



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

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ENOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA  
HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN, ALTA VERAPAZ**

**Alejandra Betzabé Pineda Vásquez**

Asesorado por el Ing. Claudio César Castañón Contreras

Guatemala, septiembre de 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ENOS EN LA PARTE ALTA DE  
LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN, ALTA VERAPAZ**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

**ALEJANDRA BETZABÉ PINEDA VÁSQUEZ**

ASESORADO POR EL ING. CLAUDIO CÉSAR CASTAÑÓN CONTRERAS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERA AMBIENTAL**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2019

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	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
EXAMINADOR	Ing. Pablo Enrique Morales Paniagua
EXAMINADORA	Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña
EXAMINADOR	Ing. Jorge Mario Estrada Asturias
SECRETARIA	Inga. 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:

### **DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ENOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN, ALTA VERAPAZ**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química con fecha 23 de enero de 2017.



**Alejandra Betzabé Pineda Vásquez**

Ingeniero

Carlos Salvador Wong Davi

Director de Escuela de Ingeniería Química

Facultad de Ingeniería

Universidad San Carlos de Guatemala

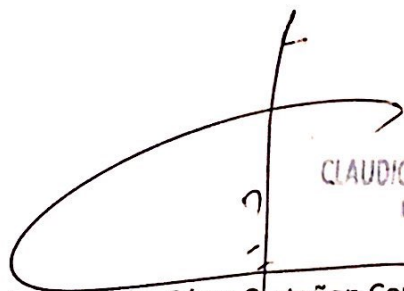
Presente

Ingeniero Wong:

Por medio de la presente HAGO CONSTAR que he revisado y dado mi aprobación al Informe Final del Trabajo de Graduación titulado "DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ENOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN, ALTA VERAPAZ", de la estudiante de Ingeniería Ambiental, Alejandra Betzabé Pineda Vásquez quien se identifica con el carné universitario número 2012-13531 y DPI 2297 83678 0101.

Sin otro particular, me suscribo a usted.

Atentamente,



CLAUDIO CESAR CASTAÑON CONTRERAS  
INGENIERO CIVIL  
COL. 5629

Ing. Claudio César Castañon Contreras

Asesor



Guatemala, 13 de mayo de 2019.  
Ref. EIQ.TG-IF.021.2019.

Ingeniero  
Carlos Salvador Wong Davi  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería

Estimado Ingeniero Wong:

Como consta en el registro de evaluación del informe final EIQ-PRO-REG-007 correlativo **064-2016** le informo que reunidos los Miembros de la Terna nombrada por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del:

**INFORME FINAL DE TRABAJO DE GRADUACIÓN**  
**-Seminario de Investigación-**

Solicitado por la estudiante universitaria: **Alejandra Betzabé Pineda Vásquez**.  
Identificada con número de carné: **2297836780101**.  
Identificada con registro académico: **201213531**.  
Previo a optar al título de **INGENIERA AMBIENTAL**.

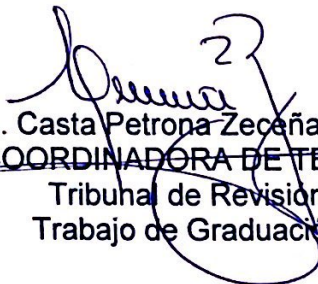
Siguiendo los procedimientos de revisión interna de la Escuela de Ingeniería Química, los Miembros de la Terna han procedido a **APROBARLO** con el siguiente título:

**DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ENOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN, ALTA VERAPAZ**

El Trabajo de Graduación ha sido asesorado por le Ingeniero Químico: **Claudio César Castañón Contreras**.

Habiendo encontrado el referido informe final del trabajo de graduación **SATISFACTORIO**, se autoriza al estudiante, proceder con los trámites requeridos de acuerdo a las normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

  
Inga. Casta Petrona Zeceña Zeceña  
COORDINADORA DE TERNA  
Tribunal de Revisión  
Trabajo de Graduación



C.c.: archivo



ACAAI

Agencia Centroamericana de Asesoramiento de Empresas de Arquitectura y de Ingeniería





Ref.EIQ.TG.055.2019

El Director de la Escuela de Ingeniería Química de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del Asesor y de los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química para revisar el Informe del **Trabajo de Graduación** de la carrera de **Ingeniería Ambiental** de la estudiante, **ALEJANDRA BETZABÉ PINEDA VÁSQUEZ** titulado: **"DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ENOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN, ALTA VERAPAZ"**. Procede a la autorización del mismo, ya que reúne el rigor, la secuencia, la pertinencia y la coherencia metodológica requerida.

*"Id y Enseñad a Todos"*

Ing. Williams G. Álvarez Mejía, M.I.Q., M.U.I.E

Director

Escuela de Ingeniería Química



Guatemala, septiembre de 2019

Cc: Archivo  
WGAM/ale



DTG.382.2019

El Decano 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 Química, al Trabajo de Graduación titulado: **DETERMINACIÓN DE LA INFLUENCIA DEL ENOS EN LA PARTE ALTA DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL RÍO CAHABÓN, ALTA VERAPAZ**, presentado por la estudiante universitaria: **Alejandra Betzabé Pineda Vásquez**, 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, septiembre de 2019

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Dios** Por nunca dejarme sola y acompañarme junto a la Virgen María a lo largo de mi vida.
- Mi mamá y papá** A mi mamá por motivarme a ser una profesional y darme fortaleza en los días más difíciles; y a mi papá por ser perseverante en sus insistencias para lograr mis metas.
- Mi hermana** Por ser siempre mi ejemplo a seguir, escucharme y aconsejarme siempre.
- Mis hermanos** July y Pablo Pineda, por brindarme momentos de alegría y ayudar a quitarme siempre el estrés.
- Mis sobrinos** Por darme felicidad y por brindarme su cariño más sincero, aunque se encuentren muy lejos de mi lado.
- Carlos Chicojay** Por ser mi mejor amigo y porque sin ti no hubiera llegado hasta aquí; muchas gracias por el apoyo constante desde el inicio de nuestras carreras; tengo un espacio muy especial en mi corazón para ti, cerebro.
- .

**Demás familia**

Por estar siempre pendientes de mí y alentarme a conseguir mi título.

**Mis amigos**

Ada Pérez, por ser mi mejor amiga desde que tengo memoria, siempre vas a ser vos la mala influencia. Christopher Barrera, por escucharme y ser el hombre de consejos realistas y crudos que necesito en mi vida

**Mis compañeros de universidad**

Rita Choc, Lucía Blanco, Nery Moreno, Diego Plutarco, Kevin Rodriguez y José Galindo, por estar ahí sin importar que tan cansados o enojados estuviéramos. A José Ramírez, Manuel López, Mirian Méndez, Carlos Marroquín, Astrid Morales, Marilyn Castillo, Alma Salazar, por ser esos amigos de colegio que aunque no hablemos en medio año cuando nos juntamos todo vuelve como si nada hubiera pasado. A los del carro, Henry Salguero, Melissa Mayen, Susi Moran y Daniel Hidalgo, por darme momentos de alegría y filosofía al regresar a casa. A mi Aldo Castellanos, por siempre estar pendiente de mí.

**Mis amigas de colegio**

Abigail Azurdía, Cindy Lacan, Andrea Melendez, Michell Lopez, Lesly Monterroso y Ángela Quintana por ser una parte importante en mi vida y ser mis mejores amigas.

**Equipo GD**

Porque fueron más que mis compañeros de trabajo; ahora son mis amigos y les agradezco por impulsarme a seguir adelante y crecer como profesional. En especial a Sabrina Alvarez, mi madrina, porque eres la mejor ingeniera ambiental de todas y realmente te admiro muchísimo; a Amílcar Ordoñez por el apoyo incondicional y la confianza; a Shirley Pérez por escucharme, tenerme paciencia y aconsejarme siempre.

**Merclin López**

Por confiar en mí y hacerme crecer profesionalmente.

**Ing. Claudio Castañón**

Por tenerme paciencia y brindarme su apoyo y conocimientos para completar con los requisitos para graduarme.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por ser mi segunda casa y recibirme con las puertas abiertas para formarme como una profesional de éxito.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por recibirme en su honorable casa de estudios y brindarme la oportunidad de adquirir los conocimientos necesarios para ser una profesional de éxito.
<b>Mis padres</b>	Por apoyarme en todo momento para que alcance este éxito.
<b>Mi hermana</b>	Por ser siempre mi ejemplo a seguir y no dejar que durmiera cuando tenía muchas cosas que hacer; por aconsejarme y permitirme tener a mis dos hermosos sobrinos que siempre me alegran.
<b>Mis hermanitos</b>	Por confiar en mí y hacerme reír siempre, apoyarme y querer a su hermana loca.
<b>Carlos Chicojay</b>	Por ser mi mejor amigo y compañero durante toda mi vida universitaria; por brindarme tu apoyo y comprensión en todos los momentos que se nos presentaron; y por estar siempre para

mí y por qué sé que juntos siempre saldremos adelante.

**Mi familia**

Por acompañarme y apoyarme, aunque no entendieran mi carrera.

**Mis amigos**

Por el tiempo compartido, el apoyo y los consejos brindados para seguir adelante.

**Ing. Claudio Castañón**

Por transmitirme sus conocimientos para concluir con mi carrera universitaria.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	XI
GLOSARIO .....	XIII
RESUMEN .....	XV
OBJETIVOS.....	XVII
HIPÓTESIS.....	XIX
INTRODUCCIÓN .....	XXI
1. ANTECEDENTES .....	1
2. MARCO TEÓRICO.....	5
2.1. El niño – Oscilación del Sur (ENOS) .....	5
2.1.1. Regiones El Niño .....	8
2.1.2. Circulación de Walker.....	9
2.1.3. El Niño y Circulación de Walker.....	11
2.1.4. Índice de Oscilación del Sur .....	13
2.1.5. Índice oceánico El Niño –ONI-.....	15
2.1.6. ¿Cómo se detecta el fenómeno del “El Niño”?.....	17
2.1.7. Impactos sobre el ambiente por el fenómeno de El Niño .....	17
2.2. Temperatura superficial del mar en el Atlántico Norte.....	18
3. DISEÑO METODOLÓGICO .....	21
3.1. Variables.....	21
3.1.1. Dependientes.....	21

3.1.1.1.	Precipitación.....	21
3.1.2.	Independientes.....	22
3.1.2.1.	Nivel Oceánico .....	22
3.1.2.1.1.	Temperatura superficial del mar .....	22
3.1.2.1.2.	Índice Oceánico El Niño –ONI- .....	23
3.1.2.1.3.	Anomalía Temperatura superficial del mar (Océano Atlántico).....	23
3.1.2.2.	Nivel atmosférico .....	24
3.1.2.2.1.	Presión atmosférica.....	24
3.1.2.2.2.	Índice de Oscilación del Sur –IOS- .....	24
3.2.	Delimitación de campo de estudio.....	24
3.2.1.	Parte alta de la cuenca del río Cahabón .....	26
3.2.1.1.	Ubicación geográfica.....	26
3.2.1.2.	Características morfométricas .....	28
3.2.1.2.1.	Perímetro de la cuenca.....	29
3.2.1.2.2.	Área de la cuenca .....	29
3.2.1.2.3.	Longitud del cauce principal.....	29
3.2.1.3.	Estaciones hidrométricas .....	31
3.2.1.4.	Estaciones meteorológicas.....	31
3.3.	Recursos humanos disponibles.....	33
3.4.	Recursos materiales disponibles.....	34
3.5.	Técnica cualitativa o cuantitativa.....	34



3.6.	Recolección y ordenamiento de la información .....	34
3.7.	Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información .....	35
3.8.	Análisis estadísticos .....	42
3.8.1.	Tablas de contingencia.....	43
3.9.	Correlaciones.....	44
3.9.1.	Correlación Simple .....	44
3.9.2.	Correlación Múltiple .....	45
4.	RESULTADOS .....	47
5.	INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS.....	89
	CONCLUSIONES .....	101
	RECOMENDACION.....	103
	BIBLIOGRAFÍA.....	105
	APÉNDICES .....	109



# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1.	Perfil de la temperatura sobre el nivel del mar en Elcifico Ecuatual, mostrando el evidente cambio durante el fenómeno El Niño. ....	6
2.	Representacion esquemática del océano superior y la circulacion atmosferica durante los extremos de El Niño. ....	7
3.	Regiones del fenómeno de El Niño .....	9
4.	Circulacion de Walker en El Pacífico.....	11
5.	Circulación de Walker en El Pacífico (en la primera imagen) vrs circulación de Walker con influencia del fenómeno de El Niño. ....	13
6.	Valores de SOI para región NIÑO 3.4 .....	14
7.	Índice de Oscilación del Sur en el año 80 al 89.....	14
8.	Índice de Oscilación del Sur desde el año 80 hasta el 2015 .....	15
9.	Anomalía en la TSM registrada en el Atlántico Norte, 1982 – 2015.....	19
10.	Cuenca Río Cahabón.....	25
11.	Ubicación de la parte alta de la cuenca del río Cahabón .....	27
12.	Municipios parte alta cuenca río Cahabón. ....	28
13.	Ríos que forman la parte alta de la cuenca del río Cahabón.....	30
14.	Estaciones meteorológicas e hidrológicas en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.....	32
15.	Polígonos de Thiessen.....	33
16.	Análisis del coeficiente de correlación.....	45
17.	Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Cahabón .....	47

18.	Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Cobán.....	48
19.	Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Pueblo Viejo .....	48
20.	Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica San Cristóbal.....	49
21.	Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Purulhá .....	49
22.	Comportamiento de la media mensual del caudal sobre la estación hidrográfica Chajcar .....	50
23.	Comportamiento de la media mensual de la precipitación en promedio de las estaciones según los polígonos de Thiessen .....	50
24.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cahabón.....	52
25.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cobán .....	54
26.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo.....	56
27.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal .....	58
28.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Purulhá .....	60
29.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación hidrológica Chajcar .....	62
30.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación según el promedio de polígonos de Thiessen.....	64
31.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cahabón.....	66

32.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cobán .....	68
33.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo.....	70
34.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal.....	72
35.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Purulhá.....	74
36.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación hidrológica Chajcar .....	76
37.	Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación según el promedio de polígonos de Thiessen .....	78

## **TABLAS**

I.	Longitud de los ríos de la parte alta del río Cahabón.....	30
II.	Estaciones meteorológicas evaluadas .....	32
III.	Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Cahabón del año 1980 al 2015 .....	35
IV.	Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Cobán del año 1980 al 2015 .....	36
V.	Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Pueblo Viejo del año 1980 al 2015.....	37
VI.	Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica San Cristóbal del año 1980 al 2015.....	39
VII.	Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Purulha del año 1980 al 2015.....	40
VIII.	Caudal mensual en metros cúbicos por segundo de la estación meteorológica Chajcar del año 1980 al 2015. ....	41

IX.	Tablas de contingencia utilizadas .....	43
X.	Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Cahabón.....	51
XI.	Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Cobán.....	53
XII.	Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo .....	55
XIII.	Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal.....	57
XIV.	Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Purulhá.....	59
XV.	Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación hidrológica Chajcar .....	61
XVI.	Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación según el promedio en los polígonos de Thiessen.....	63
XVII.	Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Cahabón.....	65
XVIII.	Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Cobán.....	67
XIX.	Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo .....	69
XX.	Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal .....	71
XXI.	Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Purulhá .....	73
XXII.	Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación hidrológica Chajcar .....	75

XXIII. Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación según el promedio de polígonos de Thiessen.....	77
XXIV. Coeficiente de correlación simple entre la precipitación/caudal y variable estudiada.....	79
XXV. Coeficiente de correlación múltiple Precipitación/TSM regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica Cahabón.....	80
XXVI. Coeficiente de correlación múltiple Precipitación/TSM regiones El Niño /IOS en la estación meteorológica Cobán.....	80
XXVII. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica Pueblo Viejo. ....	81
XXVIII. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica San Cristóbal.....	81
XXIX. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica Purulhá.....	82
XXX. Coeficiente de correlación múltiple caudal/TSM regiones El Niño/IOS en la estación hidrológica Chajcar.....	82
XXXI. Coeficiente de correlación múltiple caudal/TSM regiones El Niño/IOS según el promedio.....	83
XXXII. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Cahabón.....	83
XXXIII. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Cobán.....	84
XXXIV. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Pueblo Viejo.....	84
XXXV. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en estación meteorológica San Cristobál.....	85
XXXVI. Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Purulhá. ....	85

XXXVII. Coeficiente de correlación múltiple caudal/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación hidrológica Chajcar .....	86
XXXVIII. Coeficiente de correlación múltiple caudal/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño según el promedio .....	86
XXXIX. Modelo matemático de las correlaciones más acertadas durante la presencia de el fenómeno de El Niño .....	87
XL. Modelo matemático de las correlaciones más acertadas durante los cambios de TSM en el océano Atlántico. ....	87



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
<b>a</b>	Coeficiente de correlación muestral
<b>b<sub>n</sub></b>	Coeficiente de correlación muestral
<b>r</b>	Coeficiente de correlación
<b><math>\sigma_{xy}</math></b>	Covarianza
<b><math>\sigma_x</math></b>	Desviación estándar de x
<b><math>\sigma_y</math></b>	Desviación estándar de y
<b>°C</b>	Grados centígrados
<b>IOS</b>	Índice de oscilación del sur
<b>km</b>	Kilómetro
<b>km<sup>2</sup></b>	Kilómetro cuadrado
<b><math>\mu</math></b>	Media aritmética
<b>m</b>	Metro
<b>m<sup>2</sup></b>	Metro cuadrado
<b>m<sup>3</sup>/s</b>	Metros cúbicos por segundo
<b>m/s</b>	Metro por segundo
<b>mm</b>	Milímetros
<b>msn</b>	Metros sobre el nivel del mar
<b>n</b>	Número de datos
<b>Y</b>	Variable dependiente
<b>X<sub>1</sub></b>	Variable independiente 1
<b>X<sub>2</sub></b>	Variable independiente 2



## GLOSARIO

<b>Boya meteorológica</b>	Equipo que recoge datos del tiempo y del océano; brinda respuesta de emergencia a derrames químicos y diseño de ingeniería.
<b>Contingencia</b>	Suceso que puede suceder o no, especialmente, un problema que se plantea de forma imprevista.
<b>Correlación</b>	Valor que indica la fuerza y la dirección lineal que se establece entre dos o más variables aleatorias.
<b>Cuenca</b>	Área en la cual el agua drena, directa o indirectamente hasta un río principal y puede tener un tamaño muy variable.
<b>ENOS</b>	El Niño - oscilación del sur.
<b>Inde</b>	Instituto Nacional de Electrificación.
<b>Insivumeh</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>IOS</b>	Índice de oscilación del sur.

<b>NAO</b>	North America Oscilation (oscilación del atlántico norte)
<b>NOAA</b>	National Oceanic and Atmospheric Administration.
<b>ONI</b>	Índice oceánico de El Niño.
<b>Oscilación</b>	Fenómeno en el que se produce un cambio en el movimiento de algo y se realiza en forma de vaivén.
<b>QGis</b>	Sistema de información geográfica y de código libre para distintas plataformas.
<b>SIG</b>	Sistema de información geográfica.
<b>TSM</b>	Temperatura superficial del mar.
<b>Vientos alisios</b>	Corrientes de aire que se generan en la atmósfera por motivos propios de la naturaleza y soplan en los océanos Pacífico y Atlántico en las zonas de los trópicos.

## RESUMEN

El fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un evento océano-atmosférico que se caracteriza por elevar la temperatura sobre el nivel del mar en el océano Pacífico y por el cambio en la presión atmosférica. Para identificar la presencia de este fenómeno, se evalúa la temperatura superficial del mar (TSM) y el índice de oscilación del sur (IOS).

El desarrollo del fenómeno se evalúa a partir de un área en el océano Pacífico tropical. Está dividida en cinco regiones: la región 3.4 en la que se establece el índice oceánico El Niño (ONI), que determina si el evento es El Niño o La Niña y los períodos de tiempo en los que permanezca.

La temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Atlántico es un fenómeno que aún no es muy conocido; presenta características similares que el ENOS, pero en el norte del océano Atlántico.

El análisis consistió en identificar los efectos del ENOS, la temperatura superficial del mar y la presión atmosférica sobre la precipitación y el caudal en la cuenca de la parte alta del río Cahabón; correlacionándolos para verificar si existe de una relación entre fenómenos que tuviera impactos directos en la parte alta de la cuenca del río Cahabón, la cual cuenta con registros de precipitación desde 1982 hasta 2015.

Con los datos históricos se crearon tablas de contingencia que contribuyeron a la identificación de los meses en los cuales los eventos atmosféricos tienen mayor incidencia en el área evaluada; se logró identificar que

durante el fenómeno de El Niño y las anomalías presentadas en el océano Atlántico se presentan cambios en la precipitación y el caudal de la cuenca.

Con objetivo de encontrar una relación directa entre las condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos océano-atmosféricos se realizaron correlaciones simples y múltiples; siendo la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Atlántico con la precipitación las que tienen una relación directa sobre la cuenca; así mismo, la región 1+2 de El Niño tiene más correlación con la presencia de anomalías sobre la TSM en el océano Atlántico y la precipitación sobre la cuenca de la parte alta del río Cahabón.

Con los resultados obtenidos, se establecieron los valores con las correlaciones más altas en cada estación meteorológica evaluada con el fin de obtener un modelo matemático que permita predecir el comportamiento de las variables meteorológicas durante la presencia del ENOS o anomalía en la TSM en el océano Atlántico.

# OBJETIVOS

## General

Determinar la influencia del ENOS sobre la parte alta de la cuenca del río Cahabón, con el fin de poder predecir, mitigar y evaluar el impacto que tiene o pueda tener sobre los recursos hídricos.

## Específicos

1. Correlacionar la precipitación y el caudal en cada estación identificada de la cuenca con la temperatura superficial del mar en cada región de El Niño, para verificar la influencia del fenómeno El Niño sobre los recursos hídricos de la cuenca.
2. Correlacionar el índice de oscilación del sur (IOS) con la precipitación y el caudal, para corroborar el aumento o disminución de sistemas de baja presión que puedan tener impactos sobre los recursos hídricos de la cuenca.
3. Identificar una correlación simple de la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Atlántico con la precipitación y caudal en cada una de las estaciones identificadas en la cuenca, para determinar la influencia de los fenómenos ocurridos en el océano Atlántico sobre los recursos hídricos de la cuenca.

4. Realizar una correlación múltiple del índice de oscilación del sur (IOS) con la temperatura superficial del mar, la precipitación y el caudal de las estaciones identificadas en la cuenca, para analizar la conducta del recurso hídrico sobre la cuenca analizada al presentarse el fenómeno de El Niño.
  
5. Estipular mediante correlaciones múltiples si la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico está directamente relacionada con los efectos en las diferentes regiones de El Niño, para establecer si ambos fenómenos están relacionados y tienen una influencia directa sobre las variaciones de precipitación y caudal de la cuenca analizada.



# HIPÓTESIS

## **Hipótesis nula**

No existe una correlación simple entre las variables de la temperatura superficial del mar en las regiones de El Niño con la precipitación y el caudal que permita evaluar el comportamiento sobre el recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

## **Hipótesis alternativa**

Existe una correlación simple entre las variables de la temperatura superficial del mar en las regiones de El Niño con la precipitación y el caudal, que permita evaluar el comportamiento sobre el recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

## **Hipótesis nula**

No existen diferentes correlaciones entre las variables de la temperatura superficial del mar en las regiones de El Niño, la precipitación y el caudal, y el índice de oscilación del sur que permite evaluar el comportamiento sobre el recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

### **Hipótesis alternativa**

Existe diferentes correlaciones entre las variables de la temperatura superficial del mar en las regiones de El Niño, la precipitación y el caudal, y el índice de oscilación del sur que permite evaluar el comportamiento sobre el recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

### **Hipótesis nula**

No existen diferentes correlaciones entre las variables de la temperatura superficial del mar en las regiones de El Niño, la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico con la precipitación y el caudal que permite evaluar el comportamiento sobre el recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

### **Hipótesis alternativa**

Existe diferentes correlaciones entre las variables de la temperatura superficial del mar en las regiones de El Niño, la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico con la precipitación y el caudal que permite evaluar el comportamiento sobre el recurso hídrico en la parte alta de la cuenca del río Cahabón.

## INTRODUCCIÓN

Todos los años se registran problemas asociados con la variabilidad climática en todo el planeta respecto a inundaciones y sequías en los diferentes puntos, los cuales registraban eventos más extremos en algunos años. Los eventos extremos climáticos tan ampliamente dispersos podrían haber tenido un origen geográfico común, por lo que se han realizado diferentes investigaciones en todo el mundo para determinar si la variabilidad de temperatura en la superficie del mar en el océano Pacífico (regiones de El Niño) están relacionadas a la variabilidad climática y cambios en la presión atmosférica a nivel del mar en la cuenca del océano Pacífico (oscilación del sur), llegando a determinar la ocurrencia del fenómeno del ENOS (por sus siglas).

El ENOS es un fenómeno natural que se repite cada cierta cantidad de años debido a una interrelación entre los océanos y la atmósfera, el cual se caracteriza por el debilitamiento de los vientos alisos y el calentamiento de la superficie del mar Pacífico Ecuatorial.

El Niño es un fenómeno que se identifica por las anomalías en la temperatura superficial del mar (TSM) en el océano Pacífico; así mismo, se han registrado efectos muy similares en el océano Atlántico.

El ENOS y las fases de la TSM en el océano Atlántico tienen influencias en todo el mundo, ya que tienen variaciones tanto hidrológicas como climáticas; que provoca una alteración en las precipitaciones y en el caudal de muchos ríos en los periodos de menos lluvia o exceso de lluvia.

Por consiguiente, en la siguiente investigación se pretende comprobar si la presencia del ENOS tiene efectos directos sobre la precipitación y el caudal registrados en la parte alta de la cuenca del río Cahabón, ubicada en el departamento de Alta Verapaz.

## 1. ANTECEDENTES

Según Glantz, en 1972 fueron reportadas áreas de sequía y pérdidas en las cosechas en Centroamérica. En la temporada lluviosa de 1991 las precipitaciones se vieron severamente reducidas, severa sequía en la región con embalses a niveles bajos y sustanciales pérdidas en la agricultura, debido a pobres cosechas de granos. En la costa pacífica de Panamá, dos especies constructoras de barreras de coral se extinguieron debido al aumento de la temperatura del mar y al descoloramiento del coral, mientras que, en Costa Rica, inundaciones dejaron 33,000 personas sin hogar y daños de US15 millones en la agricultura.

Según Greenpeace durante 1997 los efectos del fenómeno El Niño en Centroamérica se sintieron en los meses de abril y mayo en las costas del Pacífico, durante el mes de junio los efectos fueron más relevantes; afectaron los cultivos de cereales y frijoles de la primera cosecha. Según informaciones de la FAO, las pérdidas en la producción agrícola de la región se estiman entre un 15 % y un 20 % como promedio en comparación con el año anterior. Así mismo, en la época seca de 1998, las altas temperaturas y la sequía favorecieron a que se registraran alrededor de 30, 000 incendios en los estados mexicanos de Chiapas y Yucatán, gran parte del territorio de Guatemala y norte de Honduras.

Desde el año 2014 ocurrió un calentamiento en el océano Pacífico que tuvo efectos en el clima de Guatemala con déficit de lluvias en regiones Central y Pacífico, condición que se mantuvo durante todo el año, y que provocó un retraso en el establecimiento de la estación lluviosa, así como una distribución irregular

de las lluvias, según el boletín climático No. 5-2015 del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología, Insivumeh.

En el 2015, según el Instituto de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (Insivumeh), el fenómeno de El Niño se registran desde el año 2014 y se extenderá hasta 2016. El director del Insivumeh, Eddy Sánchez, afirmó que el fenómeno de El Niño será el más severo de la última década, únicamente comparable con el registrado entre 1997 y 1998. Agregó que en 2015 los períodos más críticos de sequía en el país se registraron entre junio y agosto, en los que hubo espacios de hasta 30 días sin lluvias, lo cual contrasta con lo registrado a finales de septiembre, con el incremento de precipitaciones que a la vez ha provocado inundaciones. Agregó que el pronóstico fue presentado al presidente Alejandro Maldonado Aguirre durante la reunión del Consejo Nacional de Cambio Climático y que se evaluaron las estrategias para reducir y prevenir efectos negativos por inundaciones o pérdida de plantaciones.

