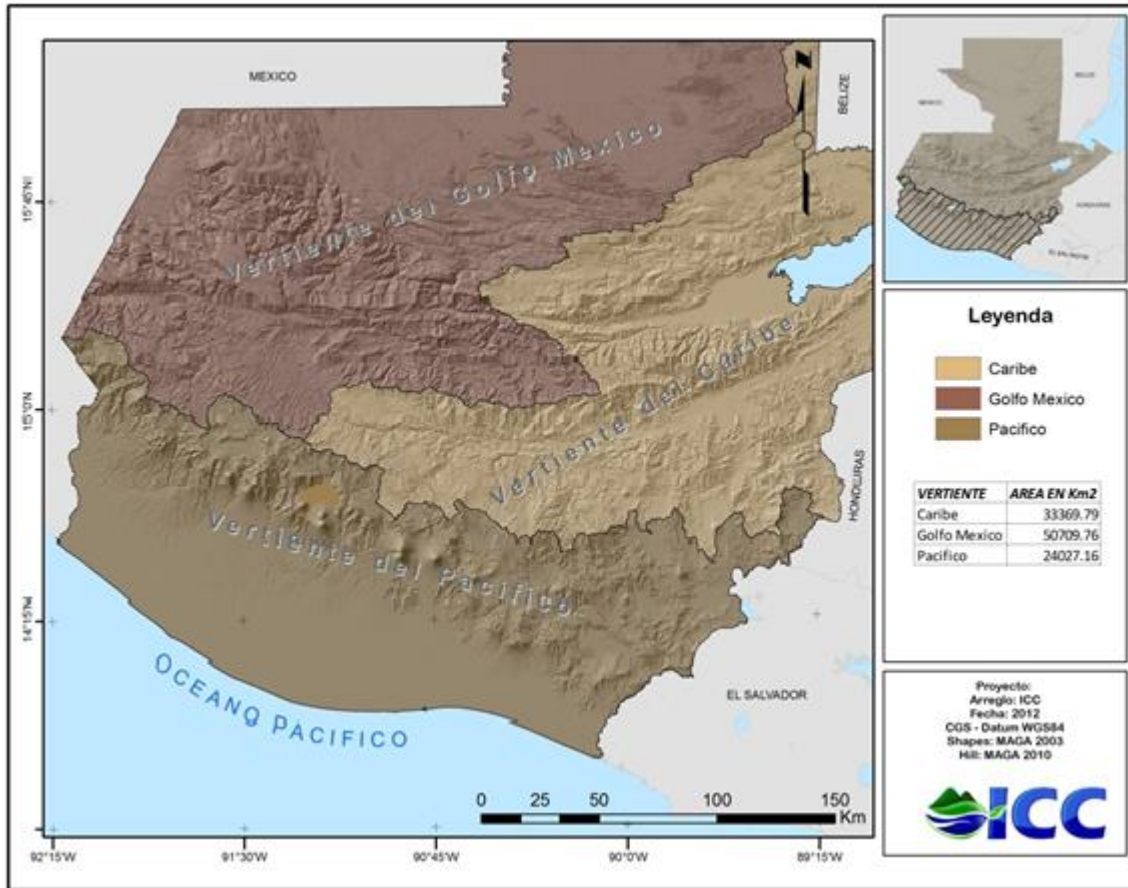


Figura 12 Localización de la vertiente del Pacífico.



### 2.3.2. 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, donde se incluyen granitos y dioritas de edad pre-permiano, cretácico y terciario.
  
- C. En la parte baja
  - ✓ Aluviones Cuaternarios, productos de los procesos de la erosión hídrica (Castillo, 2005).

### 2.3.3. 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.

Los afluentes en su origen son de curso corto (en promedio 110 Km. De longitud) y pendientes entre el 10 y 20 por ciento. Por esta razón, estos ríos de régimen torrencial en época lluviosa y 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).

En la vertiente del océano Pacífico se ubican 18 cuencas hidrográficas, derivadas de la Sierra Madre, con una extensión de 23,990 Km<sup>2</sup>, representando el 22% del territorio nacional, como se muestra en la figura 13.

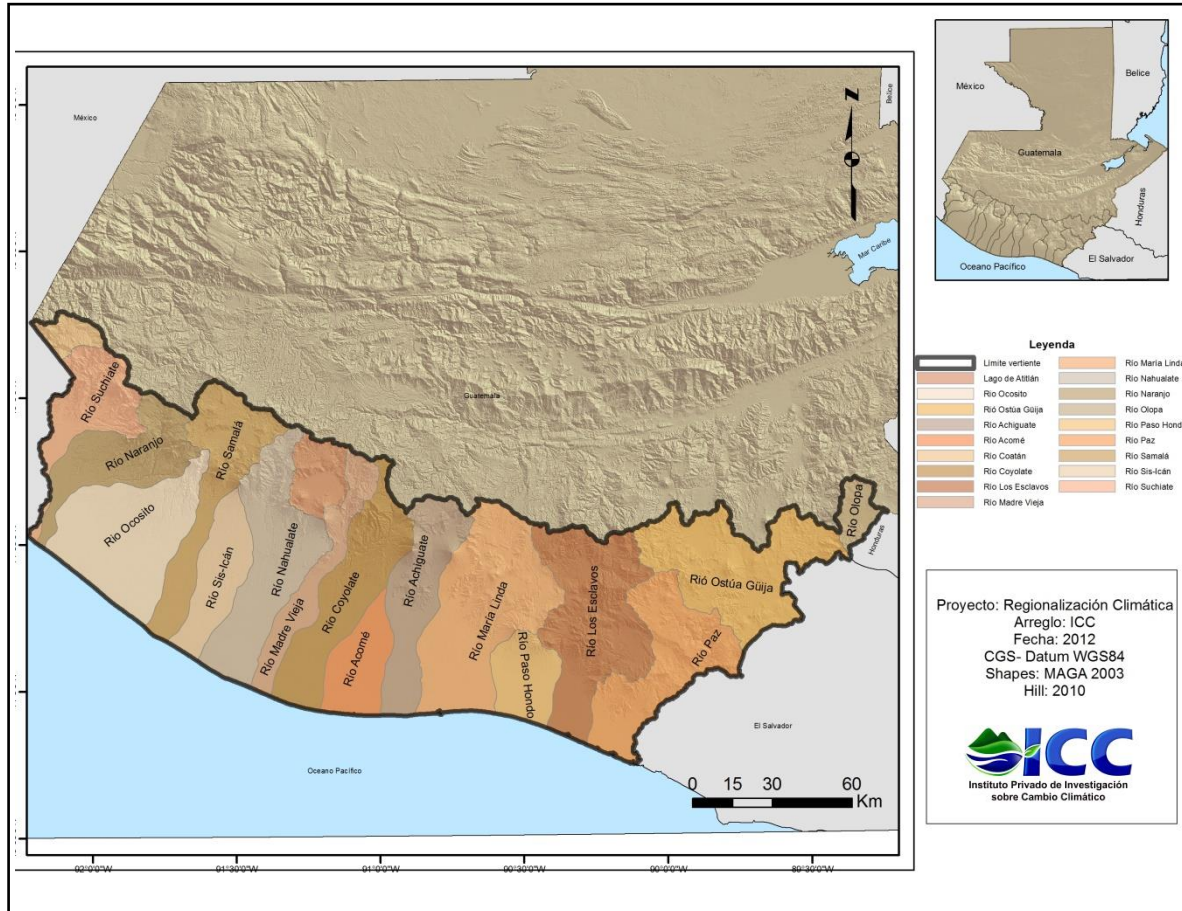


Figura 13 Cuencas hidrográficas de la vertiente del Pacífico

### 2.3.4. Características climáticas

Las condiciones climatológicas que dominan en el área varían sustancialmente, tanto a lo ancho como a lo largo. Hay lugares en donde se reportan precipitaciones que van desde 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).

### 2.3.5. 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 define su fisiografía (Atlas Nacional de la República de Guatemala, citado por Castillo, 2005). Las zonas de vida identificadas en esta vertiente 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).

En la figura 14, se muestran las zonas de vida existentes en la vertiente del Pacífico.

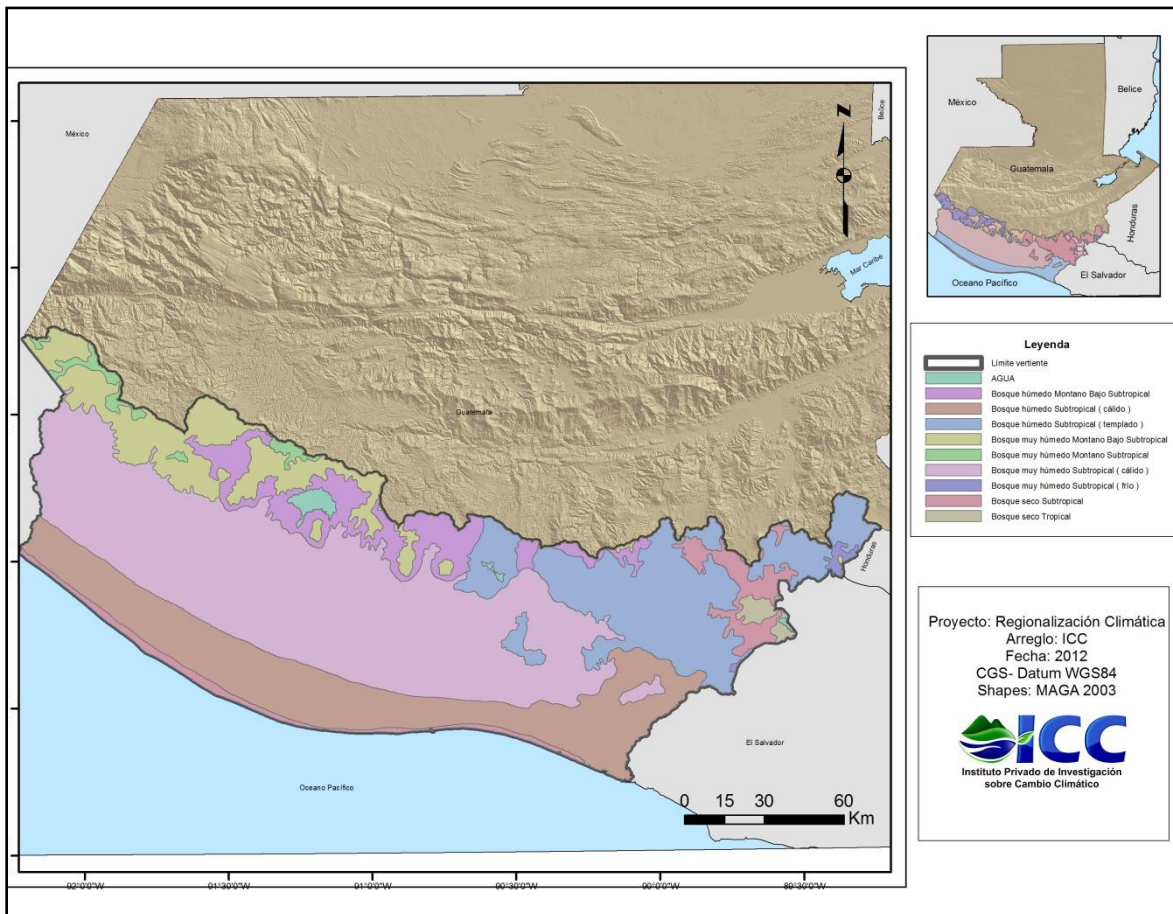


Figura 14 Zonas de vida de la vertiente del Pacífico.

## **2.4. OBJETIVOS**

### **2.4.1. Objetivo General**

Regionalizar las variables precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima en la vertiente del Pacífico.

### **2.4.2. Objetivos Específicos**

Analizar la disponibilidad y calidad de información, de las estaciones meteorológicas de las instituciones seleccionadas para el estudio.

Determinar zonas de comportamiento climático homogéneo en la vertiente del Pacífico.

Generar mapas de las variables climáticas regionalizadas.

## 2.5. METODOLOGÍA

### 2.5.1. Análisis de disponibilidad de información

#### 2.5.1.1. Selección de estaciones

De acuerdo a la disponibilidad de información climática en la vertiente del Pacífico, se seleccionaron las estaciones administradas por el Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático (ICC), el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala (INSIVUMEH) y el Instituto Nacional de Electrificación (INDE); debido a que únicamente se tiene acceso a la información de dichas estaciones. Para la selección de las estaciones a utilizar, se tomó como criterio que por lo menos tuviera 10 años de registro de diarios. En el cuadro 9, se presentan las estaciones que se utilizadas de cada una de las instituciones y el número de años de registro.

Cuadro 9 Estaciones meteorológicas en la vertiente del Pacífico

No.	Estación	Años de registro	Institución Administradora
1	Belén	17	ICC
2	Santa Ana	17	ICC
3	California	17	ICC
4	Cengicaña	16	ICC
5	Mangalito	16	ICC
6	Tehuantepec	15	ICC
7	San Patricio	12	ICC
8	El Bálsamo	11	ICC
9	Puyumate	11	ICC
10	San Antonio El Valle	11	ICC

11	Compuertas Amatitlán	36	INDE
12	Agua Caliente	34	INDE
13	Casa de Máquinas La Unión	34	INDE
14	El Salto	34	INDE
15	Embalse Jurún Marinalá	34	INDE
16	Guatemala Sur	34	INDE
17	La Pampa	31	INDE
18	La Pastoría	34	INDE
19	La Providencia	34	INDE
20	Media Legua	34	INDE
21	Sta. María De Jesús	34	INDE
22	Cuatro Caminos	33	INDE
23	Totonicapán	33	INDE
24	Zunil	33	INDE
25	Alameda ICTA	43	INSIVUMEH
26	Asunción Mita	43	INSIVUMEH
27	Camantulul	43	INSIVUMEH
28	Catarina	43	INSIVUMEH
29	Insivumeh	43	INSIVUMEH
30	La Ceibita	43	INSIVUMEH
31	Labor Ovalle	43	INSIVUMEH
32	Los Esclavos	43	INSIVUMEH
33	Quezada	43	INSIVUMEH

34	Sabana Grande	43	INSIVUMEH
35	Santiago Atitlán	43	INSIVUMEH
36	Esquipulas	42	INSIVUMEH
37	San Marcos	42	INSIVUMEH
38	Suiza Contenta	41	INSIVUMEH
39	Montufar	40	INSIVUMEH
40	San José Aeropuerto	40	INSIVUMEH
41	Retalhuleu	36	INSIVUMEH
42	El Capitán	35	INSIVUMEH
43	Santa María El Tablón	20	INSIVUMEH
44	Tecún Umán	10	INSIVUMEH

Fuente. Elaboración propia.

### 2.5.2. Sistematización de la serie de datos climáticos

Para la sistematización de la serie de datos climáticos, se realizó el análisis de control de calidad de la serie de datos, por medio del uso del software RClimdex. Para tal caso, se transformaron los datos a un formato de texto requerido por el software, constituido por seis columnas que muestran el año, el mes y el día de registro, el dato de precipitación, el dato de temperatura máxima y el dato de temperatura mínima; como se muestra en la figura 15.

Año	Mes	Día	Pp	Tmax	Tmin
1997	1	1	0.0	39.0	21.0
1997	1	2	0.0	34.0	19.0
1997	1	3	0.0	35.0	20.0
1997	1	4	0.0	37.0	21.0
1997	1	5	0.0	34.0	19.0
1997	1	6	0.0	35.0	20.0
1997	1	7	0.0	35.0	20.0
1997	1	8	0.0	37.0	19.0
1997	1	9	0.0	35.0	21.0
1997	1	10	0.0	39.0	22.0
1997	1	11	0.0	35.0	19.0
1997	1	12	0.0	38.0	22.0
1997	1	13	0.0	39.0	23.0
1997	1	14	0.0	37.0	23.0
1997	1	15	0.0	36.0	21.0
1997	1	16	0.0	37.0	19.0
1997	1	17	0.0	38.0	20.0
1997	1	18	0.0	38.0	19.0
1997	1	19	0.0	37.0	19.0
1997	1	20	0.0	38.0	20.0
1997	1	21	0.0	39.0	19.0

Figura 15 Formato de texto requerido por el software RClimdex.

### 2.5.3.1. Primera etapa de control de calidad de la serie de datos climáticos por RClimdex

Esta etapa se realizó con el apoyo del software RClimdex, el cual basa su análisis en la información ingresada en las tablas de Excel, en formato de texto mencionadas anteriormente, las cuales tenían información, tanto de precipitación como de temperatura máxima y mínima.

