



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE LLUVIAS  
EN EL ALTIPLANO GUATEMALTECO Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO EL NIÑO –  
OSCILACIÓN SUR**

**Daniel Boris Francisco Orozco Ramírez**

Asesorado por el Msc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque

Guatemala, octubre de 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE LLUVIAS  
EN EL ALTIPLANO GUATEMALTECO Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO EL NIÑO –  
OSCILACIÓN SUR**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**DANIEL BORIS FRANCISCO OROZCO RAMÍREZ**  
ASESORADO POR EL ING. MSC. JUAN CARLOS FUENTES MONTEPEQUE

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2019



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANA	Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
VOCAL I	Ing. José Francisco Gómez Rivera
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Luis Diego Aguilar Ralón
VOCAL V	Br. Christian Daniel Estrada Santizo
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
EXAMINADORA	Inga. Karla Giovanna Pérez Loarca
EXAMINADOR	Ing. Milton Lenin Hernández González
EXAMINADOR	Ing. Fredy Adolfo Alvarado Hernández
SECRETARIA	Ing. Lesbia Magalí Herrera López

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DISEÑO DE INVESTIGACION PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE LLUVIAS  
EN EL ALTIPLANO GUATEMALTECO Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO EL NIÑO –  
OSCILACIÓN SUR**

Tema que me fuera autorizado por la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), con fecha del 26 de marzo de 2018.



**Daniel Boris Francisco Orozco Ramirez**  
danielborozco@hotmail.com

**2012 13610**



Guatemala, 26 de marzo de 2019  
Ref.ERIS.40-19

Ingeniero  
Daniel Boris Francisco Orozco Ramírez  
Presente

Estimado Ingeniero Orozco Ramírez:

Por este medio, me permito informarle que según Acta No. 6-2018, la Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado (CAyOG), determina APROBAR el tema de Estudio Especial I, titulado: "CARACTERIZACION DEL REGIMEN DE LLUVIAS DEL ALTIPLANO GUATEMALTECO Y SU RELACION CON EL FENOMENO DE EL NIÑO- OSCILACION SUR", y se le ha asignado la terna siguiente:

Asesor: MSc. Ing. Agr. Juan Carlos Fuentes M.  
Terna: MSc. Ing. Juan José Sandoval  
Terna: MSc. Ing. Joram Matias Gil Larroj

Sin otro particular me suscribo de usted.

Cordialmente,



"DID Y ENSEÑAD A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis  
Director

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos, ERIS

C.C.:  
archivo



**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria ERIS**

Facultad de Ingeniería - Universidad de San Carlos de Guatemala

Edificio Prefabricados, Ciudad Universitaria zona 12

Guatemala C.A. Código postal: 01012

Teléfono: 24188000 ext. 86212, 86213 y 86240. Línea Directa: 24189140

Guatemala, 25 de marzo 2019

**Ingeniero M.Sc. Elfego Orozco**  
**Coordinador de la Maestría en Recursos Hidráulicos**  
**Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos**  
**Facultad de Ingeniería, USAC**

Habiendo revisado el documento denominado "Caracterización del Régimen de Lluvias del Altiplano Guatemalteco y su Relación con el Fenómeno de El Niño-Oscilación Sur", que fuera elaborado por el estudiante Daniel Boris Francisco Orozco Ramírez, como parte de su Estudio Especial, y como requisito para obtener dos créditos académicos, correspondiente a un avance del 33 % de su trabajo de investigación al grado académico de Maestro en Recursos Hidráulicos, mediante la presente me permito informarle mi satisfacción con su contenido y por lo tanto, le comunico que dicho documento cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo la atención prestada a la presente, me suscribo de usted.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

**Ing. M.Sc. Juan Carlos Fuentes**  
Asesor del Estudio

**Ing. Juan C. Fuentes M.**  
M.Sc. Hidrología  
Colegiado No. 2,504

Guatemala, 25 de marzo de 2019

UNIVERSIDAD DE  
SAN CARLOS DE GUATEMALA



ESCUELA REGIONAL DE INGENIERIA SANITARIA  
Y RECURSOS HIDRAULICOS - ERIS -  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA - USAC -

Facultad de Ingeniería  
Escuela Regional de Ingeniería  
Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
COORDINACIÓN  
RECURSOS HIDRÁULICOS

Edificio ERIS,  
Área de prefabricados, CII  
Ciudad Universitaria zona 12  
Ciudad de Guatemala 01012  
Guatemala, C.A.

Tel. (502) 2418 8000,  
Ext. 86213 y 86212  
(502) 2418 9138

[www.ingenieria-usac.edu.gt](http://www.ingenieria-usac.edu.gt)

Señores

Comisión de Admisión y Otorgamiento de Grado  
Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos  
Facultad de Ingeniería, USAC

Respetuosamente les comunico que he revisado la versión corregida, en mi calidad de Coordinador de la Maestría de Recursos Hidráulicos, el documento titulado:

**Caracterización del régimen de lluvias del altiplano guatemalteco y su relación con el fenómeno de El Niño – Oscilación Sur**

presentado por el estudiante,

**Daniel Boris Francisco Orozco Ramírez**

Asimismo, se tiene a la vista el acta de EVALUACIÓN ESTUDIO ESPECIAL I, firmada por la terna examinadora MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque, MSc. Ing. Joram Matías Gil Larroj y MSc. Ing. Juan José Sandoval, donde se especifica que el estudiante desarrolló satisfactoriamente la etapa correspondiente, por lo cual, el estudiante se hace acreedor de dos créditos académicos de la Maestría en Ciencias de Recursos Hidráulicos, opción Hidrología.

Por lo anterior manifiesto que el estudiante ha cumplido con los requisitos exigidos por la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS) y la Universidad de San Carlos de Guatemala, en la realización del avance del 33 % del trabajo de investigación, por lo que esta coordinación aprueba dicho documento.

Agradeciéndoles la atención a la presente, se suscribe de ustedes,

Atentamente,

“ID Y ENSEÑAD A TODOS”

MSc. Ing. Elfego Orozco  
Coordinador Maestría de Recursos Hidráulicos



El Director de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos -ERIS-, hace constar que tuvo a la vista el acta de examen de Estudio Especial 1, de fecha 26 de noviembre de 2018, del trabajo de investigación "Caracterización del régimen de lluvias del altiplano guatemalteco y su relación con el fenómeno de El Niño - Oscilación Sur", del estudiante: Daniel Boris Francisco Orozco Ramírez, quien ha desarrollado satisfactoriamente la etapa correspondiente de dicha investigación. El tribunal examinador estuvo integrado por los profesores: MSc. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque, MSc. Ing. Joram Matías Gil Larroj y MSc. Ing. Juan José Sandoval.

Para los usos que al interesado convengan, se extiende la presente constancia, en la ciudad de Guatemala, a los 26 días del mes de marzo de 2019



"ID Y ENSEÑAR A TODOS"

MSc. Ing. Pedro Saravia Celis  
Director

Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria  
y Recursos Hidráulicos, ERIS

C.C.:  
archivo



**USAC**

TRICENTENARIA

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

**ESCUELA DE INGENIERÍA CIVIL**



Guatemala  
28 de octubre 2019

Ingeniero  
Hugo Humberto Rivera Pérez  
Secretario Académico  
Facultad de Ingeniería  
USAC

Ingeniero Rivera.

De manera atenta informo a usted que el estudiante Daniel Boris Francisco Orzoco Ramírez, Registro Estudiantil No. 201213610, ha cumplido con el proceso de graduación de Licenciatura mediante modalidad Pregrado Postgrado, presentando a esta Dirección de Escuela el DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE LLUVIAS EN EL ALTIPLANO GUATEMALTECO Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO EL NIÑO-OSCILACIÓN SUR, asesorado por el MSC. Ing. Juan Carlos Fuentes Montepeque, debidamente aprobado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, por lo que en calidad de Director de la Escuela de Ingeniería Civil, doy mi visto bueno para continuar con el procedimiento correspondiente.

Sin otro particular, atentamente  
ID Y ENSEÑAD A TODOS

Director Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Escuela Ingeniería Civil





La Decana de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **DISEÑO DE INVESTIGACIÓN PARA LA CARACTERIZACIÓN DEL RÉGIMEN DE LLUVIAS EN EL ALTIPLANO GUATEMALTECO Y SU RELACIÓN CON EL FENÓMENO EL NIÑO-OSCILACIÓN SUR**, presentado por el estudiante universitario: **Daniel Boris Francisco Orozco Ramírez**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:



Inga. Anabela Cordova Estrada

Decana

Guatemala, octubre de 2019

/gdech

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Mis padres**

Elfego Orozco y Georgina Ramírez por el amor y apoyo brindado.

### **Mis hermanos**

Aldo, Erick, Roberto y Heidi Orozco por ser importante influencia en mi carrera y vida



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Universidad de San Carlos de Guatemala** Por formarme como profesional.

**Mis amigos** A los compañeros de estudio, hermanos de desvelo y compañeros de trabajo. Gracias por compartir sus conocimientos sin egoísmo.

**Mi familia** Por sus sacrificios constantes y apoyo incondicional.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	III
LISTA DE SÍMBOLOS.....	V
GLOSARIO.....	VII
RESUMEN.....	IX
1. INTRODUCCIÓN.....	1
2. ANTECEDENTES.....	3
3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	5
4. JUSTIFICACIÓN.....	7
5. OBJETIVOS.....	9
5.1. General.....	9
5.2. Específicos.....	9
6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN.....	11
7. MARCO TEÓRICO.....	13
7.1. Fenómeno El Niño – Oscilación Sur.....	13
7.1.1. Descripción del fenómeno.....	13
7.1.2. Índice oceánico El Niño (ONI).....	14
7.1.3. Registros ENOS.....	16
7.2. Estimación de datos faltantes de precipitación.....	18

7.3.	Delimitación del área de estudio .....	20
	7.3.1.    Clasificación de Köppen .....	23
7.4.	Lluvia .....	27
7.5.	Red de estaciones meteorológicas .....	28
7.6.	Análisis de datos .....	31
	7.6.1.    Relleno de datos faltantes .....	31
	7.6.2.    Precipitación media mensual .....	31
	7.6.3.    Precipitación anual vs ONI .....	34
8.	PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS .....	37
9.	MÉTODOLOGIA .....	39
10.	TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN .....	41
11.	CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES .....	43
12.	RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO .....	45
13.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....	47

# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Esquema de solución.....	12
2.	Efectos del ENOS a nivel global.....	14
3.	Ubicación de la región 3.4.....	15
4.	Anomalía de temperatura en la región 3.4 .....	15
5.	Comportamiento del ONI desde 1950 al 2018.....	17
6.	Regiones climáticas de Guatemala .....	22
7.	Delimitación del área de estudio .....	23
8.	Clasificación climática de Köppen .....	26
9.	Lluvia media anual .....	27
10.	Estaciones meteorológicas del área de estudio .....	29
11.	Precipitación media mensual, estación INSIVUMEH.....	32
12.	Precipitación media mensual, estación Labor Ovalle .....	32
13.	Precipitación media mensual, estación La Fragua .....	33
14.	Comparación de precipitación media mensual .....	33
15.	Precipitación anual de las tres estaciones.....	34
16.	Precipitación anual de la estación INSIVUMEH vs el ONI, de 1950 a 2018.....	35
17.	Precipitación anual de la estación Labor Ovalle vs el ONI, de 1971 a 2018.....	35
18.	Precipitación anual de la estación La Fragua vs el ONI, de 1972 a 2018.....	36

## TABLAS

I.	Categorización del ENOS.....	18
II.	Registros de precipitación en el Altiplano Occidental.....	30
III.	Registros de precipitación en el Altiplano Central. ....	30
IV.	Registros de precipitación en el Altiplano Oriental. ....	30
V.	Cronograma de actividades .....	43
VI.	Recursos económicos para la investigación .....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>Ha</b>	Hectárea
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b>m</b>	Metro
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>mm</b>	Milímetro
<b>%</b>	Porcentaje



## GLOSARIO

<b>CONRED</b>	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
<b>ENOS/ENSO</b>	Fenómeno El Niño – Oscilación Sur.
<b>ERIS</b>	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos.
<b>FAO</b>	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura.
<b>FIUSAC</b>	Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala.
<b>IGN</b>	Instituto Geográfico Nacional.
<b>INDE</b>	Instituto Nacional de Electrificación.
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología e Hidrología.
<b>MAGA</b>	Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación.
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration – U.S. Department of Commerce.