El director del Sistema Nacional de Prevención de Incendios Forestales (Sipacific), Adolfo García, aseguró que las autoridades temen que para el año 2016 se incrementen los incendios forestales y que se ponga en riesgo la seguridad alimentaria de miles de familias.

En febrero del 2016, el Insivumeh declaró que las condiciones climáticas de Guatemala seguirán bajo la influencia del fenómeno de El Niño, el cual pasó a formar parte de los tres fenómenos más fuertes del registro histórico (1950 a la fecha). La anomalía de temperatura en la región niño 3.4 es de 2,5 °C, esta condición positiva tiende a permanecer hasta el trimestre de marzo, abril y mayo.

Con respecto a los estudios realizados en la cuenca, hay una investigación de Edwin Orlando Yash, titulada *Evaluación de la amenaza por inundación en la*

*parte occidental de la Cuenca de río Cahabón*, en el cual se realizaron balances hídricos dentro de la cuenca durante el huracán Mitch.

Se han realizado diferentes estudios a nivel internacional; entre estos estudios se puede mencionar *Estudio de la influencia del fenómeno El Niño - Oscilación del sur en la oferta hídrica de la cuenca hidrográfica del río Dagua*, el cual se realizó en el año 2013 por los colombianos S. Gutiérrez, Y. Carvajal y A. Ávila.

Se han hecho estudios en Brasil *Influencia del fenómeno El Niño-La Niña y cambio climático en el patrón de lluvias en São Carlos-SP, Brasil*, estudio realizado en el 2012 por Cristian Youlton, Taís Shiratsubaki, Paulo Tarso y Edson Wendland.

Debido a que el fenómeno de El Niño afecta mucho las regiones del Pacífico Sur, se encuentran más estudios sobre el tema; hay estudios de parte del gobierno como el caso de Ecuador con *El fenómeno de El Niño en Ecuador*, realizado por el Ministerio de Salud Pública, el cual resalta los impactos sobre la salud que se han presenciado por los eventos presenciados del ENOS. De igual forma, un estudio realizado en el año 2014 por el Ministerio de Ambiente en Perú con el apoyo del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología de Perú, SENAMHI, el cual se titula *El Fenómeno de El Niño en Perú* realizado para disminuir la vulnerabilidad de la población y sus medios de vida ante riesgos de desastre.

Finalmente, en Guatemala se han realizado diferentes estudios como el del *Mejoramiento de la capacidad técnica para mitigar los efectos de futuros eventos de la variabilidad climática (El Niño 1997-98 en Guatemala)* publicado por el Proyecto Mitigación de Desastres en América Central por el fondo japonés; así

mismo, se han publicado diferentes boletines climáticos por parte del Insivumeh, boletines informativos por parte de la Conred y diferentes tesis.



## **2. MARCO TEÓRICO**

### **2.1. El Niño – Oscilación del Sur (ENOS)**

Se define a El Niño como la fase cálida de una oscilación interanual del sistema océano-atmósfera del Pacífico Tropical con consecuencias de fenómenos climáticos de escala global; es decir, con efectos que abarcan gran parte del planeta. Se denomina fase cálida de la oscilación, porque durante El Niño la temperatura superficial del mar (TSM) y la temperatura del aire en la región oriental del Pacífico Tropical; es decir, a la región más cercana a las costas de América, aumentan varios grados dependiendo de la intensidad del evento.

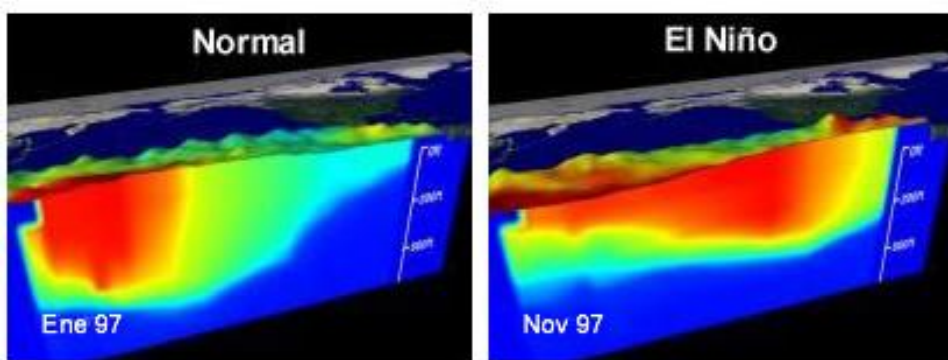
Por otro lado, durante La Niña las temperaturas en la parte oriental del Pacífico tropical suelen ser más bajas y su impacto puede ser tan relevante como los efectos de El Niño en algunas regiones del planeta. El niño se caracteriza, además, por un debilitamiento de los vientos alisos que soplan desde el este sobre el ecuador.

Se dice que el ciclo El Niño-La Niña o ENOS es una oscilación interanual, porque el periodo entre dos eventos cálidos varía comúnmente entre 2 y 7 años. El índice de oscilación del sur (IOS) se basa en la diferencia de presión normalizada entre Tahití en la polinesia francesa y Darwin al norte de Australia. Valores negativos corresponden a la fase cálida del ciclo, mientras que valores positivos corresponden a la fase fría. No todos los valores negativos del índice están asociados a El Niño; sin embargo, cuando los índices caen por debajo de la media desviación estándar las condiciones se reconocen como típicas de El Niño.

Hay varios tipos de eventos El Niño, los cuales pueden variar en magnitud. Uno de los indicadores más evidente e importante es el aumento de temperatura superficial del mar ya sea en la parte central u oriental del Pacífico Ecuatorial. De igual forma, para determinar la magnitud de El Niño se utilizan factores como la ubicación geográfica y el área cubierta por la porción anormalmente cálida del agua de mar. Mientras más grande es el área de superficie cálida del océano, mayor es el evento.

Según Glantz, los eventos moderados, además de mostrar precipitaciones por sobre lo normal e inundación costera y un nivel más bajo de destrucción, por lo general, muestran temperaturas de la superficie del mar costero en el rango de 2 °C a 3 °C sobre lo normal en las estaciones de verano y otoño del Hemisferio Sur.

Figura 1. **Perfil de la temperatura sobre el nivel del mar en el Pacífico Ecuatorial, muestra el evidente cambio durante el fenómeno El Niño**

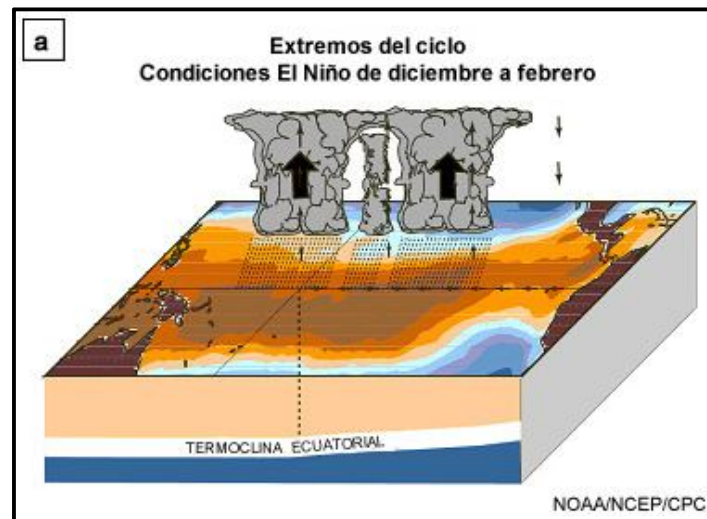


Fuente: METED.

[https://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook\\_2nd\\_edition\\_es/navmenu.php?tab=5&page=2.1.2](https://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook_2nd_edition_es/navmenu.php?tab=5&page=2.1.2)

Consulta: 10 de mayo de 2016.

Figura 2. **Representación esquemática del océano superior y la circulación atmosférica durante los extremos de El Niño**



Fuente: METED.

[https://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook\\_2nd\\_edition\\_es/navmenu.php?tab=5&page=2.1.2](https://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook_2nd_edition_es/navmenu.php?tab=5&page=2.1.2)

Consulta: 12 de mayo de 2016.

El ENOS (El Niño y la Oscilación del Sur) constituye el ejemplo más dramático del rol esencial de la interacción entre los océanos y la atmósfera. El ciclo ENOS es un proceso oceánico-atmosférico causado por las redistribuciones recurrentes del calor y el momento atmosférico en el Pacífico ecuatorial.

La distribución zonal del calentamiento de la superficie (tanto continental como oceánica) en los trópicos produce un patrón de circulación de este a oeste que se conoce como circulación de Walker. ENOS perturba la circulación de Walker y desencadena cambios importantes en los patrones de lluvia y convección profunda de las regiones tropicales, lo cual altera las circulaciones atmosféricas y el clima en todo el mundo. Las fases extremas de ENOS, denominadas El Niño y La Niña, abarcan una amplia gama de condiciones climáticas.

### **2.1.1. Regiones, El Niño**

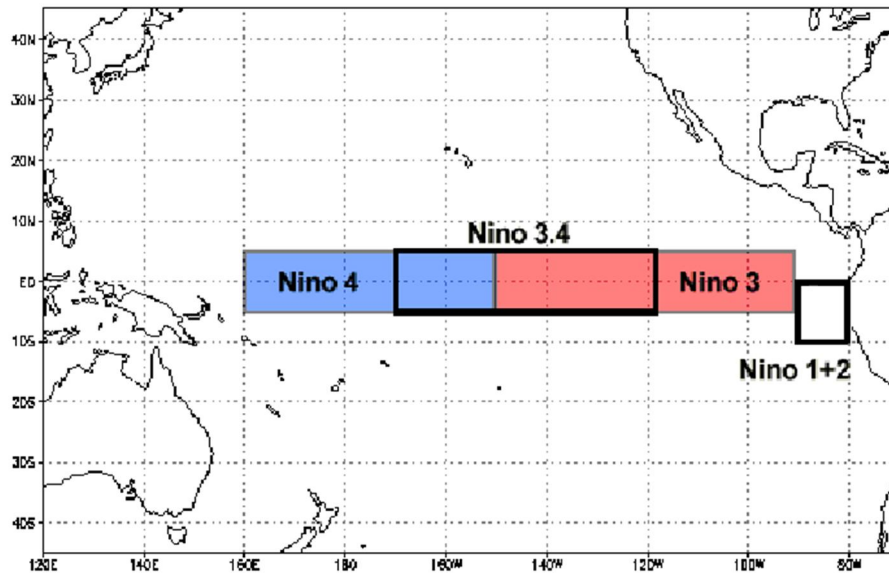
Los científicos han identificado cuatro regiones en el Pacífico ecuatorial que ellos consideran que requieren atención especial con respecto a las observaciones y monitoreo de los procesos El Niño.

Cada región proporciona diferentes clases de información respecto a El Niño o a la oscilación del sur.

- El Niño 1 +2 es la región de surgencia costera mar afuera de las costas de Perú y Ecuador, que incluye las islas Galápagos. Es sensible a los cambios en el océano y a la atmósfera, tanto estacionalmente como en especial durante los episodios El Niño. Los procesos de surgencia costera en El Niño 1 +2 son en especial sensibles a los cambios de la interacción océano-atmósfera en el Pacífico ecuatorial central y oriental.
- El Niño 3 se encuentra en el Pacífico ecuatorial central, donde existe una gran señal El Niño, pero no hay gran sensibilidad a los cambios estacionales en la interacción océano-atmósfera. Se cree que un calentamiento en esta región influye con fuerza en la atmósfera global. Probablemente, es el mejor indicador individual de un episodio ENOS que pudiera afectar al clima global.
- El Niño 4 abarca parte del Pacífico ecuatorial occidental conocido como la masa cálida. Aquí se encuentran las máximas temperaturas de superficie del mar en el pacífico. Durante un evento El Niño, existe un cambio pequeño en las temperaturas de superficie del mar. No obstante, ese cambio pequeño es importante, debido a que el agua más cálida y los

procesos que producen nubes que tienden a seguirlo se mueven hacia el Pacífico central.

Figura 3. **Regiones del fenómeno El Niño**



Fuente: NOAA. <http://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst.php#oni>.

Consulta: 12 de mayo de 2016.

### 2.1.2. **Circulación de Walker**

El meteorólogo Sir Gilbert Walker fue el primero en describir la gran célula de circulación sobre el Pacífico. Observó que además de la circulación meridional en la célula de Hadley, el trópico también exhibe patrones de movimiento ascendente y descendente en dirección este-oeste.

En la parte occidental de la cuenca del Pacífico cerca del Ecuador, que se refiere a la región próxima a las costas de Australia, Nueva Guinea, Filipinas, entre otros, existe una masa de agua muy caliente en la superficie del océano, la

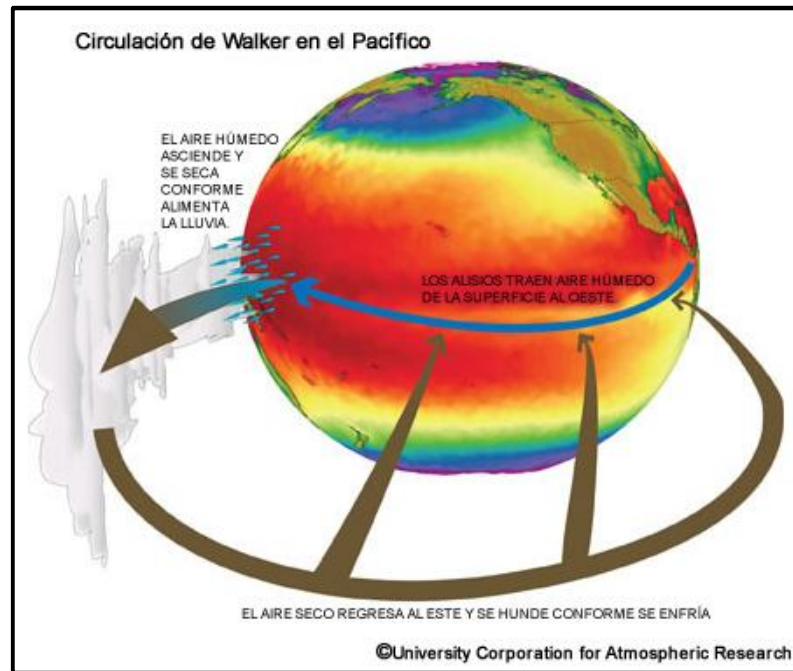
cual se extiende hacia abajo desde la superficie, a una profundidad de un par de cientos de metros, hasta la zona en el océano donde existe un agudo contraste de temperaturas entre las aguas cálidas de arriba y las aguas frías de abajo. Esta zona de agudo cambio de temperatura se denomina termoclina.

El nivel del mar en el Pacífico occidental es más alto en unas pocas décimas de centímetro que en el borde oriental de la cuenca. Esto se debe a los fuertes vientos alisios que soplan hacia el occidente en la superficie del océano. Los vientos alisios tienen a mover agua hacia el borde occidental de la cuenca del Pacífico.

De acuerdo a Glantz la gran masa de agua cálida en la parte ecuatorial occidental del océano Pacífico es una fuente importante de calor que tempera la atmósfera sobre ella. Este calentamiento hace que el aire se eleve (generando convección) lo que, a su vez, produce nubes cargadas de lluvia. A medida que el aire calentado se eleva a las diferentes capas de la atmósfera, las diferencias de presión entre el Pacífico occidental y el Pacífico oriental mueven el aire ahora más frío hacia altitudes mayores y lo mueven hacia la parte oriental de la cuenca del Pacífico.

El aire frío y seco en última instancia desciende sobre el Pacífico ecuatorial oriental, el movimiento descendente de la atmósfera que se denomina subsidencia tiende a suprimir las condiciones en la región que podrían acarrear formación de nubes y en consecuencia precipitaciones. El aire seco se mueve entonces hacia el occidente, cerca de la superficie de la tierra, como resultado de la acción del viento. Es entonces calentado por la superficie del océano, desde donde absorbe humedad.

Figura 4. **Circulación de Walker en el Pacífico**



Fuente: METED.

[http://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook\\_2nd\\_edition\\_es/print\\_4.htm#page\\_2.1.0](http://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook_2nd_edition_es/print_4.htm#page_2.1.0). Consulta: 13 de mayo de 2016.

### 2.1.3. **El Niño y la circulación de Walker**

Durante el evento El Niño, la circulación Walker se modifica debido a que los vientos de superficie que soplan hacia el oeste a través de la cuenca del Pacífico ecuatorial se debilitan y en el oeste ellos se invierten. Esto permite que el agua de la masa cálida en el oeste se extienda hacia el este. Conforme el agua cálida se extiende hacia el este, el nivel del mar en el oeste comienza a disminuir, mientras que el nivel mar en el este aumenta. Con la disminución de los vientos alisios las aguas superficiales del Pacífico central y oriental se hacen más cálidas. Mientras tanto, la profundidad de la termoclina también comienza a cambiar,

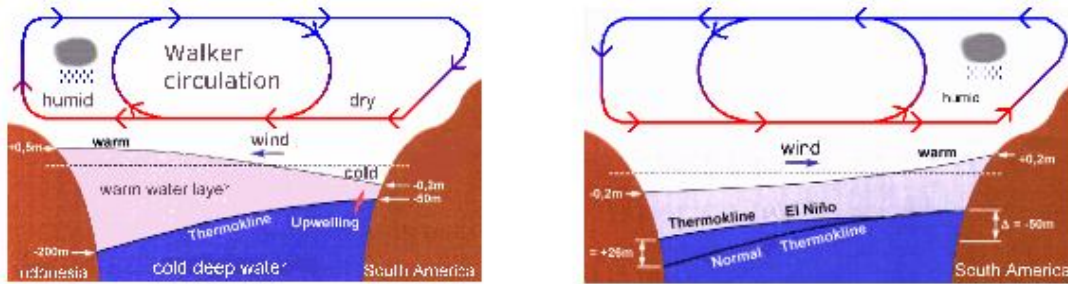
desplazándose hacia la superficie en el Pacífico occidental y profundizándose en el pacífico ecuatorial central y oriental. A medida que la termoclina se aleja de la superficie a lo largo de la costa peruana, la surgencia continua, pero el agua que ha sido llevada a la superficie es más cálida y menos rica en nutrientes.

Por consiguiente, el agua en el Pacífico ecuatorial occidental se hace unos pocos grados más fría a medida que se calienta el agua en el Pacífico central y oriental. Debido a que una actividad convectiva sigue a las aguas cálidas en la superficie del mar, las nubes aumentan en el Pacífico central y oriental, mientras que declinan en el occidental. Este desplazamiento en la actividad de convección produce las sequías en Australia e Indonesia, los tifones en el Pacífico central y densas lluvias a lo largo de la costa normalmente árida de Perú.

Estas condiciones pueden durar de 12 a 18 meses, hasta que los vientos de superficie otra vez comiencen a reforzarse y a soplar hacia el oeste, haciendo que el agua cálida fluya de vuelta hasta la región de la masa cálida del Pacífico occidental. Los niveles del mar en ambos extremos de la cuenca comienzan a cambiar de dirección, al igual que lo hace la profundidad de la termoclina, no visible, pero muy importante. Retorna la surgencia fuerte al ecuador y a lo largo de la costa del Perú.



Figura 5. **Circulación del Walker en el Pacífico (en la primera imagen) vrs circulación de Walker con influencia del fenómeno El Niño**



Fuente: *La oscilación del sur y la historia de El Niño.*

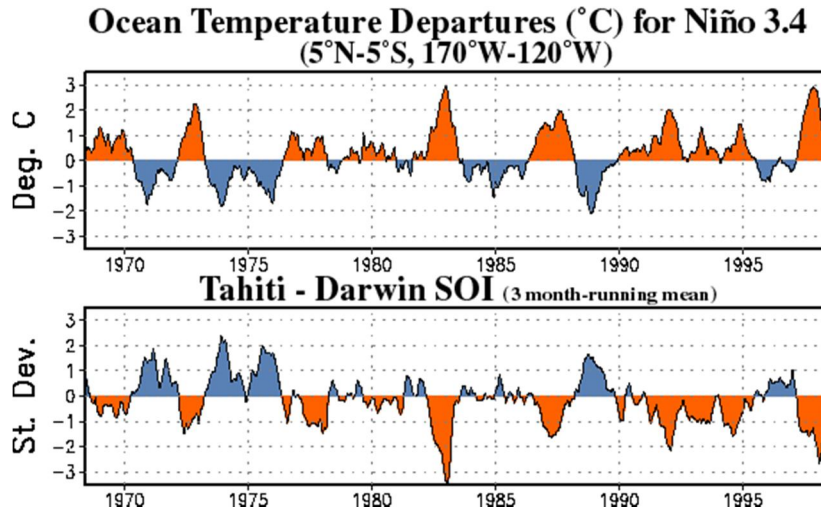
[http://klimat.czn.uj.edu.pl/enid/\\_2\\_\\_Principales\\_sistemas\\_de\\_vientos/\\_-\\_El\\_Ni\\_o\\_\\_\\_SOI\\_3ie.html](http://klimat.czn.uj.edu.pl/enid/_2__Principales_sistemas_de_vientos/_-_El_Ni_o___SOI_3ie.html). Consulta: 14 de mayo de 2016.

#### 2.1.4. Índice de Oscilación del Sur

El índice de la oscilación del sur (IOS) es un valor que se obtiene de la diferencia de los valores superficiales de presión atmosférica entre la isla de Tahití y Darwin (Australia); es uno de los índices atmosféricos que se utiliza para dar seguimiento al ENOS.

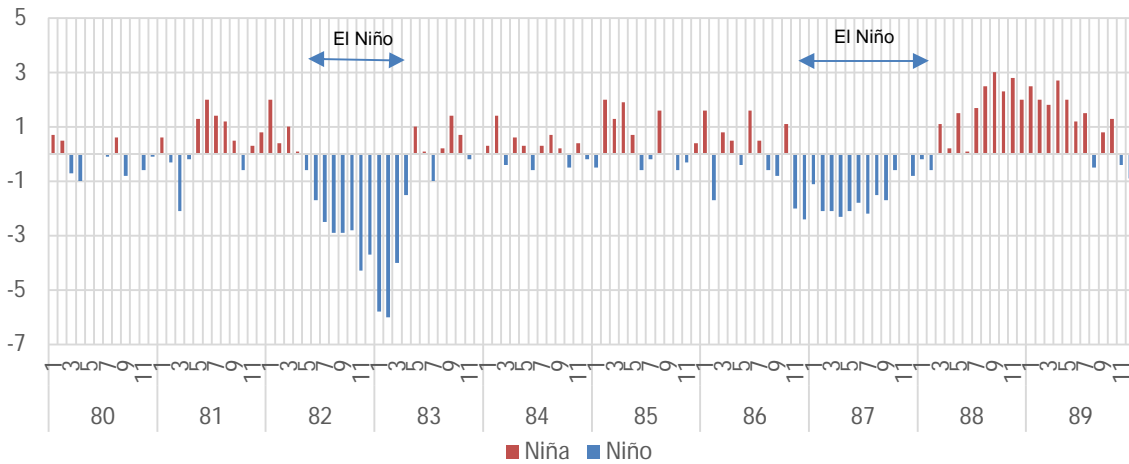
La isla de Tahití se utiliza como punto representativo del comportamiento de la presión atmosférica en la parte oriental-central del océano Pacífico tropical; por su parte, Darwin se utiliza como el punto representativo de la presión atmosférica de la parte occidental del mismo océano. En otras palabras, el IOS es una medida comparativa de cómo cambia la presión atmosférica en dos grandes regiones (occidental y central-oriental) del océano Pacífico tropical, la cual indica que cuando el número es positivo, se tiene un evento de La Niña (o enfriamiento del océano), pero cuando el número es negativo, se tiene un evento El Niño (calentamiento de las aguas).

Figura 6. Valores de SOI para región Niño 3.4



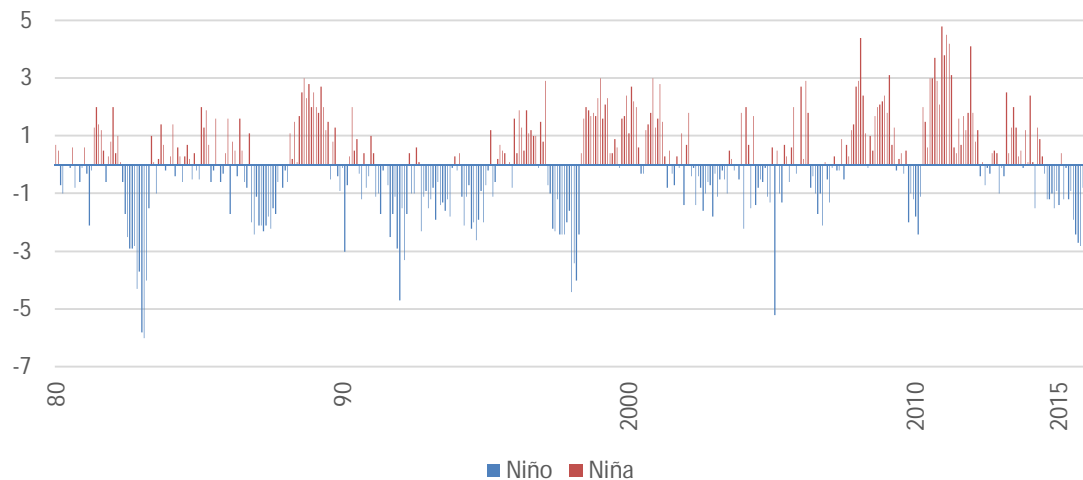
Fuente: NOAA. <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/sst/>. Consulta: 14 de mayo de 2016.

Figura 7. Índice de oscilación del sur desde el año 1980 al año 1989



Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

Figura 8. **Índice de oscilación del sur desde el año 1980 al año 2015**



Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.

### 2.1.5. **Índice oceánico El Niño, ONI**

El índice oceánico de El Niño es de hecho el estándar que la NOAA utiliza para identificar eventos cálidos (El Niño) y fríos (La Niña) en el océano Pacífico tropical. El ONI rastrea las temperaturas promedio de la superficie del mar de 3 meses en el Pacífico tropical del este central entre 120° a 170° W, esta área es conocida como la región El Niño 3.4.

Para calcular el ONI, la NOAA calcula la temperatura media de la superficie del mar en la región de El Niño 3.4 para cada mes, y luego la promedian con los valores de los meses previos y posteriores. Este promedio trimestral se compara con un promedio de 30 años. Luego, la diferencia observada con respecto a la temperatura promedio en esa región, ya sea más cálida o más fría, es el valor de ONI para ese trimestre.

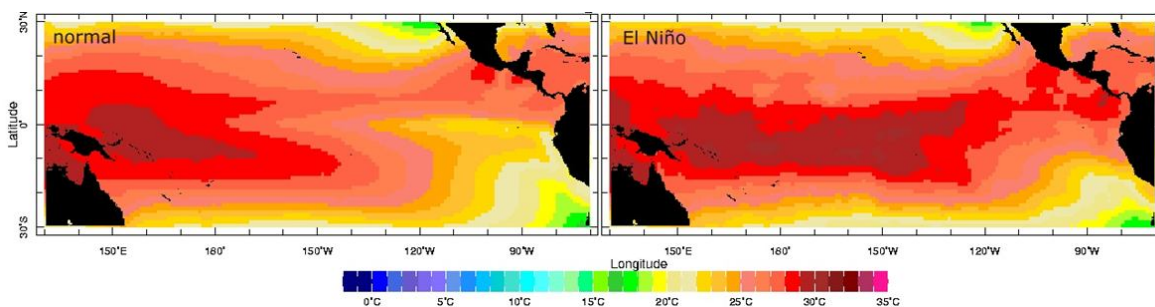
La identificación de episodios cálidos (anomalías positivas o El Niño) o fríos (anomalías negativas o La Niña) se da cuando el valor del ONI supera el umbral de  $+0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para El Niño o es inferior a  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  para La Niña; esto debe ser por lo menos durante cinco períodos consecutivos.