El proceso interno que el RClimdex realiza con los datos climáticos se muestra en la figura 16, donde se ve el reemplazo de datos faltantes por una variable de -99.9, siendo este el formato que el programa reconoce. Además se da una sustitución en el caso de datos no aceptables (NA), siendo tales casos, que la temperatura máxima diaria sea menor que la temperatura mínima diaria y la precipitación diaria sea menor que cero.



Cengicaña: Bloc de notas						Cengicaña_outliers: Bloc de notas						
Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda		Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayuda		
1997	1	1	-99.9	-99.9	21.1	pc up						
1997	1	2	-99.9	-99.9	22.3	2001	2	28	58.4	33.3	20.4	12.9
1997	1	3	-99.9	-99.9	21.8	2008	2	20	43.6	30.7	18.7	12
1997	1	4	-99.9	-99.9	22.3	2007	4	3	125	33.3	20.2	13.1
1997	1	5	-99.9	-99.9	21.4	2003	5	10	283.6	32.2	19.6	12.6
1997	1	6	-99.9	-99.9	21.9	2010	5	29	233.2	23	20.3	2.7
1997	1	7	-99.9	-99.9	21.4	2003	6	23	289.4	31	19.6	11.4
1997	1	8	-99.9	-99.9	21.1	2005	6	8	248.4	31.3	21.4	9.9
1997	1	9	-99.9	-99.9	22.6	2010	9	3	223.4	22.8	20.6	2.2
1997	1	10	-99.9	-99.9	21.7	2005	10	5	212.6	NA	20.8	NA
1997	1	11	-99.9	-99.9	21.2	2006	11	10	173.4	31.6	21.5	10.1
1997	1	12	-99.9	-99.9	23.3	2009	11	2	129.2	28.2	19.2	9
1997	1	13	-99.9	-99.9	20.3	1997	12	1	151	29.4	22	7.4
1997	1	14	-99.9	-99.9	22.1	tx up						
1997	1	15	-99.9	-99.9	21.0	tx low						
1997	1	16	-99.9	-99.9	20.4	2008	2	21	1.4	27.4	19.5	7.9
1997	1	17	-99.9	-99.9	21.6	2012	3	20	11.2	24.7	19.9	4.8
1997	1	18	-99.9	-99.9	22.4	2010	5	27	5.4	25	22.8	2.2
1997	1	19	-99.9	-99.9	21.4	2010	5	29	233.2	23	20.3	2.7
1997	1	20	-99.9	-99.9	21.1	2008	6	1	9.8	24.9	20	4.9
1997	1	21	-99.9	-99.9	21.0	2008	7	19	23.8	24.5	19.6	4.9
1997	1	22	-99.9	-99.9	19.9	2008	9	5	93.4	22	19	3
1997	1	23	-99.9	-99.9	20.6	2008	9	23	22.8	25.6	18.8	6.8
1997	1	24	-99.9	-99.9	22.0	2010	9	3	223.4	22.8	20.6	2.2

Figura 16 Proceso de interno de RClimdex

### 2.5.3.2. Segunda etapa de control de calidad de la serie de datos climáticos por institución

Teniendo la tabla de datos atípicos identificados por el RClimdex, se llevó a cabo un segundo control de calidad de datos, que consistió en tomar los datos extremos de precipitación, temperatura máxima y mínima identificados por RClimdex y se compararon con la base de datos tanto física como digital, para asegurar que no hubo error en la sistematización de los datos; según el caso se corrigieron las anomalías en las series de datos, tal como se muestra en la figura 17.

	A	B	C
17	2011 10 8 53 23 10.5 12.5	Se acepta el valor	
18	2011 7 1 43.8 22.5 11 11.5	Se acepta el valor	
19	tx up		
20	2003 4 22 0 33.5 10.5 23	Se acepta el valor	
21	2011 11 8 0 33.5 1.5 32	se cambió por 23.5	
22	tx low		
23	1980 4 27 70 14 11 3	Se acepta el valor	
24	1980 5 4 0 11 10 1	Se acepta el valor	
25	1990 1 29 0 10 0.4 9.6	Se acepta el valor	
26	1991 9 4 14 2 0.1 1.9	se cambió por 20	
27	1992 5 31 3.1 0 11 -11	se cambió por -99.9	
28	1997 11 18 0 0 7 -7	se cambió por 25.6	
29	1999 11 30 0 6.5 6.5 0	se cambió por -99.9	
30	2000 1 15 0 12 1 11	Se acepta el valor	
31	2000 10 24 1 11 8 3	Se acepta el valor	
32	2003 10 31 1.8 0 5 -5	se cambió por -99.9	
33	2004 9 27 12.3 2 9 -7	se cambió por 22	
34	2009 2 5 0 12.5 5.5 7	Se acepta el valor	
35	2009 2 6 0 13.5 3 10.5	Se acepta el valor	
36	tn up		
37	1994 12 8 0 24 47 -23	se cambió por 4	
38	1999 2 17 0 23.5 20.5 3	se cambió por 2	

Figura 17 Verificación de anomalías en la base de datos.

## 2.5.4. Determinación zonas de comportamiento climático homogéneo en la vertiente del Pacífico.

### 2.5.4.1. Generación de tablas de conteo

Para esta etapa de la investigación, teniendo las bases de datos históricas, completamente revisadas y corregidas, se inició el proceso de conteo de disponibilidad de número de datos anual para cada una de las variables climáticas de cada estación; para esto se utilizaron tablas dinámicas de Excel, tal como se muestra en la figura 18.

	F	G	H	I	J	K	L	M
1	Cuenta de Mangalito	Cuenta de Tehuantepec	Cuenta de Sn Patricio	Cuenta de El Balsamo	Cuenta de Puyumate	Cuenta de SAV	Cuenta de Agua caliente	Cuenta de Guaten
32		362						366
33		365	246					365
34		365	365	365	366	365		365
35		362	348		362	362		365
36		272	366	243	272	272		366
37		365	358	170	365	365		365
38		320	346	365	323	344		365
39		363	364	365	337	365		365
40	366	366	364	366	366	366		366
41	365	365	345	365	365	365		365
42	365	365	362	365	365	365		365
43	365	365	365	365	365	365		365
44	366	366	8	366	366	366		366
45	1827	5293	3837	3697	3852	3900	11852	
46								
47								
48								
49								
50								
51								
52								
53								
54								
55								

Figura 18 Tabla dinámica de conteos anuales

#### 2.5.4.2. Limpieza anual de base de datos

Esta limpieza en la base histórica de las estaciones, se realizó luego del conteo anual; para este proceso se tomó como parámetro, que cada año de registro, de las diferentes estaciones meteorológicas al menos contara con un 85% de los datos anuales, que equivale a por lo menos 300 datos por año. Con este parámetro establecido, se eliminaron de la base de datos, los años que no cumplieron con este parámetro.

#### 2.5.4.3. Calculo de parámetros estadísticos

Los parámetros estadísticos se calcularon luego de tener el conteo final de datos; dentro de los parámetros calculados está la media, desviación estándar, coeficiente de variación y asimetría, utilizando la herramienta de análisis de datos del programa Excel.

#### 2.5.4.4. Análisis de componentes principales (ACP)

Para la determinación de los componentes principales, se utilizó el software Infostat, y se realizó de la siguiente manera:

- Se generó una tabla de Excel, que tuviera los parámetros estadísticos y las coordenadas y elevación de cada una de las estaciones.
- Se importó la tabla de Excel al software Infostat, para poder realizar el análisis.
- Por medio de la opción Estadísticas, dentro de la barra de herramientas del programa se seleccionó la opción análisis multivariado, luego la opción de

componentes principales y con ello se generó el análisis, tal cual se muestra en la figura 19.

- Por último, se analizaron las matrices de correlación generadas por el software, para determinar los componentes que se utilizarían para el análisis por conglomerados.

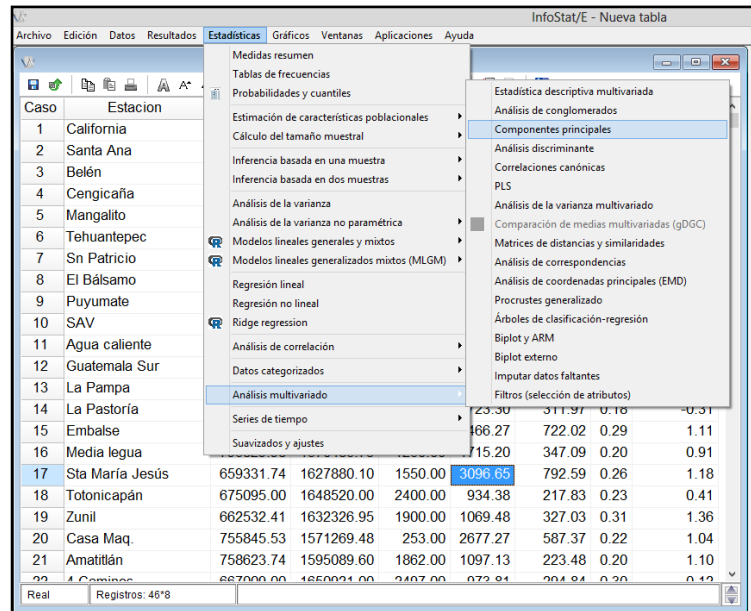


Figura 19 Procedimiento de análisis de componentes principales en Infostat

#### 2.5.4.5. Análisis por conglomerados

Teniendo el análisis de los componentes principales para cada una de las variables climáticas en estudio, se procedió a realizar el análisis por conglomerados, siempre con el software Infostat y se llevó a cabo de la siguiente manera.

- Se generó una nueva tabla de Excel, que tuviera únicamente los componentes que se utilizarían en este análisis, para cada una de las variables climáticas.
- Posteriormente se importó la tabla de Excel hacia el software Infostat, para el análisis.
- Por medio de la opción Estadísticas, dentro de la barra de herramientas del programa, se seleccionó la opción análisis multivariado, tal cual se muestra en la figura 20.

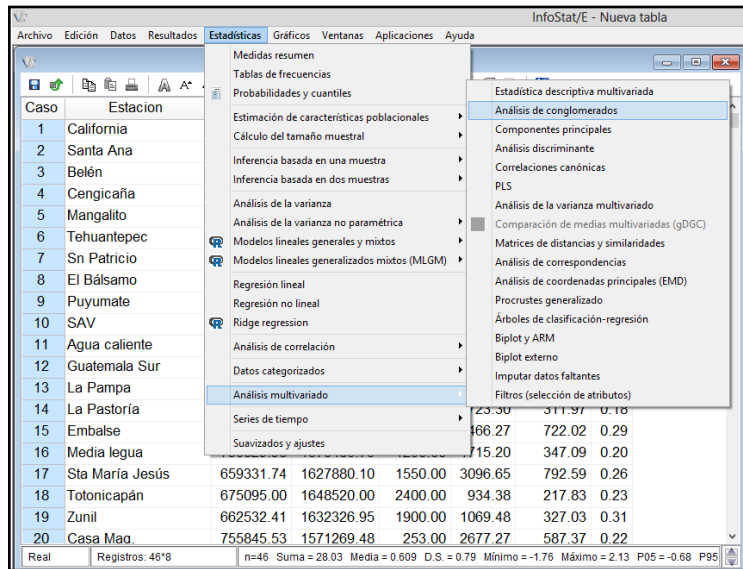


Figura 20 Selección de análisis por conglomerados.

- Dentro de las opciones del análisis por conglomerados, se seleccionó el método de Encadenamiento completo y el método cuantitativo para distancias euclidianas<sup>2</sup>, y el número de grupos a generar fue de 5 en total, para cada una de las variables climáticas, como se muestra en la figura 21.
- Por último se analizaron los gráficos y las matrices generadas por el software.

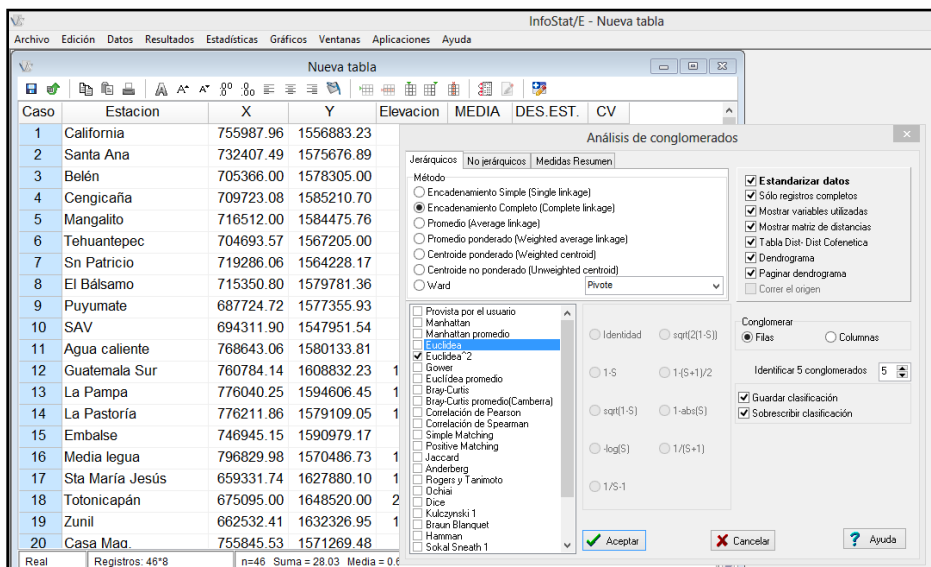


Figura 21 Proceso de análisis por conglomerados

### 2.5.4.6. Ubicación de los conglomerados

La ubicación de los conglomerados generados por Infostat para cada una de las variables climáticas, consistió en la generación de mapas que mostraron la ubicación de cada una de las estaciones meteorológicas, de la vertiente del Pacífico y el conglomerado al que pertenecían, según lo generado por Infostat. Se utilizó el software ArcGis 10 para la generación de dichos mapas.

## 2.5.5. Generación de mapas de variables climáticas regionalizadas

### 2.5.5.1. Modelo de regresión

Con la finalidad de poder correlacionar las variables respuesta (precipitación pluvial, temperatura máxima y mínima) con las variables independientes, siendo la longitud por la posición que representa con respecto al ecuador, la latitud por su distribución altitudinal y la elevación por la altitud con respecto al nivel del mar que esta representa en cada una de las estaciones. Se generó un modelo de regresión múltiple a través de Excel, en el que se introdujeron las variables previamente identificadas en el análisis de componentes principales, de tal manera se utilizó la herramienta de análisis de datos, luego se seleccionó la opción regresión y se seleccionaron los datos de las variables a utilizar, como se muestra en la figura 22.

B	D	E	F	H
Nombre	Longitud	Latitud	Elevación	Tmin
Embalse Jurún Marinalá	-90.71	14.38	900.00	17.83
Agualiente	-90.51	14.28	720.00	17.69
La Pampa	-90.44	14.41	1300.00	14.38
Guatemala Sur	-90.58	14.54	1360.00	15.77
Santa María de Jesús	-91.52	14.72	1550.00	10.89
Zunil	-91.49	14.76	1900.00	12.22
La Pastoria	-90.44	14.27	1020.00	16.39
Media Legua	-90.25	14.19	1260.00	16.42
Totonicapán	-91.37	14.91	2400.00	5.25
Alameda ICTA	-90.80	14.63	1776.00	10.55
Asunción Mita	-89.70	14.33	478.00	20.63
Camantulul	-91.05	14.32	280.00	19.66
El Capitán	-91.14	14.69	1562.00	13.38
Esquipulas	-89.34	14.56	1000.00	17.41
INSIVUMEH	-90.53	14.59	1502.00	15.12
Catarina	-92.07	14.85	20.00	20.37
Labor Ovalle	-91.52	14.87	2400.00	6.18
Los Esclavos	-90.27	14.25	737.00	17.68
Montufar	-90.16	13.81	10.00	21.25
Quezada	-90.04	14.26	980.00	16.30
Retalhuleu	-91.69	14.52	200.00	21.27
Sabana Grande	-90.80	14.37	740.00	18.56
San Marcos	-91.80	14.95	2358.00	6.19
Santiago Atitlán	-91.23	14.63	1580.00	12.65

Figura 22 Procedimiento de regresión múltiple en Excel

### 2.5.5.2. Interpolación lineal

Este tipo interpolación se realizó con la finalidad de no tener datos puntuales de medias anuales para cada estación, sino reflejarlos en datos de superficie. De tal manera se utilizó la metodología del Inverse Distance Weighted –IDW-, que es la distancia inversa ponderada para determinar valores de celda (superficie), a través de ponderación lineal de un conjunto de puntos de muestra. Generando una interpolación IDW, para las variables independientes utilizadas para cada variable climática, siguiendo estos pasos.