<b>OMM</b>	Organización Meteorológica Mundial.
<b>ONI</b>	Índice oceánico El Niño.
<b>ONU</b>	Organización de las Naciones Unidas.
<b>SOI</b>	Índice de oscilación Sur.

## RESUMEN

Esta investigación tiene como fin la caracterización del régimen de lluvias en el altiplano guatemalteco y evaluar estadísticamente la variabilidad de este, bajo efectos del fenómeno El Niño – Oscilación Sur, para obtener un modelo de pronóstico de variabilidad en el régimen de lluvias en función del ONI.

Para la realización de esta investigación se hizo una revisión y selección de la información de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, disponibles en el área de estudio. Se seleccionaron las estaciones con datos más consistentes con base en la metodología del vector regional.

Se consultaron mapas e información geográfica otorgada por distintas instituciones, que ayudaron a definir el área de estudio, caracterizarla y localizar puntos importantes.

Se determinó el régimen de lluvia anual, la variabilidad temporal y espacial de la lluvia de la estación más representativa de cada región, y la relación con el fenómeno El Niño – Oscilación Sur, realizando una comparación gráfica de la variabilidad temporal de la lluvia en las estaciones meteorológicas.



# 1. INTRODUCCIÓN

El Niño es un fenómeno climático recurrente que implica cambios en la temperatura de los océanos, tiene importantes consecuencias climáticas alrededor del globo. El Niño – Oscilación Sur (ENOS) describe una variación bimodal en el nivel de presión barométrica entre dos estaciones de observación ubicadas en Darwin, Australia y Tahití. Los efectos que se han presentado en Guatemala debido a este fenómeno consisten en el incremento de la temperatura ambiente y reducción de lluvias, como lo indica el boletín climático No.1-2016 compartido por el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología<sup>1</sup>.

La Administración Nacional de Oceánicos y Atmosféricos (NOAA, por sus siglas en inglés) del gobierno de Estados Unidos de América, ha creado una red de boyas que miden la temperatura, corrientes y vientos de la franja ecuatorial, lo cual provee los datos necesarios para el estudio de este fenómeno. Entre los datos a consultar se encuentran: el índice de oscilación del sur (SOI, por sus siglas en inglés), el cual es un índice basado en la diferencia de presión, observada a nivel del mar entre dos estaciones en Tahití y Darwin, Australia; y el índice oceánico El Niño (ONI), el cual establece una relación entre las dos estaciones mencionadas y, bajo ciertos criterios, oficializa la presencia del fenómeno recurrente El Niño o de La Niña.

En la siguiente investigación se pretende comprobar si la presencia del fenómeno El Niño tiene efectos directos sobre la precipitación del Altiplano

---

<sup>1</sup> INSIVUMEH. *Regiones climáticas*. <http://www.insivumeh.gob.gt/regiones-climaticas/>. Consulta: abril de 2019.

guatemalteco. Se establece una relación entre la variabilidad de precipitación y el índice ONI, con lo que se crea un modelo de pronóstico sobre el recurso hídrico.

## 2. ANTECEDENTES

El Boletín informativo No.3884, publicado por la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), afirma que, en el 2014, debido a los efectos del fenómeno de El Niño, se registró un déficit de lluvias en el país, especialmente en el corredor seco, lo cual tuvo un gran impacto en los departamentos semiáridos de la cuenca del Río Motagua. Este fenómeno también afectó la parte del Altiplano guatemalteco con una disminución de la humedad en el suelo, baja nubosidad y abundante radiación terrestre, que favorece la presencia de heladas meteorológicas, según lo indica el boletín informativo No.4140.

En el año 2017 se realizó un estudio titulado *Efectos del fenómeno El Niño en los recursos hídricos de la subcuenca del río Aguacapa*, el cual es un estudio realizado en la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala (FIUSAC), por Laura de León, quien tenía como objetivo establecer la influencia del fenómeno El Niño sobre la precipitación y caudales de la subcuenca mencionada. En este estudio se determinó que sí es posible determinar modelos matemáticos con una correlación múltiple de precipitación y caudal. Elaboró modelos matemáticos que explican la relación que existe entre el fenómeno El Niño y los registros de precipitación en la estación El Mirador con una buena correlación.

Otro estudio realizado en el año 2017 fue el titulado *Caracterización de la sequía meteorológica en el corredor seco hondureño y su relación con el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur*, de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos (ERIS), de la Ing. Estéfana Velásquez, donde

se caracterizó la sequía meteorológica para la región y se concluyó que existe un 69% de probabilidad anual de que exista un periodo de sequía, siendo más frecuentes los periodos de sequía leve.

### **3. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El periodo de sequía es uno de los fenómenos climáticos que más afectan a las poblaciones a lo largo del país, debido al impacto socioeconómico que esta provoca.

Tras el paso del fenómeno ENOS se reporta un déficit en la productividad agrícola, por la poca disponibilidad del recurso hídrico en las cuencas, lo que impacta gravemente en la producción de granos básicos, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria de la región. Según el Sistema de Información Gerencial de Salud del Ministerio de Salud, para septiembre del año 2016 se registraron más de diez mil casos de desnutrición, de los cuales 46 % eran niños de 12 a 24 meses.

Cualitativamente se asocia una variabilidad de lluvias con el fenómeno ENOS. Cuantitativamente aún no existen investigaciones serias respecto a la evaluación del régimen de lluvias y caudales con el mencionado fenómeno, mucho menos en un territorio específico como el Altiplano guatemalteco, por lo que en este trabajo se pretende establecer dicha relación.

El poco conocimiento que se tiene de la relación entre el fenómeno ENOS y el régimen de lluvias no ha permitido establecer un manejo adecuado del recurso hídrico, con lo que se agrava el impacto por la poca información que existe para poder preparar a las poblaciones.

En Guatemala no existe un estudio de caracterización del régimen de lluvias en el área de estudio, por lo que se plantean las siguientes preguntas:

1. ¿Cuál ha sido la variabilidad climática de la zona?
2. ¿Se puede establecer una relación entre los eventos del ENOS y la variabilidad climática de la región?
3. ¿Será posible predecir el próximo fenómeno de El Niño con base en el régimen de lluvias?

## **4. JUSTIFICACIÓN**

De acuerdo a lo investigado preliminarmente, no se ha realizado una evaluación de la relación entre el régimen de lluvias del Altiplano Guatemalteco y el fenómeno ENOS. El Altiplano guatemalteco es de relevante importancia por ser parte del territorio guatemalteco, con un área aproximada de 34 mil kilómetros cuadrados, los cuales se distribuyen en 18 departamentos. Debido a esto es importante señalar la necesidad de un pronóstico que ayude a mitigar el impacto ocasionado por el fenómeno natural El Niño – Oscilación Sur (ENOS).

Es necesario realizar esta investigación para evaluar la relación del ENOS y la variación del régimen de lluvias en el tiempo y espacio, debido a que este fenómeno es recurrente y se presenta de 2 a 7 años aproximadamente. Esto permitirá formular un pronóstico que ayude a tomar las medidas pertinentes para disminuir el impacto en las poblaciones del área en estudio, la cual se verá beneficiada al poder prepararse con la gestión del recurso hídrico.



## **5. OBJETIVOS**

### **5.1. General**

Caracterizar del régimen de lluvias del Altiplano Guatemalteco y determinar su relación con el fenómeno El Niño – Oscilación Sur.

### **5.2. Específicos**

1. Caracterizar el régimen de lluvias en el Altiplano guatemalteco.
2. Establecer una relación entre la variabilidad climática y el fenómeno El Niño – Oscilación Sur.
3. Elaborar un modelo estadístico para el pronóstico del régimen de lluvias en función del fenómeno El Niño – Oscilación Sur.



## **6. NECESIDADES A CUBRIR Y ESQUEMA DE SOLUCIÓN**

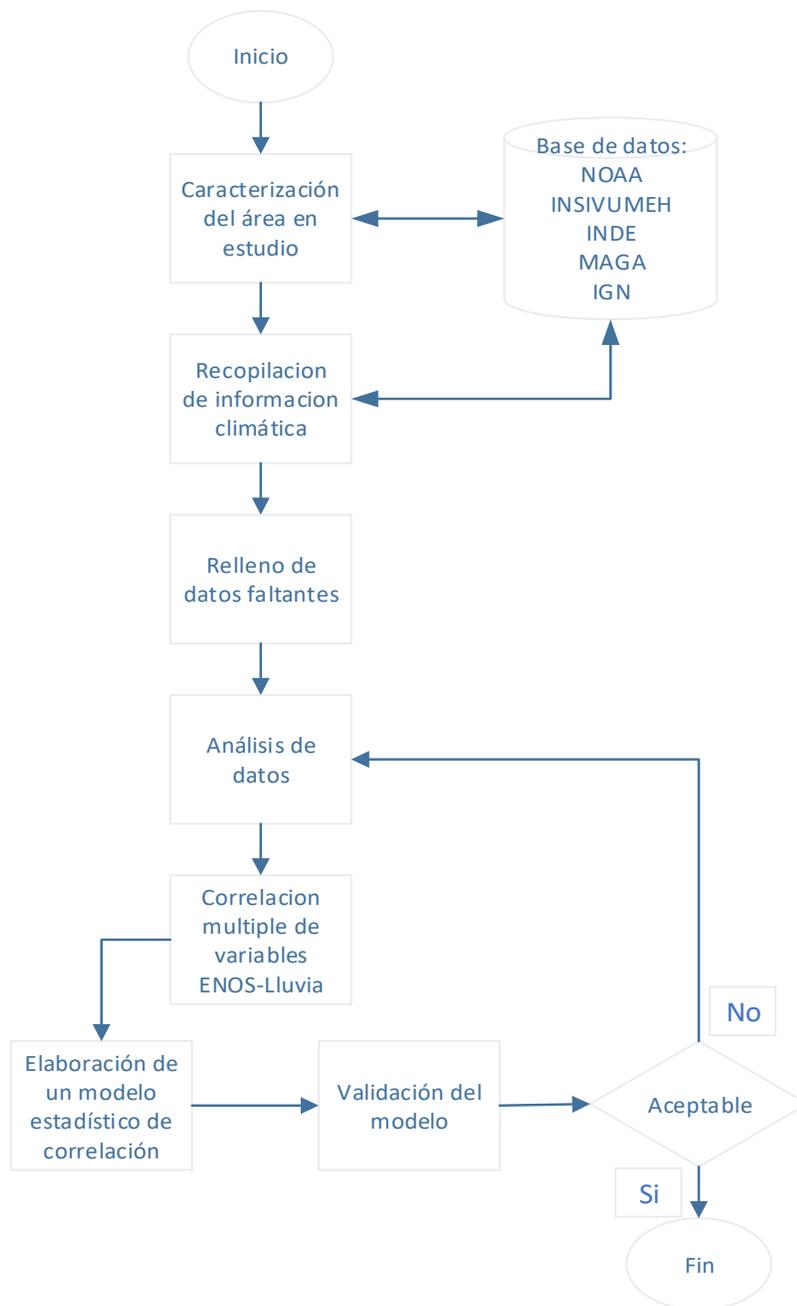
El incremento de la población a nivel nacional crea un aumento en la demanda de productos industriales y agrícolas, que se ven influenciados directamente por la disponibilidad del recurso hídrico, por lo que esta investigación busca cubrir la necesidad de un modelo estadístico que permita pronosticar el régimen de lluvias bajo influencia del fenómeno El Niño – Oscilación Sur, para poder mitigar el impacto ocasionado.

En la figura 1 se observa un esquema de la solución del problema, donde se empieza con la caracterización del área en estudio, con mapas e información climática de la zona. Posteriormente se recopila la información climática de interés para hacer un relleno de datos faltantes en los registros históricos de lluvia, con el apoyo de métodos estadísticos. Se procede a analizar los datos con métodos estadísticos, para evaluar la consistencia en los registros de todas las variables y validar los datos para el siguiente paso, el cual consiste en una correlación múltiple de variables, donde el análisis está enfocado a la lluvia y el ONI, las cuales son las más relevantes para el estudio. Por último se elabora un modelo estadístico que será evaluado y validado para poderlo aceptar, de no ser así se realizará una iteración de los pasos mostrados hasta encontrar un modelo aceptable.