Estos eventos a su vez, pueden categorizarse por su fortaleza así:

- Entre  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$  o entre  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ : evento débil
- Entre  $1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  o entre  $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $-1,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ : evento moderado
- Mayor de  $1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  o menor de  $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ : evento fuerte

Durante un episodio de El Niño la contracorriente ecuatorial se intensifica por lo que el máximo de temperatura superficial del mar que había en la zona occidental del Pacífico gradualmente se desplaza hacia el este y, alrededor de seis meses después, alcanza la costa de América del Sur.

Figura 3. **Desplazamiento de la temperatura superficial del mar**



Fuente: *El fenómeno de la oscilación del sur-El Niño (ENSO)*.

[https://fjferer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion05/1\\_el\\_fenmeno\\_de\\_la\\_oscilacin\\_del\\_surel\\_nio\\_en\\_so.html](https://fjferer.webs.ull.es/Apuntes3/Leccion05/1_el_fenmeno_de_la_oscilacin_del_surel_nio_en_so.html). Consulta: 15 de mayo de 2016.

### **2.1.6. ¿Cómo se detecta el fenómeno El Niño?**

En el océano Pacífico tropical El Niño es detectado mediante diferentes métodos, que van desde satélites y boyas flotantes hasta análisis del nivel del mar, con lo que se obtienen importantes datos sobre las condiciones en la superficie del océano. Por ejemplo, las boyas miden la temperatura, las corrientes y los vientos en la banda ecuatorial.

### **2.1.7. Impactos sobre el ambiente por el fenómeno El Niño**

Los eventos de El Niño habitualmente van acompañados por densas lluvias, un aumento en la cantidad de especies de peces de agua fría en la región de surgencia y por la aparición de miles de pájaros guaneros muertos y a lo largo de la costa generalmente árida del Perú.

De acuerdo a Glantz los eventos muy fuertes muestran extremas cantidades de precipitación, inundaciones y destrucción en Perú y las temperaturas de la superficie costera del mar, por lo general, alcanzan valores de más de 7 °C sobre lo normal durante algunos meses de las estaciones de verano y otoño del Hemisferio Sur.

Los eventos fuertes, además de presentar grandes cantidades de precipitación, inundación costera e informes significativos de destrucción, muestran temperaturas de la superficie del agua de mar costera entre 3 y 5 °C sobre lo normal durante varios meses de las estaciones de verano y otoño del hemisferio sur.

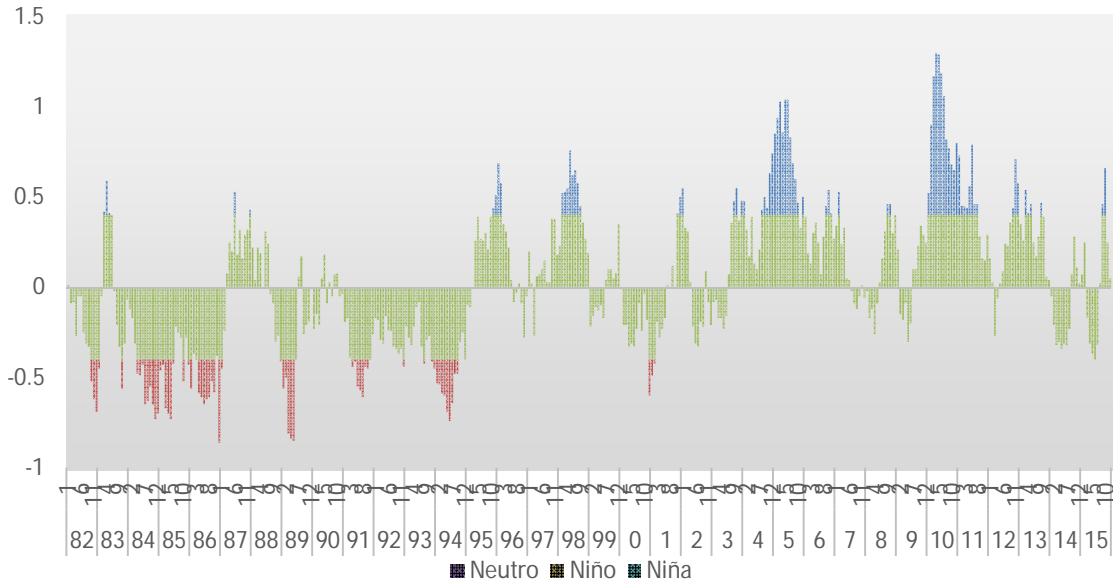
Además, los impactos de El Niño han afectado sobre las sociedades humanas y sus actividades debido a que se presentan fuertes lluvias, inundaciones y deslizamientos de tierras, destruyendo la infraestructura y obstruyendo el transporte.

## **2.2. Temperatura superficial del mar en el Atlántico norte**

Al igual que en el océano Pacífico se registra la temperatura sobre el nivel del mar en el océano Atlántico, el cual ayuda a determinar las anomalías que se presentan y relacionarla con la oscilación del Atlántico norte (NAO), el cual es un índice que se calcula como la diferencia de presión a nivel del mar que se produce entre las bajas presiones de Islandia y las altas presiones de las Azores.

Debido a que la cuenca a evaluar se encuentra en el norte el país, se han tomado en cuenta las temperaturas sobre el nivel del mar en el océano Atlántico, las cuales pueden influir directamente en el comportamiento del caudal y la precipitación de la cuenca.

Figura 9. **Anomalía en la TSM registrada en el Atlántico norte, 1982 – 2015**



Fuente: elaboración propia, utilizando Excel.





### **3. DISEÑO METODOLÓGICO**

#### **3.1. Variables**

Las variables representan las características del objeto evaluado, mediante atributos o categorías representativas, para este estudio se tomaron variables dependientes e independientes con un período de estudio de 33 años.

##### **3.1.1. Dependientes**

Las variables dependientes son los valores de la variable que presentan los objetos evaluados, se pueden determinar a partir de los valores de otras variables.

##### **3.1.1.1. Precipitación**

La precipitación es el agua procedente de la atmósfera y que en forma sólida o líquida se deposita en la superficie de la tierra. Este evento sucede cuando la atmósfera se satura de vapor de agua que después se condensa y las partículas caen por peso y gravedad. La atmósfera se satura de dos formas: la primera es enfriándose, lo cual reduce la cantidad de vapor de agua para saturarse; y la segunda, es por el porcentaje de humedad presente en el ambiente, lo que quiere decir que mientras más humedad exista, mayor son las probabilidades de presentarse la precipitación.

### **3.1.2. Independientes**

Las variables independientes son los valores de la variable que no están determinados por ninguna otra variable.

#### **3.1.2.1. Nivel oceánico**

El agua de los océanos, por su composición física, puede tener diferentes propiedades y para los efectos de esta investigación se estudiará únicamente la propiedad térmica debido a que la temperatura del mar influye directamente en la forma de distribución de las masas de agua en todo el océano.

##### **3.1.2.1.1. Temperatura superficial del mar**

Es el principal aporte calorífico que tiene el agua del mar, está representado por las radiaciones energéticas que le llegan del sol. Para realizar este tipo de mediciones se utilizaban instrumentos instalados en costas, barcos y boyas; pero gracias al avance tecnológico, desde 1980 se empezó a obtener información por medio de las observaciones satelitales. Los océanos emiten radiación en longitudes de onda infrarrojas y microondas; la amplitud de la longitud de onda depende de la temperatura del océano y, por lo tanto, puede ser utilizada para medirla. La radiación infrarroja del océano proviene de la capa superior de diez micrómetros de espesor y la radiación de las microondas proviene de la capa superior de un milímetro.

### **3.1.2.1.2. Índice oceánico El Niño, ONI**

Es el parámetro utilizado para identificar los fenómenos en el Océano Pacífico, la fase cálida que corresponde a El Niño y la fase fría que corresponde a La Niña. Se calcula como la media de tres meses consecutivos de anomalías en la temperatura superficial del mar, específicamente sobre la región 3.4.

Para identificar cualquiera de los dos fenómenos en el océano Pacífico, se utiliza una escala del ONI descrita de la siguiente manera:

- Niña:  $ONI < -0.5$
- Niño:  $ONI > 0.5$

### **3.1.2.1.3. Anomalía temperatura superficial del mar (océano Atlántico)**

La anomalía de la temperatura superficial del mar en el Atlántico ayuda a identificar fenómenos muy parecidos a los presentados en el Pacífico. Según los cálculos de la NOAA, se presentan dos fases:

- Fase negativa: anomalía TSM  $< -0.4$
- Fase positiva: anomalía TSM  $> 0.4$

### **3.1.2.2. Nivel atmosférico**

En la atmósfera se producen los fenómenos meteorológicos y climáticos que afectan a la tierra, presentándose como una variable importante de analizar debido a que determina el comportamiento de las masas de aire.

#### **3.1.2.2.1. Presión atmosférica**

Es la fuerza ejercida por el aire en cualquier punto de la atmósfera. Los valores de presión mayores se presentan en la tropósfera, debido a que el peso del aire de las demás capas se adiciona.

#### **3.1.2.2.2. Índice de Oscilación del Sur, IOS**

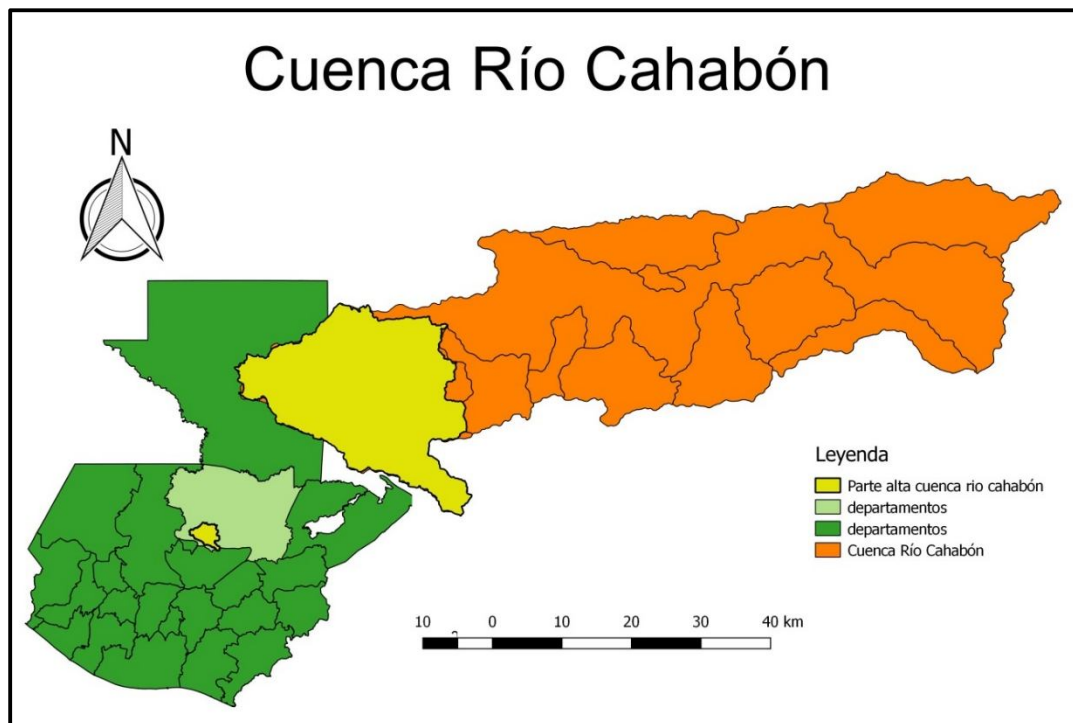
Es un valor que se obtiene de la diferencia de los valores superficiales de presión atmosférica entre la isla de Tahití, Polinesia Francesa y Darwin, Australia. El índice sirve para observar el comportamiento de las presiones atmosféricas y dar seguimiento a El Niño oscilación del sur (EOS).

### **3.2. Delimitación de campo de estudio**

El campo de estudio está enfocado en identificar el impacto que tiene la cuenca al presentarse diferentes estados meteorológicos, en periodos regularmente definidos.

La cuenca del río Cahabón se ubica en el departamento de Alta Verapaz entre las coordenadas geográficas 15°24'24" y 15°26'35" de latitud norte y 90°35'17" y 89°33'47" de longitud oeste. Cuenta con área 2 451,67 km<sup>2</sup>, una cuenca muy importante debido a que desemboca en el río Polochic y finalmente drena hacia la vertiente del Caribe.

Figura 10. **Cuenca río Cahabón**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

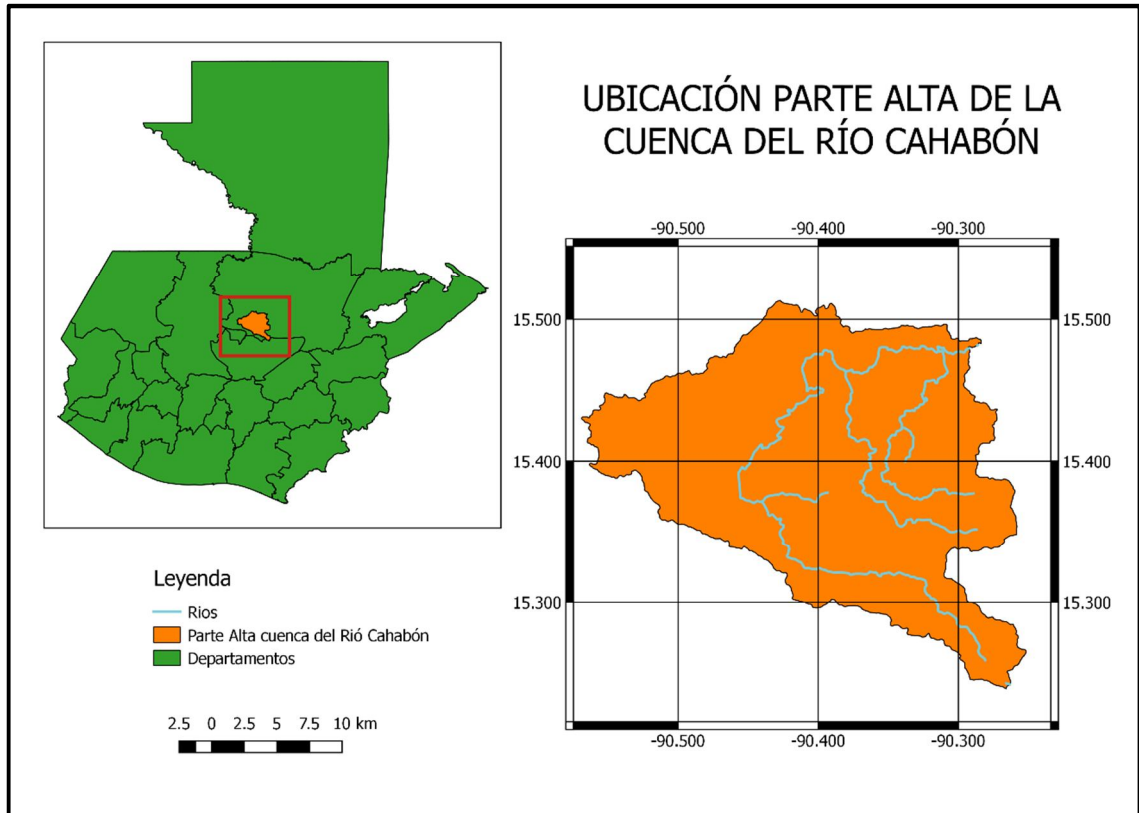
### **3.2.1. Parte alta de la cuenca del río Cahabón**

Para esta investigación se tomará en cuenta únicamente la parte alta de la cuenca del río Cahabón, la cual es muy importante debido a que representa a una de los principales ríos de Guatemala; que atraviesa gran parte del departamento de Alta Verapaz; la oportunidad de establecer diferentes hidroeléctricas por su elevado caudal y es uno de los atractivos turísticos más relevantes del país. Dicho lo anterior, esta investigación contribuirá a que el recurso hídrico sea administrado de manera más sostenible que, incluye para su manejo el medio ambiente, el desarrollo económico y social de la población.

#### **3.2.1.1. Ubicación geográfica**

La parte alta de la cuenca del río Cahabón se ubica en el departamento de Alta Verapaz entre los municipios de Cobán, San Pedro Carchá, San Juan Chamelco, San Cristóbal Verapaz, Santa Cruz y Tactic. Esta división de la cuenca colinda al norte, oeste y parte del sur con la cuenca del río Salinas y al sureste con la cuenca del río Polochic.

Figura 11. **Ubicación de la parte alta de la cuenca del río Cahabón**

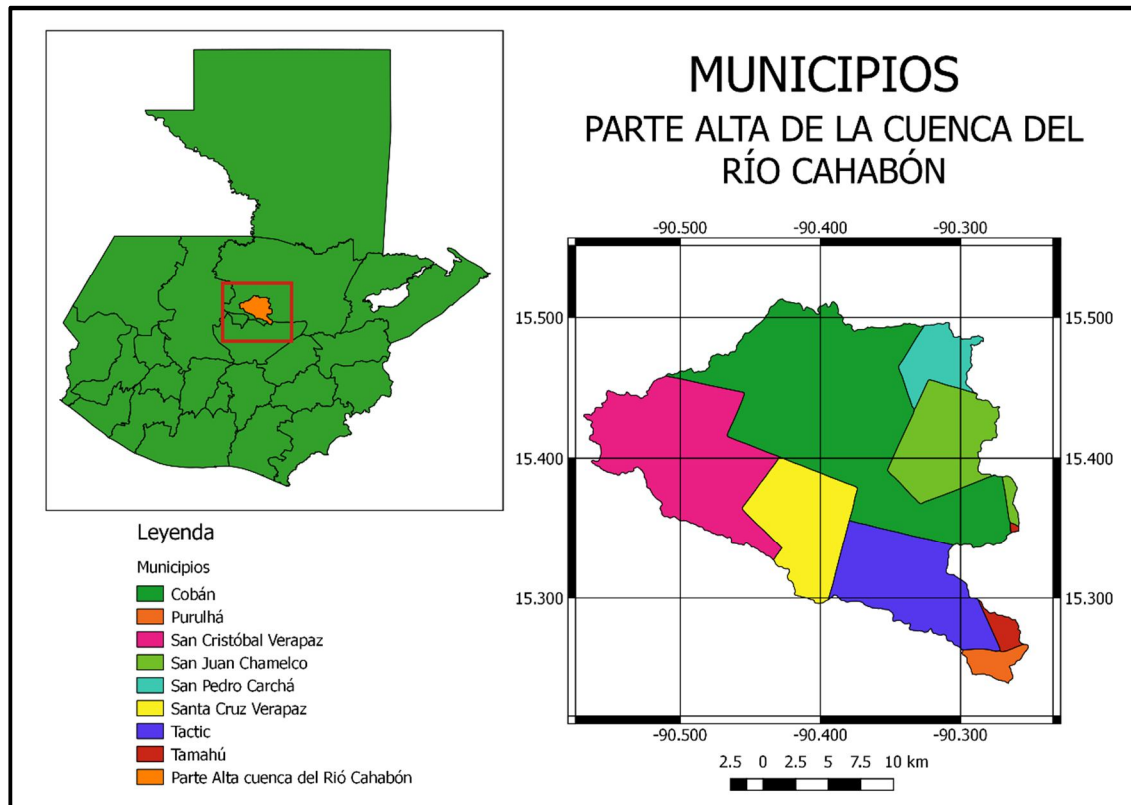


Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Son parte de la cuenca en Alta Verapaz, los municipios de Santa María Cahabón, Chahal, Cobán, Lanquín, Panzós, San Cristóbal Verapaz, San Juan Chamelco, San Pedro Carchá, Santa Cruz Verapaz, Senahú, Tactic y Tamahú; en Baja Verapaz, el municipio de Purulhá y en Izabal, el municipio de El Estor.

Por otra parte, el área de estudio es la parte alta de la cuenca del río Cahabón, la cual cuenta con una extensión de 546,55 km<sup>2</sup> y forma parte de los municipios de Cobán, San Pedro Carchá, San Juan Chamelco, San Cristóbal Verapaz, Santa Cruz y Tactic.

Figura 12. **Municipios, parte alta, cuenca río Cahabón**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

### 3.2.1.2. Características morfométricas

Según Gaspari, el análisis morfométrico es el estudio de un conjunto de variables lineales, de superficie, de relieve y drenaje; que permite conocer las características físicas de una cuenca, lo cual permite, así como ayuda a la interpretación de la funcionalidad hidrológica y en la definición de las estrategias para la formulación de su manejo.



#### **3.2.1.2.1. Perímetro de la cuenca**

De acuerdo a Lux Cardona el perímetro de la cuenca es la longitud sobre un plano horizontal, que recorre la divisoria de aguas. Éste parámetro se mide en unidades de longitud y se expresa normalmente en metros o kilómetros. La parte alta de la cuenca del río Cahabón tiene un perímetro de 136,59 kilómetros.

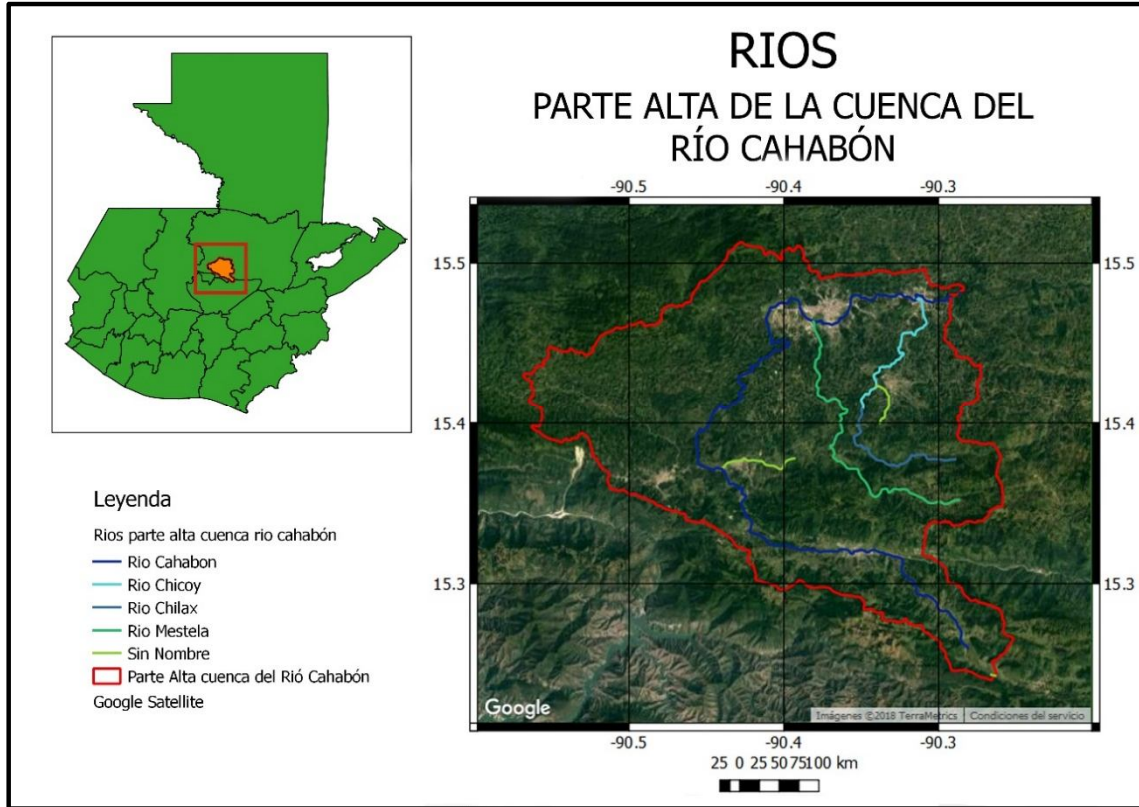
#### **3.2.1.2.2. Área de la cuenca**

Según Lux Cardona el área de la cuenca está definida como la proyección horizontal de toda la superficie de drenaje de un sistema de escorrentía dirigido directa o indirectamente a un mismo cauce natural. Corresponde a la superficie delimitada por la divisoria de aguas de la zona de estudio; este parámetro se expresa normalmente en km<sup>2</sup>. Este valor es de suma importancia porque un error en su medición incide directamente en los resultados, por lo que se hace necesario realizar mediciones contrastadas para tener total confianza en este valor. Para la parte alta de la cuenca del río Cahabón el área total es de 546,55 km<sup>2</sup>.

#### **3.2.1.2.3. Longitud del cauce principal**

Se define como la distancia horizontal desde la desembocadura de la cuenca (punto de desfogue) hasta otro punto aguas arriba donde la tendencia general del río principal corte la línea de contorno de la cuenca. La longitud del cauce principal en esta investigación es de 65,29 km.

Figura 13. Ríos que forman la parte alta de la cuenca del río Cahabón



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

Tabla I. Longitud de los ríos de la parte alta del río Cahabón

Río	Longitud (km)
Cahabón	65,29
Chicoy	12,19
Chilax	11,42
Mestela	24,09
Sin nombre	9,31

Fuente: elaboración propia.

### **3.2.1.3. Estaciones hidrométricas**

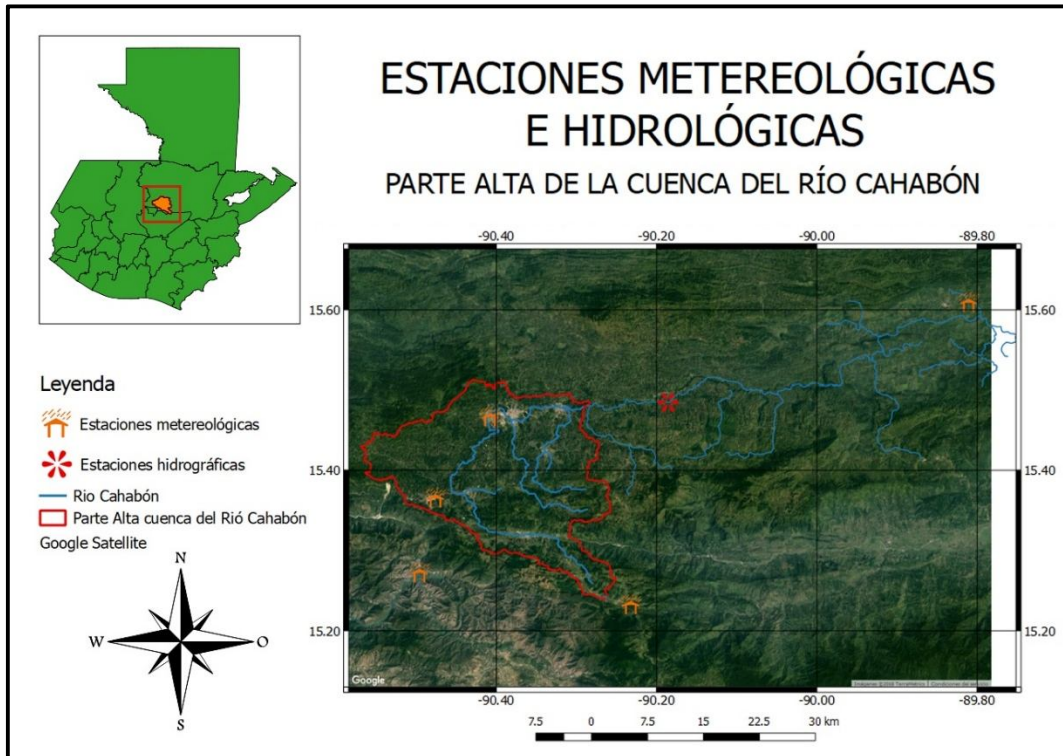
Las estaciones hidrométricas son lugares establecidos en diferentes puntos del cauce de los ríos para obtener información sobre flujos de corriente y volumen durante las diferentes épocas del año; ayudan a determinar la intensidad durante algún evento importante de precipitación o un periodo prolongado de sequía que pueda presentarse.

### **3.2.1.4. Estaciones meteorológicas**

Una estación meteorológica es el lugar destinado para realizar mediciones y observaciones puntuales de los diferentes parámetros meteorológicos que utilizan los instrumentos adecuados para establecer el comportamiento atmosférico.

Para la parte alta de la cuenca del río Cahabón se han tomado en cuenta cinco estaciones meteorológicas del Inde e Insivumeh en funcionamiento por parte del Inde, con la cual se pueden comparar los datos.