1. Definición de potencia: Basada en la inversa de la distancia elevada a una potencia matemática y se determinó cuadrática o de nivel 2. Cabe mencionar que entre más grande la potencia, se le da más énfasis a los puntos más cercanos.
2. Radio de búsqueda variable: Esta especifica el # de puntos a utilizar para calcular la celda (área). En este caso se utilizó 12, que es el radio recomendado por el software.

### 2.5.5.3.

#### de interpolaciones

### Integración

Para la etapa de generación de mapas, se utilizó la herramienta Calculadora de superficies Raster (Raster Calculator), la cual a través del modelo de predicción generado y las variables independientes de los datos obtenidos de la interpolación (IDW), se obtuvo al final una superficie de predicción para cada una de las tres variables climáticas, como se muestra en la figura 23.

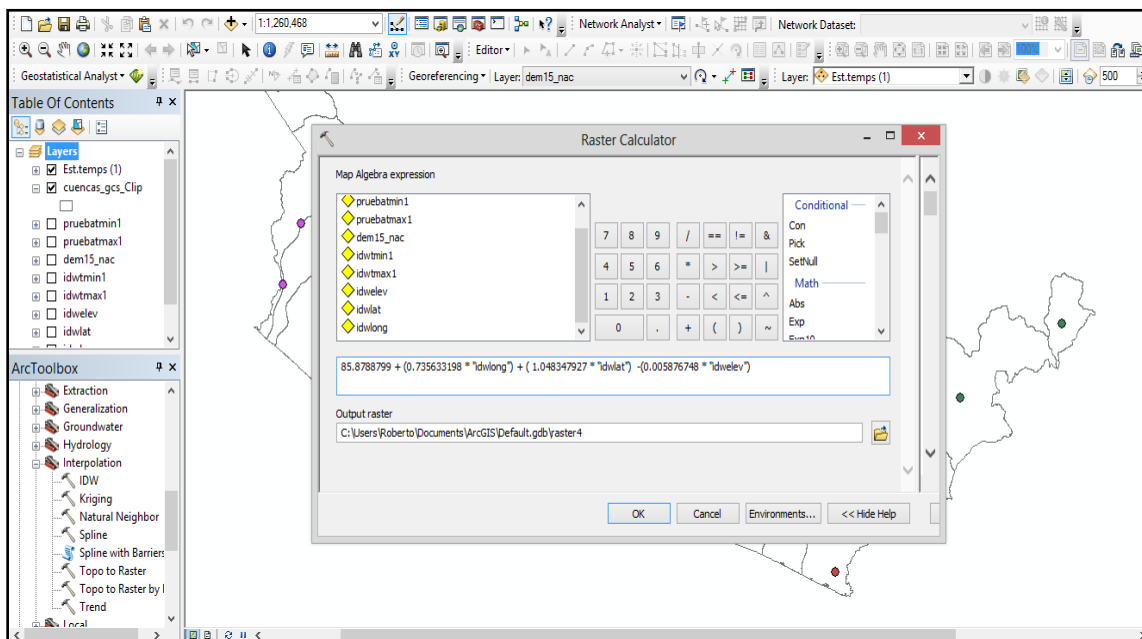


Figura 23 Procedimiento de integración de interpolaciones

## 2.6. RESULTADOS

### 2.6.1. Análisis de disponibilidad de información

Luego del control de datos de la base de datos histórica del Instituto Privado de Cambio Climático (ICC), Instituto Nacional de Electrificación (INDE) e Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala; se identificó el promedio y el porcentaje de captura de datos anuales para cada estación meteorológica, y administrada por cada una de las instituciones.

En el cuadro 10, se muestran los promedios anuales de registro para las tres variables climáticas, de cada una de las estaciones del Instituto Privado de Investigación (ICC), observándose 14 años de promedio, del número de años de registro de las estaciones. En cuanto al porcentaje anual de captura de datos, este oscila entre el 89% y el 92%, que representa alrededor de 333 datos disponibles anuales. Además es importante resaltar, que el número de años efectivos (es decir que el año cuenta con el 85% de datos capturados) es de 12 años en promedio, lo que representa una pérdida solo de 2 años de registro, en comparación con el promedio de años de registros de esta red de estaciones.

En el cuadro 11, se muestran los resultados para la red de estaciones del Instituto Nacional de Electrificación (INDE), determinándose que el promedio de años de registro es de 33, además esta red de estaciones cuenta con un promedio anual de captura de datos, que oscila entre los 318 y 364 datos capturados anualmente, que equivalen al 89% y 100% de captura de datos, siendo estas estadísticas, las más altas dentro de las tres instituciones.

La red de estaciones del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología de Guatemala, tal como se muestra en el cuadro 12, presenta el promedio más alto en número de años de registro, siendo de 39 años y como años efectivos el rango oscila entre 34-37 años, siendo la pérdida de registro entre 5 y 2 años. Tienen un promedio anual de registro, entre el 94-95%, representando un promedio de datos de 342-348 registros anuales.



Cuadro 10. Promedios anuales de estaciones meteorológicas del ICC.

Estación	Precipitación				Temperatura Máxima				Temperatura mínima			
	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de registro	Años Efectivos	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de registro	Años Efectivos	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de registro	Años Efectivos
California	265	73	17	9	306	84	17	12	1214	333	17	15
Santa Ana	286	78	17	9	323	89	17	13	323	89	17	14
Belén	341	93	17	16	361	99	17	16	361	99	17	17
Cengicaña	356	97	16	15	297	81	16	11	300	82	16	11
Mangalito	365	100	16	16	316	87	16	12	333	91	16	14
Tehuantepec	353	97	15	14	320	88	15	9	319	87	15	11
Sn Patricio	320	88	12	10	319	87	12	8	347	95	12	11
El Bálsamo	336	92	11	9	338	93	11	12	346	95	11	9
Puyumate	350	96	11	10	335	92	11	9	334	92	11	10
SAV	355	97	11	10	338	93	11	10	337	92	11	10
<b>Promedio Institucional</b>	<b>333</b>	<b>91</b>	<b>14</b>	<b>12</b>	<b>325</b>	<b>89</b>	<b>14</b>	<b>11</b>	<b>335</b>	<b>92</b>	<b>14</b>	<b>12</b>

Fuente. Elaboración propia en base a datos estaciones ICC, 2013.

Cuadro 11. Promedios anuales de estaciones meteorológicas del INDE.

Estación	Precipitación				Temperatura máxima				Temperatura mínima			
	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de Registro	Años Efectivos	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de Registro	Años Efectivos	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de Registro	Años Efectivos
Agua Caliente	365	100	34	32	355	97	34	18	344	94	34	32
Guatemala Sur	362	99	34	34	361	99	34	23	357	98	34	27
La Pampa	363	100	31	30	347	95	31	24	354	97	31	29
La Pastoría	365	100	34	34	365	100	34	30	365	100	34	32
Embalse	365	100	34	34	363	100	34	32	362	99	34	33
Media Legua	365	100	34	32	348	95	34	23	353	97	34	29
Santa María Jesús	363	100	34	32	332	91	34	23	332	91	34	25
Tonicapán	362	99	33	30	349	95	33	29	344	94	33	28
Zunil	363	100	33	31	356	97	33	31	356	97	33	31
Casa de Máquinas	342	94	34	27	0	0	0	0	0	0	0	0
Amatitlán	365	100	36	35	0	0	0	0	0	0	0	0
Cuatro Caminos	360	99	33	31	0	0	0	0	0	0	0	0
El Salto	346	95	34	31	0	0	0	0	0	0	0	0
La Providencia	358	98	34	34	0	0	0	0	0	0	0	0
<b>Promedio Institucional</b>	<b>364</b>	<b>100</b>	<b>33</b>	<b>32</b>	<b>318</b>	<b>87</b>	<b>33</b>	<b>26</b>	<b>352</b>	<b>96</b>	<b>33</b>	<b>30</b>

Fuente. Elaboración propia en base a datos estaciones meteorológicas INDE, 2013.

Cuadro 12. Promedios anuales de estaciones meteorológicas del INSIVUMEH

Estación	Precipitación				Temperatura máxima				Temperatura mínima			
	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de Registro	Años Efectivos	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de Registro	Años Efectivos	Promedio Anual de registro	% Anual de registro	Años de Registro	Años Efectivos
Alameda Icta	303	83	43	34	313	86	43	31	319	87	43	35
Asunción Mita	355	97	43	42	350	96	43	41	352	96	43	41
Camantulul	365	100	43	42	365	100	43	40	365	100	43	42
Catarina	320	88	43	39	295	81	43	32	313	86	43	36
El Capitán	317	87	35	30	281	77	35	23	292	80	35	26
Esquipulas	363	100	42	41	364	100	42	38	365	100	42	41
INSIVUMEH	365	100	43	42	365	100	43	38	365	100	43	42
Labor Ovalle	365	100	43	42	364	100	43	39	365	100	43	41
Los Esclavos	358	98	43	42	365	100	43	39	361	99	43	40
Montufar	343	94	40	38	341	93	40	34	340	93	40	35
Quezada	357	98	43	43	342	94	43	39	345	94	43	42
Retalhuleu	348	95	36	33	346	95	36	32	348	95	36	27
Sabana Grande	357	98	43	42	333	91	43	36	334	91	43	28

Puerto San José	357	98	40	39	353	97	40	39	354	97	40	38
San Marcos	333	91	42	40	331	91	42	38	331	91	42	41
Santiago Atitlán	365	100	43	39	363	99	43	34	358	98	43	35
Suiza Contenta	354	97	41	39	350	96	41	36	353	97	41	39
Tecún Umán	324	89	10	8	324	89	10	7	325	89	10	8
Santa María El Tablón	358	98	20	19	357	98	20	18	358	98	20	19
La Ceibita	349	96	43	42	348	95	43	36	346	95	43	42
<b>Promedio Institucional</b>	<b>348</b>	<b>95</b>	<b>39</b>	<b>37</b>	<b>342</b>	<b>94</b>	<b>39</b>	<b>34</b>	<b>344</b>	<b>94</b>	<b>39</b>	<b>35</b>

Fuente. Elaboración propia en base a datos de estaciones meteorológicas INSIVUMEH, 2013.

## 2.6.2. Determinación zonas de comportamiento climático homogéneo en la vertiente del Pacífico.

### 2.6.2.1. Análisis de componente principales

Se realizó el análisis de componentes principales para cada una de las variables climáticas, tal como se muestra en el cuadro 13, en donde se presenta el análisis para la precipitación pluvial y como se observa en la matriz de correlación. Las 7 variables utilizadas son, son la ubicación de las estaciones como los parámetros estadísticos; debido a la correlación que existe entre las coordenadas X, coordenadas Y y elevación, como se muestra en la matriz de autovalores, calculando un valor de 0.89, el cual muy cercano a 1, que significa que estas variables son las que mejor explican el fenómeno de la precipitación pluvial.

Cuadro 13. Análisis de componentes principales para precipitación pluvial

Matriz de correlación/Coefficientes							
	X	Y	Elevacion	MEDIA	DES.EST.	CV	ASIMETRIA
X	1.00						
Y	-0.45	1.00					
Elevacion	-0.06	0.69	1.00				
MEDIA	0.17	-0.67	-0.95	1.00			
DES.EST.	-0.13	0.06	-0.15	0.01	1.00		
CV	-0.17	0.26	0.14	-0.30	0.94	1.00	
ASIMETRIA	-0.39	0.19	0.09	-0.10	-0.42	-0.36	1.00

Matriz de correlación/Probabilidades							
	X	Y	Elevacion	MEDIA	DES.EST.	CV	ASIMETRIA
X							
Y	0.0037						
Elevacion	0.7294	<0.0001					
MEDIA	0.3057	<0.0001	<0.0001				
DES.EST.	0.4467	0.7372	0.3577	0.9322			
CV	0.2881	0.1156	0.3840	0.0677	<0.0001		
ASIMETRIA	0.0130	0.2502	0.5932	0.5538	0.0073	0.0251	

Autovalores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	2.78	0.40	0.40
2	2.18	0.31	0.71
3	1.29	0.18	0.89
4	0.44	0.06	0.96
5	0.27	0.04	0.99
6	0.03	4.7E-03	1.00
7	0.01	1.7E-03	1.00

Autovectores		
Variables	e1	e2
X	0.26	0.05
Y	-0.52	-0.08
Elevacion	-0.52	-0.17
MEDIA	0.55	0.09
DES.EST.	-0.11	0.64
CV	-0.27	0.58
ASIMETRIA	-0.09	-0.46

Correlaciones con las variables originales		
Variables	CP 1	CP 2
X	0.43	0.07
Y	-0.87	-0.12
Elevacion	-0.86	-0.24
MEDIA	0.91	0.13
DES.EST.	-0.18	0.94
CV	-0.45	0.86
ASIMETRIA	-0.15	-0.67

Correlación cofenética= 0.906

De igual manera, para la temperatura se realizó un análisis de componentes principales, tal como lo muestra el cuadro 14 donde se muestra que las variables a considerar para el análisis por conglomerados son las coordenadas X, las coordenadas Y, la elevación y la media, debido que presentan una proporción acumulada de 0.87, lo que bien indica que con estas variables explican el fenómeno de temperatura, y con esto poder reducir las variables de ser 7 en total a únicamente utilizar 3 variables, siendo este el objetivo del análisis de componentes principales para reducir el error del estudio.

Cuadro 14 Análisis de componente principales para temperatura

Matriz de correlación/Coefficientes							
	X	Y	Elevacion	MEDIA	DES.EST.	CV	ASIMETRIA
X	1.00						
Y	-0.44	1.00					
Elevacion	-0.06	0.74	1.00				
MEDIA	0.12	-0.73	-0.96	1.00			
DES.EST.	-0.03	-0.05	0.05	-0.13	1.00		
CV	-0.09	0.14	0.27	-0.37	0.94	1.00	
ASIMETRIA	-0.12	0.22	0.09	-0.01	-0.45	-0.39	1.00

Matriz de correlación/Probabilidades							
	X	Y	Elevacion	MEDIA	DES.EST.	CV	ASIMETRIA
X							
Y	0.0047						
Elevacion	0.7290	<0.0001					
MEDIA	0.4575	<0.0001	<0.0001				
DES.EST.	0.8582	0.7408	0.7847	0.4448			
CV	0.5723	0.3910	0.0977	0.0187	<0.0001		
ASIMETRIA	0.4557	0.1688	0.5714	0.9661	0.0038	0.0130	

Autovalores			
Lambda	Valor	Proporción	Prop Acum
1	2.89	0.41	0.41
2	2.18	0.31	0.72
3	1.06	0.15	0.87
4	0.63	0.09	0.96
5	0.19	0.03	0.99
6	0.04	0.01	1.00
7	0.01	1.8E-03	1.00

Autovectores		
Variables	e1	e2
X	0.18	0.12
Y	-0.48	-0.29
Elevacion	-0.52	-0.18
MEDIA	0.55	0.11
DES.EST.	-0.22	0.59
CV	-0.34	0.52
ASIMETRIA	0.03	-0.49

Correlaciones con las variables originales		
Variables	CP 1	CP 2
X	0.31	0.18
Y	-0.81	-0.43
Elevacion	-0.89	-0.27
MEDIA	0.93	0.17
DES.EST.	-0.37	0.88
CV	-0.58	0.76
ASIMETRIA	0.05	-0.72

Correlación cofenética= 0.915

## 2.6.2.2. Análisis de conglomerados

### 2.6.2.2.1. Precipitación Pluvial

En esta segunda fase, la determinación de las zonas de comportamiento climático homogéneo, se realizó el análisis de conglomerados para la precipitación pluvial, de manera que se generó el dendograma que muestra la figura 24, en el que se puede visualizar 5 conglomerados o grupos generados con las variables de coordenadas,

elevación y media anual de las estaciones mostrando además las distancias de correlación entre conglomerados, como es el caso del conglomerado 5 (gris) y el conglomerado 3 (amarillo), con una distancia más corta, lo cual evidencia la cercanía entre estos dos conglomerados, a diferencia de la poca cercanía o correlación entre los conglomerados 2 y 4 (azul y verde) y el resto de conglomerados.