Para validar esta investigación se plantea la siguiente hipótesis: el fenómeno El Niño - Oscilación Sur tiene un impacto en la variabilidad climática del territorio de Guatemala, esto permite elaborar un pronóstico, con una correlación del 70 %, del régimen de lluvias en el Altiplano guatemalteco, con

suficiente antelación para tomar mejores decisiones en el manejo de los recursos de la zona.

Figura 1. Esquema de solución



Fuente: elaboración propia.

## **7. MARCO TEÓRICO**

### **7.1. Fenómeno El Niño – Oscilación Sur**

El fenómeno El Niño es un patrón climático natural, asociado al calentamiento de la temperatura superficial del Océano Pacífico central y oriental, lo cual puede influir significativamente en los patrones climáticos, las condiciones del océano y la pesca marina en todo el mundo. El Niño ocurre en promedio cada dos a siete años, y puede durar de nueve hasta doce meses. El Niño tiene un mayor impacto durante el invierno.

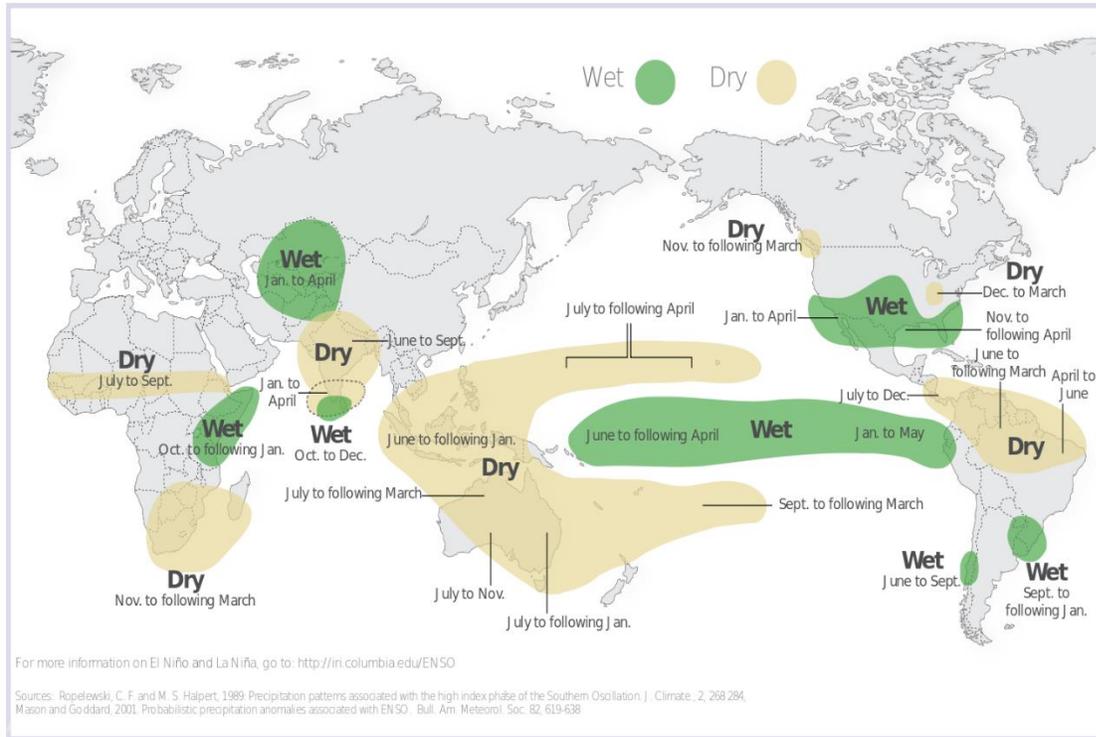
Lo opuesto al El Niño es La Niña, la cual es la fase fría que también afecta los patrones climáticos a nivel mundial. Existe también una fase neutral, donde no se presenta un calentamiento ni enfriamiento de las aguas en el pacífico ecuatorial. Las tres etapas juntas se conocen como ENSO o El Niño - Oscilación del Sur.

#### **7.1.1. Descripción del fenómeno**

Para que se formen las condiciones El Niño se debe calentar la temperatura superficial del agua del Océano Pacífico central y oriental,  $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  por encima de lo normal, con la expectativa de que el calentamiento persistirá por periodos de cinco meses consecutivos. Además, la atmósfera debe responder al calentamiento del agua por medio del debilitamiento de los vientos predominantes, conocidos como vientos alisios, que provocan un cambio en los patrones de lluvia tropical hacia el este. Esta relación océano-atmósfera impacta

la dirección de las corrientes de chorro del pacífico e influyen en los patrones climáticos a nivel mundial.

Figura 2. Efectos del ENOS a nivel global

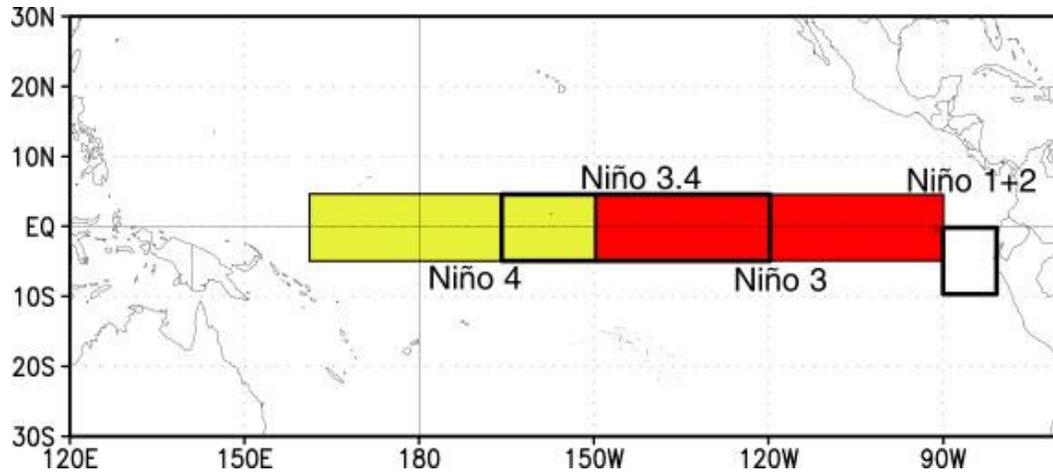


Fuente: NOAA. *ENOS a nivel global*. 2001. [www.climate.gov/enso](http://www.climate.gov/enso). Consulta: febrero de 2019.

### 7.1.2. Índice oceánico El Niño (ONI)

El índice oceánico El Niño se ha convertido en la medida estándar que utiliza la NOAA para identificar los eventos El Niño (fase caliente) y La Niña (fase fría), en el Océano Pacífico tropical. El ONI es la media de la temperatura superficial del agua de tres meses consecutivos, en la región 3.4. Los eventos se definen si existe un traslape de 5 periodos consecutivos de 3 meses cada uno, donde la temperatura media supera los +0,5 °C para la fase caliente (El Niño), o está por debajo de los -0,5 °C para la fase fría (La Niña).

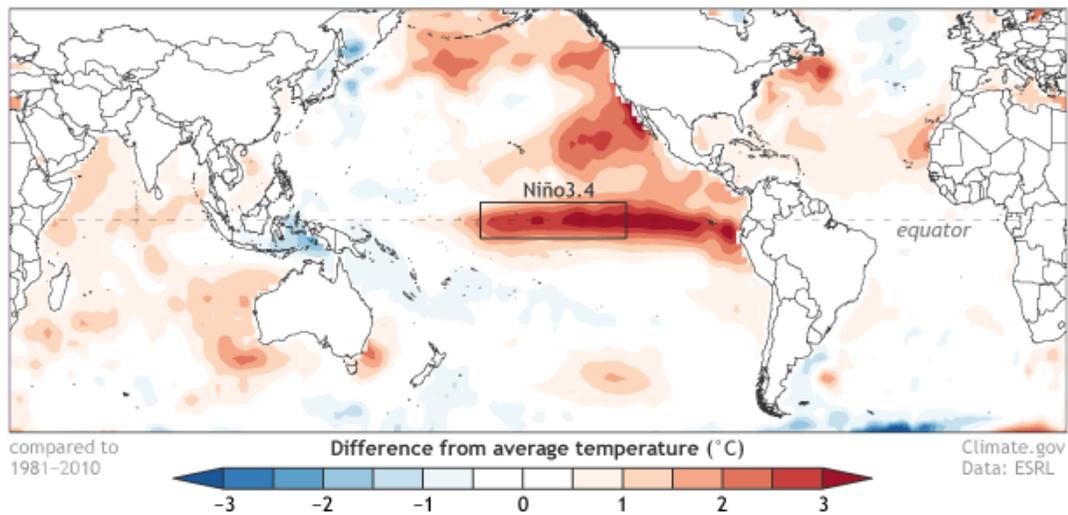
Figura 3. Ubicación de la región 3.4



Fuente: NULL, Jan. *El Niño and La Niña Years and Intensities*. 2005.  
[www.ggweather.com/enso/oni.htm](http://www.ggweather.com/enso/oni.htm). Consulta: febrero de 2019.

Las anomalías en la temperatura superficial de la región 3.4 se pueden ver en la siguiente imagen, la cual muestra del 11 de octubre al 7 de noviembre del 2015.

Figura 4. Anomalia de temperatura en la región 3.4



Fuente: NOAA. *What is El Niño-Southern Oscillation (ENSO)?* 2018.  
[www.weather.gov/mhx/ensowhat](http://www.weather.gov/mhx/ensowhat). Consulta: enero de 2019.

### **7.1.3. Registros ENOS**

La NOAA registra que El Niño ha estado activo en los siguientes periodos:

- Marzo a noviembre de 1953
- Abril de 1957 a junio de 1958
- Junio de 1963 a febrero de 1964
- Mayo de 1965 a junio de 1966
- Abril de 1972 a marzo de 1973
- Agosto de 1976 a marzo de 1977
- Julio de 1977 a enero de 1978
- Abril de 1982 a julio de 1983
- Agosto de 1986 febrero de 1988
- Marzo de 1991 a julio de 1992
- Febrero de 1993 septiembre de 1993
- Junio de 1994 a marzo de 1995
- Abril de 1997 a abril de 1998
- Mayo de 2002 a marzo de 2003
- Junio de 2009 a mayo de 2010
- Octubre de 2014 a junio de 2016
- Diciembre de 2016 a marzo de 2017

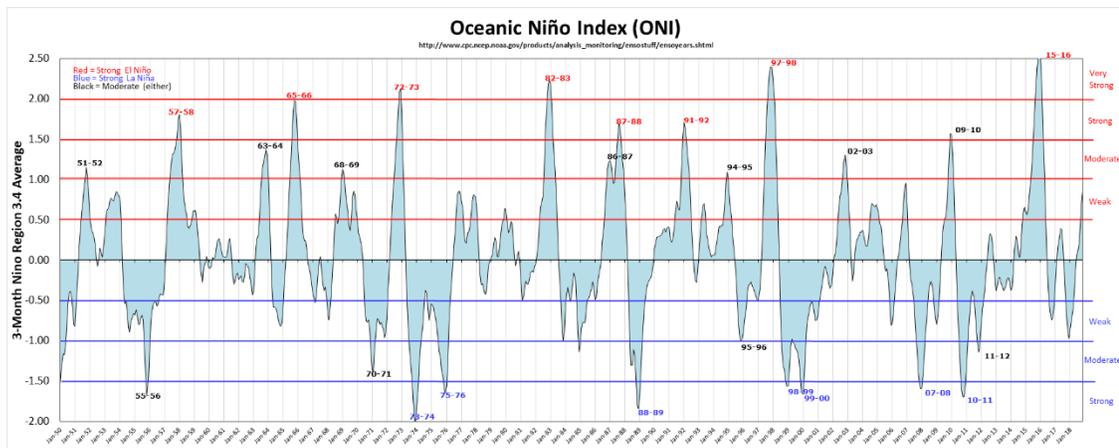
El fenómeno la Niña en los siguientes periodos:

- Enero de 1950 - marzo de 1951
- Julio de 1954 - diciembre de 1957
- Julio de 1964 - marzo de 1965
- Octubre de 1970 - diciembre de 1971

- Julio de 1973 - marzo de 1976
- Octubre de 1983 - junio de 1985
- Julio de 1988 - junio de 1989
- Octubre de 1995 - marzo de 1996
- Junio de 1998 - junio de 2000
- Julio de 2007 - mayo de 2008
- Julio de 2010 - marzo de 2011
- Septiembre de 2011 - marzo de 2012
- Julio de 2016 a enero de 2017
- Septiembre de 2017 a abril de 2018

La NOAA tiene registros del ONI desde 1950 a la actualidad. El comportamiento del índice ONI fluctúa mucho a lo largo de los años, desde +2,5 °C a -2,0 °C. Este comportamiento se muestra en la figura 4.