Figura 14. Estaciones meteorológicas e hidrológicas en la parte alta de la cuenca del río Cahabón



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

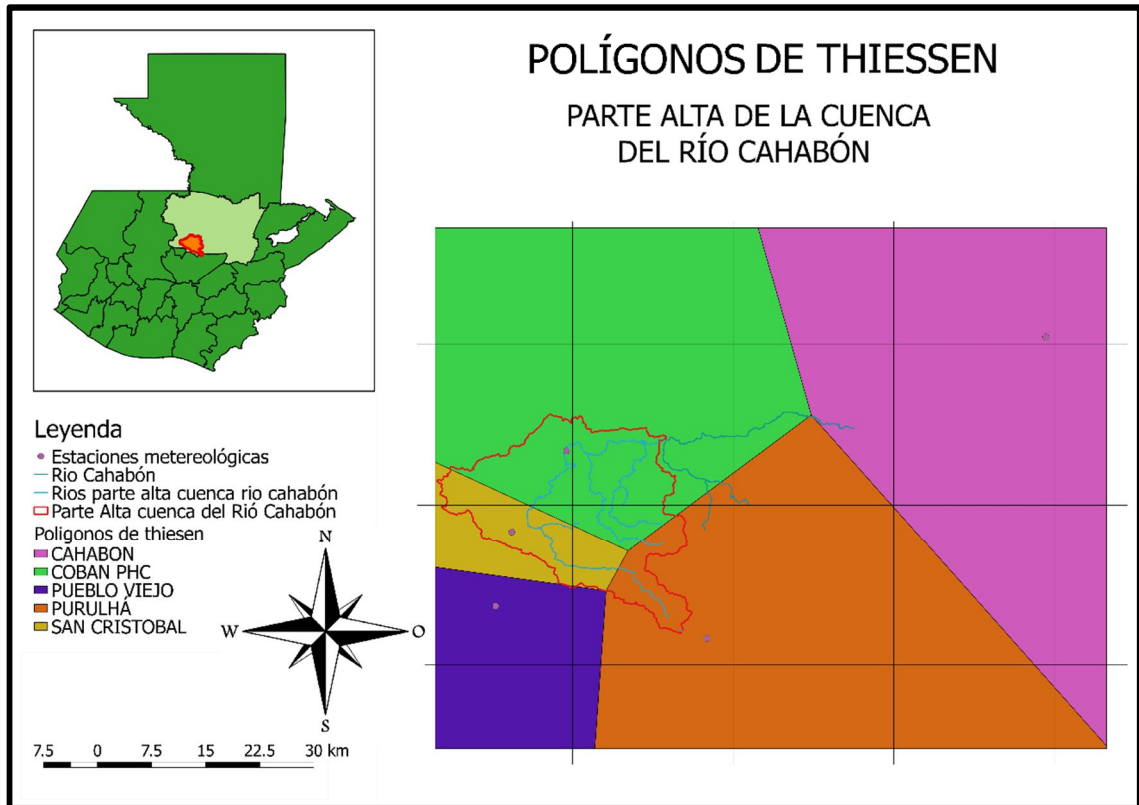
Tabla II. Estaciones meteorológicas evaluadas

No.	Nombre de la estación	Elevación (msnm)	Latitud	Longitud	Área de influencia (km <sup>2</sup> )
1	Cahabón	380	15°36'30"	89°48'38"	---
2	Cobán	1 323	15°28'00"	90°24'27"	318,153
3	Pueblo Viejo	815	15°16'20"	90°29'45"	---
4	San Cristóbal	1 378	15°21'55"	90°28'33"	167,493
5	Purulhá	700	15°14'02"	90°14'00"	83,695

Fuente: elaboración propia, Microsoft Word.

El área de influencia de cada estación se obtuvo mediante la técnica de los polígonos de Thiessen, como lo muestra la figura 15.

Figura 15. **Polígonos de Thiessen**



Fuente: elaboración propia, empleando QGIS.

### 3.3. Recursos humanos disponibles

- Investigadora: Br. Alejandra Betzabé Pineda Vásquez
- Asesor: Ing. Civil Claudio Cesar Castañón Contreras

### **3.4. Recursos materiales disponibles**

La información de precipitación se ha tomado de los registros del Inde e Insivumeh y la temperatura sobre el nivel del mar es proporcionada por datos que ha tomado por National Oceanic an Atmospheric Administration (NOAA) desde 1982.

### **3.5. Técnica cualitativa o cuantitativa**

Se realizará una técnica cuantitativa con referencia al cálculo del caudal medio mensual, la precipitación y finalmente el modelo matemático de la predicción en el cambio de caudal y precipitación para otro evento de El Niño.

### **3.6. Recolección y ordenamiento de la información**

- Selección del sitio: se debe elegir una cuenca representativa respecto al caudal que este aporta, para poder delimitar cuando esta es impactada por el fenómeno El Niño.
- Determinación de las principales características morfométricas y fisiográficas: con la cuenca identificada se determina el área, el perímetro, la fisiografía, el tipo de suelo y el caudal promedio de la cuenca.
- Agrupación: la información obtenida se agrupará de acuerdo a la precipitación y el caudal de la siguiente manera:
  - Año registrado
  - Meses con la información respectiva del año registrado

- Selección de datos: se determinarán qué estaciones meteorológicas tienen influencia sobre la cuenca.
- Identificación: con la información obtenida se obtendrá la precipitación mensual.
- Especificaciones: se deben estimar los datos faltantes.

### 3.7. Tabulación, ordenamiento y procesamiento de la información

Tabla III. **Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Cahabón del año 1980 al año 2015**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>1980</b>	104	107	17	48	20	567	398	234	229	494	327	120
<b>1981</b>	65	170	164	107	163	496	285	389	219	285	164	162
<b>1982</b>	107	132	50	22	142	308	616	409	313	286	68	289
<b>1983</b>	83	30	29	91	57	170	492	278	416	273	97	253
<b>1984</b>	111	122	62	6	190	233	520	368	511	245	83	230
<b>1985</b>	86	172	170	167	90	221	263	181	243	226	75	117
<b>1986</b>	96	39	26	25	38	125	166	132	128	108	64	71
<b>1987</b>	96	97	65	62	95	213	568	364	243	131	166	122
<b>1988</b>	219	121	55	70	86	401	284	507	354	273	205	142
<b>1989</b>	113	92	61	59	110	207	317	253	326	180	269	135
<b>1990</b>	218	91	210	62	72	230	210	390	346	178	262	298
<b>1991</b>	156	45	102	44	106	195	351	265	500	365	134	296
<b>1992</b>	38	31	73	70	166	382	410	212	290	227	221	105
<b>1993</b>	206	7	68	83	189	332	324	408	294	262	202	49
<b>1994</b>	90	43	35	124	81	203	214	142	383	133	139	103
<b>1995</b>	65	72	43	187	48	359	408	412	249	258	121	162
<b>1996</b>	83	62	90	64	248	177	448	200	165	393	323	84
<b>1997</b>	111	124	148	119	128	287	561	407	199	266	297	140
<b>1998</b>	53	28	33	31	52	377	163	131	123	110	91	56
<b>1999</b>	38	78	37	134	21	295	222	148	488	248	47	91

Continuación de la tabla III.

<b>2000</b>	85	107	101	52	317	298	248	413	208	378	112	213
<b>2001</b>	93	258	69	56	153	148	193	256	170	343	101	97
<b>2002</b>	62	57	68	32	407	327	390	214	312	292	191	115
<b>2003</b>	163	118	138	18	116	183	487	323	231	216	337	119
<b>2004</b>	146	87	63	168	200	301	291	164	161	130	120	126
<b>2005</b>	81	87	50	140	141	457	252	337	240	255	291	128
<b>2006</b>	209	101	175	120	106	587	400	218	222	343	217	243
<b>2007</b>	195	52	140	81	149	227	236	420	334	232	208	40
<b>2008</b>	90	23	133	49	183	200	598	190	340	385	48	131
<b>2009</b>	73	70	101	23	106	184	270	294	186	88	195	112
<b>2010</b>	38	28	37	45	233	158	389	411	211	181	126	107
<b>2011</b>	436	62	207	54	160	743	569	660	670	62	128	111
<b>2012</b>	97	148	92	31	235	184	368	238	115	309	93	79
<b>2013</b>	104	42	18	108	193	365	295	263	261	207	305	214
<b>2014</b>	59	113	325	58	254	290	563	323	326	356	467	134
<b>2015</b>	150	200	290	60	91	512	416	223	425	203	503	25

Fuente: elaboración propia.

Tabla IV. **Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Cobán del año 1980 al año 2015**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>1980</b>	67	156	73	94	232	396	180	189	292	441	143	89
<b>1981</b>	21	188	146	185	140	376	148	264	162	265	87	106
<b>1982</b>	198	55	74	131	332	242	214	212	278	160	99	132
<b>1983</b>	92	49	28	163	87	270	380	217	337	258	122	194
<b>1984</b>	94	119	81	50	266	226	407	376	400	219	144	109
<b>1985</b>	86	139	70	118	154	317	285	191	167	178	108	151
<b>1986</b>	159	67	184	67	193	294	259	214	268	163	80	103
<b>1987</b>	50	45	78	61	15	317	285	169	179	186	154	92
<b>1988</b>	127	119	154	72	48	340	198	436	354	286	161	136
<b>1989</b>	84	124	117	162	125	188	146	235	356	237	171	189
<b>1990</b>	129	121	152	134	128	276	160	232	228	229	335	196



Continuación de la tabla IV.

<b>1991</b>	107	57	31	72	188	304	195	117	350	224	107	308
<b>1992</b>	74	21	73	155	228	355	233	214	183	125	363	192
<b>1993</b>	93	40	51	131	231	354	166	269	181	294	106	92
<b>1994</b>	256	72	160	60	200	116	176	184	265	79	66	77
<b>1995</b>	74	140	82	383	93	391	249	395	416	83	120	148
<b>1996</b>	120	191	77	128	172	223	315	211	170	388	480	159
<b>1997</b>	173	125	46	67	59	358	229	204	373	211	259	79
<b>1998</b>	70	93	13	73	151	245	230	120	262	530	218	77
<b>1999</b>	174	202	112	133	59	309	214	230	445..8	223	413	96
<b>2000</b>	102	48	124	87	416	235	174	241	326	468	120	159
<b>2001</b>	58	95	218	35	221	189	150	261	347	378	189	117
<b>2002</b>	45	146	173	133	265	285	275	267	334	212	236	138
<b>2003</b>	129	115	383	62	132	237	255	255	176	191	414	143
<b>2004</b>	87	71	64	91	147	246	152	119	224	148	302	88
<b>2005</b>	64	29	109	245	93	246	152	391	310	153	212	87
<b>2006</b>	305	142	127	89	158	423	239	125	241	239	207	155
<b>2007</b>	92	50	166	36	90	393	237	549	310	491	200	42
<b>2008</b>	148	101	132	81	201	214	561	297	381	578	102	47
<b>2009</b>	69	103	58	90	213	129	211	179	165	122	170	82
<b>2010</b>	103	63	33	124	388	273	354	396	461	174	157	155
<b>2011</b>	117	50	102	166	151	233	198	339	333	463	146	86
<b>2012</b>	154	70	85	176	177	187	139	174	114	265	81	75
<b>2013</b>	145	71	102	133	204	124	152	203	165	316	228	145
<b>2014</b>	72	114	237	202	318	263	173	209	285	485	373	105
<b>2015</b>	105	94	116	63	111	138	178	370	186	223	346	218

Fuente: elaboración propia.

Tabla V. **Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Pueblo Viejo del año 1980 al año 2015**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>1980</b>	7	7	12	32	77	139	102	105	133	74	39	12
<b>1981</b>	21	3	1	1	52	92	69	161	104	80	9	12
<b>1982</b>	14	11	20	83	105	220	211	101	233	63	0	1

Continuación de la tabla V.

<b>1983</b>	11	8	29	48	16	153	196	112	129	53	31	14
<b>1984</b>	3	29	8	48	155	258	169	169	162	101	28	13
<b>1985</b>	9	16	9	12	23	179	114	105	189	67	31	17
<b>1986</b>	6	29	14	25	169	119	131	145	180	122	20	5
<b>1987</b>	9	12	23	69	16	293	225	130	138	15	15	7
<b>1988</b>	7	13	2	29	47	267	130	230	239	131	19	23
<b>1989</b>	12	12	12	66	154	214	92	271	289	101	16	4
<b>1990</b>	13	5	7	25	96	122	115	187	142	70	81	27
<b>1991</b>	2	3	14	32	152	97	88	54	161	85	10	77
<b>1992</b>	7	0	2	43	72	187	96	81	97	107	132	50
<b>1993</b>	9	1	16	24	19	270	98	152	145	87	20	16
<b>1994</b>	5	15	9	134	65	117	49	125	80	48	19	8
<b>1995</b>	1	8	1	54	75	335	210	365	230	164	12	20
<b>1996</b>	16	2	32	25	161	146	213	87	133	105	241	3
<b>1997</b>	3	0	22	36	70	214	114	99	180	56	52	14
<b>1998</b>	21	10	33	14	32	157	209	64	195	284	97	11
<b>1999</b>	15	9	7	11	56	221	148	160	330	92	111	14
<b>2000</b>	5	15	37	3	285	201	75	164	279	150	30	10
<b>2001</b>	2	10	33	1	195	74	137	123	309	184	24	16
<b>2002</b>	14	9	32	4	185	254	125	117	244	86	21	26
<b>2003</b>	7	7	4	68	103	154	168	68	139	17	102	0
<b>2004</b>	2	1	40	46	84	208	114	64	91	100	88	7
<b>2005</b>	74	19	32	18	52	235	140	378	177	61	43	4
<b>2006</b>	13	2	12	6	167	223	157	89	70	87	53	20
<b>2007</b>	14	12	24	20	59	207	58	332	204	189	68	1
<b>2008</b>	1	4	2	18	186	129	329	218	146	196	8	3
<b>2009</b>	11	2	1	100	201	163	93	79	131	40	48	34
<b>2010</b>	10	7	16	137	333	87	421	339	307	27	34	3
<b>2011</b>	16	8	10	50	60	204	242	181	556	185	11	10
<b>2012</b>	7	10	23	59	73	148	60	208	140	93	4	17
<b>2013</b>	3	4	12	65	77	193	133	106	186	176	74	15
<b>2014</b>	16	6	2	74	224	174	82	133	240	173	101	11
<b>2015</b>	2	9	2	34	9	232	70	8	111	80	121	26

Fuente: elaboración propia.

Tabla VI. **Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica San Cristóbal del año 1980 al año 2015**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
1980	20	113	25	23	50	285	357	192	301	232	65	40
1981	95	15	19	62	166	328	341	377	210	188	49	58
1982	37	56	11	134	121	348	269	194	353	121	35	33
1983	53	34	83	41	89	189	304	254	195	154	75	75
1984	32	85	30	85	194	361	360	374	369	201	115	67
1985	51	40	47	25	45	259	302	243	236	134	41	87
1986	27	15	25	32	217	336	196	216	266	155	89	48
1987	44	47	47	76	21	350	423	250	190	77	42	36
1988	44	36	45	78	119	247	231	225	266	249	100	55
1989	50	49	46	53	116	241	226	285	423	161	137	48
1990	47	25	40	67	104	285	198	218	290	177	203	61
1991	24	12	29	88	85	225	178	79	229	184	39	139
1992	44	16	17	102	130	302	281	181	374	144	249	125
1993	85	29	88	69	99	423	163	317	241	177	50	54
1994	35	44	34	187	84	186	88	197	158	97	45	32
1995	35	36	36	66	63	413	279	400	374	264	57	70
1996	52	50	37	40	187	331	294	176	231	237	190	39
1997	38	1	42	103	98	310	240	185	468	129	166	57
1998	58	72	56	88	79	344	307	185	301	462	179	43
1999	55	26	2	20	74	308	244	309	367	211	220	41
2000	26	64	98	50	372	304	148	338	284	275	71	61
2001	16	34	53	5	165	157	335	196	283	232	62	72
2002	49	39	125	15	105	133	235	284	292	158	83	78
2003	49	27	35	100	102	239	262	231	294	90	302	37
2004	34	23	115	118	197	340	201	137	195	100	166	52
2005	154	52	79	32	67	369	219	489	282	66	96	32
2006	51	21	42	31	161	334	265	196	231	191	109	57
2007	51	36	65	81	54	178	285	464	384	240	103	15
2008	19	35	28	45	236	232	390	311	297	325	33	28
2009	52	12	12	146	240	179	258	181	179	60	83	54
2010	39	15	51	145	389	234	318	366	391	64	48	50
2011	71	36	45	119	146	238	439	282	381	189	70	55
2012	70	37	24	58	146	253	186	177	188	195	39	37
2013	22	26	53	158	110	406	209	198	361	316	68	72

Continuación de la tabla VI.

<b>2014</b>	83	34	40	60	357	324	234	146	458	343	212	80
<b>2015</b>	37	55	17	50	51	116	139	64	229	164	200	105

Fuente: elaboración propia.

Tabla VII. **Precipitación mensual en milímetros de la estación meteorológica Purulhá del año 1980 al año 2015**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>1980</b>	11	0	16	161	206	329	252	220	227	149	65	104
<b>1981</b>	136	46	61	28	134	428	521	406	479	326	49	120
<b>1982</b>	30	36	37	65	319	392	412	421	405	113	42	34
<b>1983</b>	37	76	40	48	36	545	592	273	205	190	74	94
<b>1984</b>	36	103	87	44	159	541	538	362	260	320	31	124
<b>1985</b>	42	14	19	37	148	386	325	318	382	223	80	83
<b>1986</b>	22	9	22	80	284	548	458	337	518	209	119	58
<b>1987</b>	87	93	54	62	80	583	615	403	315	71	44	52
<b>1988</b>	130	71	20	83	77	301	535	723	380	290	74	47
<b>1989</b>	131	49	117	140	197	375	397	398	553	309	133	22
<b>1990</b>	72	77	46	54	302	318	326	416	329	149	212	119
<b>1991</b>	16	22	73	143	254	307	307	206	389	212	93	206
<b>1992</b>	60	9	44	80	127	416	399	370	325	143	138	171
<b>1993</b>	72	43	41	35	53	546	328	621	290	256	78	66
<b>1994</b>	51	33	14	206	100	180	288	224	314	249	174	62
<b>1995</b>	27	25	78	195	112	390	224	510	434	175	86	114
<b>1996</b>	97	90	25	23	302	360	545	388	361	0	248	98
<b>1997</b>	56	3	52	26	221	353	468	448	297	106	230	50
<b>1998</b>	38	34	56	86	59	417	469	259	238	529	120	65
<b>1999</b>	50	43	1	7	111	325	410	491	389	166	152	61
<b>2000</b>	51	88	49	48	470	406	249	289	198	298	111	59
<b>2001</b>	59	65	33	16	234	162	317	260	403	208	63	76
<b>2002</b>	58	41	34	34	148	313	432	268	279	221	65	77
<b>2003</b>	74	22	122	57	167	277	638	273	275	196	161	48
<b>2004</b>	77	19	104	70	252	534	372	292	194	383	79	39
<b>2005</b>	157	28	114	113	112	339	328	339	451	81	101	37

Continuación de la tabla VII.

<b>2006</b>	76	24	105	25	225	428	412	363	373	312	83	57
<b>2007</b>	71	58	85	51	45	290	444	534	416	199	125	29
<b>2008</b>	23	86	28	96	162	350	485	355	305	301	11	99
<b>2009</b>	67	25	28	131	234	284	415	291	289	101	86	76
<b>2010</b>	89	96	91	116	307	275	435	677	407	45	69	38
<b>2011</b>	81	96	49	85	242	294	543	422	452	345	85	34
<b>2012</b>	75	47	31	41	282	150	334	369	440	242	69	41
<b>2013</b>	42	83	56	66	139	484	311	354	240	447	147	114
<b>2014</b>	53	54	71	221	520	318	243	434	367	239	141	78
<b>2015</b>	32	77	69	27	346	370	515	209	280	138	297	84

Fuente: elaboración propia.

Tabla VIII. **Caudal mensual en metros cúbicos por segundo de la estación meteorológica Chajcar del año 1980 al año 2015**

<b>AÑO</b>	<b>ENE</b>	<b>FEB</b>	<b>MAR</b>	<b>ABR</b>	<b>MAY</b>	<b>JUN</b>	<b>JUL</b>	<b>AGO</b>	<b>SEP</b>	<b>OCT</b>	<b>NOV</b>	<b>DIC</b>
<b>1980</b>	20	13	12	11	8	41	32	31	44	63	38	37
<b>1981</b>	15	22	11	9	9	52	40	49	36	40	33	22
<b>1982</b>	20	13	12	8	15	27	43	31	49	41	29	15
<b>1983</b>	18	9	8	9	7	19	52	31	39	53	25	20
<b>1984</b>	34	17	12	8	9	37	45	57	74	42	33	21
<b>1985</b>	20	17	12	14	7	19	19	23	30	37	23	21
<b>1986</b>	19	11	9	7	10	32	51	30	57	35	36	16
<b>1987</b>	10	9	8	6	6	16	40	53	38	29	27	19
<b>1988</b>	37	21	20	9	7	28	30	74	71	73	26	32
<b>1989</b>	17	21	11	10	9	15	19	27	48	53	36	30
<b>1990</b>	18	15	22	12	9	19	30	34	39	35	67	52
<b>1991</b>	21	11	7	9	7	16	21	13	31	45	23	55
<b>1992</b>	17	10	9	9	11	42	47	33	26	36	50	38
<b>1993</b>	26	13	9	9	11	46	32	56	39	51	36	24
<b>1994</b>	27	13	10	11	8	12	14	14	31	22	17	12
<b>1995</b>	9	11	7	9	6	23	34	60	58	52	23	24
<b>1996</b>	16	15	10	10	26	31	46	43	24	50	94	31
<b>1997</b>	16	23	12	8	7	24	52	36	47	42	34	33

Continuación de la tabla VIII.

<b>1998</b>	17	10	7	7	6	15	31	20	28	62	72	27
<b>1999</b>	25	23	14	12	11	26	36	28	69	47	87	25
<b>2000</b>	18	16	9	7	24	44	29	39	42	77	23	33
<b>2001</b>	24	20	17	10	11	17	19	30	42	53	38	24
<b>2002</b>	16	18	17	9	13	30	34	28	40	35	25	33
<b>2003</b>	33	20	17	23	10	19	33	24	28	37	45	32
<b>2004</b>	19	4	2	2	5	14	7	2	4	7	9	1
<b>2005</b>	2	0	0	4	1	11	5	13	15	6	7	1
<b>2006</b>	9	4	2	3	1	26	15	4	2	7	10	7
<b>2007</b>	2	0	2	2	0	1	2	31	9	21	11	1
<b>2008</b>	0	0	2	2	3	3	44	4	10	54	2	0
<b>2009</b>	5	1	1	0	1	1	2	2	2	1	2	0
<b>2010</b>	1	0	0	1	11	9	17	35	31	12	2	1
<b>2011</b>	0	0	0	1	0	2	9	14	27	50	1	0
<b>2012</b>	5	1	1	3	0	2	2	2	1	4	1	1
<b>2013</b>	2	1	0	1	1	7	4	2	21	14	9	11
<b>2014</b>	1	1	4	2	15	6	9	1	9	16	42	9
<b>2015</b>	2	1	0	0	0	1	3	1	1	10	36	10

Fuente: elaboración propia.

### 3.8. Análisis estadísticos

El análisis estadístico es elemental en la evaluación de los recursos hídricos ya que a través de ellos se puede conocer la influencia que tienen los fenómenos sobre los mismos.

### 3.8.1. Tablas de contingencia

Las tablas de contingencia son utilizadas normalmente para comparar las características cualitativas de dos o más variables, es decir, analizar si existe una relación entre las variables que conforman las filas y las variables que conforman las columnas observándose una frecuencia en las casillas que la componen.

Para esta investigación las tablas de contingencia a utilizar serán elaboradas de la siguiente forma:

Tabla IX. **Tablas de contingencia utilizadas**

Mes		Niña	Neutro	Niño
	Seco			
	Normal			
	Lluvioso			

Fuente: elaboración propia.

En la que la clasificación de la columna se hará con base en la relación de la precipitación registrada en los meses evaluados durante el período establecido (33 años), con el cálculo del percentil 0,33 de esos mismos datos. Quedando de la siguiente manera:

- Mes seco: precipitación < percentil 0,33
- Mes normal: percentil 0,33 < precipitación < 0,66
- Mes lluvioso: percentil 0,66 > precipitación.

Con los percentiles también se obtendrán las gráficas que ayudan a determinar los meses secos, lluviosos o normales.

La clasificación de las filas se hará con base en el ONI y la anomalía de la temperatura superficial del mar, que se registra en los meses indicados durante los 34 años evaluados; queda de la siguiente manera:

- Niña: ONI < -0,5                      Fase negativa: anomalía TSM<-0,4
- Neutro: -0,5< ONI < 0,5              Fase neutro: -0,4<anomalía TSM<0,4
- Niño: ONI >0,5                        Fase positiva: anomalía TSM>0,4

### **3.9. Correlaciones**

Una correlación es el grado de intensidad de la asociación que poseen dos o más variables aleatorias; explica solamente la variación de una en función de la otra u otras variables.

#### **3.9.1. Correlación simple**

La correlación simple es el análisis estadístico para medir e indicar la variación de conjunta de dos variables o el grado de relación de las mismas; es una variable dependiente y la otra independiente.

Para determinar el valor de dicha relación se hace a través del coeficiente de correlación lineal de Pearson, que se determina a través de la siguiente fórmula:

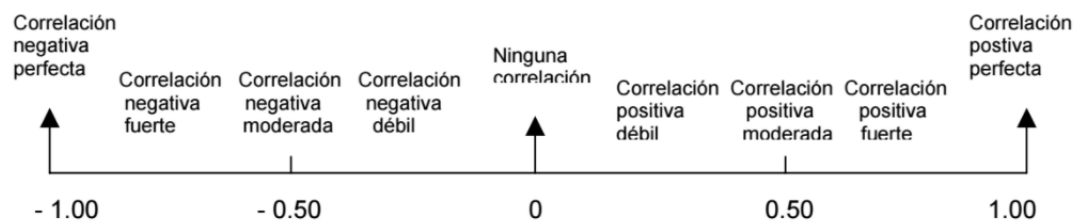
$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y}$$

- Donde r: coeficiente de correlación lineal de Pearson



El valor del coeficiente puede estar comprendido entre -1 y 1; es positivo el valor cuando la correlación es directa y negativo cuando la correlación es inversa. Cuando no existe correlación el valor es 0.

Figura 16. **Análisis del coeficiente de correlación**



Fuente: VILLA, Alicia; SEDANO, Máximo; LÓPEZ, Ana. *Correlación lineal y análisis de regresión*. p 4. <http://www.uoc.edu/in3/emath/docs/RegresionLineal.pdf>. Consulta: 20 de junio de 2016.