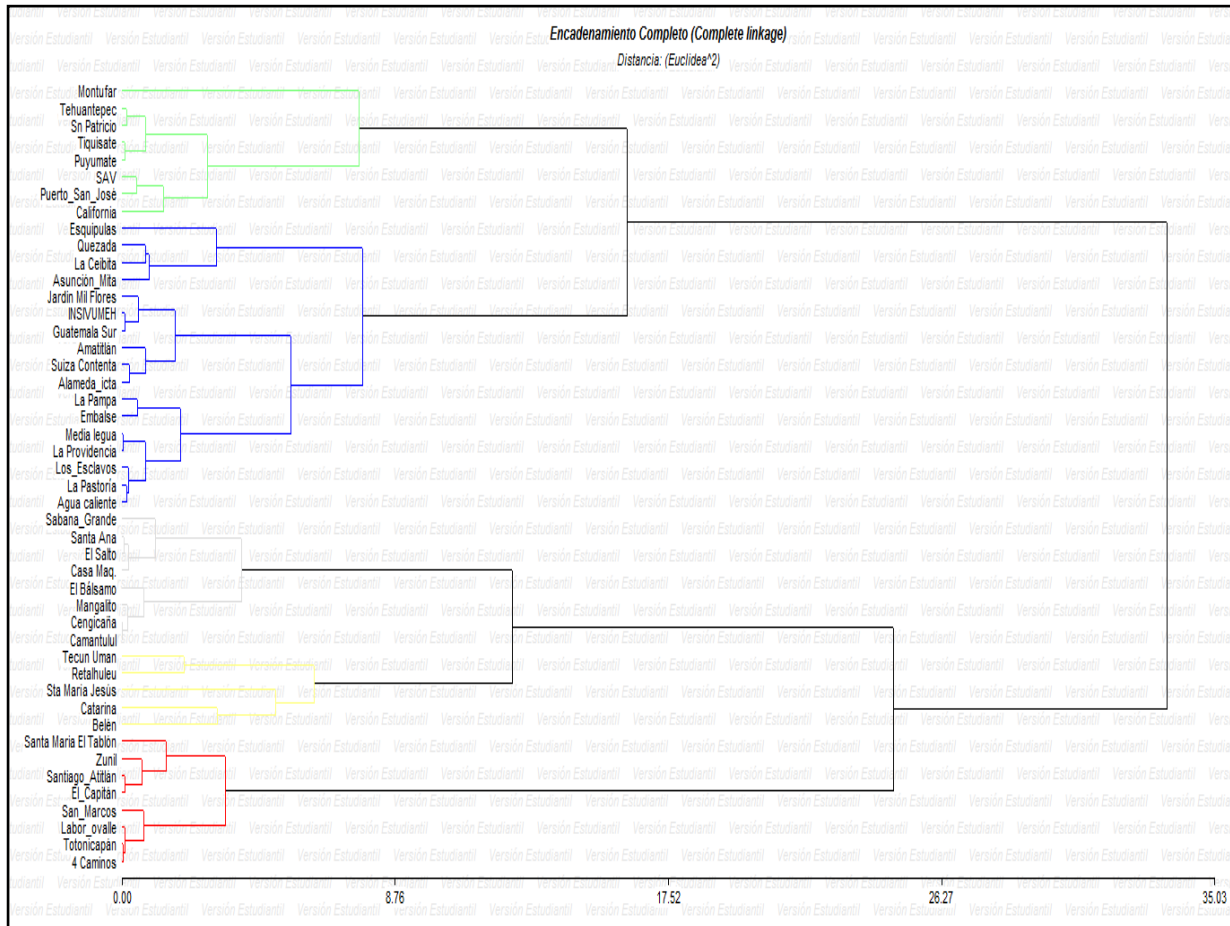


Figura 24 Dendrograma de análisis por conglomerados para precipitación pluvial

Luego del análisis por conglomerados, se ubicaron espacialmente estos grupos dentro de la vertiente del Pacífico, como se observa en la figura 25, donde se muestra la agrupación de las estaciones de la región noreste conformando el conglomerado 2 (azul); de igual manera la formación de 2 conglomerados en la región central (gris y verde), y 2 en la región nororiental conglomerado (rojo y amarillo), notándose en esta área, la falta de acceso a otras redes de estaciones meteorológicas.

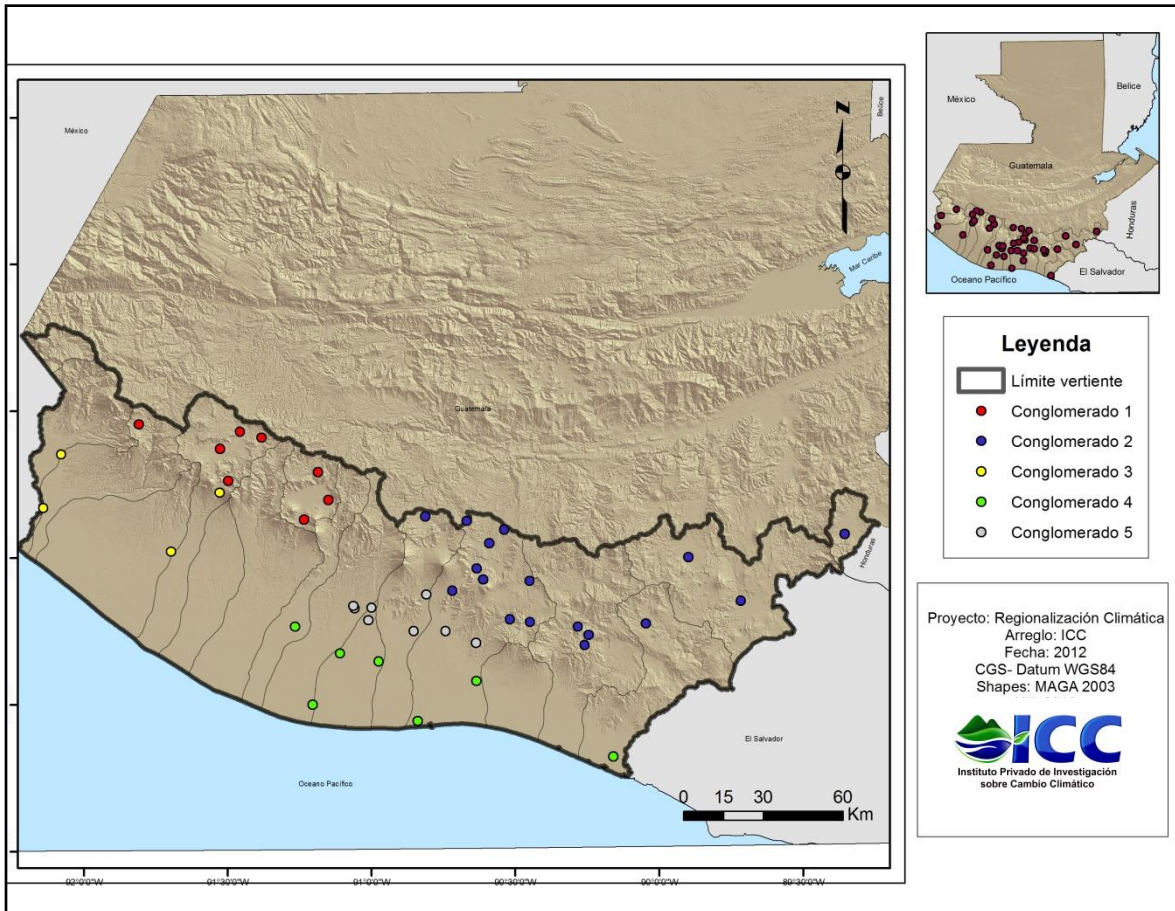


Figura 25 Ubicación de conglomerados de precipitación pluvial

#### 2.6.2.2.2. Temperatura máxima

En la figura 26, se muestra el dendograma del análisis de conglomerados para temperatura máxima, que nos muestra la dinámica de correlación entre los diferentes conglomerados, mostrando una correlación escalonada entre grupos, siendo los mejor relacionados o muestran más cercanía el conglomerado 5 (rojo) y el conglomerado 4 (verde); a diferencia de los que menos correlacionados están, son el conglomerado 1 (azul) y el conglomerado 5 (rojo).

Por su parte, la distribución espacial de cada uno de estos conglomerados, se puede observar la distribución de los integrantes de algunos conglomerados es dispersa, como es el caso del conglomerado 3 (gris), conglomerado 1 (azul) y el conglomerado 2 (Amarillo); esto es así debido a lo media anual de la temperatura máxima que poseen las estaciones que conforman dichos conglomerados, lo que hace que el análisis por conglomerados o cluster los agrupe, tal como se ve en la figura 27.



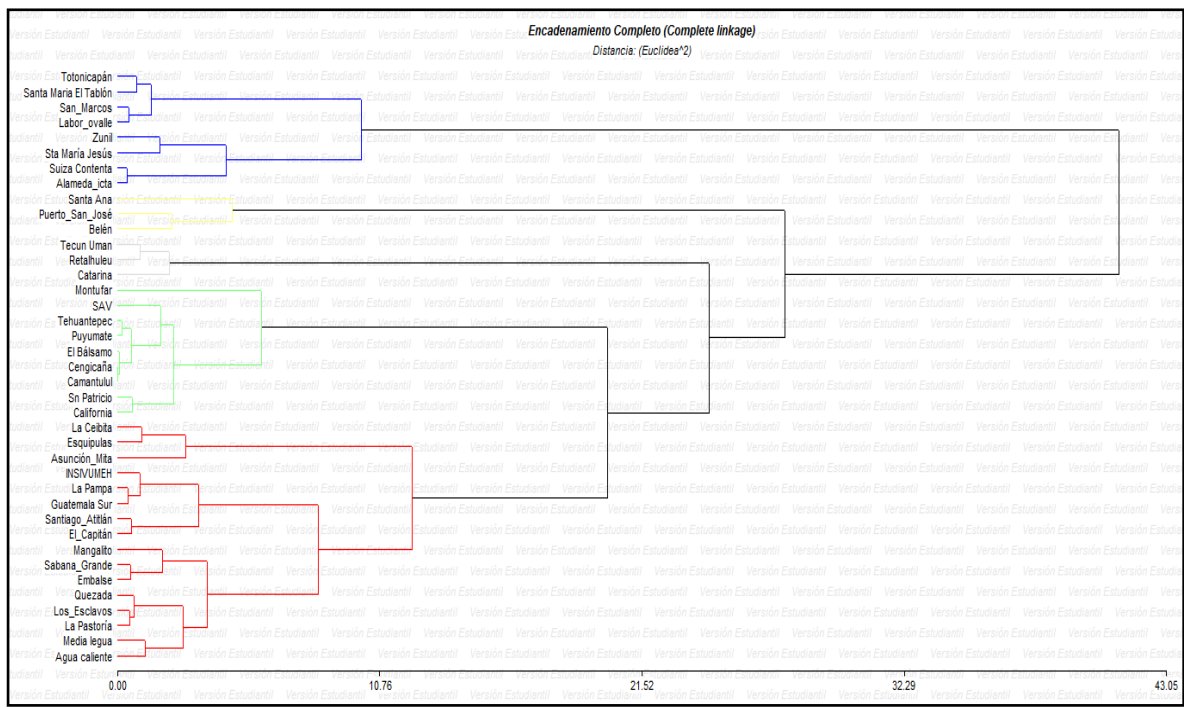


Figura 26 Dendrograma de análisis por conglomerados para temperatura máxima

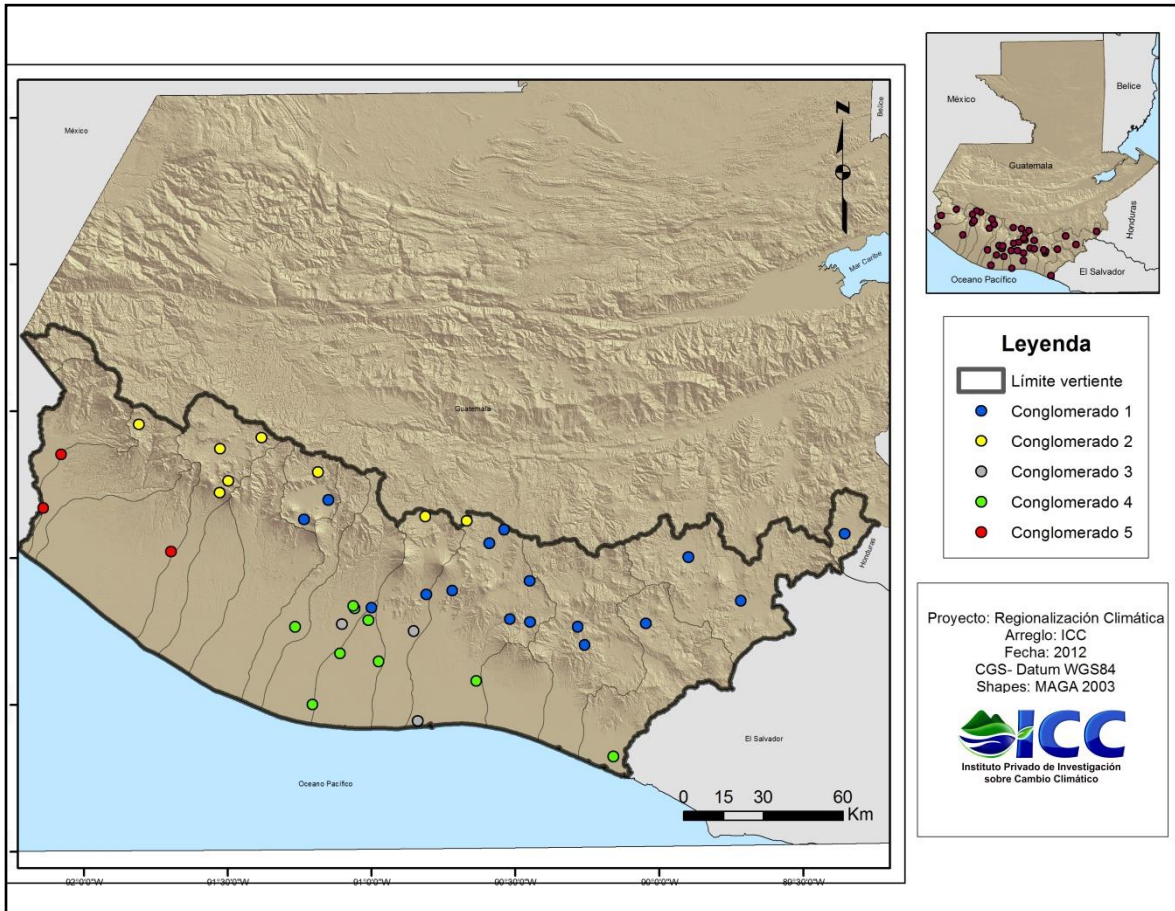


Figura 27 Ubicación de conglomerados de temperatura máxima

### 2.6.2.2.3. Temperatura mínima

De igual manera con el análisis de conglomerados de la temperatura mínima, se muestra que los conglomerados 1 (rojo) y 3 (amarillo) ubicados en la parte noreste de la vertiente del Pacífico están correlacionados o muestran más cercanía, a diferencia de los conglomerados 2 (azul) y el 5 (verde), los cuales muestran una distancia mayor, evidenciando la poca correlación hay entre estos dos grupos, como se muestra en la figura 28.

En la figura 29, se observa la manera en la que están distribuidos los conglomerados, notándose que dentro del grupo 5 (verde), existe una estación un tanto lejana a los demás integrantes de este conglomerado. Por otro lado, se observa que la distribución del conglomerado 4 (gris), se extiende por el área central hacia el sureste de la vertiente.