Figura 5. Comportamiento del ONI desde 1950 a 2018



Fuente: NULL, Jan. *El Niño and La Niña Years and Intensities*. 2005.  
<https://www.ggweather.com/enso/oni.htm>. Consulta: febrero de 2019.

Con propósitos de categorización, se divide el umbral en débil (para eventos que estén entre 0.5 y 0.9 °C de anomalía), moderado (1.0 a 1.4), intenso (1.5 a 1.9) y muy intenso (para eventos  $\geq 2.0$ ). Para categorizar el evento se toma en cuenta que el umbral sea superado al menos 3 periodos consecutivos.

Tabla I. **Categorización del ENOS**

El Niño				La Niña		
Débil	Moderado	Intenso	Muy intenso	Débil	Moderado	Intenso
1952-53	1951-52	1957-58	1982-83	1954-55	1955-56	1973-74
1953-54	1963-64	1965-66	1997-98	1964-65	1970-71	1975-76
1958-59	1968-69	1972-73	2015-16	1971-72	1995-96	1988-89
1969-70	1986-87	1987-88		1974-75	2011-12	1998-99
1976-77	1994-95	1991-92		1983-84		1999-00
1977-78	2002-03			1984-85		2007-08
1979-80	2009-10			2000-01		2010-11
2004-05				2005-06		
2006-07				2008-09		
				2016-14		
				2017-18		

Fuente: NULL, Jan. *El Niño and La Niña Years and Intensities*. 2005.

<https://www.ggweather.com/enso/oni.htm>. Consulta: febrero de 2019.

## 7.2. Estimación de datos faltantes de precipitación

Existen varios métodos para el relleno de datos de precipitación. A continuación se describen brevemente los utilizados.

- Promedio aritmético. Los datos faltantes de precipitación de una estación dada, X, se pueden estimar por medio de los datos registrados de estaciones vecinas. Usualmente se considera el promedio aritmético de

los valores respectivos de tres estaciones 1, 2 y 3 (Ec. 1.1), las cuales se denominan estaciones índices. El uso de este método se limita cuando los promedios anuales de las estaciones índice difieran como máximo un 10 % del promedio anual de la estación X.

$$P_x = \frac{P_1 + P_2 + P_3}{3} \quad (1.1)$$

- Promedio ponderado. Este método difiere del anterior en que los valores de  $P_1$ ,  $P_2$  y  $P_3$  se ponderan. El factor de ponderación para cada estación índice resulta de la relación entre la precipitación media anual de la estación X y la respectiva media anual de cada estación índice ( $\bar{P}_x / \bar{P}_l$ ), donde l representa 1, 2 ó 3 y la barra sobre P significa promedio anual (ver Ec. 1.2).

$$P_x = \frac{\bar{P}_x}{3} \left( \frac{P_1}{\bar{P}_1} + \frac{P_2}{\bar{P}_2} + \frac{P_3}{\bar{P}_3} \right) \quad (1.2)$$

- Vector regional. Este método es una extensión de la curva de doble masa y ha sido usado para el chequeo de la consistencia y relleno de datos (y extensión de series) de precipitación mensual en Brazil<sup>2</sup> y en Guatemala<sup>3</sup>. El método consiste en usar la información de precipitación mensual disponible en una región para obtener un índice mensual de precipitación (vector  $L_i$ ). Cuando  $L_i$  se multiplica por un coeficiente  $C_j$  válido para el lugar j, se obtiene una estimación de la precipitación  $P_{ij}$  en la estación j en el mes i (Ec. 1.3).

$$P_{ij} = C_j L_i \quad (1.3)$$

<sup>2</sup> SARMENTO, Francisco. *Homogeneização e Preenchimento de Séries Pluviométricas: Uma Investigação com o Vetor Regional*. p 10.

<sup>3</sup> OROZCO, Elfego. *Evaluación básica de datos hidrológicos*. p 15.

El vector regional  $L_i$  y el coeficiente  $C_j$  se calcula mediante las ecuaciones 1.4 y 1.5, respectivamente.

$$L_i = \frac{\sum_{j=1}^m C_j P'_{ij}}{\sum_{j=1}^m C_j^2} \quad i = 1, 2, 3, \dots, n \quad (1.4)$$

$$C_j = \frac{\sum_{i=1}^n L_i P'_{ij}}{\sum_{i=1}^n L_i^2} \quad j = 1, 2, 3, \dots, m \quad (1.5)$$

$P'_{ij}$  es la precipitación registrada en el mes  $i$  y en la estación  $j$ . En virtud de que el cálculo es un proceso iterativo, es necesario estimar valores iniciales. Se recomienda usar como punto de partida de  $L_i$  como el promedio de la precipitación registrada; es decir,  $L_i = \overline{P'_i}$ . El proceso iterativo finaliza cuando el cuadrado de la diferencia entre la precipitación registrada y la calculada sea mínimo. Es decir que el cuadrado de todos los residuos debe minimizarse (Ec. 1.6).

$$\sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^m (P'_{ij} - P_{ij})^2 \rightarrow \min! \quad (1.6)$$

### 7.3. Delimitación del área de estudio

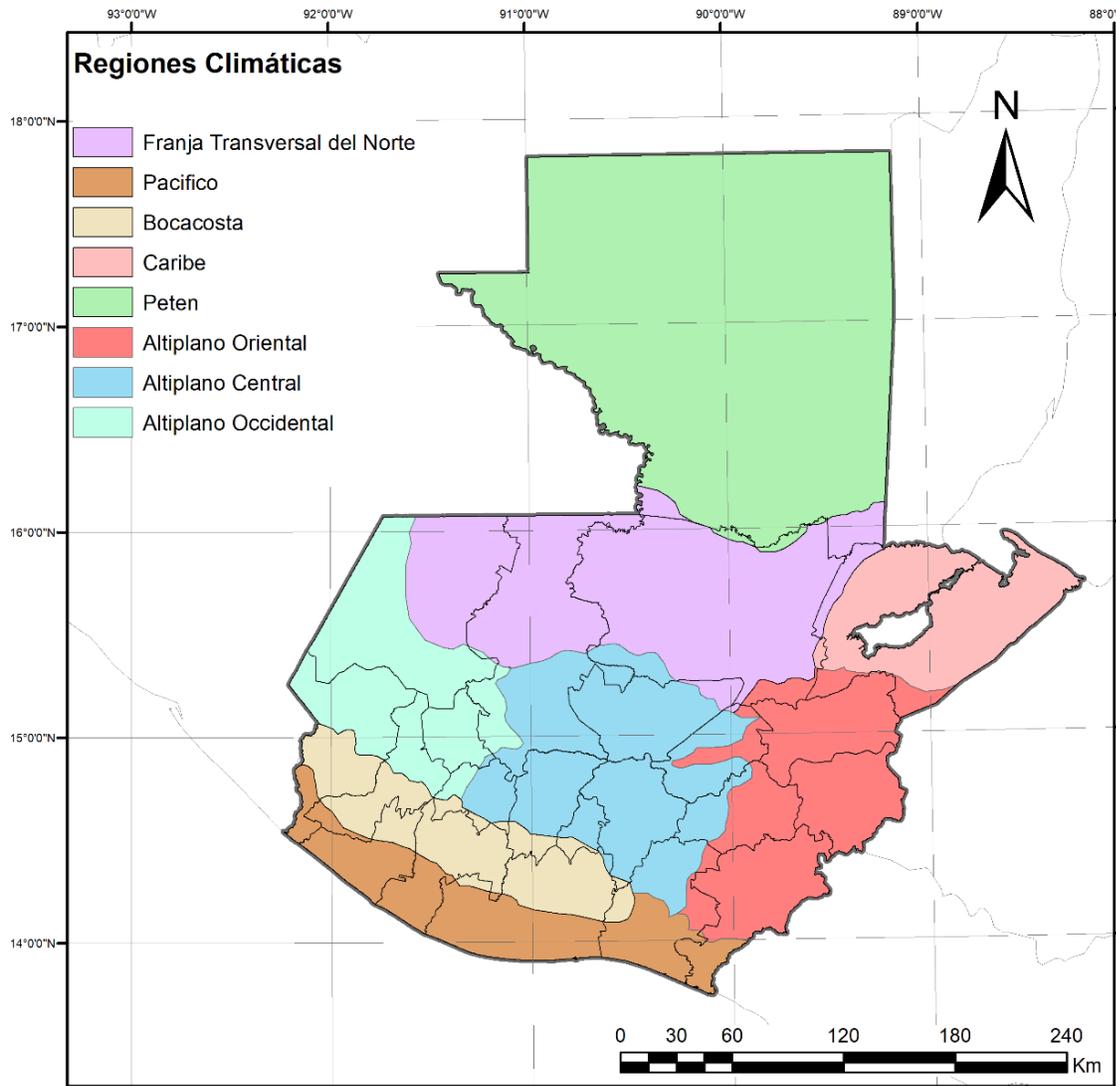
El Altiplano Guatemalteco abarca un área total de 33,760 km<sup>2</sup>, la cual se distribuye por varios departamentos de la República de Guatemala. En el

presente trabajo la delimitación de esta región será con base en el mapa de regiones climáticas de Guatemala, publicado por el INSIVUMEH (figura 6).

El área de estudio se divide en tres regiones, mostradas en la figura 7:

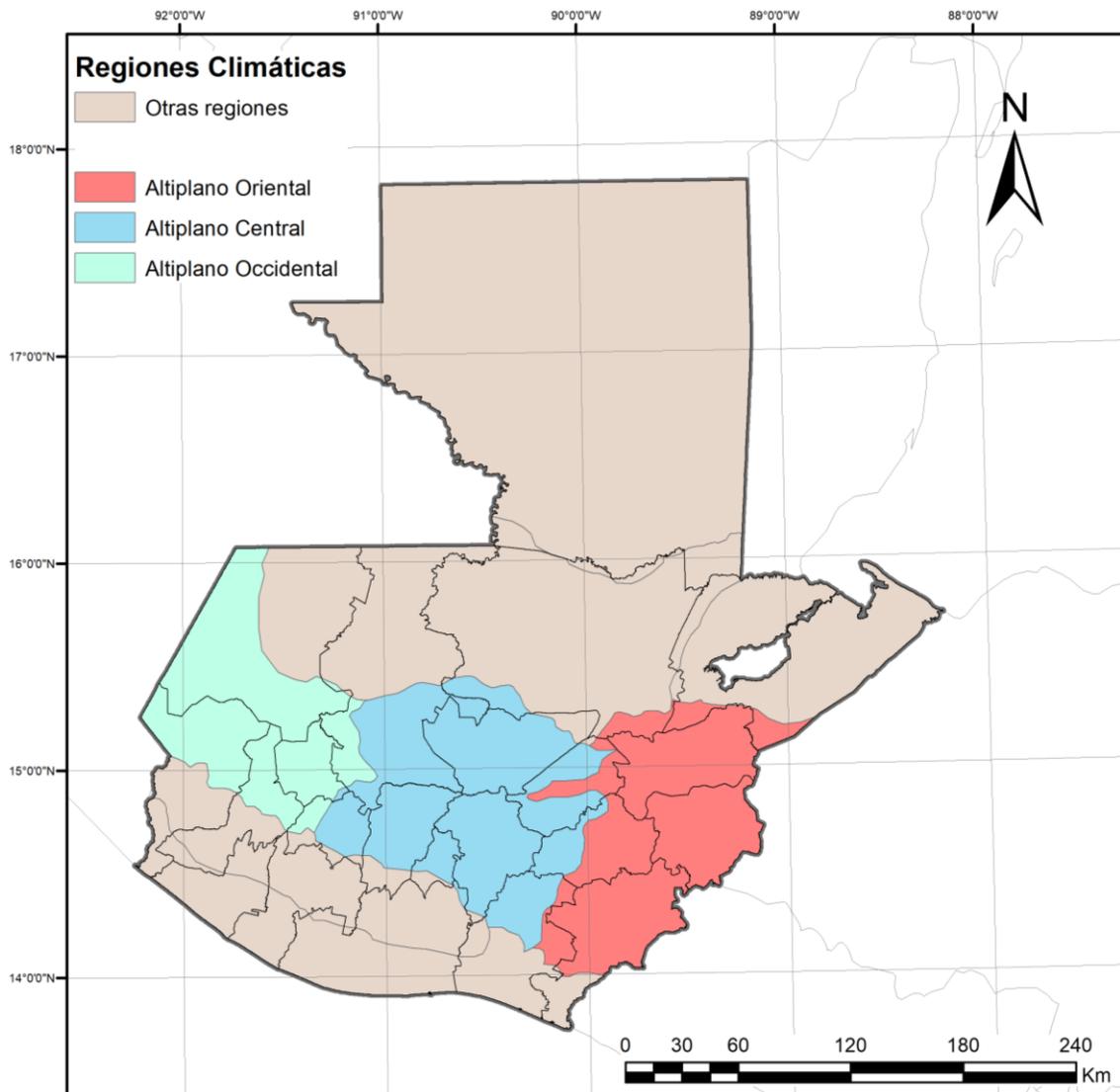
- Altiplano oriental, el cual posee un área aproximada de 11 312 km<sup>2</sup> y se localiza en los territorios de El Progreso, Jalapa, Santa Rosa, Jutiapa, Chiquimula, Zacapa y parte de Izabal y Alta Verapaz.
- Altiplano central, posee un área de 9 124 km<sup>2</sup> y se localiza en los departamentos de Quiché, Sololá, Chimaltenango, Sacatepéquez, Guatemala, Baja Verapaz, El Progreso, Jalapa, Santa Rosa y parte de Totonicapán y Escuintla.
- Altiplano occidental, con un área de 13 323 km<sup>2</sup> y se localiza en los departamentos de Quiché, Huehuetenango, San Marcos, Quetzaltenango, Sololá y Totonicapán.