### 3.9.2. Correlación múltiple

La correlación múltiple es el análisis que se utiliza para conocer la relación que existe entre dos o más variables independientes para conocer la variación de una sola variable dependiente; se determina su comportamiento con la siguiente expresión:

$$y = a + b_1X_1 + b_2X_2$$

Donde:

- $Y$  = variable dependiente
- $X_n$  = variables independientes

- $a, b_1, b_2, \dots, b_n =$  coeficientes de correlación muestral

$$b_1 = \frac{[\sum x_2^2 - n(\bar{x}_2)^2][\sum X_1 Y - n(\bar{X}_1)(\bar{Y})] - [\sum X_1 X_2 - n(\bar{X}_1)(\bar{X}_2)][\sum X_2 Y - n(\bar{X}_2)(\bar{Y})]}{[\sum x_1^2 - n(\bar{x}_1)^2][\sum x_2^2 - n(\bar{x}_2)^2] - [\sum X_1 X_2 - n(\bar{X}_1)(\bar{X}_2)]^2}$$

$$b_2 = \frac{[\sum x_1^2 - n(\bar{x}_1)^2][\sum X_2 Y - n(\bar{X}_2)(\bar{Y})] - [\sum X_1 X_2 - n(\bar{X}_1)(\bar{X}_2)][\sum X_1 Y - n(\bar{X}_1)(\bar{Y})]}{[\sum x_1^2 - n(\bar{x}_1)^2][\sum x_2^2 - n(\bar{x}_2)^2] - [\sum X_1 X_2 - n(\bar{X}_1)(\bar{X}_2)]^2}$$

$$a = \bar{Y} - b_1 \bar{X}_1 - b_2 \bar{X}_2$$

Para determinar el grado de correlación se calcula un coeficiente de relación múltiple en el que se establece la relación que existe entre la variable dependiente y una independiente; mientras las demás las variables independientes son tomadas como constantes. La forma de determinar el coeficiente se hace a través de la siguiente fórmula:

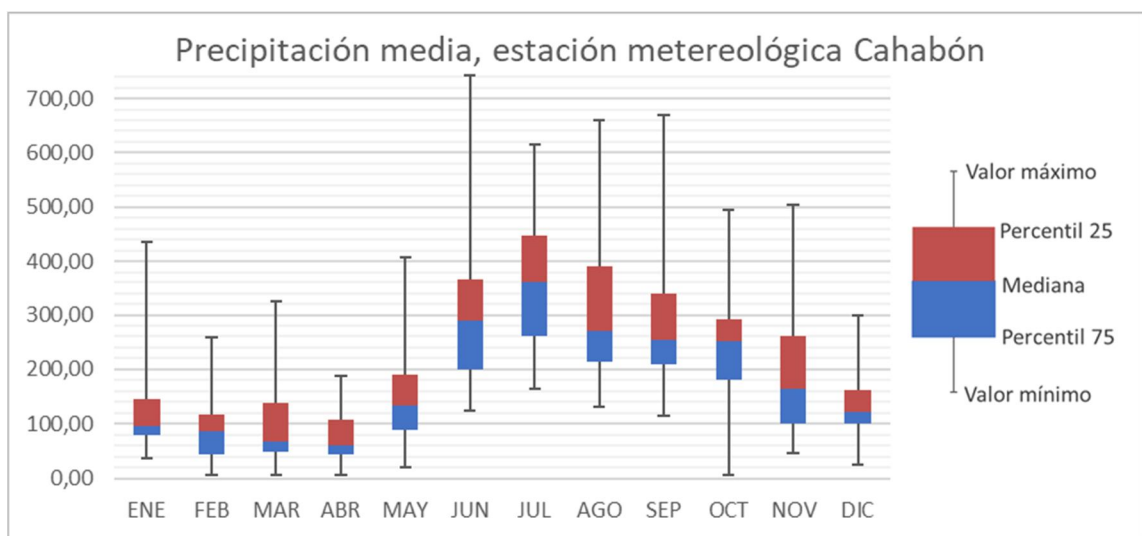
$$r = \sqrt{\frac{a \sum Y + b_1 \sum X_1 Y + b_2 \sum X_2 Y - n \bar{Y}^2}{\sum Y^2 - n \bar{Y}^2}}$$

Donde:

- $r$ : coeficiente de correlación múltiple

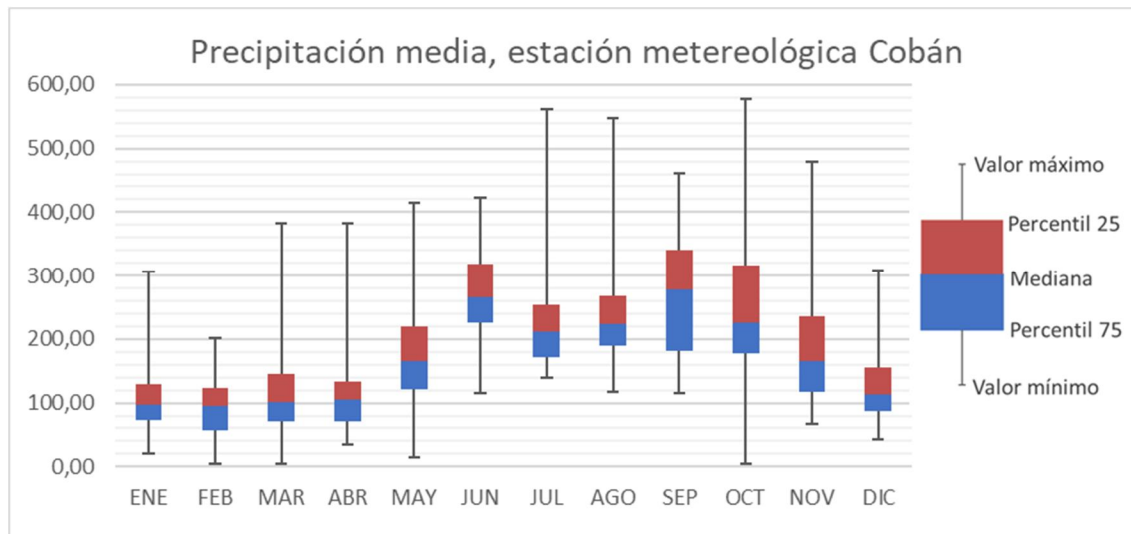
## 4. RESULTADOS

Figura 17. Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Cahabón



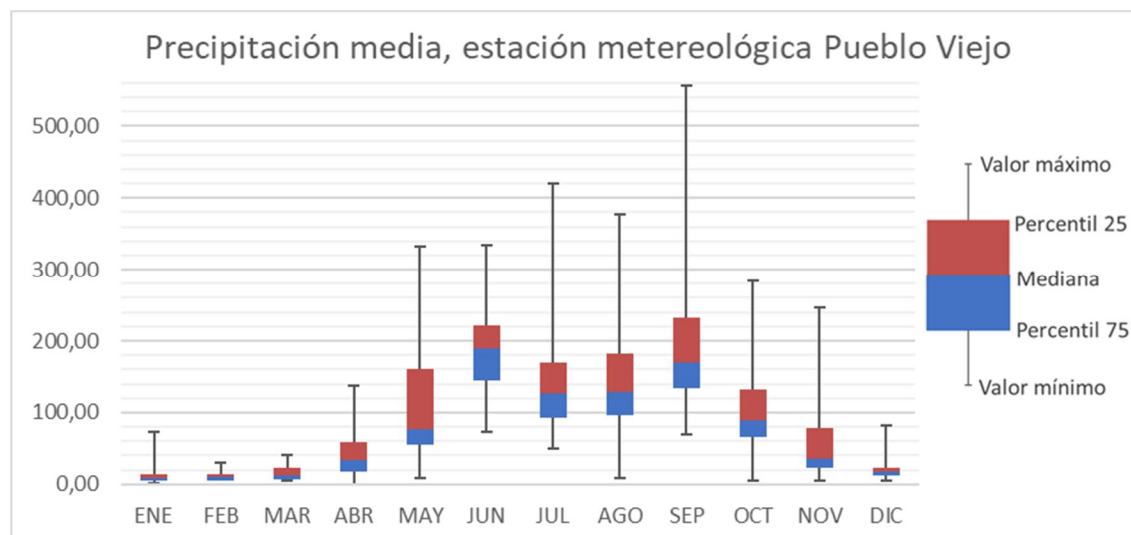
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Figura 18. Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Cobán**



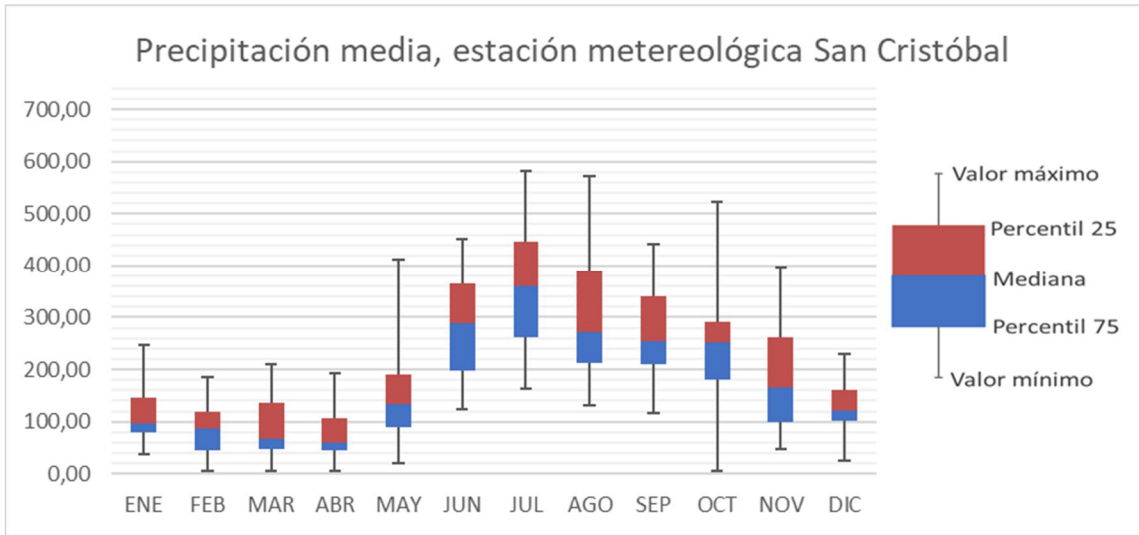
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Figura 19. Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Pueblo Viejo**



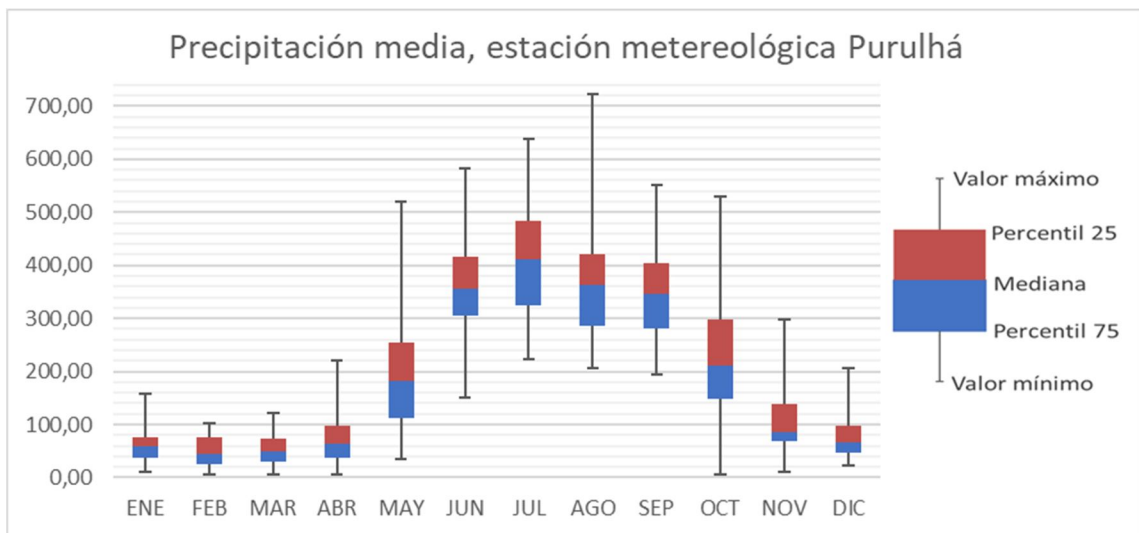
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 20. **Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica San Cristóbal**



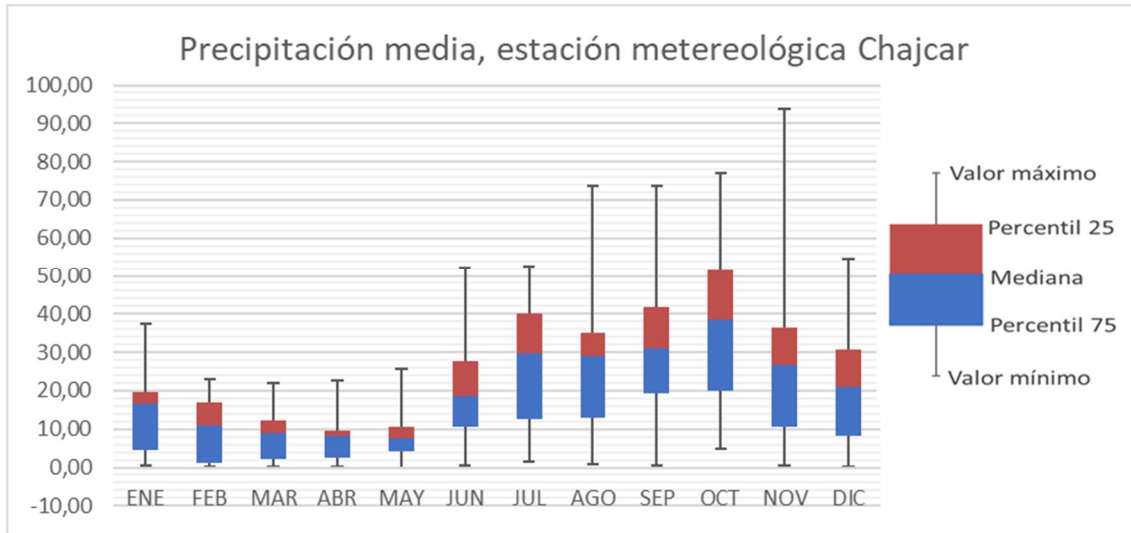
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 21. **Comportamiento mensual de la precipitación media sobre la estación meteorológica Purulhá**



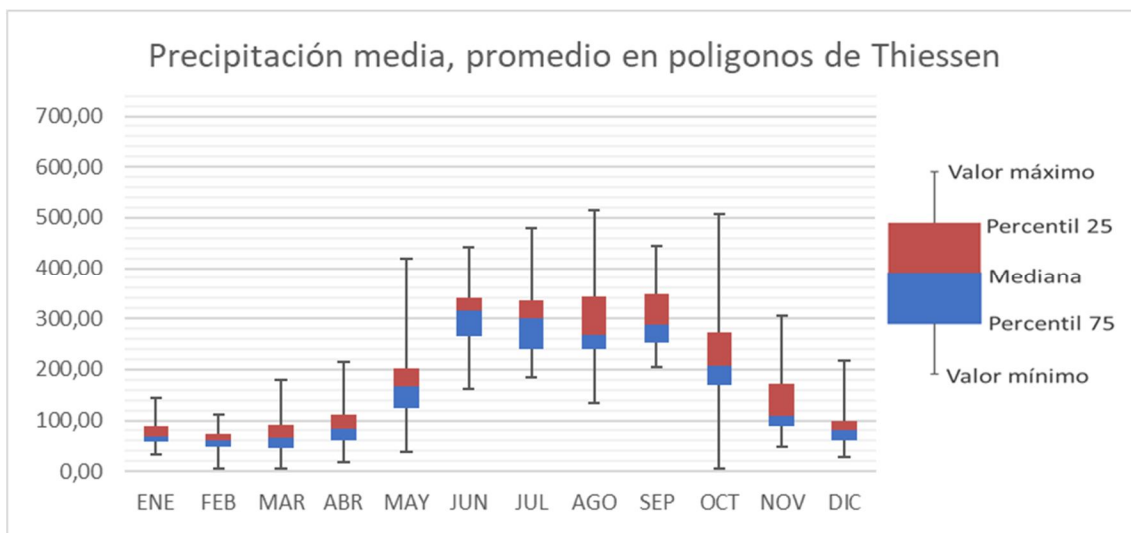
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 22. **Comportamiento de la media mensual del caudal sobre la estación hidrográfica Chajcar**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 23. **Comportamiento de la media mensual de la precipitación en promedio de las estaciones según los polígonos de Thiessen**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla X. **Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Cahabón**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Niña	Neutro	Niño	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	33,3 %	33,3 %	33,3 %	62 %	38 %	Independiente
	Normal	41,7 %	41,7 %	16,7 %			
	Seco	25,0 %	25,0 %	50,0 %			
Febrero	Lluvioso	27,3 %	38,5 %	33,3 %	13 %	87 %	Independiente
	Normal	63,6 %	15,4 %	25,0 %			
	Seco	9,1 %	46,2 %	41,7 %			
Marzo	Lluvioso	40,0 %	35,3 %	22,2 %	33 %	67 %	Independiente
	Normal	50,0 %	29,4 %	22,2 %			
	Seco	10,0 %	35,3 %	55,6 %			
Abril	Lluvioso	28,6 %	33,3 %	37,5 %	56 %	44 %	Independiente
	Normal	57,1 %	23,8 %	37,5 %			
	Seco	14,3 %	42,9 %	25,0 %			
Mayo	Lluvioso	33,3 %	33,3 %	33,3 %	34 %	66 %	Independiente
	Normal	33,3 %	41,7 %	0,0 %			
	Seco	33,3 %	25,0 %	66,7 %			
Junio	Lluvioso	16,7 %	33,3 %	50,0 %	72 %	28 %	Independiente
	Normal	50,0 %	29,2 %	33,3 %			
	Seco	33,3 %	37,5 %	16,7 %			
Julio	Lluvioso	20,0 %	22,7 %	66,7 %	1 %	99 %	Dependiente
	Normal	0,0 %	40,9 %	33,3 %			
	Seco	80,0 %	36,4 %	0,0 %			
Agosto	Lluvioso	60,0 %	28,0 %	33,3 %	52 %	48 %	Independiente
	Normal	0,0 %	40,0 %	33,3 %			
	Seco	40,0 %	32,0 %	33,3 %			
Septiembre	Lluvioso	50,0 %	28,6 %	28,6 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	0,0 %	42,9 %	42,9 %			
	Seco	50,0 %	28,6 %	28,6 %			
Octubre	Lluvioso	11,1 %	42,1 %	37,5 %	25 %	75 %	Independiente
	Normal	44,4 %	36,8 %	12,5 %			
	Seco	44,4 %	21,1 %	50,0 %			
Noviembre	Lluvioso	0,0 %	60,0 %	30,0 %	1 %	99 %	Dependiente
	Normal	45,5 %	13,3 %	50,0 %			
	Seco	54,5 %	26,7 %	20,0 %			
Diciembre	Lluvioso	41,7 %	23,1 %	36,4 %	91 %	9 %	Independiente
	Normal	25,0 %	38,5 %	36,4 %			
	Seco	33,3 %	38,5 %	27,3 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 24. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cahabón**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

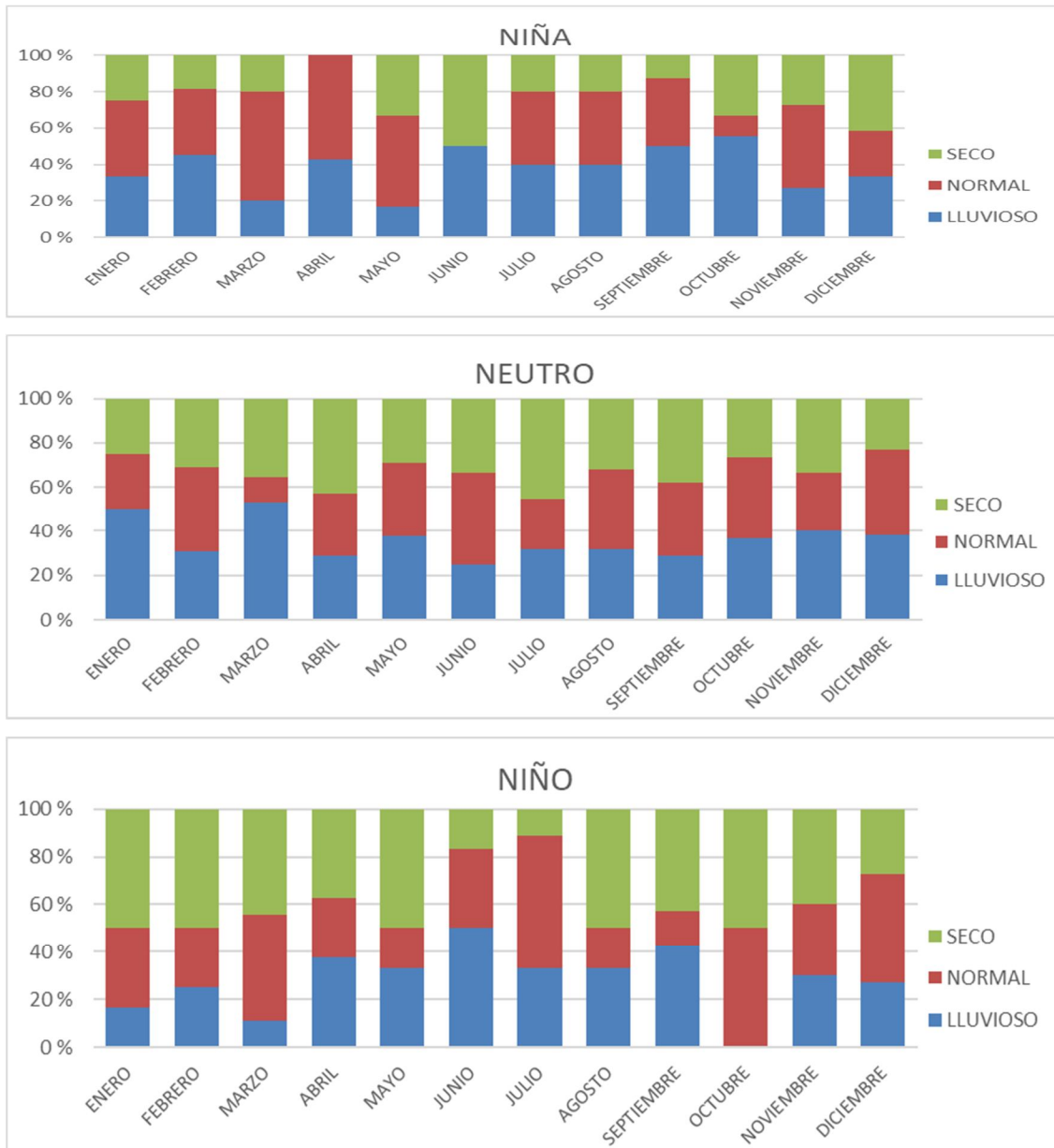


Tabla XI. **Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Cobán**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Niña	Neutro	Niño	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	33,3 %	50,0 %	16,7 %	51 %	49 %	Independiente
	Normal	41,7 %	25,0 %	33,3 %			
	Seco	25,0 %	25,0 %	50,0 %			
Febrero	Lluvioso	45,5 %	30,8 %	25,0 %	64 %	36 %	Independiente
	Normal	36,4 %	38,5 %	25,0 %			
	Seco	18,2 %	30,8 %	50,0 %			
Marzo	Lluvioso	20,0 %	52,9 %	11,1 %	5 %	95 %	Independiente
	Normal	60,0 %	11,8 %	44,4 %			
	Seco	20,0 %	35,3 %	44,4 %			
Abril	Lluvioso	42,9 %	28,6 %	37,5 %	29 %	71 %	Independiente
	Normal	57,1 %	28,6 %	25,0 %			
	Seco	0,0 %	42,9 %	37,5 %			
Mayo	Lluvioso	16,7 %	37,5 %	33,3 %	72 %	28 %	Independiente
	Normal	50,0 %	33,3 %	16,7 %			
	Seco	33,3 %	29,2 %	50,0 %			
Junio	Lluvioso	50,0 %	25,0 %	50,0 %	29 %	71 %	Independiente
	Normal	0,0 %	41,7 %	33,3 %			
	Seco	50,0 %	33,3 %	16,7 %			
Julio	Lluvioso	40,0 %	31,8 %	33,3 %	31 %	69 %	Independiente
	Normal	40,0 %	22,7 %	55,6 %			
	Seco	20,0 %	45,5 %	11,1 %			
Agosto	Lluvioso	40,0 %	32,0 %	33,3 %	93 %	7 %	Independiente
	Normal	40,0 %	36,0 %	16,7 %			
	Seco	20,0 %	32,0 %	50,0 %			
Septiembre	Lluvioso	50,0 %	28,6 %	42,9 %	57 %	43 %	Independiente
	Normal	37,5 %	33,3 %	14,3 %			
	Seco	12,5 %	38,1 %	42,9 %			
Octubre	Lluvioso	55,6 %	36,8 %	0,0 %	10 %	90 %	Independiente
	Normal	11,1 %	36,8 %	50,0 %			
	Seco	33,3 %	26,3 %	50,0 %			
Noviembre	Lluvioso	27,3 %	40,0 %	30,0 %	91 %	9 %	Independiente
	Normal	45,5 %	26,7 %	30,0 %			
	Seco	27,3 %	33,3 %	40,0 %			
Diciembre	Lluvioso	33,3 %	38,5 %	27,3 %	82 %	18 %	Independiente
	Normal	25,0 %	38,5 %	45,5 %			
	Seco	41,7 %	23,1 %	27,3 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 25. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cobán**



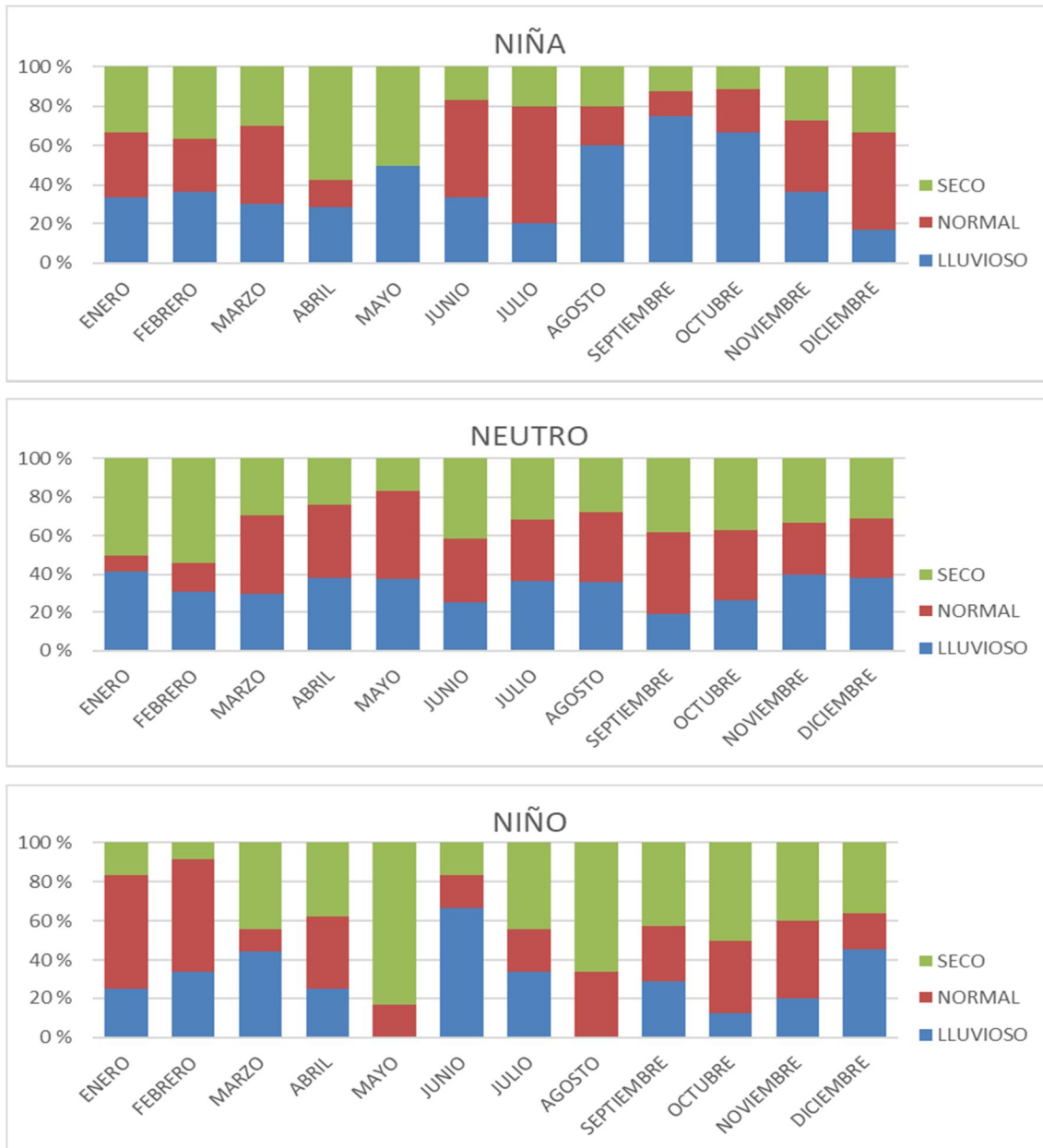
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XII. **Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Niña	Neutro	Niño	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	33,33 %	41,67 %	25,00 %	16 %	84 %	Independiente
	Normal	33,33 %	8,33 %	58,33 %			
	Seco	33,33 %	50,00 %	16,67 %			
Febrero	Lluvioso	36,36 %	30,77 %	33,33 %	10 %	90 %	Independiente
	Normal	27,27 %	15,38 %	58,33 %			
	Seco	36,36 %	53,85 %	8,33 %			
Marzo	Lluvioso	30,00 %	29,41 %	44,44 %	63 %	37 %	Independiente
	Normal	40,00 %	41,18 %	11,11 %			
	Seco	30,00 %	29,41 %	44,44 %			
Abril	Lluvioso	28,57 %	38,10 %	25,00 %	62 %	38 %	Independiente
	Normal	14,29 %	38,10 %	37,50 %			
	Seco	57,14 %	23,81 %	37,50 %			
Mayo	Lluvioso	50,00 %	37,50 %	0,00 %	1 %	99 %	Dependiente
	Normal	0,00 %	45,83 %	16,67 %			
	Seco	50,00 %	16,67 %	83,33 %			
Junio	Lluvioso	33,33 %	25,00 %	66,67 %	41 %	59 %	Independiente
	Normal	50,00 %	33,33 %	16,67 %			
	Seco	16,67 %	41,67 %	16,67 %			
Julio	Lluvioso	20,00 %	36,36 %	33,33 %	72 %	28 %	Independiente
	Normal	60,00 %	31,82 %	22,22 %			
	Seco	20,00 %	31,82 %	44,44 %			
Agosto	Lluvioso	60,00 %	36,00 %	0,00 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	20,00 %	36,00 %	33,33 %			
	Seco	20,00 %	28,00 %	66,67 %			
Septiembre	Lluvioso	75,00 %	19,05 %	28,57 %	10 %	90 %	Independiente
	Normal	12,50 %	42,86 %	28,57 %			
	Seco	12,50 %	38,10 %	42,86 %			
Octubre	Lluvioso	66,67 %	26,32 %	12,50 %	19 %	81 %	Independiente
	Normal	22,22 %	36,84 %	37,50 %			
	Seco	11,11 %	36,84 %	50,00 %			
Noviembre	Lluvioso	36,36 %	40,00 %	20,00 %	86 %	14 %	Independiente
	Normal	36,36 %	26,67 %	40,00 %			
	Seco	27,27 %	33,33 %	40,00 %			
Diciembre	Lluvioso	16,67 %	38,46 %	45,45 %	50 %	50 %	Independiente
	Normal	50,00 %	30,77 %	18,18 %			
	Seco	33,33 %	30,77 %	36,36 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 26. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo**