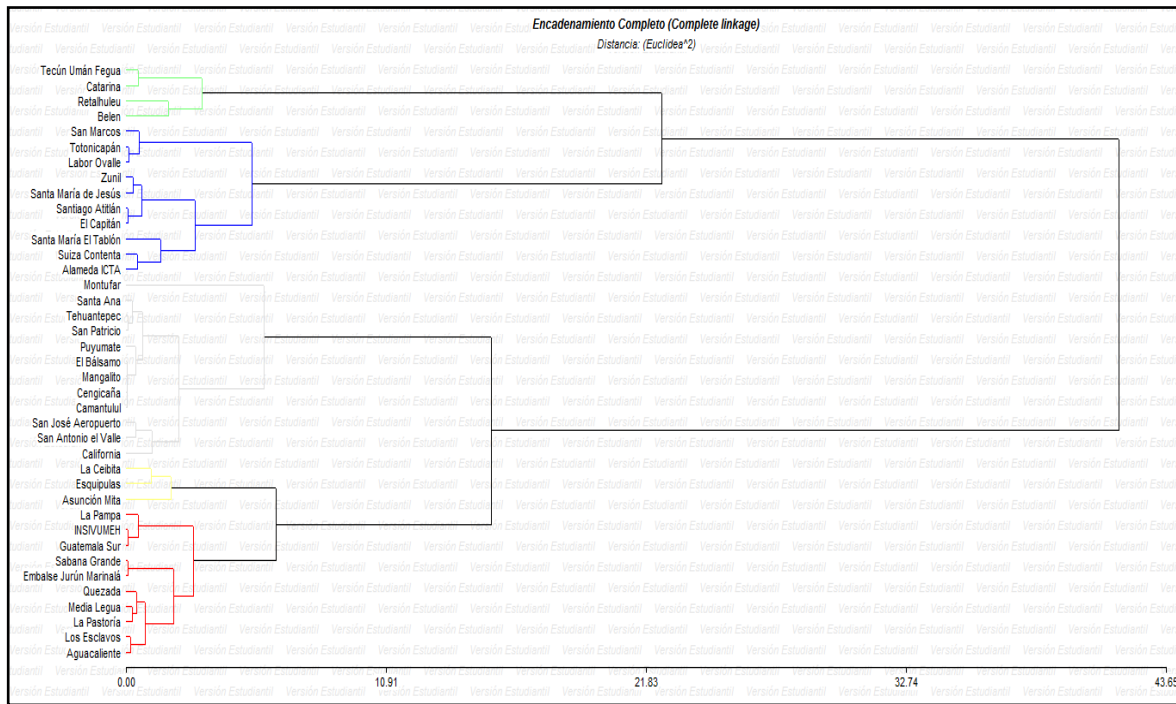


Figura 28 Dendrograma de análisis de conglomerados para temperatura mínima

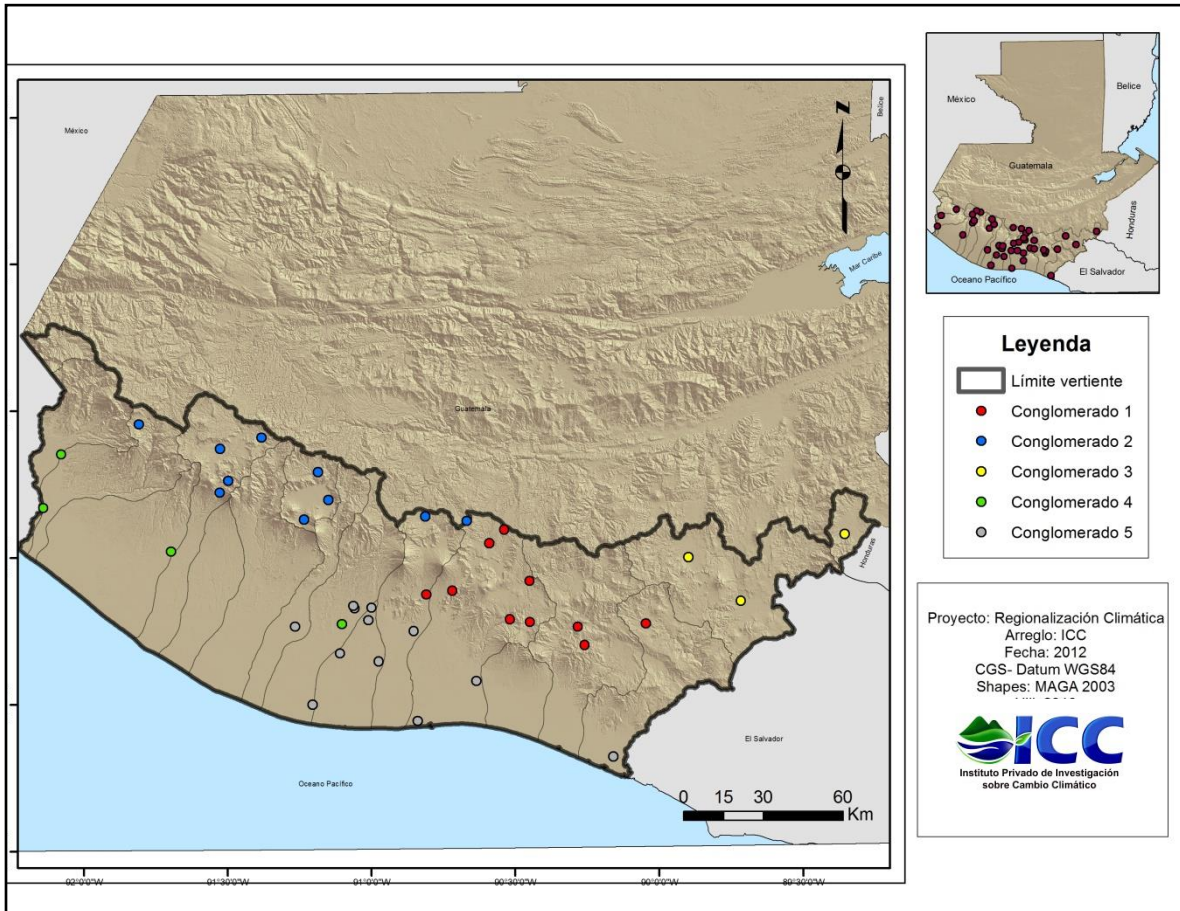


Figura 29 Ubicación de los conglomerados de temperatura mínima

### 2.6.2.3. Generación de mapas de variables climáticas regionalizadas

#### 2.6.2.3.1. Precipitación anual

Para la generación del mapa de la regionalización de la precipitación pluvial en la vertiente del Pacífico, se generó un modelo de predicción presentado en la figura 30 donde se observa el análisis de regresión que muestra los coeficientes (color gris) siendo el coeficiente para la longitud de  $-262.3324236$ , para la latitud  $1055.96815$  y para la elevación  $-0.925002726$  y con esto conformar el modelo de predicción utilizado en ArcGis.

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coeficiente de correlación múltiple	0.952683293							
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.946961027							
R <sup>2</sup> ajustado	0.911148314							
Error típico	1.127524868							
Observaciones	39							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	3	14931236.47	4977078.824	7.67140808	0.000455578			
Residuos	35	22707403.53	648782.958					
Total	38	37638640						
	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	-36249.0037	19597.93343	-1.849633985	0.07282513	-76034.92372	3536.916328	-76034.92372	3536.916328
Longitud	-262.3324236	263.8874857	-0.994107102	0.32699419	-798.0525005	273.3876532	-798.0525005	273.3876532
Latitud	1055.96815	785.5553838	1.344231319	0.18752222	-538.7940629	2650.730363	-538.7940629	2650.730363
Elevación	-0.925002726	0.244925272	-3.776673264	0.00059255	-1.422227463	-0.42777799	-1.422227463	-0.42777799
<p>Pp Media = -36249.0037-262.3324336Longitud+1055.96815Latitud-0.925002726 elevación</p> <p>Pp Media= -36249.0037 - (262.3324336 * "ldwLongitud3") + (1055.96815 * "ldwLatitud") - (0.925002726 * "ldwElevación")</p>								

Figura 30 Regresión múltiple para precipitación pluvial

De tal manera se generó el mapa de la precipitación regionalizada para la vertiente del Pacífico tal como se muestra en la figura 31, donde se observa 5 diferentes regiones de comportamiento de precipitación mostrando valores de alta precipitación (celestes y azules) que según la fisiografía y las condiciones climáticas de la parte baja de la vertiente del Pacífico coinciden entre sí. De igual manera se observan las áreas con menor precipitación (verde y amarillo) tal es el caso del área suroriente de la vertiente, confirmando que el método predice de manera apropiada. Cabe mencionar que los círculos generados son parte la manera en la que trabaja el método, sin embargo esto produce una discontinuidad en las diferentes regiones de precipitación, indicando que dichos círculos representan directamente a los valores medios de precipitación de las estaciones meteorológicas utilizadas.

Es importante mencionar que la falta de información de estaciones meteorológicas en el suroccidente de la vertiente hace que el método se vea obligado a realizar regiones muy específicas (azul) si darle continuidad ni relacionarla con el resto de regiones.

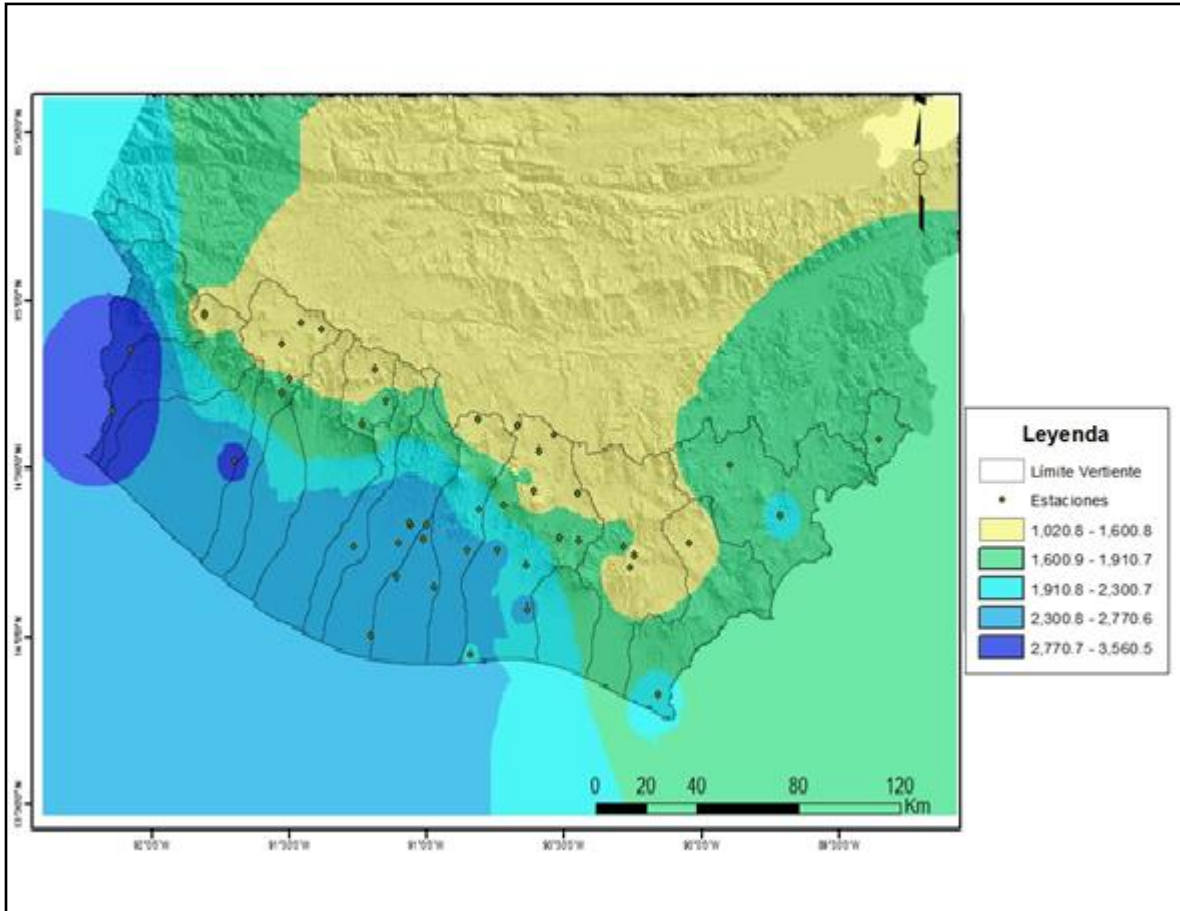


Figura 31 Precipitación histórica anual regionalizada para la vertiente del Pacífico

### 2.6.2.3.2. Temperatura máxima

Como se muestra en la figura 32 la regresión múltiple de temperatura máxima, mostrando los coeficientes utilizados (columna gris) tanto de la longitud, latitud y elevación, para la generación del modelo de predicción.

Resumen								
<i>Estadísticas de la regresión</i>								
Coeficiente de correlación múltiple	0.963788272							
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.928887834							
R <sup>2</sup> ajustado	0.922792506							
Error típico	1.308067119							
Observaciones	39							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	3	782.253419	260.7511397	152.3933997	3.77575E-20			
Residuos	35	59.88638554	1.711039587					
Total	38	842.1398045						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	85.8788799	31.82662522	2.69833447	0.010652866	21.2673957	150.4903641	21.2673957	150.4903641
Longitud	0.735633198	0.428547639	1.716572746	0.094896647	-0.134364762	1.605631159	-0.134364762	1.605631159
Latitud	1.048347927	1.275725162	0.821766285	0.416772946	-1.541511839	3.638207692	-1.541511839	3.638207692
Elevación	-0.005876748	0.000397753	-14.77485242	1.30293E-16	-0.00668423	-0.005069266	-0.00668423	-0.005069266
$T_{max} \text{ Media} = 85.8788799 + 0.735633198 \text{Longitud} + 1.048347927 \text{Latitud} - 0.005876748 \text{Elevación}$ $T_{max} \text{ Media} = 85.8788799 + (0.735633198 * "IDWLongitud") + (1.048347927 * "IDWLatitud") - (0.005876748 * "IDWElevación")$								

Figura 32 Regresión múltiple para temperatura máxima

Como se muestra en la figura 33, la temperatura es más elevada (rojo y amarillo) en la parte del litoral y en puntos muy específicos que en este caso se debe al dato de temperatura máxima anual de una estación meteorológica en específico. Cabe mencionar que a media que la elevación va aumentando se nota una disminución en la temperatura, respetando de tal manera que la temperatura es inversamente proporcional a la elevación.

De igual manera se evidencia la clara disminución de la temperatura (aqua y azul) en la parte alta de la vertiente, oscilando estas entre los 24 y 20 grados centígrados, respetando claramente la gradiente altitudinal.

Es importante mencionar que la discontinuidad en el comportamiento de la temperatura en el suroccidente de la vertiente y esté muy poco relacionado con la gradiente altitudinal se debe a la falta de información de estaciones meteorológicas que puedan cubrir estas áreas, y con esto conseguir que la temperatura esté más apegada al cambio en la gradiente altitudinal.