Figura 6. Regiones climáticas de Guatemala



Fuente: elaboración propia.

Figura 7. Delimitación del área de estudio



Fuente: elaboración propia.

### 7.3.1. Clasificación de Köppen

La clasificación de Köppen define distintos tipos de clima a partir de los datos medios mensuales de precipitación y temperatura. Para delimitar los distintos climas se establecen intervalos de temperatura y precipitación basados

principalmente en su influencia sobre la distribución de la vegetación y actividad humana<sup>4</sup>.

De acuerdo a la clasificación Köppen del clima, en el territorio guatemalteco se manifiestan 13 regiones climáticas (ver figura 8) de las cuales las que interesan para este estudio son:

- Altiplano occidental
  - Predomina el clima:
    - Cwbig: templado subhúmedo con inviernos benignos, con lluvias en verano, verano fresco.
  - Con poca presencia de climas:
    - Awig: caliente, húmedo con lluvias en verano, isotermal, que cubre prácticamente toda la llanura costera del Pacífico y la zona de tierras altas volcánicas del oriente del país.
    - Afg: caliente húmedo, con lluvias abundantes todo el año, que cubre las tierras altas sedimentarias del norte de los departamentos de Huehuetenango, Alta Verapaz e Izabal.
  
- Altiplano central
  - Predominan dos tipos de clima:
    - Cwbig: templado subhúmedo con inviernos benignos, con lluvias en verano, verano fresco.
    - Awig: caliente, húmedo con lluvias en verano, isotermal, que cubre prácticamente toda la llanura costera del Pacífico y la zona de tierras altas volcánicas del oriente del país.
  - Con poca presencia de climas:

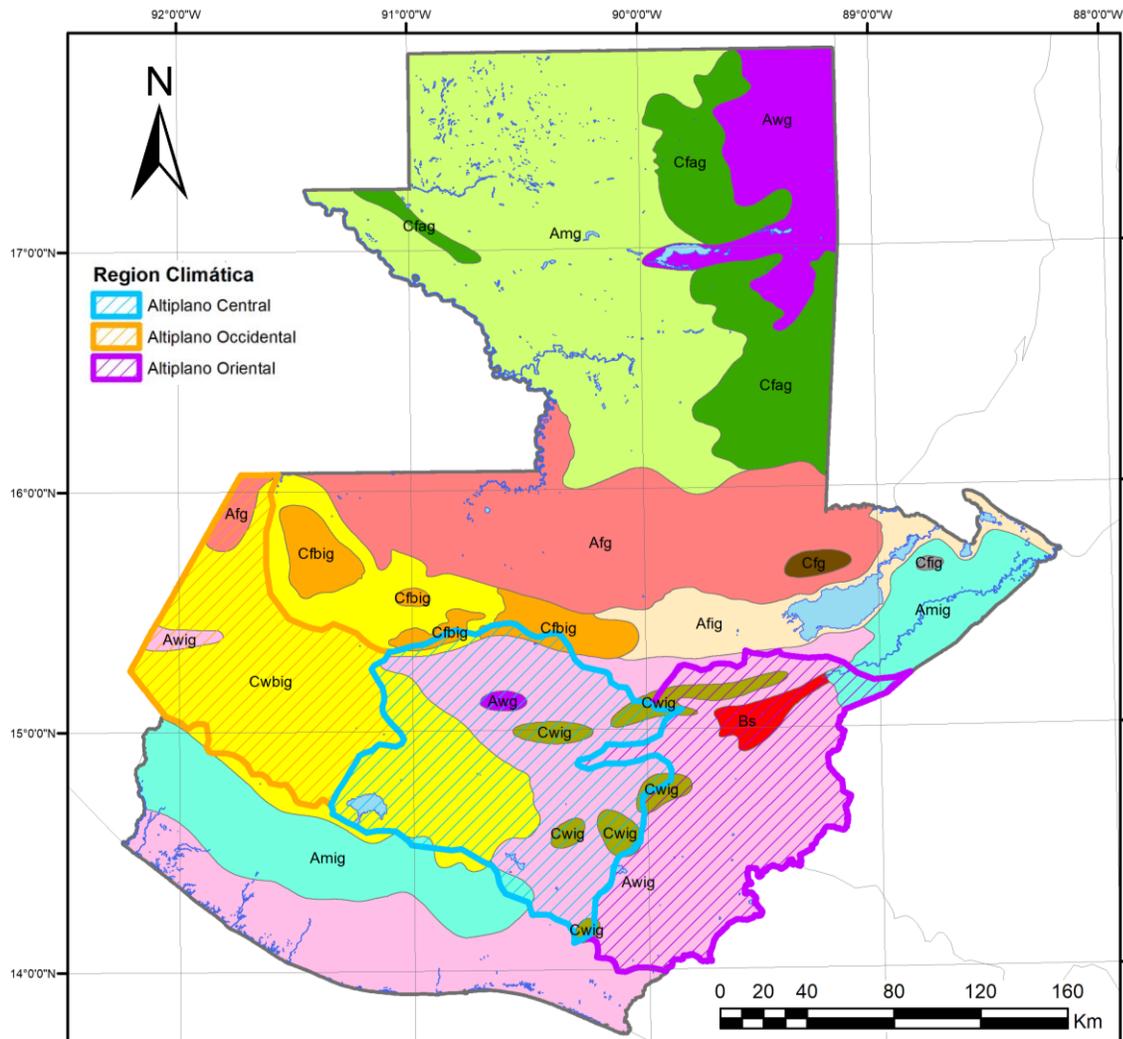
---

<sup>4</sup> Essenwanger. *General climatology IC: classification of climates*. p 211.

- Cwig: templados subhúmedos con inviernos benignos, con lluvias en verano, verano fresco, isotermal.
- Awg: caliente, húmedo, con lluvias en verano.
- Altiplano oriental
  - Que principalmente tiene un clima:
    - Awig: caliente, húmedo con lluvias en verano, isotermal, que cubre prácticamente toda la llanura costera del Pacífico y la zona de tierras altas volcánicas del oriente del país.
  - Con poca presencia de climas:
    - Cwig: templado subhúmedo con inviernos benignos, con lluvias en verano, verano fresco.
    - Bs: secos semiáridos o esteparios, con evaporación excediendo precipitación.
    - Amig: caliente húmedo con lluvias abundantes en verano, con influencia de monzón, que cubre la pendiente volcánica y “bocacosta” del Pacífico y la parte baja de la depresión del Motagua (Izabal).

Otros climas dentro del territorio guatemalteco incluyen templados húmedos, subhúmedos, con inviernos benignos, con lluvias en verano y áreas sin estación seca bien definida.

Figura 8. Clasificación climática de Köppen



**Clasificación Climática de Köppen**

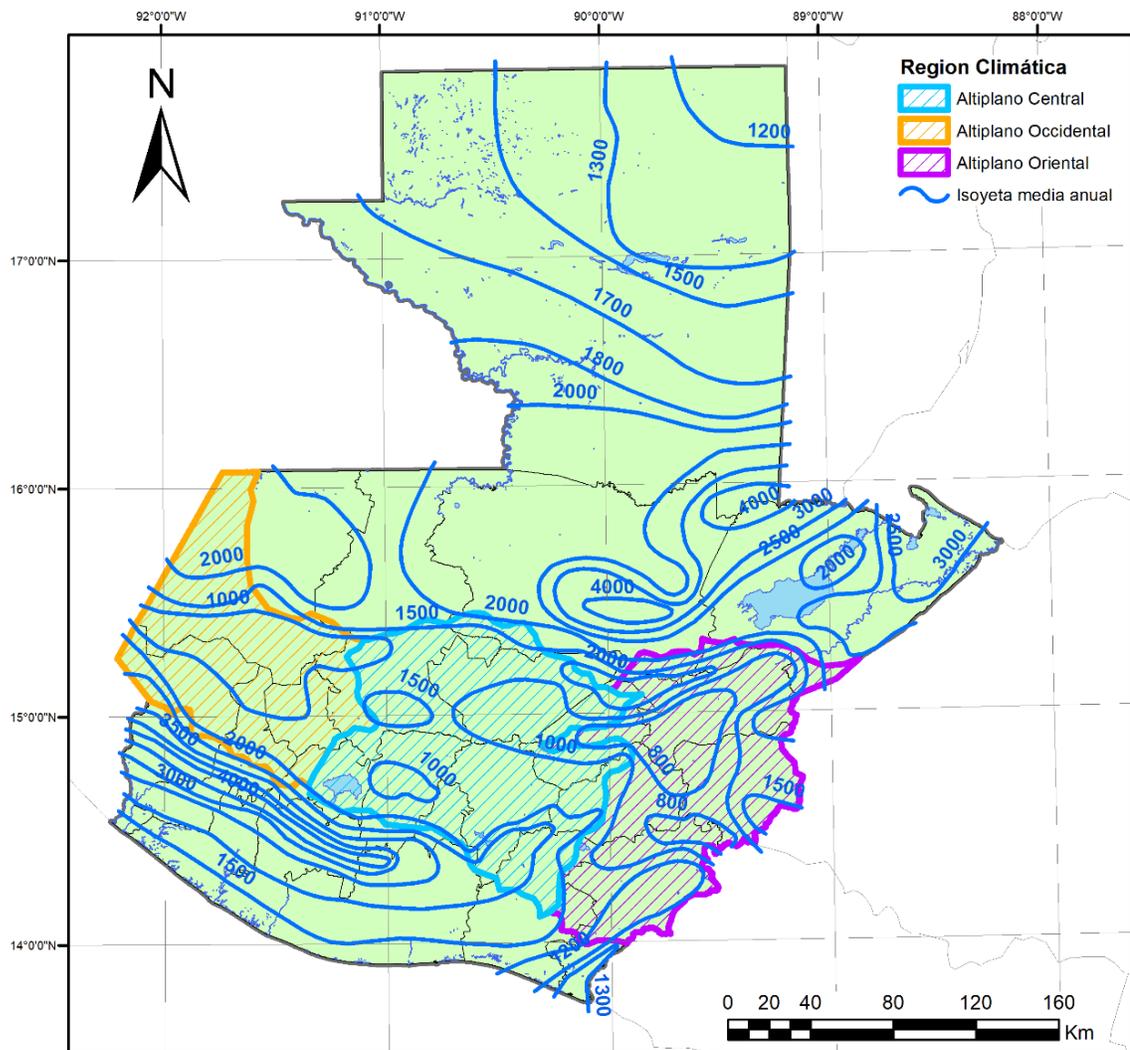
- Afg - Caliente húmedo, con lluvias abundantes todo el año, con marcha de la temperatura tipo ganges.
- Afig - Caliente húmedo, con lluvias abundantes todo el año, isotermal y con marcha de la temperatura tipo ganges.
- Amg - Caliente húmedo, con lluvias abundantes en verano, con influencias de monzón, con marcha de la temperatura tipo ganges.
- Amig - Caliente húmedo, con lluvias abundantes en verano, con influencia de monzón, isotermal, con marcha de la temperatura tipo ganges.
- Awg - Caliente húmedo, con lluvias en verano, con marcha de la temperatura tipo ganges.
- Awig - Caliente húmedo, con lluvias en verano, isotermal, con marchas de la temperatura tipo ganges.
- Bs - Secos semiáridos o esteparios, con evaporación excediendo precipitación.
- Cfag - Templados con inviernos benignos y verano caliente.
- Cfbig - Templados húmedos con inviernos benignos, veranos frescos, isotermal y marcha de la temperatura tipo ganges.
- Cfg - Templados húmedos con inviernos benignos, sin estación seca bien definida.
- Cfg - Templados húmedos con inviernos benignos, sin estación seca bien definida.
- Cwbig - Templados subhúmedos con inviernos benignos, con lluvias en verano, verano fresco, isotermal, con marcha de la temperatura tipo ganges.
- Cwig - Templados subhúmedos con inviernos benignos, con lluvias en verano, isotermal, con marcha de la temperatura tipo ganges.