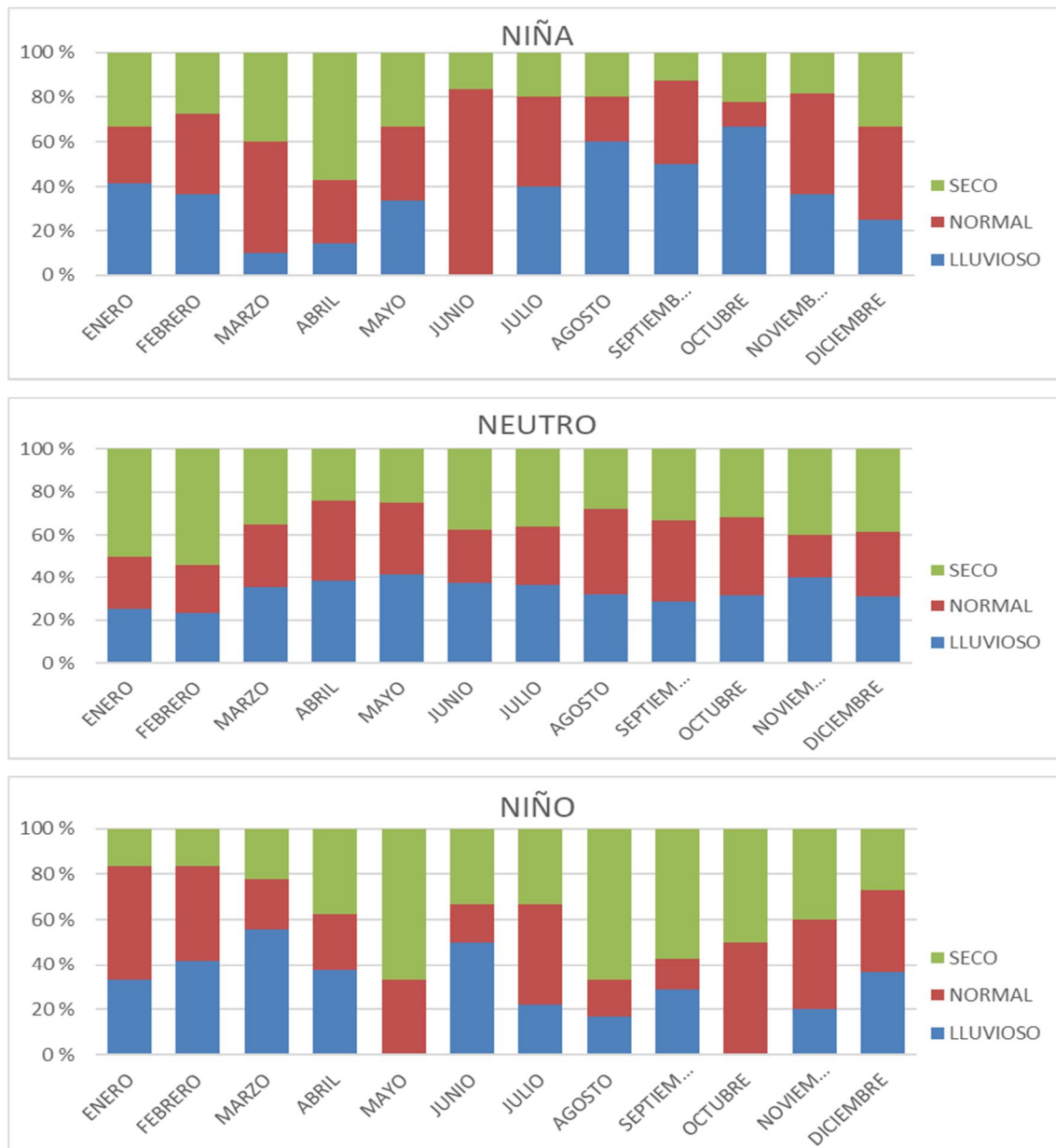
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XIII. **Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Niña	Neutro	Niño	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	41,7 %	25,0 %	33,3 %	51 %	49 %	Independiente
	Normal	25,0 %	25,0 %	50,0 %			
	Seco	33,3 %	50,0 %	16,7 %			
Febrero	Lluvioso	36,4 %	23,1 %	41,7 %	41 %	59 %	Independiente
	Normal	36,4 %	23,1 %	41,7 %			
	Seco	27,3 %	53,8 %	16,7 %			
Marzo	Lluvioso	10,0 %	35,3 %	55,6 %	33 %	67 %	Independiente
	Normal	50,0 %	29,4 %	22,2 %			
	Seco	40,0 %	35,3 %	22,2 %			
Abril	Lluvioso	14,3 %	38,1 %	37,5 %	62 %	38 %	Independiente
	Normal	28,6 %	38,1 %	25,0 %			
	Seco	57,1 %	23,8 %	37,5 %			
Mayo	Lluvioso	33,3 %	41,7 %	0,0 %	34 %	66 %	Independiente
	Normal	33,3 %	33,3 %	33,3 %			
	Seco	33,3 %	25,0 %	66,7 %			
Junio	Lluvioso	0,0 %	37,5 %	50,0 %	9 %	91 %	Independiente
	Normal	83,3 %	25,0 %	16,7 %			
	Seco	16,7 %	37,5 %	33,3 %			
Julio	Lluvioso	40,0 %	36,4 %	22,2 %	87 %	13 %	Independiente
	Normal	40,0 %	27,3 %	44,4 %			
	Seco	20,0 %	36,4 %	33,3 %			
Agosto	Lluvioso	60,0 %	32,0 %	16,7 %	40 %	60 %	Independiente
	Normal	20,0 %	40,0 %	16,7 %			
	Seco	20,0 %	28,0 %	66,7 %			
Septiembre	Lluvioso	50,0 %	28,6 %	28,6 %	42 %	58 %	Independiente
	Normal	37,5 %	38,1 %	14,3 %			
	Seco	12,5 %	33,3 %	57,1 %			
Octubre	Lluvioso	66,7 %	31,6 %	0,0 %	6 %	94 %	Independiente
	Normal	11,1 %	36,8 %	50,0 %			
	Seco	22,2 %	31,6 %	50,0 %			
Noviembre	Lluvioso	36,4 %	40,0 %	20,0 %	50 %	50 %	Independiente
	Normal	45,5 %	20,0 %	40,0 %			
	Seco	18,2 %	40,0 %	40,0 %			
Diciembre	Lluvioso	25,0 %	30,8 %	36,4 %	98 %	2 %	Independiente
	Normal	41,7 %	30,8 %	36,4 %			
	Seco	33,3 %	38,5 %	27,3 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 27. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Tabla XIV. Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Purulhá**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Niña	Neutro	Niño	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	41,7 %	16,7 %	41,7 %	40 %	60 %	Independiente
	Normal	33,3 %	50,0 %	16,7 %			
	Seco	25,0 %	33,3 %	41,7 %			
Febrero	Lluvioso	36,4 %	23,1 %	41,7 %	64 %	36 %	Independiente
	Normal	36,4 %	46,2 %	16,7 %			
	Seco	27,3 %	30,8 %	41,7 %			
Marzo	Lluvioso	20,0 %	29,4 %	55,6 %	8 %	92 %	Independiente
	Normal	20,0 %	35,3 %	44,4 %			
	Seco	60,0 %	35,3 %	0,0 %			
Abril	Lluvioso	42,9 %	28,6 %	37,5 %	83 %	17 %	Independiente
	Normal	14,3 %	38,1 %	37,5 %			
	Seco	42,9 %	33,3 %	25,0 %			
Mayo	Lluvioso	33,3 %	37,5 %	16,7 %	9 %	91 %	Independiente
	Normal	50,0 %	37,5 %	0,0 %			
	Seco	16,7 %	25,0 %	83,3 %			
Junio	Lluvioso	16,7 %	29,2 %	66,7 %	6 %	94 %	Independiente
	Normal	66,7 %	25,0 %	33,3 %			
	Seco	16,7 %	45,8 %	0,0 %			
Julio	Lluvioso	40,0 %	31,8 %	44,4 %	95 %	5 %	Independiente
	Normal	20,0 %	31,8 %	33,3 %			
	Seco	40,0 %	36,4 %	22,2 %			
Agosto	Lluvioso	60,0 %	28,0 %	33,3 %	29 %	71 %	Independiente
	Normal	0,0 %	44,0 %	16,7 %			
	Seco	40,0 %	28,0 %	50,0 %			
Septiembre	Lluvioso	37,5 %	33,3 %	28,6 %	95 %	5 %	Independiente
	Normal	25,0 %	38,1 %	28,6 %			
	Seco	37,5 %	28,6 %	42,9 %			
Octubre	Lluvioso	55,6 %	36,8 %	0,0 %	12 %	88 %	Independiente
	Normal	22,2 %	36,8 %	37,5 %			
	Seco	22,2 %	26,3 %	62,5 %			
Noviembre	Lluvioso	18,2 %	46,7 %	30,0 %	57 %	43 %	Independiente
	Normal	45,5 %	20,0 %	40,0 %			
	Seco	36,4 %	33,3 %	30,0 %			
Diciembre	Lluvioso	33,3 %	46,2 %	18,2 %	47 %	53 %	Independiente
	Normal	25,0 %	23,1 %	54,5 %			
	Seco	41,7 %	30,8 %	27,3 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 28. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Purulhá**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



Tabla XV. Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación hidrológica Chajcar

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Niña	Neutro	Niño	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	33,3 %	41,7 %	25,0 %	69 %	31 %	Independiente
	Normal	25,0 %	41,7 %	33,3 %			
	Seco	41,7 %	16,7 %	41,7 %			
Febrero	Lluvioso	45,5 %	46,2 %	16,7 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	9,1 %	30,8 %	50,0 %			
	Seco	45,5 %	23,1 %	33,3 %			
Marzo	Lluvioso	20,0 %	52,9 %	11,1 %	14 %	86 %	Independiente
	Normal	30,0 %	23,5 %	55,6 %			
	Seco	50,0 %	23,5 %	33,3 %			
Abril	Lluvioso	57,1 %	28,6 %	25,0 %	72 %	28 %	Independiente
	Normal	14,3 %	38,1 %	37,5 %			
	Seco	28,6 %	33,3 %	37,5 %			
Mayo	Lluvioso	33,3 %	33,3 %	33,3 %	92 %	8 %	Independiente
	Normal	33,3 %	37,5 %	16,7 %			
	Seco	33,3 %	29,2 %	50,0 %			
Junio	Lluvioso	50,0 %	25,0 %	50,0 %	63 %	37 %	Independiente
	Normal	33,3 %	37,5 %	33,3 %			
	Seco	16,7 %	37,5 %	16,7 %			
Julio	Lluvioso	40,0 %	22,7 %	55,6 %	11 %	89 %	Independiente
	Normal	60,0 %	31,8 %	33,3 %			
	Seco	0,0 %	45,5 %	11,1 %			
Agosto	Lluvioso	60,0 %	28,0 %	33,3 %	56 %	44 %	Independiente
	Normal	40,0 %	36,0 %	33,3 %			
	Seco	0,0 %	36,0 %	33,3 %			
Septiembre	Lluvioso	37,5 %	28,6 %	42,9 %	95 %	5 %	Independiente
	Normal	37,5 %	33,3 %	28,6 %			
	Seco	25,0 %	38,1 %	28,6 %			
Octubre	Lluvioso	55,6 %	36,8 %	0,0 %	9 %	91 %	Independiente
	Normal	11,1 %	31,6 %	62,5 %			
	Seco	33,3 %	31,6 %	37,5 %			
Noviembre	Lluvioso	18,2 %	60,0 %	10,0 %	6 %	94 %	Independiente
	Normal	45,5 %	13,3 %	50,0 %			
	Seco	36,4 %	26,7 %	40,0 %			
Diciembre	Lluvioso	25,0 %	46,2 %	27,3 %	81 %	19 %	Independiente
	Normal	33,3 %	30,8 %	36,4 %			
	Seco	41,7 %	23,1 %	36,4 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 29. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación hidrológica Chajcar**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVI. **Probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación según el promedio en los polígonos de Thiessen**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Niña	Neutro	Niño	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	50,0 %	33,3 %	16,7 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	16,7 %	50,0 %	33,3 %			
	Seco	33,3 %	16,7 %	50,0 %			
Febrero	Lluvioso	36,4 %	38,5 %	25,0 %	13 %	87 %	Independiente
	Normal	45,5 %	7,7 %	50,0 %			
	Seco	18,2 %	53,8 %	25,0 %			
Marzo	Lluvioso	30,0 %	41,2 %	22,2 %	63 %	37 %	Independiente
	Normal	20,0 %	35,3 %	44,4 %			
	Seco	50,0 %	23,5 %	33,3 %			
Abril	Lluvioso	28,6 %	33,3 %	37,5 %	44 %	56 %	Independiente
	Normal	14,3 %	33,3 %	50,0 %			
	Seco	57,1 %	33,3 %	12,5 %			
Mayo	Lluvioso	33,3 %	41,7 %	0,0 %	34 %	66 %	Independiente
	Normal	33,3 %	33,3 %	33,3 %			
	Seco	33,3 %	25,0 %	66,7 %			
Junio	Lluvioso	0,0 %	37,5 %	50,0 %	20 %	80 %	Independiente
	Normal	66,7 %	25,0 %	33,3 %			
	Seco	33,3 %	37,5 %	16,7 %			
Julio	Lluvioso	40,0 %	36,4 %	22,2 %	54 %	46 %	Independiente
	Normal	40,0 %	22,7 %	55,6 %			
	Seco	20,0 %	40,9 %	22,2 %			
Agosto	Lluvioso	60,0 %	36,0 %	0,0 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	20,0 %	28,0 %	66,7 %			
	Seco	20,0 %	36,0 %	33,3 %			
Septiembre	Lluvioso	50,0 %	28,6 %	28,6 %	72 %	28 %	Independiente
	Normal	37,5 %	33,3 %	28,6 %			
	Seco	12,5 %	38,1 %	42,9 %			
Octubre	Lluvioso	55,6 %	36,8 %	0,0 %	4 %	96 %	Independiente
	Normal	22,2 %	42,1 %	25,0 %			
	Seco	22,2 %	21,1 %	75,0 %			
Noviembre	Lluvioso	27,3 %	46,7 %	20,0 %	32 %	68 %	Independiente
	Normal	45,5 %	13,3 %	50,0 %			
	Seco	27,3 %	40,0 %	30,0 %			
Diciembre	Lluvioso	25,0 %	46,2 %	27,3 %	47 %	53 %	Independiente
	Normal	25,0 %	38,5 %	36,4 %			
	Seco	50,0 %	15,4 %	36,4 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 30. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación según el promedio de polígonos de Thiessen**



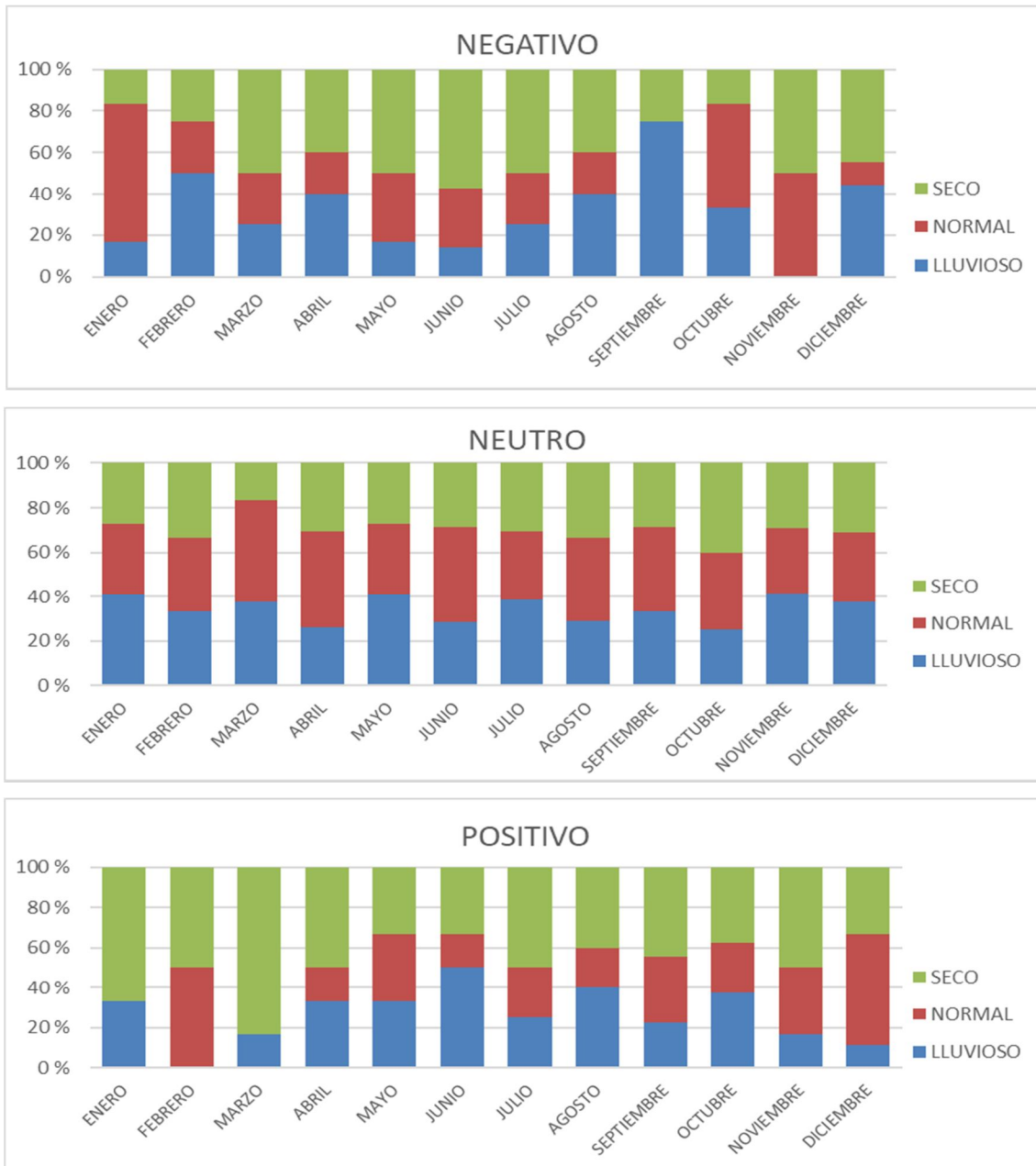
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVII. Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Cahabón

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Negativo	Neutro	Positivo	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	16,67 %	40,91 %	33,33 %	12 %	88 %	Independiente
	Normal	66,67 %	31,82 %	0,00 %			
	Seco	16,67 %	27,27 %	66,67 %			
Febrero	Lluvioso	50,00 %	33,33 %	0,00 %	48 %	52 %	Independiente
	Normal	25,00 %	33,33 %	50,00 %			
	Seco	25,00 %	33,33 %	50,00 %			
Marzo	Lluvioso	25,00 %	37,50 %	16,67 %	1 %	99 %	Dependiente
	Normal	25,00 %	45,83 %	0,00 %			
	Seco	50,00 %	16,67 %	83,33 %			
Abril	Lluvioso	40,00 %	26,09 %	33,33 %	70 %	30 %	Independiente
	Normal	20,00 %	43,48 %	16,67 %			
	Seco	40,00 %	30,43 %	50,00 %			
Mayo	Lluvioso	16,67 %	40,91 %	33,33 %	86 %	14 %	Independiente
	Normal	33,33 %	31,82 %	33,33 %			
	Seco	50,00 %	27,27 %	33,33 %			
Junio	Lluvioso	14,29 %	28,57 %	50,00 %	53 %	47 %	Independiente
	Normal	28,57 %	42,86 %	16,67 %			
	Seco	57,14 %	28,57 %	33,33 %			
Julio	Lluvioso	25,00 %	38,46 %	25,00 %	93 %	7 %	Independiente
	Normal	25,00 %	30,77 %	25,00 %			
	Seco	50,00 %	30,77 %	50,00 %			
Agosto	Lluvioso	40,00 %	29,17 %	40,00 %	95 %	5 %	Independiente
	Normal	20,00 %	37,50 %	20,00 %			
	Seco	40,00 %	33,33 %	40,00 %			
Septiembre	Lluvioso	75,00 %	33,33 %	22,22 %	49 %	51 %	Independiente
	Normal	0,00 %	38,10 %	33,33 %			
	Seco	25,00 %	28,57 %	44,44 %			
Octubre	Lluvioso	33,33 %	25,00 %	37,50 %	83 %	17 %	Independiente
	Normal	50,00 %	35,00 %	25,00 %			
	Seco	16,67 %	40,00 %	37,50 %			
Noviembre	Lluvioso	0,00 %	41,67 %	16,67 %	53 %	47 %	Independiente
	Normal	50,00 %	29,17 %	33,33 %			
	Seco	50,00 %	29,17 %	50,00 %			
Diciembre	Lluvioso	44,44 %	37,50 %	11,11 %	32 %	68 %	Independiente
	Normal	11,11 %	31,25 %	55,56 %			
	Seco	44,44 %	31,25 %	33,33 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 31. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cahabón**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XVIII. Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Cobán

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Negativo	Neutro	Positivo	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	16,67 %	50,00 %	0,00 %	10 %	90 %	Independiente
	Normal	33,33 %	27,27 %	66,67 %			
	Seco	50,00 %	22,73 %	33,33 %			
Febrero	Lluvioso	50,00 %	29,17 %	16,67 %	35 %	65 %	Independiente
	Normal	50,00 %	37,50 %	16,67 %			
	Seco	0,00 %	33,33 %	66,67 %			
Marzo	Lluvioso	50,00 %	37,50 %	0,00 %	42 %	58 %	Independiente
	Normal	25,00 %	33,33 %	50,00 %			
	Seco	25,00 %	29,17 %	50,00 %			
Abril	Lluvioso	20,00 %	26,09 %	66,67 %	40 %	60 %	Independiente
	Normal	20,00 %	39,13 %	16,67 %			
	Seco	60,00 %	34,78 %	16,67 %			
Mayo	Lluvioso	16,67 %	36,36 %	33,33 %	48 %	52 %	Independiente
	Normal	66,67 %	22,73 %	33,33 %			
	Seco	16,67 %	40,91 %	33,33 %			
Junio	Lluvioso	14,29 %	38,10 %	16,67 %	40 %	60 %	Independiente
	Normal	28,57 %	28,57 %	66,67 %			
	Seco	57,14 %	33,33 %	16,67 %			
Julio	Lluvioso	50,00 %	34,62 %	25,00 %	99 %	1 %	Independiente
	Normal	25,00 %	30,77 %	50,00 %			
	Seco	25,00 %	34,62 %	25,00 %			
Agosto	Lluvioso	40,00 %	25,00 %	60,00 %	30 %	70 %	Independiente
	Normal	20,00 %	45,83 %	0,00 %			
	Seco	40,00 %	29,17 %	40,00 %			
Septiembre	Lluvioso	50,00 %	42,86 %	22,22 %	54 %	46 %	Independiente
	Normal	50,00 %	23,81 %	33,33 %			
	Seco	0,00 %	33,33 %	44,44 %			
Octubre	Lluvioso	0,00 %	50,00 %	12,50 %	11 %	89 %	Independiente
	Normal	50,00 %	25,00 %	37,50 %			
	Seco	50,00 %	25,00 %	50,00 %			
Noviembre	Lluvioso	0,00 %	45,83 %	16,67 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	25,00 %	29,17 %	50,00 %			
	Seco	75,00 %	25,00 %	33,33 %			
Diciembre	Lluvioso	33,33 %	43,75 %	22,22 %	47 %	53 %	Independiente
	Normal	55,56 %	25,00 %	33,33 %			
	Seco	11,11 %	31,25 %	44,44 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 32. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Cobán**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