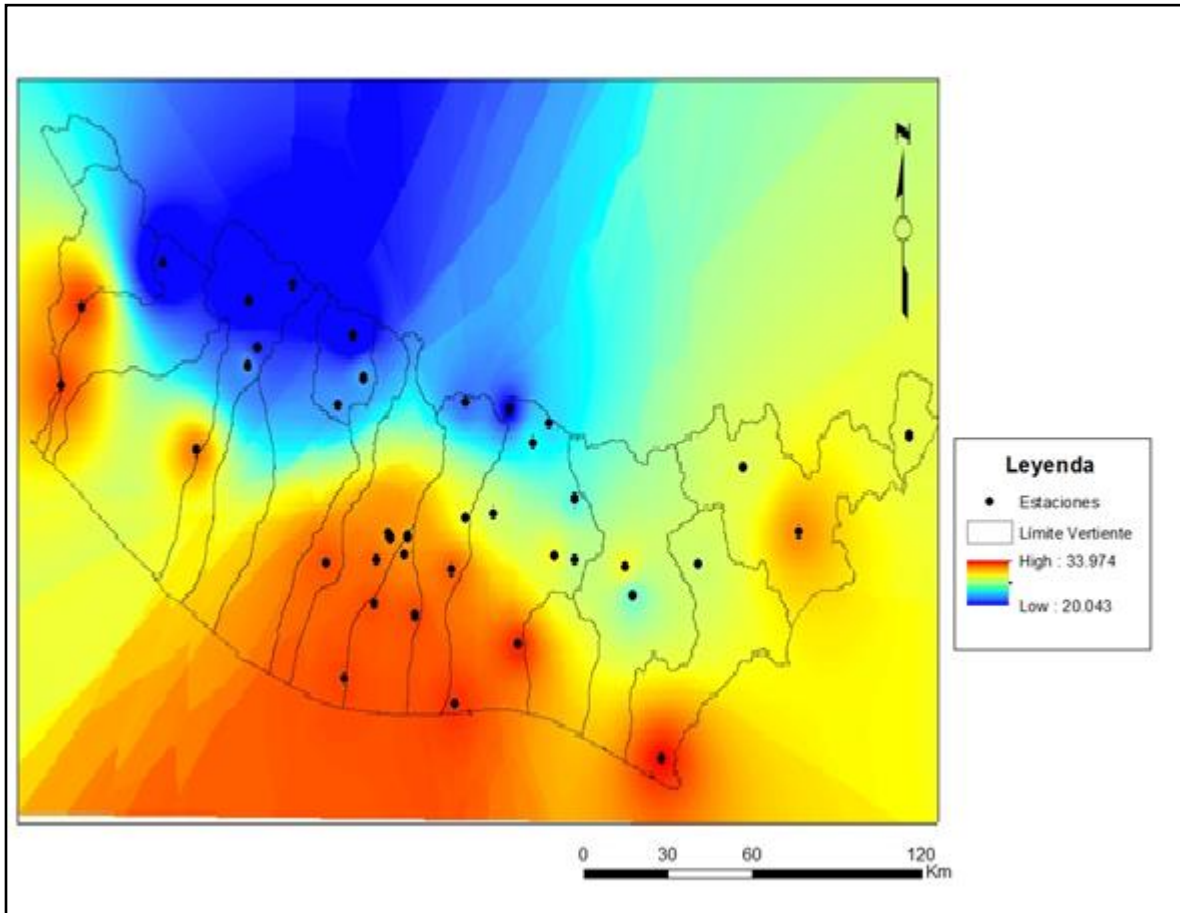


Figura 33 Temperatura máxima histórica regionalizada para la vertiente del Pacífico

### 2.6.2.3.3. Temperatura mínima

La regresión múltiple utilizada para el cálculo de la temperatura mínima se muestra en la figura 34 mostrando los coeficientes utilizados (columna gris) tanto de la longitud, latitud y elevación, para la generación del modelo de predicción.



Resumen								
Estadísticas de la regresión								
Coefficiente de correlación múltiple	0.975268329							
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0.951148314							
R <sup>2</sup> ajustado	0.946961027							
Error típico	1.127524868							
Observaciones	39							
ANÁLISIS DE VARIANZA								
	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F			
Regresión	3	866.3412404	288.7804135	227.1514301	5.34841E-23			
Residuos	35	44.49593149	1.271312328					
Total	38	910.8371719						
	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	90.20338583	27.43384563	3.288032857	0.002303216	34.50971831	145.8970533	34.50971831	145.8970533
Longitud	0.82181788	0.369398568	2.22474571	0.032642134	0.071898918	1.571736842	0.071898918	1.571736842
Latitud	0.447644171	1.099646818	0.407079949	0.686428234	-1.784757553	2.680045895	-1.784757553	2.680045895
Elevación	-0.006017445	0.000342855	-17.55101067	6.33215E-19	-0.006713477	-0.005321413	-0.006713477	-0.005321413
$T_{min} \text{ Media} = 90.2033858 + 0.82181788 \text{Longitud} + 0.44764417 \text{Latitud} - 0.00601745 \text{Elevación}$ $T_{min} \text{ Media} = 90.2033858 + (0.82181788 * "IDWLongitud") + (0.44764417 * "IDWLatitud") - (0.00601745 * "IDWElevación")$								

Figura 34 Regresión múltiple para temperatura mínima

El comportamiento de la temperatura máxima en la vertiente va desde los 7 grados centígrados hasta los 22 grados centígrados tal como se muestra la figura 35, donde se observan regiones que presentan temperaturas entre los 22 y 17 grados centígrados (rojo y amarillo) en la parte del litoral y en el suroriente de la vertiente, evidenciando la relación que existe entre la temperatura y la elevación, siendo esta inversamente proporcional a la elevación.

Al igual se observa la presencia de puntos con temperaturas específicas siendo esto representación de la temperatura de la estación específicamente.

Así mismo observar regiones con temperaturas más frescas que van desde los 12 y los 7 grados centígrados (aqua y azul), esto principalmente en la parte nororiente de la vertiente, en departamentos como San Marcos, Quetzaltenango, Sololá y Chimaltenango

Es importante mencionar que la discontinuidad en el comportamiento de la temperatura en el suroccidente de la vertiente y esté muy poco relacionado con la gradiente altitudinal se debe a la falta de información de estaciones meteorológicas que puedan cubrir estas áreas, y con esto conseguir que la temperatura esté más apegada al cambio en la gradiente altitudinal.

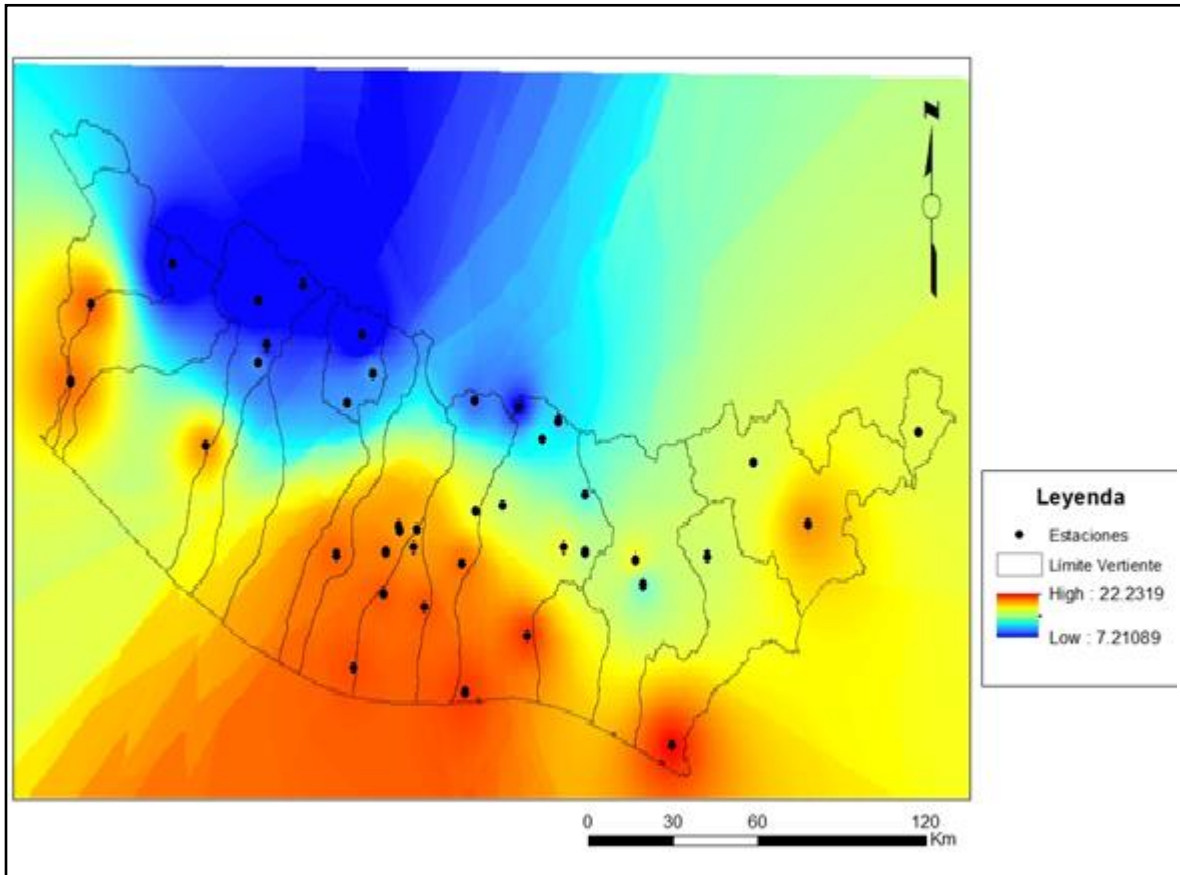


Figura 35 Temperatura mínima histórica regionalizada para la vertiente del Pacífico

## 2.7. CONCLUSIONES

- 2.7.1.** En cuanto a la disponibilidad de información se determinó que la red de estaciones utilizada tiene entre 14 y 39 años de registro, y el porcentaje anual de captura de datos oscila entre 89-92%, representado 324-335 anuales.
- 2.7.2.** Para las tres variables climáticas se determinaron 5 zonas de comportamiento homogéneo dentro de vertiente del Pacífico, siendo la región del suroriente, la del noroccidente, la del este, la central y la del litoral.
- 2.7.3.** Se generó un mapa para cada variable climática, en este caso precipitación pluvial, temperatura máxima y temperatura mínima, tomando como base el registro histórico anual de la red de estaciones, considerando que estos son los valores más estables a través del tiempo

## **2.8. RECOMENDACIONES**

- 2.8.1.** Es importante considerar para que este tipo de estudios, la necesidad de contar con la mayor cantidad de estaciones meteorológicas es por esto que es de gran importancia poder incorporar la red de estaciones de otras instituciones que puedan estar en áreas con vacíos de información y con esto poder enriquecer el análisis de predicción de la regionalización de las variables climáticas en estudio.
- 2.8.2.** Partiendo de la regionalización climática que es una herramienta básica que genera información más precisa del comportamiento de las variables climáticas, es necesario continuar con la generación de modelaciones de escenarios de cambio climático que permita proponer acciones para mitigar el impacto futuro que este pueda tener en la población, infraestructura y sistemas productivos

## 2.9. BIBLIOGRAFIA

1. Castellanos, E; Guerra, A. 2008. 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. Chew, D; López, C; Santos, G. 2009. Cartografía II. Guatemala, USAC, Facultad de Agronomía. s.p.
3. Fallas Sojo, JC; Oviedo Jiménez, R. 2003. Fenómenos atmosféricos y cambio climático, visión centroamericana: guía para el docente. 2 ed. San José, Costa Rica, JC Fallas S. 113 p.
4. Giorgi, F. 2008. Regionalización de la información sobre el cambio climático para la evaluación de impactos y la adaptación a los mismos. Boletín de la Organización Meteorológica Mundial 57(2):86-92.
5. IARNA (Universidad Rafael Landívar, 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. 99 p.
6. IPCC (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático, SW). 2008. Cambio climático 2007: informe de síntesis. Suiza. 114 p.
7. MARN (Ministerio de Ambiente y Recursos Naturales, GT). 2007. Guatemala: compilación y síntesis de los estudios de vulnerabilidad y adaptación al cambio climático. Guatemala. 43 p.
8. PNUMA, CL. 2014. El cambio climático en América Latina y El Caribe. Panamá. 126 p.
9. Salas Suárez, LF. 2000. Revista del aficionado a la meteorología 3ª. etapa (en línea). Consultado 20 mar 2012. Disponible en <http://www.tiempo.com/ram/7772/clima-y-cambio-climtico/>
10. Variables climáticas (en línea). EducaPlus.org. Consultado 21 mar 2012. Disponible en [http://www.educaplus.org/climatic/01\\_atm\\_compo.html](http://www.educaplus.org/climatic/01_atm_compo.html)
11. Villegas Q, M. 1990. Aspectos generales del clima. Guatemala, Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. 27 p.

### **3 CAPÍTULO III INFORME DE SERVICIOS REALIZADOS**

### **3.1. INVENTARIO DE LA RED DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS AUTOMÁTICAS DE LA AGROINDUSTRIA AZUCARERA GUATEMALTECA**

#### **3.1.1. OBJETIVOS**

##### **3.1.1.1. General**

3.1.1.1.1. Realizar un inventario general de la red de estaciones meteorológicas automáticas que administra el Instituto Privado de Investigación sobre cambio climático –ICC-.

##### **3.1.1.2. Específicos**

3.1.1.2.1. Verificar la colocación de los sensores (altura, posicionamiento respecto a los puntos cardinales), según las normas de la Organización Mundial de Meteorología (OMM).

3.1.1.2.2. Realizar la inspección de la obra civil y sistema de protección contra rayos para determinar el estado actual en el que se encuentran.

### **3.1.2. MARCO TEORICO**

#### **3.1.2.1. Estación meteorológica automatizada**

Una estación meteorológica automatizada es una estructura o dispositivo dotado con sensores que responden a estímulos electrónicos, que tienen la capacidad de registrar y coleccionar información meteorológica en forma automática y en tiempo real, que permite monitorear la variación de la temperatura del aire, humedad relativa, radiación solar, humedad foliar, dirección y velocidad del viento, lluvia, temperatura del suelo, presión atmosférica, entre otras. (Medina, Grageda, Ruiz, & Báez, 2008)

#### **3.1.2.2. Clasificación de estaciones meteorológicas**

Las estaciones se clasifican según la Organización Meteorológica Mundial (OMM) de la siguiente manera:

##### 3.1.2.2.1. Según su finalidad

- Sinópticas
- Climatológicas
- Agrícolas
- Aeronáuticas
- Especiales

##### 3.1.2.2.2. De acuerdo con la magnitud de las observaciones

- Principales
- Ordinarias
- Auxiliares

##### 3.1.2.2.3. Por el nivel de ubicación

- En superficie
- En altitud



#### 3.1.2.2.4. Según el lugar de observación

- Terrestres
- Aéreas
- Marítima

#### **3.1.2.3. Criterios de localización y emplazamiento de las estaciones meteorológicas**

Se deben emplazar en lugares cuyo clima sea representativo; y se evitarán hondonadas cuya temperatura, viento, etc., puede ser diferente a la de su entorno. Las estaciones meteorológicas deben estar situadas en lugar llano y libre de obstáculos que puedan afectar a las observaciones. En cuanto al lugar de emplazamiento de los instrumentos de la estación, no hay unas normas establecidas al respecto, siendo esencial que no se afecten entre sí. (Abac, 2012)

#### **3.1.2.4. Criterios para la instalación de estaciones meteorológicas**

##### 3.1.2.4.1. En forma general

- A) Relieve: en el estudio del clima se ha determinado que en un área existen variaciones de temperatura, precipitación, dirección y velocidad del viento, etc., debido a la configuración, aislamiento, orientación y discontinuidad que se presentan en dicha área. (Abac,2012)
- B) Factores geográficos: es necesario considerar la cercanía al nivel del mar, y en áreas continentales la proximidad de almacenamiento de aguas naturales o artificiales.

##### 3.2.2.4.2. En forma particular

- A) Representatividad
- B) Emplazamiento despejado
- C) Terreno
- D) Cercanía al observador
- E) Fácil acceso

### 3.1.2.5. Equipos de estaciones meteorológicas

Para medir ciertas variables meteorológicas se necesita la ayuda de instrumentos adecuados para poder hacerlo, las estaciones meteorológicas constan de diferentes equipos y elementos electrónicos para su funcionamiento; nuestros sentidos y principalmente la vista y el tacto permite estimar un gran número de observaciones, sin embargo, nuestros sentidos no son suficientes, por lo que se recurre a los instrumentos, en este caso, las observaciones se llaman observaciones instrumentales. (Abac, 2012)

PARÁMETRO METEOROLÓGICO	EQUIPO	DESCRIPCIÓN
Temperatura	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Termómetros</li> <li>•Termógrafo</li> </ul>	Indican las temperaturas máxima y mínima del aire (°C), se utilizan diferentes termómetros colocados en la sombra.
Humedad atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Higrómetro</li> </ul>	Mide el grado de humedad del aire, dando una indicación cualitativa de la humedad ambiental.
Humedad relativa	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Psicrómetro</li> </ul>	Mide la humedad relativa (%) de un modo indirecto.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Higrógrafo</li> </ul>	Aparato que registra la humedad relativa del aire (%).
Precipitación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Pluviómetro</li> </ul>	Mide la cantidad de lluvia caída, en milímetros (mm).
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Pluviógrafo</li> </ul>	Registra la cantidad de lluvia caída, en milímetros (mm).
Evaporación	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Evaporación tanque</li> </ul>	Sirve para controlar la evaporación potencial, se obtiene la cantidad de agua evaporada en 24 horas. (ml,mm)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Evaporación piche (sombra)</li> </ul>	Sirve para controlar la evaporación potencial que es la cantidad de agua por unidad de área y por unidad de tiempo que se evapora en una pequeña superficie expuesta al aire libre; se obtiene la cantidad de agua evaporada en 24 horas. (ml,mm)
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Evaporímetro</li> </ul>	Sirve para medir la cantidad de agua que se evapora en la atmosfera durante un intervalo de tiempo dado. Las unidades son el (ml) o el milímetro (mm) de agua evaporada.
Viento	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Veleta</li> </ul>	Dispositivo giratorio que consta de una placa vertical que gira libremente, con un señalador que indica la dirección del viento, y una cruz horizontal que indica los puntos cardinales.
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Anemógrafo</li> </ul>	Registra continuamente la dirección (grados) de la velocidad instantánea del viento (m/s), la distancia total (en km.) recorrida por el viento en relación con el instrumento y las ráfagas (en m/s).
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Anemómetro</li> </ul>	Mide la velocidad del viento (m/s).
Presión atmosférica	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Barómetro</li> </ul>	Sirve para medir la presión atmosférica, la cual se equilibra con el peso de una columna de mercurio. Las unidades son el milímetro de mercurio (mm de Hg), el milibar (mb), hectopascal (hPa).
	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Barógrafo</li> </ul>	Registra continuamente la presión atmosférica en milímetros de mercurio (mm Hg), en milibares (mb), hectopascal (hPa).
Insolación (horas brillo solar)	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Heliógrafo</li> </ul>	Instrumento que registra la duración de la insolación o brillo solar, en horas y décimos.
Radiación solar	<ul style="list-style-type: none"> <li>•Actinógrafo</li> </ul>	Mide la radiación solar global o difusa (cal /cm <sup>2</sup> /mm).