Fuente: elaboración propia.

## 7.4. Lluvia

La lluvia como variable determinante en el clima posee también una variabilidad espacial alta a lo largo del área de estudio, tanto horizontal como vertical. En la figura 9 se aprecia que la lluvia puede ocurrir, en términos medios anuales, desde unos 800 mm hasta más de 2 000 mm.

Figura 9. Lluvia media anual



Fuente: elaboración propia.

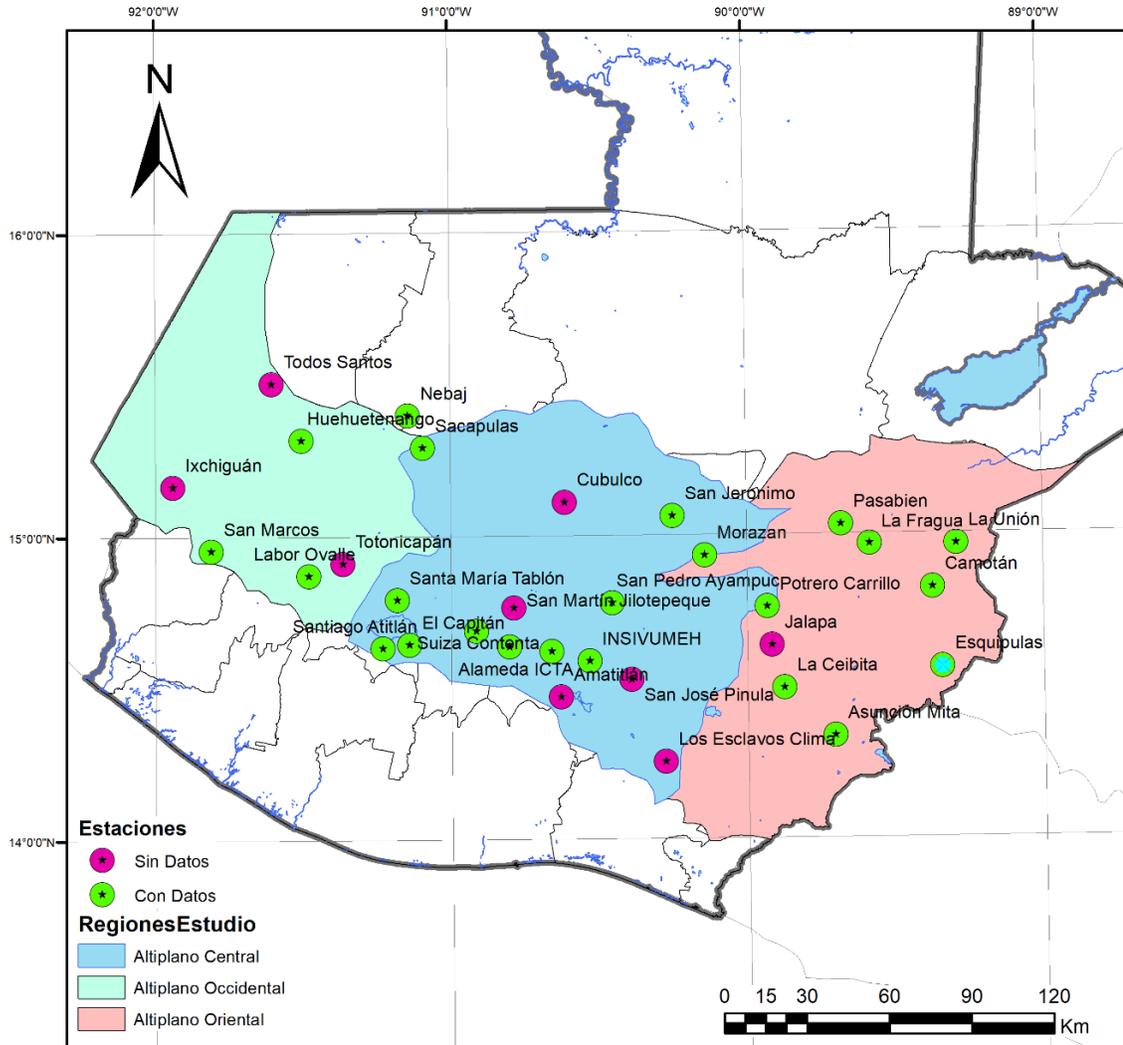
La parte menos lluviosa se manifiesta en el Altiplano Oriental, donde la variación está entre los 800 y 1 500 mm, en los departamentos de Zacapa y El Progreso. Es esta área la que se denomina “corredor seco guatemalteco”.

En el Altiplano central hay lluvia que va desde los 1 000 a 1 500 mm anuales. Por último, en el altiplano occidental se observan lluvias que van desde los 1 000 a los 2 000 mm anuales, siendo el norte de Huehuetenango, San Marcos y Quetzaltenango donde se presentan las mayores cantidades.

#### **7.5. Red de estaciones meteorológicas**

Para el presente estudio se consultó al INSIVUMEH la disponibilidad de datos de precipitación en red nacional de estaciones meteorológicas. De las existentes en el área de estudio, se dispone de 23 estaciones distribuidas de la siguiente forma:

Figura 10. Estaciones meteorológicas del área de estudio



Fuente: elaboración propia.

Para el presente estudio se utilizarán únicamente las estaciones con datos suficientes para hacer el estudio, por lo que según la base de datos consultada del INSIVUMEH, se cuenta con los siguientes registros:

Tabla II. **Registros de precipitación en el Altiplano Occidental**

Altiplano Occidental						
Código	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud	Años de Registro	
70103	Huehuetenango	1870	151902	913011	1970	2018
140801	Nebaj	1906	152353	910832	1969	2018
131401	Labor Ovalle	2380	145212	913050	1971	2018
170103	San marcos	2420	145715	914834	1972	2018
141001	Sacapulas	1180	151718	910510	1990	2018

Fuente: elaboración propia.

Tabla III. **Registros de precipitación en el Altiplano Central**

Altiplano Central						
Código	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud	Años de Registro	
20604	San Jerónimo	1000	150340	901500	1966	2018
31401	Santa Cruz Balanyá	2080	144112	905455	1966	2018
161101	Suiza Contenta	2105	143708	903940	1972	2018
60100	INSIVUMEH	1502	143511	903158	1928	2018
30102	Alameda ICTA	1766	143802	904812	1970	2018

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Registros de precipitación en el Altiplano Oriental**

Altiplano Oriental						
Código	Nombre	Altitud	Latitud	Longitud	Años de Registro	
40201	Camotán	450	144914	892222	1969	2018
220301	La Fragua	210	145751	893504	1972	2018
220701	Pasabien	260	150148	894048	1969	2018
90102	Potrero carrillo	1760	144538	895556	1971	2018
90303	La Ceibita	960	142934	895232	1971	2018
40402	Esquipulas	950	143332	892031	1972	2018

Fuente: elaboración propia.

## **7.6. Análisis de datos**

El análisis de los datos que se utilizan en este estudio se basa en la consistencia de los datos y el relleno de datos faltantes con los métodos anteriormente descritos, además se realiza un análisis visual de la información por medio de graficas.

### **7.6.1. Relleno de datos faltantes**

El relleno de datos faltantes se hizo siguiendo los métodos propuestos en el inciso 7.2. Para datos aislados se utilizó promedio ponderado y promedio aritmético, dependiendo del mes y de los datos que rodeaban el promedio. Para series faltantes de un año o más se utilizó el criterio del vector regional, donde se utilizó tres o más estaciones patrón cercanas al punto de interés, y se obtuvieron los datos siguiendo la metodología descrita anteriormente.

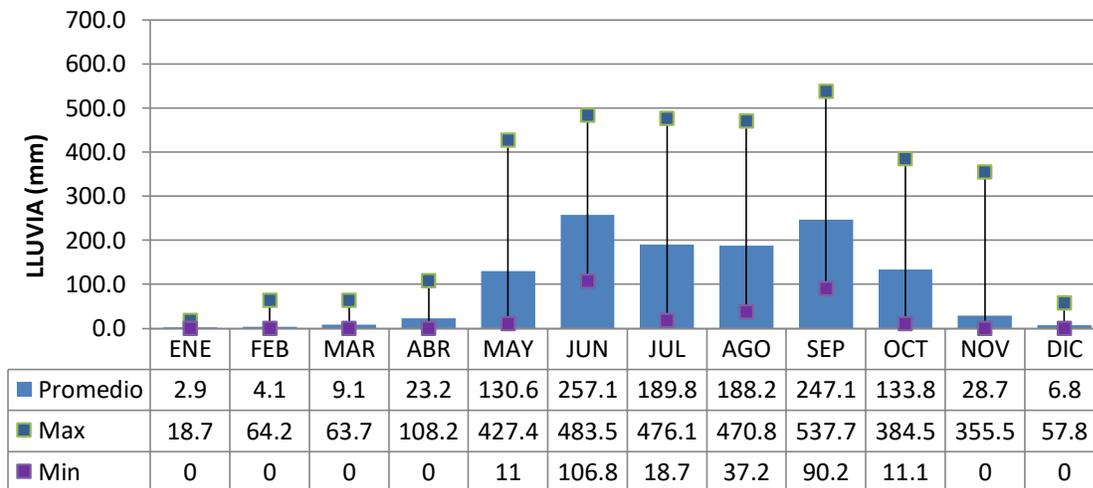
### **7.6.2. Precipitación media mensual**

Como análisis preliminar se seleccionan las estaciones más representativas de cada región, las cuales se eligen con base en su ubicación, cantidad de datos y consistencia de estos mismos. Las estaciones seleccionadas son:

- Altiplano Occidental – Estación Labor Ovalle
- Altiplano Central – Estación INSIVUMEH
- Altiplano Oriental – Estación La Fragua

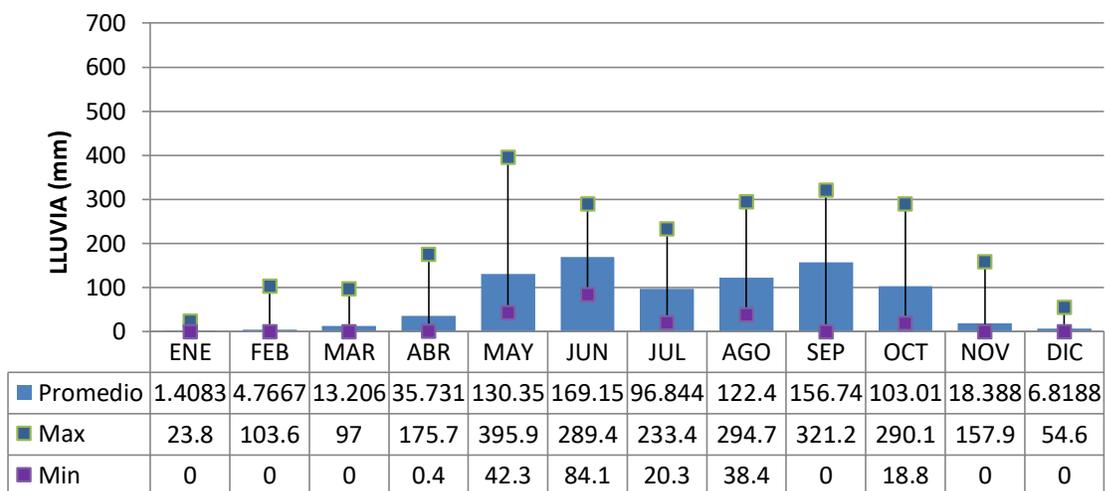
En las siguientes figuras se muestra la variación de la precipitación media mensual de las estaciones más representativas de las regiones, con los valores de promedio, máximos y mínimos de precipitación mensual.