Tabla XIX. **Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Negativo	Neutro	Positivo	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	0,00 %	31,82 %	66,67 %	12 %	88 %	Independiente
	Normal	66,67 %	27,27 %	16,67 %			
	Seco	33,33 %	40,91 %	16,67 %			
Febrero	Lluvioso	75,00 %	29,17 %	33,33 %	35 %	65 %	Independiente
	Normal	25,00 %	29,17 %	50,00 %			
	Seco	0,00 %	41,67 %	16,67 %			
Marzo	Lluvioso	0,00 %	37,50 %	50,00 %	34 %	66 %	Independiente
	Normal	100,00 %	16,67 %	50,00 %			
	Seco	0,00 %	45,83 %	0,00 %			
Abril	Lluvioso	40,00 %	30,43 %	50,00 %	93 %	7 %	Independiente
	Normal	40,00 %	34,78 %	16,67 %			
	Seco	20,00 %	34,78 %	33,33 %			
Mayo	Lluvioso	50,00 %	36,36 %	16,67 %	48 %	52 %	Independiente
	Normal	33,33 %	36,36 %	16,67 %			
	Seco	16,67 %	27,27 %	66,67 %			
Junio	Lluvioso	28,57 %	33,33 %	33,33 %	98 %	2 %	Independiente
	Normal	28,57 %	38,10 %	33,33 %			
	Seco	42,86 %	28,57 %	33,33 %			
Julio	Lluvioso	25,00 %	32,00 %	75,00 %	54 %	46 %	Independiente
	Normal	25,00 %	32,00 %	25,00 %			
	Seco	50,00 %	36,00 %	0,00 %			
Agosto	Lluvioso	20,00 %	34,78 %	60,00 %	40 %	60 %	Independiente
	Normal	60,00 %	26,09 %	0,00 %			
	Seco	20,00 %	39,13 %	40,00 %			
Septiembre	Lluvioso	0,00 %	50,00 %	11,11 %	71 %	29 %	Independiente
	Normal	75,00 %	25,00 %	55,56 %			
	Seco	25,00 %	25,00 %	33,33 %			
Octubre	Lluvioso	0,00 %	55,00 %	25,00 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	40,00 %	20,00 %	37,50 %			
	Seco	60,00 %	25,00 %	37,50 %			
Noviembre	Lluvioso	0,00 %	39,13 %	33,33 %	46 %	54 %	Independiente
	Normal	25,00 %	34,78 %	33,33 %			
	Seco	75,00 %	26,09 %	33,33 %			
Diciembre	Lluvioso	33,33 %	40,00 %	33,33 %	10 %	90 %	Independiente
	Normal	33,33 %	40,00 %	0,00 %			
	Seco	33,33 %	20,00 %	66,67 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 33. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Pueblo Viejo**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XX. **Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Negativo	Neutro	Positivo	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	16,67 %	36,36 %	50,00 %	85 %	15 %	Independiente
	Normal	50,00 %	31,82 %	33,33 %			
	Seco	33,33 %	31,82 %	16,67 %			
Febrero	Lluvioso	75,00 %	20,83 %	50,00 %	19 %	81 %	Independiente
	Normal	25,00 %	37,50 %	33,33 %			
	Seco	0,00 %	41,67 %	16,67 %			
Marzo	Lluvioso	0,00 %	29,17 %	83,33 %	3 %	97 %	Dependiente
	Normal	75,00 %	33,33 %	16,67 %			
	Seco	25,00 %	37,50 %	0,00 %			
Abril	Lluvioso	20,00 %	30,43 %	66,67 %	34 %	66 %	Independiente
	Normal	40,00 %	39,13 %	0,00 %			
	Seco	40,00 %	30,43 %	33,33 %			
Mayo	Lluvioso	33,33 %	36,36 %	16,67 %	56 %	44 %	Independiente
	Normal	16,67 %	40,91 %	33,33 %			
	Seco	50,00 %	22,73 %	50,00 %			
Junio	Lluvioso	28,57 %	33,33 %	50,00 %	49 %	51 %	Independiente
	Normal	28,57 %	38,10 %	0,00 %			
	Seco	42,86 %	28,57 %	50,00 %			
Julio	Lluvioso	25,00 %	23,08 %	75,00 %	5 %	95 %	Independiente
	Normal	0,00 %	46,15 %	0,00 %			
	Seco	75,00 %	30,77 %	25,00 %			
Agosto	Lluvioso	40,00 %	29,17 %	40,00 %	95 %	5 %	Independiente
	Normal	40,00 %	37,50 %	20,00 %			
	Seco	20,00 %	33,33 %	40,00 %			
Septiembre	Lluvioso	25,00 %	42,86 %	22,22 %	77 %	23 %	Independiente
	Normal	25,00 %	28,57 %	44,44 %			
	Seco	50,00 %	28,57 %	33,33 %			
Octubre	Lluvioso	0,00 %	50,00 %	12,50 %	11 %	89 %	Independiente
	Normal	50,00 %	25,00 %	37,50 %			
	Seco	50,00 %	25,00 %	50,00 %			
Noviembre	Lluvioso	25,00 %	41,67 %	16,67 %	3 %	97 %	Dependiente
	Normal	0,00 %	41,67 %	16,67 %			
	Seco	75,00 %	16,67 %	66,67 %			
Diciembre	Lluvioso	33,33 %	37,50 %	22,22 %	65 %	35 %	Independiente
	Normal	44,44 %	37,50 %	22,22 %			
	Seco	22,22 %	25,00 %	55,56 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 34. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica San Cristóbal**



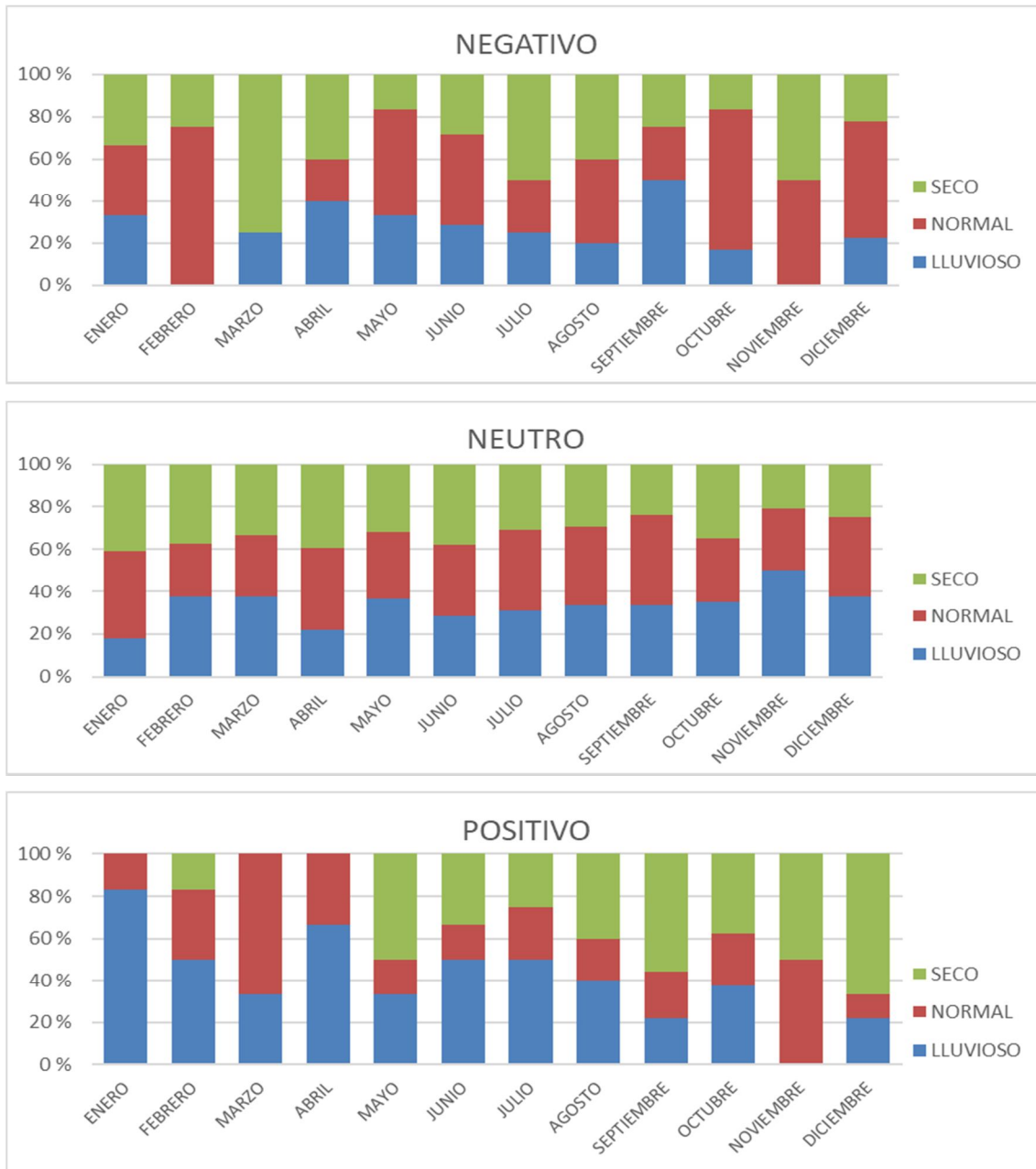
Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXI. Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica Purulhá

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Negativo	Neutro	Positivo	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	33,33 %	18,18 %	83,33 %	6 %	94 %	Independiente
	Normal	33,33 %	40,91 %	16,67 %			
	Seco	33,33 %	40,91 %	0,00 %			
Febrero	Lluvioso	0,00 %	37,50 %	50,00 %	32 %	68 %	Independiente
	Normal	75,00 %	25,00 %	33,33 %			
	Seco	25,00 %	37,50 %	16,67 %			
Marzo	Lluvioso	25,00 %	37,50 %	33,33 %	10 %	90 %	Independiente
	Normal	0,00 %	29,17 %	66,67 %			
	Seco	75,00 %	33,33 %	0,00 %			
Abril	Lluvioso	40,00 %	21,74 %	66,67 %	20 %	80 %	Independiente
	Normal	20,00 %	39,13 %	33,33 %			
	Seco	40,00 %	39,13 %	0,00 %			
Mayo	Lluvioso	33,33 %	36,36 %	33,33 %	81 %	19 %	Independiente
	Normal	50,00 %	31,82 %	16,67 %			
	Seco	16,67 %	31,82 %	50,00 %			
Junio	Lluvioso	28,57 %	28,57 %	50,00 %	92 %	8 %	Independiente
	Normal	42,86 %	33,33 %	16,67 %			
	Seco	28,57 %	38,10 %	33,33 %			
Julio	Lluvioso	25,00 %	30,77 %	50,00 %	85 %	15 %	Independiente
	Normal	25,00 %	38,46 %	25,00 %			
	Seco	50,00 %	30,77 %	25,00 %			
Agosto	Lluvioso	20,00 %	33,33 %	40,00 %	95 %	5 %	Independiente
	Normal	40,00 %	37,50 %	20,00 %			
	Seco	40,00 %	29,17 %	40,00 %			
Septiembre	Lluvioso	50,00 %	33,33 %	22,22 %	57 %	43 %	Independiente
	Normal	25,00 %	42,86 %	22,22 %			
	Seco	25,00 %	23,81 %	55,56 %			
Octubre	Lluvioso	16,67 %	35,00 %	37,50 %	62 %	38 %	Independiente
	Normal	66,67 %	30,00 %	25,00 %			
	Seco	16,67 %	35,00 %	37,50 %			
Noviembre	Lluvioso	0,00 %	50,00 %	0,00 %	5 %	95 %	Independiente
	Normal	50,00 %	29,17 %	50,00 %			
	Seco	50,00 %	20,83 %	50,00 %			
Diciembre	Lluvioso	22,22 %	37,50 %	22,22 %	21 %	79 %	Independiente
	Normal	55,56 %	37,50 %	11,11 %			
	Seco	22,22 %	25,00 %	66,67 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 35. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación meteorológica Purulhá**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

**Tabla XXII. Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación hidrológica Chajcar**

		Tabla de contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Negativo	Neutro	Positivo	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	50,0 %	36,4 %	0,0 %	8 %	92 %	Independiente
	Normal	50,0 %	22,7 %	50,0 %			
	Seco	0,0 %	40,9 %	50,0 %			
Febrero	Lluvioso	75,0 %	37,5 %	0,0 %	11 %	89 %	Independiente
	Normal	25,0 %	29,2 %	33,3 %			
	Seco	0,0 %	33,3 %	66,7 %			
Marzo	Lluvioso	25,0 %	37,5 %	0,0 %	11 %	89 %	Independiente
	Normal	75,0 %	29,2 %	33,3 %			
	Seco	0,0 %	33,3 %	66,7 %			
Abril	Lluvioso	60,0 %	30,4 %	16,7 %	26 %	74 %	Independiente
	Normal	40,0 %	34,8 %	16,7 %			
	Seco	0,0 %	34,8 %	66,7 %			
Mayo	Lluvioso	16,7 %	45,5 %	16,7 %	1 %	99 %	Dependiente
	Normal	83,3 %	18,2 %	16,7 %			
	Seco	0,0 %	36,4 %	66,7 %			
Junio	Lluvioso	28,6 %	38,1 %	0,0 %	42 %	58 %	Independiente
	Normal	42,9 %	28,6 %	66,7 %			
	Seco	28,6 %	33,3 %	33,3 %			
Julio	Lluvioso	50,0 %	34,6 %	0,0 %	76 %	24 %	Independiente
	Normal	25,0 %	34,6 %	50,0 %			
	Seco	25,0 %	30,8 %	50,0 %			
Agosto	Lluvioso	40,0 %	33,3 %	20,0 %	95 %	5 %	Independiente
	Normal	20,0 %	37,5 %	40,0 %			
	Seco	40,0 %	29,2 %	40,0 %			
Septiembre	Lluvioso	50,0 %	42,9 %	0,0 %	3 %	97 %	Independiente
	Normal	50,0 %	28,6 %	33,3 %			
	Seco	0,0 %	28,6 %	66,7 %			
Octubre	Lluvioso	16,7 %	50,0 %	11,1 %	0 %	100 %	Dependiente
	Normal	83,3 %	25,0 %	11,1 %			
	Seco	0,0 %	25,0 %	77,8 %			
Noviembre	Lluvioso	25,0 %	39,1 %	14,3 %	30 %	70 %	Independiente
	Normal	50,0 %	34,8 %	14,3 %			
	Seco	25,0 %	26,1 %	71,4 %			
Diciembre	Lluvioso	33,3 %	50,0 %	9,1 %	1 %	99 %	Dependiente
	Normal	66,7 %	14,3 %	27,3 %			
	Seco	0,0 %	35,7 %	63,6 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 36. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación de la estación hidrológica Chajcar**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



**Tabla XXIII. Probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación según el promedio de polígonos de Thiessen**

		Tabla de Contingencia			Prueba exacta de Fisher		
		Negativo	Neutro	Positivo	Significancia	Confiabilidad	Conclusión
Enero	Lluvioso	33,33 %	29,17 %	50,00 %	75 %	25 %	Independiente
	Normal	16,67 %	37,50 %	33,33 %			
	Seco	50,00 %	33,33 %	16,67 %			
Febrero	Lluvioso	25,00 %	38,46 %	16,67 %	74 %	26 %	Independiente
	Normal	50,00 %	26,92 %	50,00 %			
	Seco	25,00 %	34,62 %	33,33 %			
Marzo	Lluvioso	50,00 %	34,62 %	16,67 %	89 %	11 %	Independiente
	Normal	25,00 %	30,77 %	50,00 %			
	Seco	25,00 %	34,62 %	33,33 %			
Abril	Lluvioso	40,00 %	24,00 %	66,67 %	6 %	94 %	Independiente
	Normal	0,00 %	40,00 %	33,33 %			
	Seco	60,00 %	36,00 %	0,00 %			
Mayo	Lluvioso	33,33 %	37,50 %	16,67 %	92 %	8 %	Independiente
	Normal	33,33 %	33,33 %	33,33 %			
	Seco	33,33 %	29,17 %	50,00 %			
Junio	Lluvioso	28,57 %	39,13 %	16,67 %	50 %	50 %	Independiente
	Normal	14,29 %	34,78 %	50,00 %			
	Seco	57,14 %	26,09 %	33,33 %			
Julio	Lluvioso	25,00 %	25,93 %	80,00 %	17 %	83 %	Independiente
	Normal	25,00 %	40,74 %	0,00 %			
	Seco	50,00 %	33,33 %	20,00 %			
Agosto	Lluvioso	40,00 %	26,92 %	60,00 %	35 %	65 %	Independiente
	Normal	20,00 %	42,31 %	0,00 %			
	Seco	40,00 %	30,77 %	40,00 %			
Septiembre	Lluvioso	25,00 %	39,13 %	22,22 %	85 %	15 %	Independiente
	Normal	50,00 %	30,43 %	33,33 %			
	Seco	25,00 %	30,43 %	44,44 %			
Octubre	Lluvioso	0,00 %	45,45 %	25,00 %	19 %	81 %	Independiente
	Normal	66,67 %	27,27 %	25,00 %			
	Seco	33,33 %	27,27 %	50,00 %			
Noviembre	Lluvioso	0,00 %	42,31 %	16,67 %	22 %	78 %	Independiente
	Normal	25,00 %	34,62 %	33,33 %			
	Seco	75,00 %	23,08 %	50,00 %			
Diciembre	Lluvioso	33,33 %	47,06 %	10,00 %	30 %	70 %	Independiente
	Normal	44,44 %	23,53 %	40,00 %			
	Seco	22,22 %	29,41 %	50,00 %			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Figura 37. **Gráfica de la probabilidad de ocurrencia de condiciones climáticas en la precipitación según el promedio de polígonos de Thiessen**



Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXIV. **Coeficiente de correlación simple entre la precipitación/caudal y variable estudiada**

Estación	TSM	Regiones				IOS	ONI	TSM Atlántico
		3+4	1+2	3	4			
Cahabón	Absoluta	-0,017	-0,514	-0,281	0,179	-0,044	0,018	0,492
	Anomalía	0,003	0,006	0,010	-0,0138			
Cobán	Absoluta	-0,103	-0,511	-0,313	0,084	0,080	-0,098	0,510
	Anomalía	-0,120	-0,071	-0,109	-0,115			
Pueblo Viejo	Absoluta	0,012	-0,502	-0,212	0,147	0,048	-0,087	0,496
	Anomalía	-0,091	-0,083	-0,088	-0,088			
San Cristóbal	Absoluta	0,011	-0,567	-0,259	0,173	0,023	-0,044	0,576
	Anomalía	-0,053	-0,032	-0,044	-0,075			
Purulhá	Absoluta	0,043	-0,549	-0,239	0,212	-0,008	-0,016	0,512
	Anomalía	-0,022	-0,016	-0,024	-0,031			
Chajcar	Absoluta	-0,213	-0,484	-0,428	-0,002	-0,012	-0,048	0,370
	Anomalía	-0,069	-0,009	-0,070	-0,120			
Promedio Thiessen	Absoluta	-0,008	-0,596	-0,291	0,180	0,028	-0,052	0,5837
	Anomalía	-0,065	-0,040	-0,059	-0,074			

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXV. **Coefficiente de correlación múltiple precipitación/TSM regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica Cahabón**

IOS	Región	TSM	Sin Retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,0504	0,1880	0,3295
Anomalía			0,0449	0,0527	0,0254	0,0358
1+2	Absoluta		0,5095	0,5664	0,4993	0,2868
	Anomalía		0,0563	0,0332	0,0284	0,0332
3	Absoluta		0,2977	0,4498	0,5061	0,4145
	Anomalía		0,0544	0,0687	0,0317	0,0322
4	Absoluta		0,2301	0,1601	0,0456	0,0727
	Anomalía		0,0472	0,0213	0,0317	0,0501

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXVI. **Coefficiente de correlación múltiple precipitación/TSM regiones El Niño /IOS en la estación meteorológica Cobán**

IOS	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,0896	0,2317	0,3954
Anomalía			0,0928	0,1241	0,1591	0,1815
1+2	Absoluta		0,5074	0,5664	0,5046	0,2999
	Anomalía		0,0810	0,1218	0,1508	0,1495
3	Absoluta		0,2989	0,4586	0,5490	0,4863
	Anomalía		0,0849	0,1211	0,1520	0,1669
4	Absoluta		0,2085	0,1799	0,1324	0,2131
	Anomalía		0,0976	0,1310	0,1617	0,1792

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXVII. **Coefficiente de correlación múltiple precipitación/TSM**  
**regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica Pueblo**  
**Viejo**

IOS	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,0902	0,1623	0,3535
Anomalía			0,0902	0,0974	0,1198	0,1580
1+2	Absoluta		0,5024	0,6590	0,6689	0,2082
	Anomalía		0,0689	0,0957	0,1162	0,1144
3	Absoluta		0,2115	0,4545	0,6096	0,4661
	Anomalía		0,0796	0,0937	0,1155	0,1360
4	Absoluta		0,2286	0,2073	0,1263	0,2495
	Anomalía		0,0908	0,1110	0,1338	0,1632

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXVIII. **Coefficiente de correlación múltiple precipitación/TSM**  
**regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica San**  
**Cristóbal**

IOS	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,0413	0,2039	0,4104
Anomalía			0,0514	0,0615	0,0951	0,1106
1+2	Absoluta		0,5721	0,7121	0,6835	0,4726
	Anomalía		0,0239	0,0485	0,0580	0,0813
3	Absoluta		0,2729	0,5221	0,6589	0,6214
	Anomalía		0,0337	0,0484	0,0722	0,0977
4	Absoluta		0,2367	0,1781	0,0613	0,1032
	Anomalía		0,0838	0,0971	0,1161	0,1203

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXIX. **Coefficiente de correlación múltiple precipitación/TSM regiones El Niño/IOS en la estación meteorológica Purulhá**

IOS	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,0707	0,1521	0,3340
Anomalía			0,0273	0,0078	0,3340	0,0179
1+2	Absoluta		0,5472	0,7076	0,7053	0,5156
	Anomalía		0,0141	0,0105	0,0101	0,0113
3	Absoluta		0,2446	0,4950	0,6249	0,6029
	Anomalía		0,0160	0,0186	0,0081	0,0105
4	Absoluta		0,2741	0,2215	0,1143	0,0085
	Anomalía		0,0406	0,0310	0,0535	0,0542

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXX. **Coefficiente de correlación múltiple caudal/TSM regiones El Niño/IOS en la estación hidrológica Chajcar**

IOS	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,3025	0,3970	0,4501
Anomalía			0,1405	0,1387	0,1857	0,2018
1+2	Absoluta		0,5005	0,3941	0,1941	0,0698
	Anomalía		0,0537	0,0557	0,0666	0,0509
3	Absoluta		0,4868	0,5013	0,4263	0,2434
	Anomalía		0,1343	0,1298	0,1671	0,1703
4	Absoluta		0,0578	0,1588	0,2952	0,4004
	Anomalía		0,2132	0,2173	0,2526	0,2654

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXI. **Coeficiente de correlación múltiple caudal/TSM regiones El Niño/IOS según el promedio**

IOS	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,0425	0,2042	0,4081
Anomalía			0,0503	0,0563	0,0802	0,1009
1+2	Absoluta		0,5972	0,7342	0,7030	0,4801
	Anomalía		0,0286	0,0531	0,0689	0,0785
3	Absoluta		0,2933	0,5397	0,6723	0,6300
	Anomalía		0,0364	0,0525	0,0681	0,0890
4	Absoluta		0,2652	0,2072	0,0849	0,1034
	Anomalía		0,0683	0,0791	0,1053	0,1170

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXII. **Coeficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Cahabón**

TSM océano Atlántico	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	3+4	Absoluta		0,5377	0,6137	0,6313
Anomalía			0,4726	0,4726	0,4664	0,4492
1+2	Absoluta		0,6295	0,6753	0,6331	0,5075
	Anomalía		0,4718	0,4718	0,4659	0,4495
3	Absoluta		0,5520	0,6517	0,6539	0,5540
	Anomalía		0,4740	0,4740	0,4669	0,4495
4	Absoluta		0,5517	0,6141	0,6155	0,5276
	Anomalía		0,4709	0,4709	0,4659	0,4488

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXIII. **Coficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Cobán**

	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	<b>TSM océano Atlántico</b>	3+4	Absoluta	0,6216	0,6796	0,6821
Anomalía			0,5358	0,5386	0,5382	0,5254
1+2		Absoluta	0,6810	0,7086	0,6556	0,5388
		Anomalía	0,5312	0,5339	0,5318	0,5123
3		Absoluta	0,6395	0,7003	0,6936	0,5968
		Anomalía	0,5338	0,5359	0,5358	0,5218
4		Absoluta	0,6383	0,6756	0,6502	0,5640
		Anomalía	0,5364	0,5400	0,5370	0,5235

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXIV. **Coficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Pueblo Viejo**

	Región	TSM	Sin retraso	1 mes	2 meses	3 meses
	<b>TSM océano Atlántico</b>	3+4	Absoluta	0,4589	0,6234	0,7127
Anomalía			0,3582	0,3731	0,3791	0,3714
1+2		Absoluta	0,5876	0,7261	0,7361	0,5882
		Anomalía	0,3546	0,3710	0,3760	0,3606
3		Absoluta	0,4887	0,6665	0,7484	0,6766
		Anomalía	0,3571	0,3720	0,3779	0,3688
4		Absoluta	0,5059	0,6502	0,7038	0,6211
		Anomalía	0,3583	0,3770	0,3839	0,3778

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



Tabla XXXV. **Coefficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en estación meteorológica San Cristóbal**

<b>TSM océano Atlántico</b>	<b>Región</b>	<b>TSM</b>	<b>Sin retraso</b>	<b>1 mes</b>	<b>2 meses</b>	<b>3 meses</b>
	3+4	Absoluta	0,5471	0,6953	0,7513	0,6720
		Anomalía	0,4353	0,4472	0,4467	0,4324
	1+2	Absoluta	0,6712	0,7856	0,7608	0,5949
		Anomalía	0,4330	0,4453	0,4428	0,4249
	3	Absoluta	0,5819	0,7387	0,7851	0,6834
		Anomalía	0,4341	0,4458	0,4449	0,4304
	4	Absoluta	0,5921	0,7188	0,7350	0,6228
		Anomalía	0,4378	0,4512	0,4497	0,4344

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVI. **Coefficiente de correlación múltiple precipitación/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación meteorológica Purulhá**

<b>TSM océano Atlántico</b>	<b>Región</b>	<b>TSM</b>	<b>Sin retraso</b>	<b>1 mes</b>	<b>2 meses</b>	<b>3 meses</b>
	3+4	Absoluta	0,4923	0,6536	0,7341	0,6687
		Anomalía	0,4136	0,4292	0,4301	0,4138
	1+2	Absoluta	0,6344	0,7736	0,7811	0,6299
		Anomalía	0,4137	0,4292	0,4303	0,4137
	3	Absoluta	0,5357	0,7100	0,7799	0,6947
		Anomalía	0,4135	0,4293	0,4301	0,4138
	4	Absoluta	0,5226	0,6749	0,7341	0,6352
		Anomalía	0,4138	0,4295	0,4315	0,4155

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVII. **Coefficiente de correlación múltiple caudal/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño en la estación hidrológica Chajcar**

<b>TSM océano Atlántico</b>	<b>Región</b>	<b>TSM</b>	<b>Sin retraso</b>	<b>1 mes</b>	<b>2 meses</b>	<b>3 meses</b>
	3+4	Absoluta	0,5113	0,4877	0,4068	0,3243
		Anomalía	0,3811	0,3746	0,3658	0,3481
	1+2	Absoluta	0,5528	0,4739	0,3620	0,3514
		Anomalía	0,3739	0,3643	0,3472	0,3243
	3	Absoluta	0,5515	0,5139	0,4122	0,3231
		Anomalía	0,3823	0,3750	0,3654	0,3448
	4	Absoluta	0,5041	0,4608	0,3759	0,3259
		Anomalía	0,3971	0,3948	0,3885	0,3737

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXVIII. **Coefficiente de correlación múltiple caudal/TSM Atlántico/TSM regiones El Niño según el promedio**

<b>TSM océano Atlántico</b>	<b>Región</b>	<b>TSM</b>	<b>Sin Retraso</b>	<b>1 mes</b>	<b>2 meses</b>	<b>3 meses</b>
	3+4	Absoluta	0,5908	0,7258	0,7781	0,6964
		Anomalía	0,4925	0,5028	0,5014	0,4850
	1+2	Absoluta	0,7105	0,8146	0,7902	0,6280
		Anomalía	0,4906	0,5015	0,4997	0,4803
	3	Absoluta	0,6265	0,7704	0,8120	0,7077
		Anomalía	0,4917	0,5018	0,5003	0,4837
	4	Absoluta	0,6233	0,7403	0,7607	0,6510
		Anomalía	0,4935	0,5051	0,5042	0,4873

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XXXIX. **Modelo matemático de las correlaciones más acertadas durante la presencia de El Fenómeno de El Niño**

<b>Estación</b>	<b>Retraso</b>	<b>Región Niño</b>	<b>Modelo matemático</b>
Cahabón	1 mes	1+2	$Y = 1\,034,4376 - 35,7632TSM - 17,8125IOS$
Cobán	1 mes	1+2	$Y = 838,227 + 27,8379TSM + 1,5348IOS$
Pueblo Viejo	2 mes	1+2	$Y = 716,3911 - 26,9446TSM - 2,6165IOS$
San Cristóbal	1 mes	1+2	$Y = 1\,046,1685 - 38,3262TSM - 11,1296IOS$
Purulhá	1 mes	1+2	$Y = 1\,427,087 - 52,5352TSM - 21,9560IOS$
Chajcar	1 mes	1+2	$Y = 95,0986 - 3,2025TSM - 1,0894IOS$
Promedio	1 mes	1+2	$Y = 1\,103,8115 - 39,5665TSM - 10,5169IOS$

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.