Figura 36 Equipo de estaciones meteorológicas (Abac,2012)

### 3.1.3. METODOLOGÍA

#### 3.1.3.1. Fase de gabinete

##### 3.1.3.1.1. Generación de ficha de campo

Previo al inicio del inventario de la red de estaciones meteorológicas del ICC, se generó una ficha de campo para documentar el estado de cada una de las estaciones. En la figura 37 se muestra la ficha de campo, la cual contaba con cuatro aspectos principales a evaluar dentro de la inspección de campo, que eran:

- ✓ Ubicación de la estación.
- ✓ Estado de los sensores.
- ✓ Estado del cableado de los sensores.
- ✓ Estado de la obra civil.

REGISTRO DE MANTENIMIENTO DE ESTACIONES METEOROLÓGICAS							
NOMBRE			CODIGO		MODELO RTU		
UBICACIÓN							
CUENCA							
	Latitud	Longitud		Altitud			
SENSORES							
	Piranómetro	Termohigrómetro	Pluviómetro	Humectómetro	Anemómetro	Veleta	RTU y panel solar
Código inventario							
Tipo (Pro/normal)							
Altura (m)							
Orientación (azimut)							
CABLES							
	Piranómetro	Termohigrómetro	Pluviómetro	Humectómetro	Anemómetro	Veleta	RTU y panel solar
Ordenados							
Amarrados							
OBRA CIVIL							
	Candado	Malla sin agujeros	Mástil pintado	Cables tensores	Pararrayos	Cable de tierra	Registros de tierra
Evidencia (sí/no)							
Estado (B/R/M)							
Pluviómetro manual							
Tanque de evaporación							
Buen mantenimiento de la maleza							
Otros equipos ajenos a la estación							
<b>UBICACIÓN</b>							
Describa si la estación tenía objetos que pudieran bloquear la buena captura de datos como árboles, edificaciones, cultivos, a distancias menores a 30 metros.							
Para el caso de árboles o edificaciones mayores a cinco metros, se considera una distancia de 100 metros sin obstáculos.							
Llave Identificadas							

Figura 37 Ficha de campo utilizada en inventario de estaciones meteorológicas.

### 3.1.3.2. Fase de Campo

#### 3.1.3.2.1. Ubicación de la estación

Inicialmente en la fase de campo se tomaron coordenadas para tener una referencia exacta de cada una de las estaciones; esto se con ayuda del aparato receptor de señal GPS.

#### 3.1.3.2.2. Estado de los sensores

Esta fase en campo se dividió en 5 actividades para verificar el estado de los 8 sensores con los que cuenta cada una de las estaciones. Las actividades se describen a continuación:

#### 3.1.3.2.3. Verificación del código de inventario del sensor

Se observó que cada uno de los 7 sensores (8 para el caso de la estación CENGICAÑA) contara con un código de inventario único que se identificaba con una etiqueta adherida a cada sensor. Este código debe corresponder con el inventario que la administración del ICC tiene en su poder.



Figura 38 Etiqueta de código de inventario de los sensores.

#### 3.1.3.2.4. Tipo de sensor

Para esta actividad, se corroboró si el sensor era de tipo pro (con una precisión mayor) o bien uno de tipo normal (de menos precisión que los de tipo pro). Estos dos tipos de sensores también se diferencian en cuestiones de apariencia.

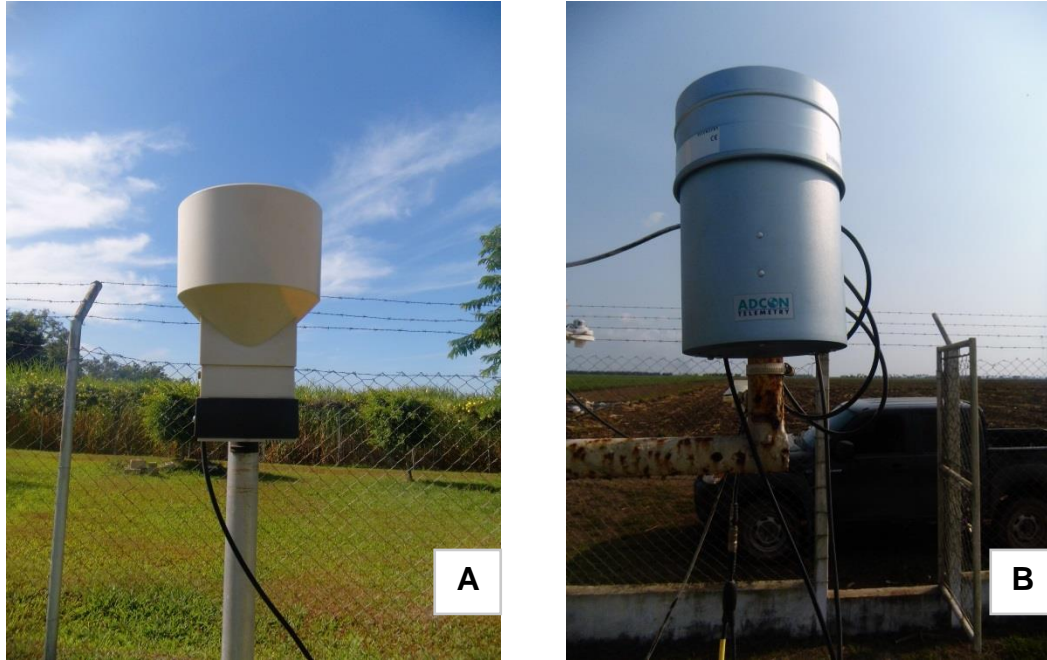


Figura 39 A. Pluviómetro tipo normal. B. Pluviómetro tipo Pro.

#### 3.1.3.2.5. Altura de sensores

Esta actividad se realizó con ayuda de una cinta métrica, tomando la altura desde el sensor hacia el ras de la superficie de suelo; esto con el fin de saber que sensores están dentro de los rangos de altura que recomienda la OMM para los distintos sensores de una estación meteorológica.

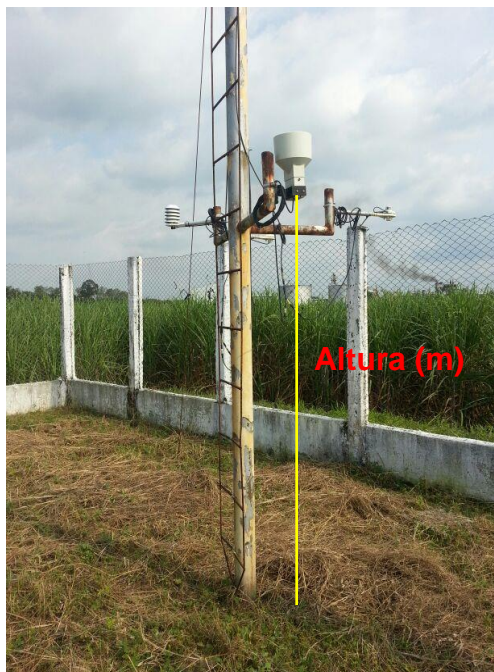


Figura 40 Toma de altura de los sensores.

### 3.1.3.2.6. Orientación de sensores

La verificación de la orientación de los sensores, se realizó con una brújula tomando en cuenta que la lectura de la orientación fuera azimutal.



Figura 41 Toma de orientación de los sensores.

### 3.1.3.2.7. Estado del cableado de los sensores

En el caso de los cables tanto los tipo Y como los extensores, se tomó como parámetro que no tuvieran ningún daño por aves o roedores, para asegurar el funcionamiento correcto de los mismo.

Otro aspecto que se tomó en cuenta fue que estuvieran debidamente amarrados y ordenados.



Figura 42 Cableado de pluviómetro en buen estado y debidamente ordenados.

### 3.1.3.2.8. Inspección de la obra civil

Para la inspección de la obra civil de cada una de las estaciones se tomaron en cuenta 7 componentes: candado (a), malla (b), mástil (c), cables tensores (d), pararrayos(e), cable de tierra y registros de tierra (f) como se muestra en las figuras 43 y 44. Para cada uno de los componentes se consideraron dos aspectos a evaluar, primeramente la evidencia de existencia de cada uno, y como segundo aspecto el estado en el que se encontraban, pudiendo ser en buen, regular o mal estado.

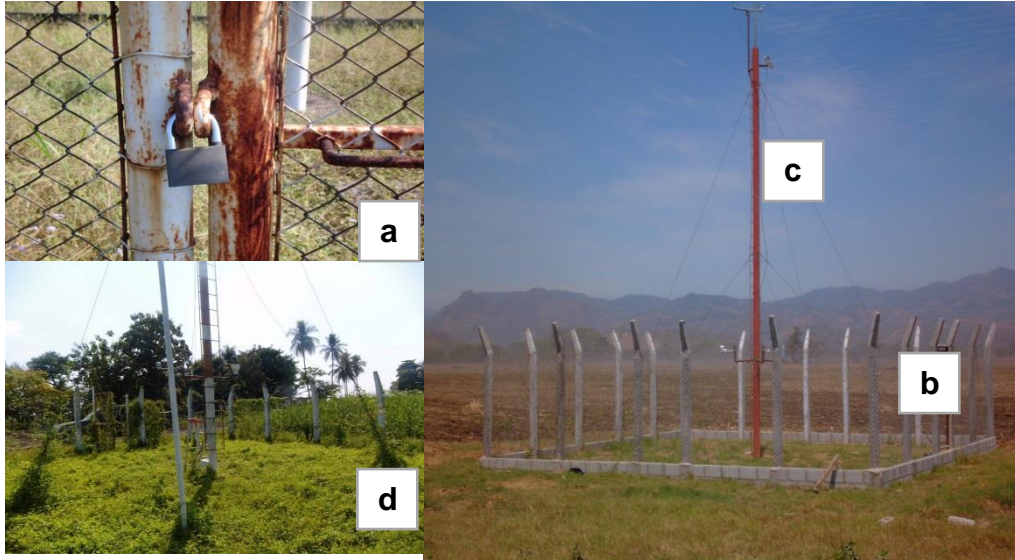


Figura 43 Inspección del candado(a), malla (b), mástil (c) y cables tensores (d).

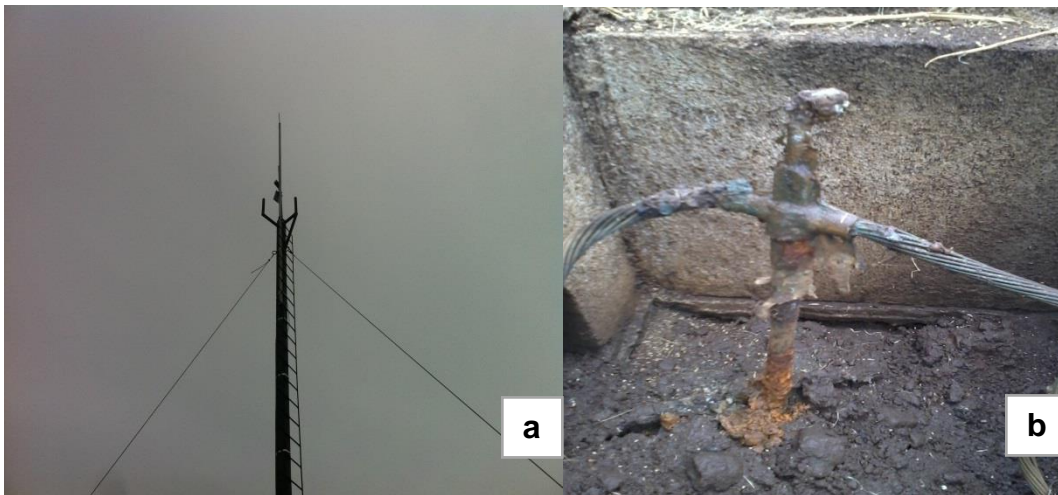


Figura 44 Inspección de pararrayos (a) y registros de tierras (b).

### 3.1.3.2.9. Observaciones adicionales

En esta actividad se trató de incluir otros aspectos extras a la inspección general de la estación, en la que se incluyó la observación del mantenimiento de la maleza, si existían objetos ajenos a la estación, algún tipo de obstáculo alrededor de la estación que pudiera obstruir la lectura de alguno de los sensores y por último si había dentro de la estación algún instrumento adicional como pluviómetros convencionales o tanques de evaporación.





Figura 45 Pluviómetros convencionales (a) y tanque de evaporación (b).

### **3.1.4. RESULTADOS**

#### **3.1.4.1. Obtención de información básica de las estaciones**

Esta información reúne datos como la ubicación exacta de la estación meteorológica en coordenadas geográficas, además del municipio y departamento en el que se encuentra, así también la altitud de cada una de ellas en metros sobre el nivel del mar (msnm).

Como se puede observar en el cuadro 15, las estaciones se encuentran distribuidas en los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez, Retalhuleu y Jutiapa; siendo un total de 13 estaciones para el departamento de Escuintla y 2 repetidoras; en el departamento de Suchitepéquez se cuenta con 3 estaciones, 2 estaciones en Retalhuleu y 1 estación en el departamento de Jutiapa.

Cuadro 15 Ubicación de las estaciones meteorológicas de ICC.

No.	Estación	Código	Longitud	Latitud	Altitud	Municipio	Departamento
			(DD.DDDDDD)	(DD.DDDDDD)	(msnm)		
1	Cengicaña	CEN-CEN	-91.055468	14.330962	297	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla
2	Tehuantepec	LUT-TEH	-91.103443	14.168625	67	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla
3	El Bálsamo	PAN-BAL	-91.003744	14.281468	280	Santa Lucía Cotzumalguapa	Escuintla
4	Puyumate	TBU-PUY	-91.25991	14.261557	77	Nueva Concepción	Escuintla
5	San Antonio el Valle	MAG-SAV	-91.200961	13.995364	10	La Gomera	Escuintla
6	Amazonas	SAA-AMA	-90.769984	14.066614	21	Masagua	Escuintla
7	Trinidad San Diego	SDT-TRI	-90.844006	14.153762	71	Masagua	Escuintla
8	Irlanda	TBU-IRL	-91.426867	14.145889	22	Tiquisate	Escuintla
9	Bonanza	LUT-BON	-91.187235	14.078341	29	La Gomera	Escuintla
10	Bouganvilia	MAG-BOU	-90.933352	14.11769	54	La Democracia	Escuintla
11	Naranjales	PAG-NRJ	-91.476996	14.365688	96	Cuyotenango	Suchitepéquez
12	Petén Oficina	MAT-PEO	-91.861372	14.477242	46	Tiquisate	Escuintla
13	Costa Brava	SDT-CBR	-91.411898	14.260987	151	La Democracia	Escuintla
14	Tululá	TUL-TLA	-91.586101	14.506967	254	San Andrés Villa Seca	Retalhuleu
15	Lorena	PAG-LOR	-91.586101	14.506967	333	San Antonio Suchitepéquez	Suchitepéquez
16	San Rafael	PAN-SRF	-91.419603	14.520233	9	Guanagazapa	Escuintla
17	Xoluta	MAG-XOL	-90.634491	14.023491	52	Champerico	Retalhuleu
18	San Nicolás	MAG-SNC	-91.603642	14.184544	20	San Lorenzo	Suchitepéquez

19	Trinidad Magdalena	MAG-TMG	-90.25819	13.93207	19	Pasaco	Jutiapa
20	Aurora (Repetidora)	AUR	14.04918	-90.82	40	Interior finca Aurora Km 89 carretera Puerto Sn. José	Escuintla
21	Paso Antonio (Repetidora)	PAA	14.03512	-90.71997	26	Interior finca Paso Antonio Km 84 carretera Puerto Sn. José	Escuintla

#### **3.1.4.2. Altura de sensores**

La altura a la cual deberían de estar instalados cada uno de los sensores en una estación meteorológica son establecidos por la Organización Mundial de Meteorológica (OMM).