Figura 11. Precipitación media mensual, estación INSIVUMEH



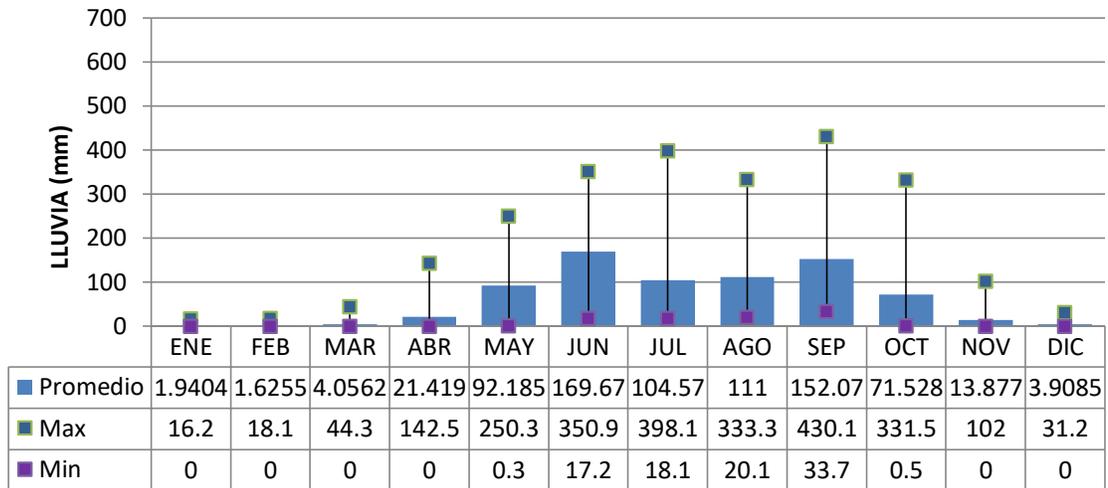
Fuente: elaboración propia.

Figura 12. Precipitación media mensual, estación Labor Ovalle



Fuente: elaboración propia.

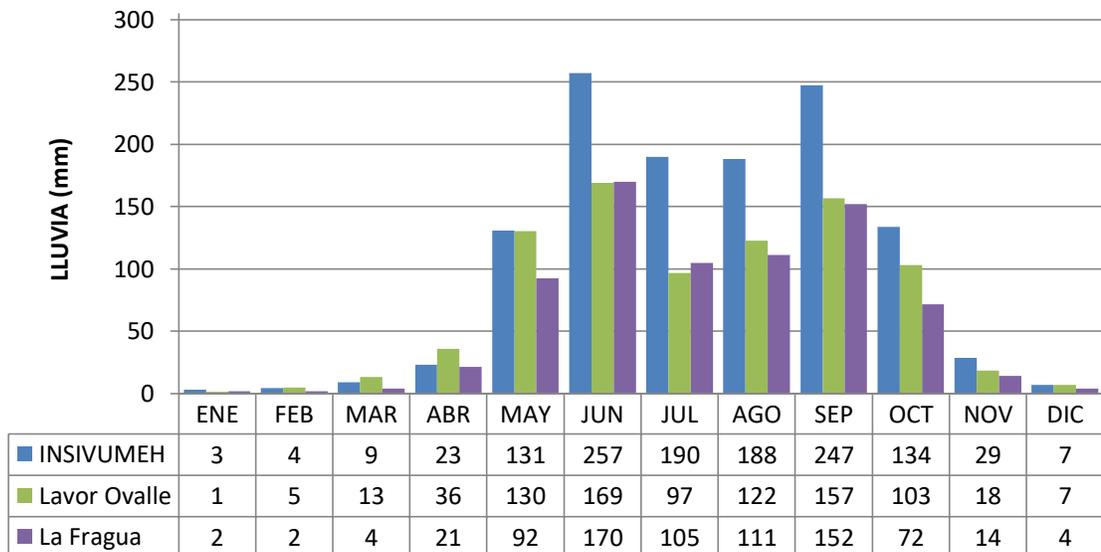
Figura 13. Precipitación media mensual, estación La Fragua



Fuente: elaboración propia.

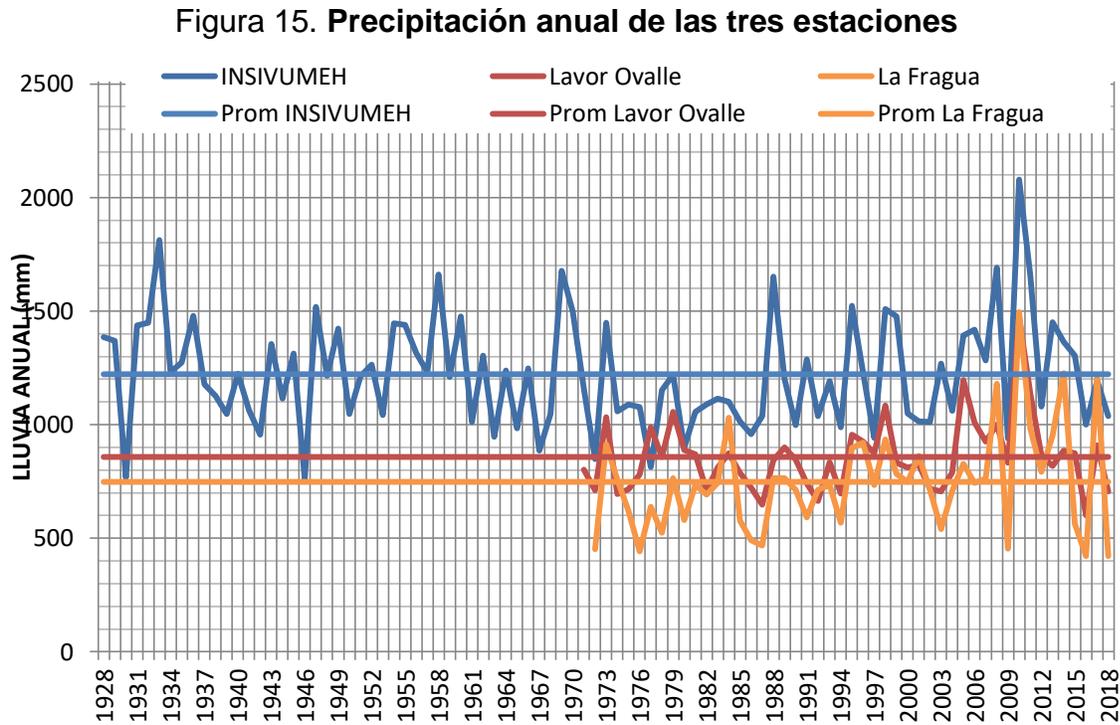
La figura 14 muestra una comparación de la precipitación media mensual de las tres estaciones seleccionadas, mostrando las mismas características de ocurrencia temporal de la precipitación.

Figura 14. Comparación de precipitación media mensual



Fuente: elaboración propia.

La figura 15 muestra el comportamiento de la precipitación de las tres estaciones temporalmente, así como el promedio de todos los datos graficados para cada estación. El comportamiento es similar para las tres estaciones.

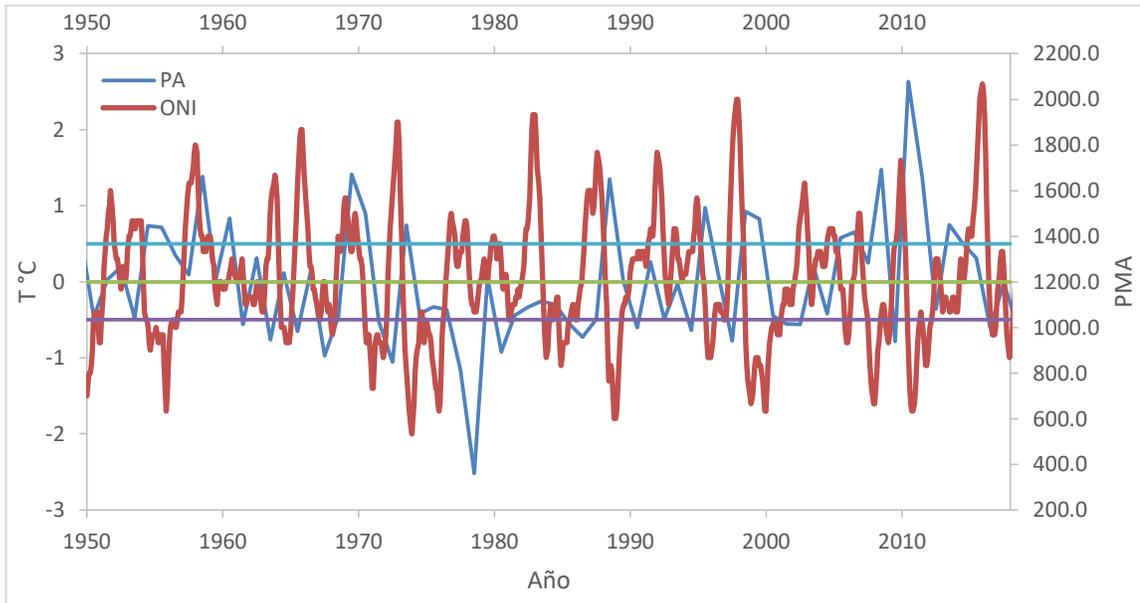


Fuente: elaboración propia.

### 7.6.3. Precipitación anual vs ONI

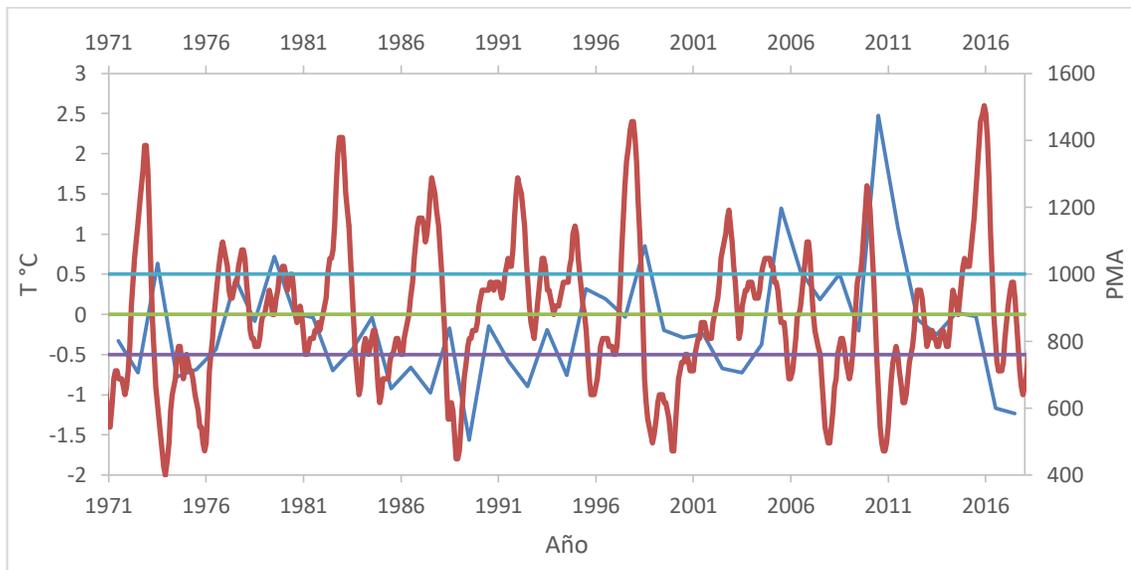
Con los datos del ONI obtenidos de la página web de la NOAA y mostrados en el inciso 7.1.3, figura 5, es posible realizar una superposición de la precipitación, con el ONI para cada estación descrita anteriormente.

**Figura 16. Precipitación anual de la estación INSIVUMEH vs el ONI, de 1950 a 2018**



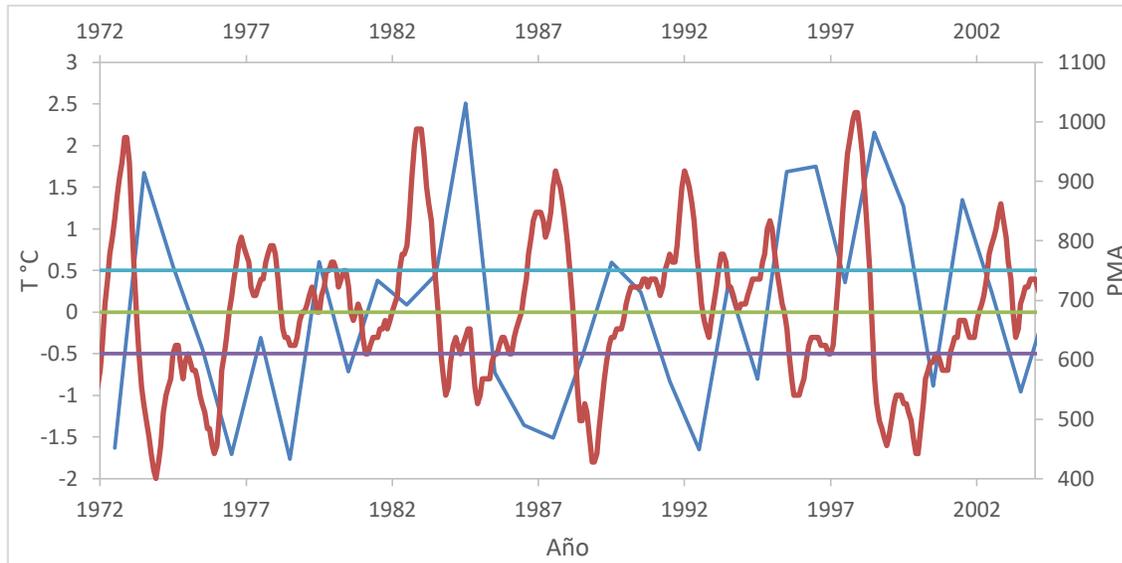
Fuente: elaboración propia.

**Figura 17. Precipitación anual de la estación Labor Ovalle vs el ONI, de 1971 a 2018**



Fuente: elaboración propia.

**Figura 18. Precipitación anual de la estación La Fragua vs el ONI, de 1972 a 2018**



Fuente: elaboración propia.

Para cada una de las figuras anteriores es necesario realizar un análisis de correlación para demostrar el tipo de influencia que tiene el ONI, con el comportamiento de la precipitación en cada región de estudio.

## **8. PROPUESTA DE ÍNDICE DE CONTENIDOS**

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

LISTA DE SÍMBOLOS

GLOSARIO

RESUMEN

OBJETIVOS

INTRODUCCIÓN

### **1. ASPECTOS INTRODUCTORIOS**

- 1.2. Antecedentes
- 1.3. Planteamiento del problema
- 1.4. Justificación
- 1.6. Hipótesis

### **2. MARCO TEÓRICO**

- 2.1. Fenómeno El Niño – Oscilación Sur
  - 2.1.1. Descripción del fenómeno
  - 2.1.2. Índice oceánico de El Niño (ONI)
  - 2.1.3. Registros ENOS
- 2.2. Estimación de datos faltantes de precipitación
- 2.3. Métodos de cuantificación de la sequía

### **3. ÁREA DE ESTUDIO**

- 3.1. Delimitación geográfica
- 3.2. Clasificación de Köppen
- 3.3. Lluvia media anual

3.4. Red de estaciones meteorológicas

4. ANÁLISIS DE DATOS

4.1. Relleno de datos faltantes

4.2. Precipitación media mensual

4.3. Precipitación anual vs ONI

5. RELACIÓN DE LA LLUVIA Y EL ENOS

5.1. Análisis de regresión

5.2. Modelo de pronóstico climático lluvia-ENOS

CONCLUSIONES

RECOMENDACIONES

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

## 9. MÉTODOLÓGIA

Para cumplir los objetivos del presente estudio la metodología a seguir es la siguiente: se investigará la información disponible de la red meteorológica del área de estudio, siendo la fuente de información el Departamento de Climatología del INSIVUMEH y, de ser necesario, se consultará la base de datos del INDE. De las estaciones con información suficiente se extraerán las series de lluvia discretizada mensual y anualmente.

Por otro lado, se consultará la base de datos de la NOAA, donde se obtendrán los parámetros necesarios para el análisis del fenómeno de El Niño, como el ONI y SOI. Se determinarán los diferentes parámetros morfométricos significativos para el análisis temporal y espacial de la precipitación, con el apoyo de los distintos mapas publicados por el INSIVUMEH y el MAGA. Se investigarán eventos importantes de lluvia registrada en las estaciones existentes en el área de estudio y se analizará la variabilidad climática de la región.

Además se realizará una correlación múltiple en que se utilizarán las variables del ENOS y de lluvia, para evaluar la influencia que tiene el fenómeno de El Niño sobre la variabilidad climática de la zona. Por último, se elaborará un modelo estadístico de correlación ENOS – lluvia, que permitirá pronosticar el régimen de lluvias en las regiones de estudio en función de los pronósticos trimestrales del ONI publicados por la NOAA.



## 10. TÉCNICAS DE ANÁLISIS DE INFORMACIÓN

Como parte de la investigación se podrá cuantificar los efectos del fenómeno ENOS sobre el recurso hídrico en la región de estudio. Se emplearán distintas técnicas de análisis de información para todos los datos recopilados de las distintas instituciones consultadas. La base de datos consiste básicamente en mapas y registros históricos de datos climáticos.

Para comenzar se utilizarán hietogramas que consisten en una gráfica que muestra la lluvia (en las ordenadas) y como se presentan en el tiempo (en las abscisas). Con estos gráficos se tiene un método visual, que ayuda a interpretar el comportamiento de la lluvia en las distintas estaciones meteorológicas de la región estudiada. Este mismo método se utiliza para presentar la variación de temperatura en la región 3.4 del Océano Pacífico en el tiempo (ONI). Teniendo estos dos gráficos, de lluvia y del ONI, es posible realizar una correlación visual para ver un patrón de variación en la lluvia con respecto al ONI, para posteriormente evaluarlo estadísticamente.

Posteriormente se puede analizar los datos de lluvia, para evaluar consistencia y rellenar datos faltantes, esto se hará con curvas de doble masa y métodos matemáticos para estimar los valores faltantes en las series de tiempo.

Teniendo los datos históricos afinados es posible seguir con el análisis que consistirá en la creación de tablas de contingencia para conocer los meses en los que probablemente los efectos del fenómeno El Niño se intensifiquen. Las tablas contarán con una columna que indica el posible comportamiento de cierto mes (seco, normal y lluvioso) bajo los efectos del ONI (Niño, neutral y Niña). Esto se

realiza con un análisis estadístico que determina la probabilidad de ocurrencia de dicho fenómeno en cierto periodo.

Otra herramienta a utilizar es la correlación simple y correlación múltiple, que consiste en conocer la variación de una variable dependiente en función de una variable independiente. Para determinar el grado de correlación de las variables se calcula el coeficiente de Pearson, para correlación simple y un coeficiente de correlación múltiple.

Por último se podrá determinar un modelo estadístico de correlación ENOS – lluvia, con el cual se podrá pronosticar el régimen de lluvia en las regiones de estudio en función de los pronósticos trimestrales del fenómeno ENOS.

## 11. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

A continuación se presentan las actividades que abarca este estudio especial, desde su propuesta inicial y revisión literaria, hasta la entrega del informe final.

Tabla V. **Cronograma de actividades**

Actividades	
	Completadas
	Sin completar

Actividad	2018						2019					
	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic	Ene	Feb	Mar	Abr	May	
Planteamiento del problema	■	■	■									
Justificación	■	■	■									
Objetivos	■	■	■									
Hipótesis	■	■	■									
Antecedentes	■	■	■									
Preparación de protocolo	■	■	■	■								
Introducción			■	■								
Marco teórico			■	■	■	■						
Investigación de información ENSO				■	■	■						
Delimitación del área de estudio				■	■	■						
Caracterización del área de estudio				■	■	■						
Investigación de la red meteorológica					■	■	■	■				
Recopilación de información de lluvias					■	■	■	■	■			
Evaluación de la consistencia de la información y relleno de datos							■	■	■	■		
Análisis estadístico de datos								■	■	■	■	
Modelo estadístico										■	■	
Interpretación de resultados											■	■
Conclusiones y Recomendaciones												■
Redacción de informe final												■

Fuente: elaboración propia.



## 12. RECURSOS NECESARIOS Y FACTIBILIDAD DEL ESTUDIO

La investigación será financiada por el investigador, quien dispondrá de los siguientes recursos:

- Humano
  - Investigador y asesor.
  
- Materiales
  - Software para interpretar de una mejor manera los resultados obtenidos después de realizar el estudio.
  - Computadoras, mapas y ortofotos.

Los recursos económicos necesarios para la elaboración de la investigación se detallan a continuación:

Tabla VI. **Recursos económicos para la investigación**

<b>Gastos</b>	<b>Costos</b>		
Recolección de información	Q	3 000,00	Único
Procesamiento de información e interpretación	Q	5 000,00	Único
Evaluación estadística de los datos	Q	10 000,00	Único
Compra de mapas (ortofotos, cartografías y <i>shapes</i> )	Q	2 000,00	Único
Otros gastos	Q	2 000,00	Único
Total de gastos	Q	22 000,00	

Fuente: elaboración propia.

Con respecto a la factibilidad técnica se cuenta con la asesoría de profesionales de la hidrología, habilidad, conocimiento en el tema y suficiente documentación para la elaboración de esta investigación.

### 13. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica. *Base de datos ONI*. Estados Unidos de América. NOAA 2012-2018.
2. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres. *Boletines informativos*. Guatemala, CONRED 2012-2018.
3. DE LEÓN, Laura. *Efectos del fenómeno El Niño en los recursos hídricos de la subcuenca del río Aguacapa*. Trabajo de graduación de Ing. Civil de la facultad de ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2017.
4. Fundación para la Conservación de los Recursos Naturales y Ambiente de Guatemala. *Diagnóstico preliminar de situación de la cuenca del Río Motagua*. Guatemala, FCG, 2012. 80 p.
5. GGWEATHER. *El Niño and La Niña years an Intensities*. 2018. [en línea]. <[www.ggweather.com/enso/oni.htm](http://www.ggweather.com/enso/oni.htm)>. [Consulta: febrero de 2019].
6. INSIVUMEH. *Regiones climáticas*. 2018. [en línea]. <[www.insivumeh.gob.gt/regiones-climaticas/](http://www.insivumeh.gob.gt/regiones-climaticas/)>. [Consulta: abril de 2019].
7. ESSENWANGER. *General climatology 1C: classification of climates*. Elsevier Science United States of America, 250 p.

8. Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación. *Atlas de la República de Guatemala*. 2001.
9. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. *Sequía en el corredor seco centroamericano*. FAO, 2015.
10. OROZCO, Élfego. *Evaluación básica de datos hidrológicos*. Texto docente de hidrología, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 30 p.
11. QUIROA, Felipe. *Sequía agrava el hambre en el corredor seco*. Guatemala, Prensa Libre, 2016.
12. THOM, H. *Some methods of climatological analysis*. World Meteorological Organization, 1996, Technical Note. 53p.
13. TÓRTOLA, Luis. *El ecosistema en el corredor seco de Guatemala*. Trabajo de graduación de Ing. Civil de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2015. 125p.
14. SARMENTO, Francisco. *Homogeneização e Preenchimento de Séries Pluviométricas: Uma Investigaçãõ com o Vetor Regional*, Universidad Federal de Paraiba, Brasil, 1996.10p.
15. VELÁSQUEZ, Estéfana. *Caracterización de la sequía meteorológica en el corredor seco hondureño y su relación con el fenómeno de El Niño/Oscilación del Sur*. Estudio especial de la Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hidráulicos, 2017.