En el cuadro 16 se puede observar a la altura que se encuentran instalados cada uno de los sensores en las 19 estaciones del ICC. Las alturas de los sensores que no se encuentran dentro del rango de las normas establecidas por la OMM se identifican con un asterisco rojo (\*).

Cuadro 16 Alturas de sensores por estación

No	Estación	Altura (m)					
		Piranómetro	Termohigrómetro	Pluviómetro	Humectómetro	Anemómetro	Veleta
1	Cengicaña	1.91 *	1.93 *	1.61 *	1.9	12.02 *	12.02 *
2	Tehuantepec	1.87 *	1.87 *	1.27 *	1.87	11.12 *	11.12 *
3	El Bálsamo	2.07 *	2.04 *	2 *	2.03	7.7 *	7.7 *
4	Puyumate	2.17 *	2.15 *	2.15 *	2.23 *	6.9 *	6.9 *
5	SAV	2.23 *	2.22 *	2.15 *	2.1 *	10.12 *	10.12 *
6	Amazonas	2.13 *	1.9 *	2.05 *	2.02	6.7 *	6.7 *
7	Trinidad	2.14 *	2.14 *	2.08 *	2.05 *	8.34 *	8.34 *
8	Irlanda	2.33 *	2.29 *	2.35 *	2.32 *	7.05 *	7.05 *
9	Bonanza	2.18 *	2.07 *	2.25 *	2.25 *	7.5 *	7.5 *
10	Bouganvilia	1.88 *	1.77 *	1.8 *	1.75	7.5 *	7.5 *
11	Naranjales	2.35 *	2.25 *	2.35 *	2.29 *	10	10
12	Petén Oficina	2.28 *	2.12 *	2.22 *	2.1 *	5.9 *	5.9 *
13	Costa Brava	2.1 *	2 *	2.04 *	1.96	9.85 *	9.85 *
14	Tululá	2.15 *	2.08 *	2.22 *	2.18 *	9.22 *	9.22 *
15	Lorena	2.25 *	2.13 *	2.25 *	2.1 *	10.2 *	10.2 *
16	Sn Rafael	2.25 *	2.29 *	2.29 *	2.29 *	10.18 *	10.18 *
17	Xoluta	2.17 *	2.05 *	2.22 *	2.22 *	8.35 *	8.35 *
18	Sn Nicolás	2.4 *	2.26 *	2.35 *	2.45 *	7.7 *	7.7 *
19	T/Magdalená	2.25 *	2.21 *	2.21 *	2.23 *	9.5 *	9.5 *

Como se puede observar ninguna de las estaciones tiene instalado a la altura correcta tanto el piranómetro, termohigrómetro y pluviómetro; siendo las alturas correctas 3 metros, 1.5 metros y 1.5 metros respectivamente. (Castro, 2008)

Para el caso de la altura del humectómetro se observa que las únicas estaciones que tienen este sensor a una altura adecuada son: Cengicaña, Tehuantepec, El Bálsamo, Amazonas y Costa Brava, ya que las distintas altura de estas estaciones se encuentran dentro del rango de altura recomendado por la OMM, que es entre 1.25 metros y 2 metros de altura. (Castro, 2008)

Para los sensores de viento, tanto anemómetro como la veleta se logró identificar que tan solo una estación de las 19 tiene este sensor con la altura recomendada de 10 metros (Castro, 2008), siendo la estación Naranjales. Las demás estaciones tienen este sensor en alturas muy variantes tanto por debajo como por encima de los 10 metros de altura recomendados.

#### **3.1.4.3. Orientación azimutal de los sensores**

Para la orientación de los sensores, se hizo mucho énfasis en el anemómetro y veleta, como el panel solar y el RTU de cada estación, y al igual que en cuadro anterior se identifican con un asterisco rojo (\*) los sensores que no están bien orientados. Como recomendación en cuanto a la orientación de los sensores de viento es que cada uno de estos estén orientado al Norte ( $0^\circ$ ) y como se observa en el cuadro a continuación únicamente las estaciones Cengicaña, Trinidad, Petén Oficina y Lorena no tienen orientados correctamente estos sensores.

En cuanto a la orientación de RTU es necesario que sea al Norte ( $0^\circ$ ), y como lo evidencia el cuadro 17 la mayoría de las estaciones lo tienen orientado correctamente, exceptuando a las estaciones Cengicaña, Irlanda, Petén Oficina, San Rafael y San Nicolás. Y por último la orientación del panel solar que debería de ser en dirección Sur ( $180^\circ$ ), y como se observó en campo y lo refleja el cuadro 3 las únicas estaciones que no cumplen con la orientación correcta de este son Cengicaña, Trinidad, Petén Oficina y San Nicolás.

Cuadro 17 Orientación azimutal de los sensores.

No	Estación	Orientación (Azimut)							
		Piranómetro	Termohigrómetro	Pluviómetro	Humectómetro	Anemómetro	Veleta	RTU	Panel Solar
1	Cengicaña	185°	75°	355°	260°	15° *	15° *	15° *	185° *
2	Tehuantepec	195°	110°	30°	295°	0°	0°	0°	180°
3	El Bálsamo	180°	90°	0°	0°	0°	0°	0°	180°
4	Puyumate	180°	90°	185°	359°	0°	0°	0°	180°
5	SAV	165°	120°	280°	175°	0°	0°	0°	180°
6	Amazonas	170°	80°	270°	350°	0°	0°	0°	180°
7	Trinidad	175°	130°	195°	155°	10° *	10° *	0°	155° *
8	Irlanda	190°	120°	15°	10°	0°	0°	335° *	180°
9	Bonanza	170°	80°	0°	170°	0°	0°	0°	180°
10	Bouganvilia	190°	50°	190°	320°	0°	0°	0°	180°
11	Naranjales	165°	70°	0°	290°	0°	0°	0°	180°
12	Petén Oficina	155°	60°	240°	300°	10° *	10° *	355° *	170° *
13	Costa Brava	180°	120°	45°	230°	0°	0°	0°	180°
14	Tululá	175°	70°	295°	330°	0°	0°	0°	180°
15	Lorena	180°	130°	70°	170°	350° *	350° *	0°	180°
16	Sn Rafael	175°	165°	290°	190°	0°	0°	220° *	180°
17	Xoluta	160°	60°	245°	160°	0°	0°	0°	180°
18	Sn Nicolás	185°	85°	255°	335°	0°	0°	170° *	170° *
19	T/Magdalená	210°	280°	65°	0°	0°	0°	0°	180°



#### **3.1.4.4. Evidencia y estado de obra civil**

Como parte de la revisión de la obra civil se observó primeramente la existencia de 7 elementos: el candado, malla sin agujeros, mástil pintado, cables tensores, pararrayo, cable de tierra y registros de tierra, como se muestra en el cuadro 5. Se tomó en cuenta que al menos existiera evidencia de la presencia de cada uno de estos elementos dentro de la estación.

En el cuadro 18 se muestra el estado en el que se encontraba cada uno de los 7 elementos de la obra civil anteriormente mencionados, y se denominaron en buen estado, regular estado y mal estado. Esta denominación fue únicamente basada en la observación y las evidencias que se encontraron en campo.

De la misma manera se observa en cuadro 19, que, existen muchos inconvenientes en cuanto al tema de obra civil se refiere, empezando por elementos puramente de seguridad de la estación como lo son la malla sin agujeros y el candado que van desde estar en un buen estado hasta en mal estado lo que podría implicar que personas ajenas a la estación pudieran dañar el equipo que se encuentra en la estación y de igual manera afectar la toma de lecturas.

Por otro lado también se evidenció que el tema de pararrayos, cables y registros de tierra en su gran mayoría están entre regular y mal estado. En el caso de los cables y registros de tierras se notó que los calibres de los cables no es el adecuado para soportar una descarga eléctrica como se muestra en la figura 46. En el tema de pararrayos se encontró que las estaciones Trinidad, El Bálsamo, San Antonio El Valle, Naranjales, Petén Oficina y Tzululá presentan un pararrayos en mal estado o bien la altura del pararrayos era menos que la del mástil haciendo imposible la protección de los sensores de la estación, lo cual las hace más vulnerables a poder ser afectadas por una descarga eléctrica como se muestra en la figura 47.



Figura 46 Calibre de cable de los registros de tierras.

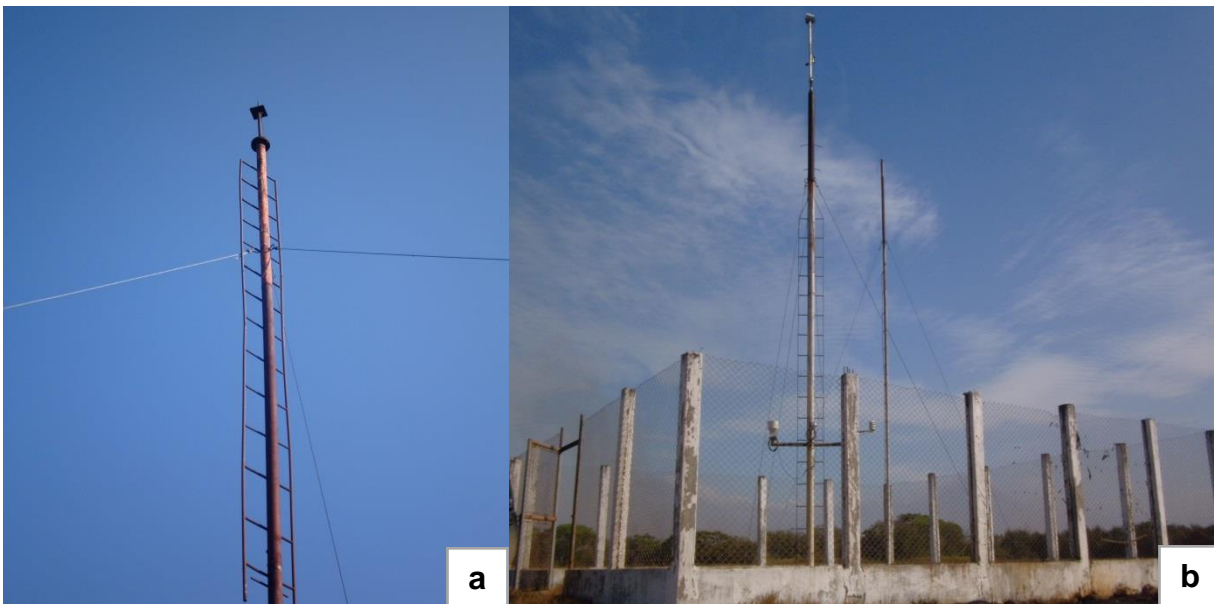


Figura 47 Estado de pararrayos El Bálsamo (a) Trinidad (b).

Cuadro 18 Evidencia de los elementos de la obra civil.

No	Estación	Evidencia de obra civil						
		Candado	Malla sin agujeros	Mástil pintado	Cables tensores	Pararrayos	Cable de tierra	Registros de tierra
1	Cengicaña	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
2	Tehuantepec	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
3	El Bálsamo	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
4	Puyumate	Sí	No	No	Sí	Sí	Sí	Sí
5	SAV	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
6	Amazonas	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
7	Trinidad	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
8	Irlanda	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
9	Bonanza	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Si
10	Bougavilia	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
11	Naranjales	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
12	Petén Oficina	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
13	Costa Brava	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
14	Tululá	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
15	Lorena	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
16	Sn Rafael	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
17	Xoluta	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí
18	Sn Nicolás	Sí	Sí	No	Sí	Sí	Sí	Sí
19	T/Magdalen	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí	Sí



### 3.1.4.5. Observaciones adicionales

Como parte de las observaciones adicionales al inventario en general, se tomó en cuenta la presencia de algún otro equipo dentro de la estación, y como se muestra en el cuadro 20 se encontraron pluviómetros manuales en 8 estaciones que se encontraban en regular estado, además 5 estaciones cuentan con tanque de evaporación.

Cuadro 20 Equipo adicional.

No	Estación	Pluviómetro manual	Tanque de Evaporación
1	Cengicaña	Sí	Sí
2	Amazonas	Sí	Sí
3	Irlanda	Sí	No
4	Bonanza	Sí	Sí
5	Naranjales	Sí	No
6	Tululá	Sí	Sí
7	Sn Rafael	Sí	Sí
8	Xoluta	Sí	No

### **3.1.5. CONCLUSIONES**

- 3.1.5.1.** Se realizó el inventario de las 19 estaciones meteorológicas y las 2 repetidoras del Instituto Privado de Investigación sobre Cambio Climático – ICC-, distribuidas en los departamentos de Escuintla, Suchitepéquez y Retalhuleu. El inventario tenía por objetivo inspeccionar la instalación de los sensores y la debida identificación de inventario de cada uno; así mismo se inspeccionó el estado de la obra civil de cada una de ellas.
- 3.1.5.2.** Se comprobó que los muchos de los sensores no están instalados según las norma de la OMM en cuestiones de altura, como es el caso de los piranómetros, termohigrómetros y pluviómetros de todas las estaciones no se encuentran dentro de los rangos de la OMM. Y para el caso de los anemómetros y veletas la única estación que cumple con los 10 metros de altura establecidos para este equipo es la de Naranjales.
- 3.1.5.3.** Como parte de la inspección de la obra civil se verificó el estado del candado, malla, mástil, cables tensores, pararrayos, cable de tierra y registros de tierra; primeramente corroborando la existencia de cada uno de los elementos anteriormente mencionados y posteriormente el estado. Dentro de la inspección general de la obra civil se le dio un grado de prioridad al estado de los pararrayos, cables y registros de tierra ya que es de suma importancia que este sistema se encuentre en óptimas condiciones para la protección de los sensores.

### **3.1.6. RECOMENDACIONES**

- 3.1.6.1.** Colocar todos los sensores a la altura que recomienda la OMM, con el objetivo de que las lecturas que se puedan obtener sean lo más confiablemente posible y que no se vean afectadas por ningún tipo de obstáculo que pudiese haber en los alrededores. Además es necesario cumplir con dichas normas para poder optar a la certificación de la red de estaciones dada por la OMM.
  
- 3.1.6.2.** Verificar constantemente el estado de la malla, puerta y candado de la estación, y en el caso de algún daño realizar las reparaciones correspondientes para evitar que los sensores sufran algún tipo de daño por personas ajenas a la estación.
  
- 3.1.6.3.** Es importante darle seguimiento a la inspección más minuciosa del sistema de protección contra rayos (pararrayos, cable de tierra y registros de tierras). Revisar que los cables de tierra sean del calibre adecuado para que la descarga eléctrica sea soportada por el sistema, además de verificar que se cuente con la platina dentro del sistema que ayude a la distribución de las descargas al suelo para evitar daños a los sensores y por consiguiente pérdidas económicas como pérdidas de datos.

### 3.1.7. BIBLIOGRAFÍA

1. Abac Prado, MV. 2012. Consideraciones básicas sobre parámetros meteorológicos y su importancia en el diseño, construcción y operación de proyectos de infraestructura. Guatemala, USAC, Facultad de Ingeniería. 72 p.
2. Castro Fonseca, E (comp.). 2008. Manual de procedimientos para estaciones meteorológicas. Sarapiquí, Heredia, Costa Rica, Organización para Estudios Tropicales. 91 p.
3. Medina, G; Grageda, J; Ruiz, JÁ; Báez, A. 2008. Uso de estaciones meteorológicas en la agricultura. Zacatecas, México, CIRNOC-INIFAP, Campo Experimental Zacatecas, Folleto Informativo no. 50, 19 p.
4. Ruberto, RA; Gabazza, SE; Kutnich, JE. 2010. Estación meteorológica de capacitación: instrumental. Chaco, Argentina, Universidad Nacional del Nordeste, Facultad de Ingeniería. 30 p, Publicación Didáctica no. 2.