Tabla XL. **Modelo matemático de las correlaciones más acertadas durante los cambios de TSM en el océano Atlántico**

<b>Estación</b>	<b>Retraso</b>	<b>Región Niño</b>	<b>Modelo matemático</b>
Cahabón	1 mes	1+2	$Y = -1,8994 - 24,2427TSM + 28,5273ATLA$
Cobán	1 mes	1+2	$Y = -0,277 - 19,5954TSM + 24,066ATLA$
Pueblo Viejo	2 meses	3	$Y = -1,6150 - 34,4636TSM - 32,0353ATLA$
San Cristóbal	1 mes	1+2	$Y = -2,0451 - 27,473SM + 29,5902ATLA$
Purulhá	2 meses	1+2	$Y = -3,7150 - 38,0892TSM + 40,7058ATLA$
Chajcar	Sin retraso	1+2	$Y = 0,5449 - 2,5537TSM - 2,9381ATLA$
Promedio	1 mes	1+2	$Y = 1,0357 - 26,2378TSM - 22,4326ATLA$

Fuente: elaboración propia, empleando Microsoft Excel.



## 5. INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

Para el análisis de datos de precipitación y caudal se estableció el período de estudio, desde el año 1980 al año 2015. Así mismo, se delimitaron los periodos de eventos de El Niño y La Niña utilizando los datos del ONI, los cuales indican que al tener una anomalía mayor  $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  en la región Niño 3.4 se presenta El Niño y, en caso contrario, al tener una anomalía menor a  $-0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$  indica ocurrencia de La Niña. Así mismo, se establecieron los periodos positivos y negativos según la TSM del océano Atlántico, que indica que al registrarse una anomalía mayor a  $0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  indicaba un periodo positivo y  $-0,4\text{ }^{\circ}\text{C}$  un periodo negativo.

Para realizar el análisis se tomaron en cuenta 5 estaciones meteorológicas y una estación hidrológica con localización aledaña o dentro de la cuenca. Además, se realizó un promedio de la precipitación con las estaciones que se encuentran dentro de los polígonos de Thiessen para determinar el comportamiento normal en toda la cuenca de estudio.

Se obtuvo el comportamiento mensual de la precipitación en cada una de las estaciones; indican los valores máximos y mínimos de mililitros de lluvia como eventos extremos con la línea negra en las siguientes gráficas según los datos promedio para cada mes durante el periodo de estudio; los percentiles indican el rango de milímetros de lluvia normales que se precipitan en cada estación durante el año; el percentil 25 indica el límite máximo de precipitación normal y el percentil 75 indica el límite mínimo de precipitación normal. Finalmente, la mediana es el promedio general de todos los datos según el periodo de estudio para la cuenca.

En la figura 17 se define una época lluviosa para la estación meteorológica de Cahabón en los meses de mayo a diciembre, que representa el 84 % de la precipitación promedio anual de la estación. En la figura 18, se delimita una época lluviosa en los meses de mayo a diciembre para la estación meteorológica de Cobán, que representa el 80 % de la precipitación promedio anual de la estación. En la figura 19 se establece la época lluviosa para la estación meteorológica de Pueblo Viejo en los meses de abril a noviembre, que representa el 95 % de la precipitación promedio anual de la estación. Se observa en la figura 20 que la época lluviosa se hace presente en los meses de mayo a diciembre en la estación meteorológica de San Cristóbal, que representa el 85 % de la precipitación promedio anual de la estación. En la estación meteorológica de Purulhá, figura 21, se establece la época lluviosa en los meses de mayo a noviembre, debido a que representa el 86 % de la precipitación promedio anual de la estación. El comportamiento de la figura 22, correspondiente a la estación hidrográfica de Chajcar, indica que la época lluviosa se establece en los meses de junio a diciembre, ya que el 80 % de la precipitación promedio anual de la estación se encuentra en esos meses. Finalmente, se delimita una época lluviosa para el promedio según los polígonos de Thiessen, figura 23, en los meses de mayo a noviembre, que representa el 82 % de la precipitación promedio anual en promedio para todas las estaciones.

Por medio de tablas de contingencia, se catalogaron datos cuantitativos (precipitación y caudal) a clasificaciones cualitativas de condiciones y ocurrencia de eventos. Con base en los percentiles 0,33 y 0,66 se clasificaron tres condiciones: 'seco', para los datos que registren un valor menos al obtenido con el percentil 0,33; 'normal', para los datos que se registren con valores mayores al percentil 0,33, pero menores al percentil 0,66; y 'lluvioso' para los datos mayores al percentil 0,66.

Así mismo, dentro de esta clasificación se relacionaron los eventos del ciclo ENOS dados por el índice oceánico de El Niño (ONI), con sus respectivas clasificaciones de: Niño, Neutral y Niña. Además, se utilizó la prueba de independencia con la prueba exacta de Fisher para determinar con 5 % de significancia la dependencia entre las variables involucradas en la tabla de contingencia, para luego determinar el porcentaje de veces que es probable que las condiciones climáticas sean las descritas en la tabla de contingencia.

Acorde a los resultados obtenidos, los efectos de El Niño sobre la precipitación media de la cuenca se presentan con mayor probabilidad de condición seca; también, se muestra una probabilidad muy similar para condiciones lluviosas o normales, que expone que se presenta una influencia directa del fenómeno El Niño en la cuenca; sin embargo, no es lo suficientemente significativa para predecir eventos o condiciones.

En la tabla de contingencia de la probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Cahabón (tabla X) muestra mediante la prueba exacta de Fisher que durante los meses de julio y noviembre existe relación entre las condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos del ciclo ENOS. Durante el mes de julio, al presentarse el fenómeno de La Niña se tiene un 20 % de probabilidad de ser lluvioso y un 80 % de probabilidad de ser seco, al presentarse el fenómeno El Niño se tiene un 66,7 % de probabilidad de ser lluvioso y un 33,3 % de probabilidad de presentar una precipitación normal.

Así mismo, cuando no se presenta ningún evento y se encuentra neutral, se identifica un 27,7 % de probabilidad de ser un mes lluvioso, un 40,9 % de ser un mes normal y un 36,4 % de ser un mes seco. El mes de noviembre indica que durante el fenómeno de la Niña la precipitación disminuye y puede llegar a

evidenciarse una probabilidad de 54,5 % de tener un mes seco y una probabilidad del 45,5 % de ser un mes con la precipitación normal; además, cuando hay presencia del fenómeno de El Niño, hay un 30 % de la probabilidad de ser un mes con abundantes precipitaciones, un 50 % de presentar las condiciones normales de precipitación y un 20 % de probabilidad de ser un mes seco; finalmente cuando no se han registrados eventos y se encuentra neutral, se tiene un 60 % de probabilidad de ser lluvioso, 13,3 % de ser normal y 26,7 de ser un mes seco.

La prueba exacta de Fisher denota una dependencia entre condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos del ENOS durante el mes de mayo para la estación meteorológica Pueblo Viejo (tabla XII), la cual indica que se tiene un 50 % de probabilidades de ser un mes lluvioso y 50 % probabilidades de ser seco cuando se presenta el fenómeno de La Niña; al presentarse el fenómeno de El Niño se tiene una probabilidad del 83,33 % de ser seco y una probabilidad del 16,67 % de ser normal y, finalmente el mes de mayo tiene un 37,50 % de probabilidad de ser lluvioso, un 45,83 % de tener la precipitación promedio y un 16,67 % de ser seco.

Las tablas de contingencia correspondiente a la probabilidad de ocurrencia del ciclo ENOS en la precipitación de la estación meteorológica Cobán (tabla XI), estación meteorológica San Cristóbal (tabla XIII), estación meteorológica Purulhá (tabla XVI), estación hidrológica Chajcar (tabla XVI) y el promedio en los polígonos de Thiessen (tabla XVI) no muestran dependencia entre las condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos del ciclo ENOS.

Con respecto al análisis realizado para las estaciones estudiadas solamente dos estaciones, Cahabón y Pueblo Viejo, mostraron dependencia entre la precipitación y El Niño; presenta una mayor probabilidad ser lluvioso durante el



mes de julio y normal para el mes de noviembre en la estación de Cahabón. Así mismo, se obtuvo una mayor probabilidad de presentarse seco el mes de mayo en la estación de Pueblo Viejo durante la presencia del fenómeno.

Según los resultados obtenidos con antelación, muchas de las estaciones no presentaron dependencia directa, por lo que se realizó el mismo procedimiento con los cambios de temperatura en el océano Atlántico, ya que por la ubicación geográfica de la cuenca se podría presentar mayor dependencia en las estaciones estudiadas; además, podrían presentarse efectos muy similares a los que ocurridos en el océano Pacífico.

Los procedimientos realizados con los eventos del ENOS se repitieron, pero esta vez se relacionaron los percentiles ('seco' para los datos que registren un valor menos al obtenido con el percentil 0,33, 'normal' para los datos que se registren con valores mayores al percentil 0,33 pero menores al percentil 0,66 y 'lluvioso' para los datos mayores al percentil 0,66) con eventos de la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico en su fase 'positiva', 'neutral' y 'negativa'.

De igual forma, se utilizó la prueba de independencia con la prueba exacta de Fisher para determinar con 5 % de significancia la dependencia entre las variables involucradas en la tabla de contingencia, para luego determinar el porcentaje de veces que es probable que las condiciones climáticas sean las descritas en la tabla de contingencia.

En la tabla de contingencia de la probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica (tabla XVII) muestra mediante la prueba exacta de Fisher que durante el mes de marzo existe relación entre las condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos

en el océano Atlántico, el cual indica que, durante la fase negativa la precipitación tiene una probabilidad del 25 % de ser un mes lluvioso, 25 % de probabilidad de ser un mes normal y 50 % de probabilidad de ser un mes seco. Además, cuando hay presencia de la fase positiva, se tiene un 16,67 % de probabilidad de ser un mes lluvioso y un 83,33 % de probabilidad de ser un mes seco. Cuando no se presenta ninguna anomalía, se tiene un 37,50 % de ser un mes lluvioso, un 45,83 % de ser un mes normal y un 16,67 % de ser un mes seco.

Al estudiar la relación entre las condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos en el océano Atlántico, presentan dependencia el mes de marzo y noviembre en la estación meteorológica San Cristóbal (tabla XX). Al ocurrir la fase negativa en marzo, se tiene una probabilidad del 75 % de ser normal y una probabilidad del 25 % de ser seca, al ocurrir la fase positiva se tiene una probabilidad del 83 % de ser lluviosa y una probabilidad del 16,67 % de ser normal; en último lugar, si no se presentan anomalías en la temperatura superficial de mar, se tiene una probabilidad del 29,17 % de ser lluvioso, un 33,33 % de ser normal y 37,5 % de ser seco.

Durante el mes de noviembre, al ocurrir la fase negativa, se tiene un 25 % de probabilidad de ser lluvioso y un 75 % de ser seco; al ocurrir la fase positiva se tiene un 16,67 % de probabilidad de ser lluvioso, un 16,67 % de ser normal y finalmente un 66,67 % de ser seco; cuando no se presentan anomalías, se tiene un 41,67 % de probabilidad de ser lluvioso, un 41,67 % de ser normal y un 16,67 % de ser seco.

De acuerdo con la prueba exacta de Fisher, los cambios en la temperatura superficial del mar presentado en el mes de mayo y diciembre en la estación hidrológica Chajcar (tabla XXII) tienen una relación directa entre las condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos en el océano Atlántico. Durante el mes de

mayo se tiene una probabilidad del 16,7 % de ser lluvioso y un 83,3 % de ser normal durante la fase negativa; así mismo, se tiene un 16,7 % de probabilidades de ser un mes lluvioso, un 16,7 % de probabilidades de no tener alteraciones en la cantidad de mililitros de precipitados y un 66,7 % de probabilidades de ser un mes seco durante la fase positiva.

Finalmente, cuando no se presentan anomalías en la TSM en el océano Atlántico se tiene un 45,5 % de probabilidades de ser un mes lluvioso, 18,2 % de ser un mes normal y 36 % de probabilidades de ser un mes seco. Para el mes de diciembre, durante la fase negativa, se tiene un 33,3 % de probabilidad de ser lluvioso y un 66,7 % de probabilidades de ser un mes normal; cuando se presenta la fase positiva, se tiene un 9,1 % de probabilidades de ser lluvioso, un 27,3 % de probabilidades de ser normal y un 63,6 % de ser un mes seco, en último lugar; cuando la TSM se presenta neutra se tiene un 50 % de probabilidades de ser lluvioso, un 14,3 % de probabilidades de ser normal y un 35,7 % de ser seco.

Se presentan las tablas de contingencia correspondiente a la probabilidad de ocurrencia de cambios de TSM del océano Atlántico para la precipitación de la estación meteorológica de Cobán (tabla XVIII), estación meteorológica de Pueblo Viejo (tabla XIX), estación meteorológica Purulhá (tabla XXI) y precipitación promedio según los polígonos de Thiessen (tabla XXIII) las cuales no presentan dependencia entre las condiciones climáticas y la ocurrencia de eventos en el océano Atlántico, que demuestra que los cambios en la precipitación no están directamente relacionados con las anomalías registradas sobre la temperatura superficial del mar.

Los cambios en la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico presentan una mayor probabilidad de condición seca durante la fase negativa según todos los datos estudiados; sin embargo, únicamente 3 estaciones

mostraron dependencia: Cahabón con condiciones secas durante el mes de marzo; San Cristóbal con condiciones lluviosas durante el mes de marzo y condiciones secas durante el mes de noviembre y la estación hidrológica Chajcar que presenta condiciones secas durante el mes de mayo.

En este estudio, además de caracterizar las condiciones provocadas por el fenómeno El Niño en las condiciones de precipitación de la cuenca, se busca establecer el grado de asociación entre el fenómeno y su incidencia sobre la cuenca. Para ello se utilizó el análisis de correlación; se inicia con la realización de la correlación simple entre la precipitación/caudal registrada en cada estación con:

- La temperatura sobre el nivel registrada en cada una de las regiones de El Niño (Niño 3+4, Niño 1+2, Niño 3 y Niño 4).
- El índice de oscilación del sur (IOS).
- El índice oceánico El Niño (ONI).
- La temperatura superficial del mar en el océano Atlántico con la precipitación registrada en cada estación.

Se muestran los resultados de los coeficientes de correlación simple (tabla XXIV), los cuales no cuentan con una relación directa con las regiones de El Niño, el IOS y el ONI debido a que los valores obtenidos son insuficientes para comprobar la relación entre el fenómeno y las condiciones de la cuenca; sin embargo, los cambios de precipitación y caudal que se registran sobre la cuenca denotan una dependencia mayor con los cambios de temperatura que se presentan en el océano Atlántico; no obstante, se realizaron correlaciones múltiples para verificar si la cuenca se encuentra influenciada por el ENOS de alguna forma.

La correlación múltiple tomó en cuenta el factor dependiente (precipitación) con los factores independientes: atmosféricos (IOS) y oceánico (TSM) del fenómeno El Niño, obteniendo como resultado los coeficientes de correlación múltiple según las regiones Niño para cada una de las estaciones. Además, se tomó en cuenta que los cambios en la precipitación o caudal no podían ser inmediatos, si no que los verdaderos efectos se verían reflejados un tiempo después de registrarse el evento de El Niño, por lo que se realizaron las mismas correlaciones corriendo los datos de precipitación uno, dos y tres meses después en cada una de las estaciones estudiadas.

Cuando se presenta un aumento de temperatura superficial del mar en la región 1+2 de El Niño se muestra un cambio de presión atmosférica en la parte occidental del océano Pacífico (IOS) y tiene una relación directa con el comportamiento de la precipitación 1 mes después de ocurrir el evento en la estación meteorológica Cahabón (tabla XXV), Cobán (tabla XXVI), San Cristóbal (tabla XXVIII), Purulhá (tabla XXIX) y el promedio de precipitación según los polígonos de Thiessen (tabla XXXI); sin embargo, existe una correlación mayor 2 meses posterior a la ocurrencia de eventos en la estación meteorológica Pueblo Viejo (tabla XXVII).

Al analizar el caudal en la estación hidrológica Chajcar con el aumento de temperatura superficial del mar y el índice de oscilación del sur, se obtiene que se tiene una mayor correlación en la región 3 de El Niño y una incidencia en los niveles del caudal 1 mes después que ocurre el fenómeno.

De acuerdo con los resultados obtenidos en la correlación simple, la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico es la que presenta mejores resultados, por lo que se procedió a realizar de igual forma una correlación múltiple que tomó en cuenta el factor dependiente (precipitación) con los factores

independientes oceánicos TSM en las regiones de El Niño y la TSM en el océano Atlántico. Así mismo, se tomaron en cuenta que los cambios en la precipitación o caudal uno, dos y tres meses después en cada una de las estaciones estudiadas para verificar los verdaderos efectos sobre la cuenca.

Cuando se presenta un aumento de temperatura superficial del mar en las regiones de El Niño en el océano Pacífico; también, se tiene un aumento en la temperatura superficial del mar en el océano Atlántico, se obtiene finalmente una relación directa con el comportamiento en la precipitación en la cuenca. Aunque en todas las regiones presentaron una alta correlación, se obtuvo el mejor resultado 1 mes en la región 1+2 de El Niño en la estación meteorológica Cahabón (tabla XXXII), Cobán (tabla XXXIII), San Cristóbal (tabla XXXV) y el promedio de precipitación según los polígonos de Thiessen (tabla XXXVIII); sin embargo, existe una correlación mayor 2 meses posterior a la ocurrencia de eventos en la estación meteorológica Pueblo Viejo (tabla XXXIV) y Purulhá (tabla XXXVI).

Al analizar el caudal en la estación hidrológica Chajcar con el aumento de temperatura superficial del mar en el océano Pacífico (regiones de El Niño) y Atlántico, se obtiene que se tiene una mayor correlación en la región 1+2 de El Niño y una incidencia en los niveles del caudal cuando ocurre el fenómeno, es decir, sin retraso.

Finalmente, se puede concretar que, de las correlaciones múltiples obtenidas, se muestran valores significativos durante la presencia del ENOS; sin embargo, se muestran correlaciones con mayor influencia cuando se presenta un aumento en la TSM en el océano Atlántico; concluye que la cuenca tiene mayor influencia con los eventos ocurridos en el océano Atlántico.

Así mismo, es importante mencionar que la mayoría de las estaciones cercanas a la cuenca, sin importar si el evento se presenta en el océano Atlántico o Pacífico, están relacionadas con los cambios en la TSM en la región 1+2 de El Niño, que presenta sus impactos 1 mes después de registrar las anomalías.

El estudio demostró que no solo las anomalías presentadas sobre el océano Pacífico afectan o dirigen las condiciones de lluvia o sequía en una región; el océano Atlántico, también, presenta eventos con impactos muy parecidos a El Niño (fase positiva), los cuales influyen sobre los eventos meteorológicos de todo el mundo.

Para finalizar, con el fin de predecir posibles eventos de lluvia o sequía en la cuenca se realizó una serie de modelos matemáticos por estación durante la ocurrencia del ENOS y durante las anomalías presentadas en la TSM del océano Atlántico.





## CONCLUSIONES

1. Al presentarse el fenómeno El Niño, la mayoría de las estaciones meteorológicas evaluadas presentan una intensidad de lluvia menor a la normal registrada; sin embargo, la prueba de Fisher sugiere que es dependiente únicamente en el mes mayo en la estación de Pueblo Viejo.
2. Al presentarse los fenómenos en el océano Atlántico, la mayoría de las estaciones meteorológicas evaluadas presentan una intensidad de lluvia menor a la normal registrada en la fase positiva; sin embargo, la prueba de Fisher sugiere que es dependiente únicamente en el mes de marzo para la estación de Cahabón; los meses de marzo y noviembre en la estación San Cristóbal; y finalmente los meses de mayo, octubre y diciembre en la estación Chajcar.
3. La región 1+2 El Niño presenta el coeficiente de correlación más elevado; indica que cuando se presentan los cambios en la temperatura superficial del mar a la normal registrada en esta región, tendrá un impacto directo en la precipitación normal registrada en las estaciones meteorológicas.
4. El coeficiente de correlación entre el IOS y la precipitación en las estaciones meteorológicas no es significativo; indica que los cambios de presión en el océano Pacífico no están directamente relacionados con los cambios de precipitación en la cuenca.

5. Los cambios de temperatura superficial del mar en el océano Atlántico y la precipitación de la cuenca presentan un coeficiente de relación significativo; indica que los cambios de precipitación en la cuenca están directamente relacionados con la ocurrencia de eventos sobre el océano Atlántico.
  
6. La correlación múltiple entre el índice de oscilación del sur con la temperatura superficial del mar y la precipitación y caudal presenta una mayor correlación un mes después de registrar los cambios de temperatura en el nivel del mar en la región 1+2 en la mayoría de las estaciones estudiadas; es decir, los cambios en la precipitación se perciben un mes después de la ocurrencia del fenómeno El Niño.
  
7. En todas las estaciones estudiadas, el coeficiente de relación mayor se presentó al realizar la correlación de la región El Niño 1+2 con los cambios de temperatura superficial del mar registrados en el océano Atlántico; es decir, los eventos en los diferentes océanos están correlacionados y tienen incidencia en la cuenca un mes después presentando las alteraciones de la precipitación y el caudal a las normales registradas en la cuenca del río Cahabón.

## RECOMENDACIONES

1. Continuar y aumentar las mediciones sobre la precipitación en la cuenca, para determinar con más exactitud los impactos sobre los cambios de caudal en los ríos y la cantidad de eventos registrados cuando se presentan el fenómeno El Niño y cambios de temperatura superficial del mar en el océano Atlántico.
2. Implementar más estaciones meteorológicas en las cuencas con los caudales más representativos del país.
3. Extender el estudio a los entes encargados del estudio del clima del país, para que ellos continúen evaluando constantemente y prediciendo los eventos que se presentarán para mejorar nuestro plan de respuesta ante cualquier cambio significativo del caudal o precipitación.
4. Efectuar un plan de acción para mitigar los efectos que los fenómenos estudiados traen a la cuenca.



## BIBLIOGRAFÍA

1. CONRED. *Boletín informativo No. 3884 Fenómeno de El Niño afectará establecimiento de época lluviosa 2015*. [en línea]. <[http://www.conred.gob.gt/www/index.php?option=com\\_content&view=article&id=5243:boletin-informativo-no-3884-fenomeno-de-el-nino-afectara-establecimiento-de-epoca-lluviosa-2015&catid=37&Itemid=1010](http://www.conred.gob.gt/www/index.php?option=com_content&view=article&id=5243:boletin-informativo-no-3884-fenomeno-de-el-nino-afectara-establecimiento-de-epoca-lluviosa-2015&catid=37&Itemid=1010)> [Consulta: 10 de septiembre de 2016].
2. COTTO GUZMÁN, Elían Jacobo. *Aportes para mejorar el manejo de los recursos naturales renovables en la cuenca del Río Cahabón, Alta Verapaz*. [en línea]. <[http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01\\_2268.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/01/01_2268.pdf)> [Consulta: 21 de septiembre de 2016].
3. FUENTES, Mario Roberto. BAUTISTA, Mario Roberto. ARGUETA, Juan Carlos. GARAVITO, Fulgencio. HERRERA, Luis. *El fenómeno de El niño 1997-98 en Guatemala*. [En línea]. <<http://www.bvsde.paho.org/texcom/cd046995/LHerrera.pdf>>. [Consulta: 24 de septiembre de 2016].
4. GLANTZ, MICHAEL H. *Corrientes de cambio: el impacto de El Niño sobre el clima y la sociedad*. Estados Unidos: USAID, 2000. p.200.

5. INSIVUMEH. *Boletín climático No. 2-2016 Perspectiva climática de febrero 2016*. [en línea]. <[http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/boletin\\_climatico/Boletin %20climatico %202-2016.pdf](http://www.insivumeh.gob.gt/meteorologia/boletin_climatico/Boletin%20climatico%202-2016.pdf)> [Consulta: 10 de septiembre de 2016].
6. MAGA (Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación, GT); PAFG (Plan de Acción Forestal para Guatemala, GT); INAB (Instituto Nacional de Bosques, GT). 1998. *Diagnóstico forestal de la región II, las Verapaces*. Guatemala. [Consulta: 10 de septiembre 2016].
7. METED. *Fuentes de variabilidad interanual*. [en línea]. <[http://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook\\_2nd\\_edition\\_es/print\\_4.htm#page\\_2.1.0](http://www.meted.ucar.edu/tropical/textbook_2nd_edition_es/print_4.htm#page_2.1.0)> [Consulta: 11 de septiembre de 2016].
8. MONTEPEQUE, FERDY. *Diario Digital. El Niño más fuerte de la década afectará a Guatemala*. [En línea]. <http://diariodigital.gt/2015/09/el-nino-mas-fuerte-de-la-decada-afectara-a-guatemala/> [Consulta: 23 de septiembre de 2016].
9. SERGIO GUTIÉRREZ; YESID CARVAJAL; ALVARO ÁVILA. *Estudio de la influencia del fenómeno El Niño - oscilación del sur en la oferta hídrica de la cuenca hidrográfica del río Dagua*. [en línea]. <<http://biblioteca.ucp.edu.co/ojs/index.php/entrecei/article/viewFile/589/554>> [Consulta: 24 de octubre de 2016].

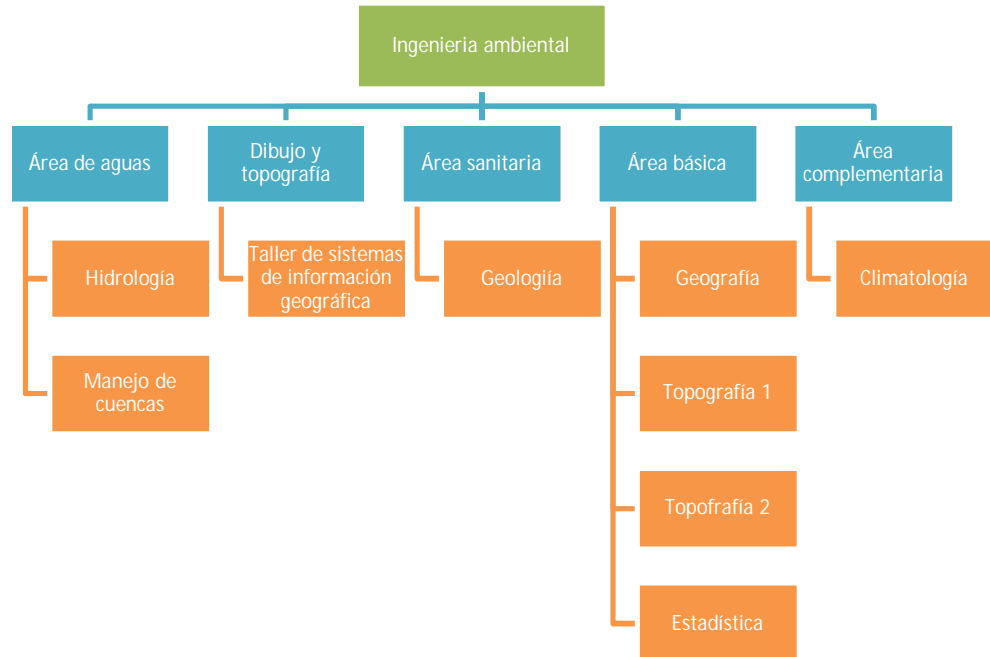
10. SEGEPLAN (Secretaría General del Consejo de Planificación Económica, GT); GTZ (Sociedad Alemana de Cooperación Técnica, GT). 1996. *Plan marco para el desarrollo del departamento de Alta Verapaz*. [Consulta: 11 de septiembre de 2016].
11. Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú. *Fenómeno El Niño*. [En línea]. <<http://www.senamhi.gob.pe/?p=0814>> [Consulta: 24 de septiembre de 2016].
12. USAC. *Boletín No. 2 Economía del día*. [en línea]. <[http://www.sitios.usac.edu.gt/cecon/wpcontent/uploads/2013/04/Bolet %C3 %ADn-No.-02-Febrero-2013.pdf](http://www.sitios.usac.edu.gt/cecon/wpcontent/uploads/2013/04/Bolet%C3%ADn-No.-02-Febrero-2013.pdf)> [Consulta: 21 de septiembre de 2016].
13. VARE, Daniel. *Fenómeno de El Niño*. [en línea]. <<http://es.slideshare.net/danielvare/fenomeno-del-nio-y-la-nia-7917221>> [Consulta: 03 de septiembre de 2016].





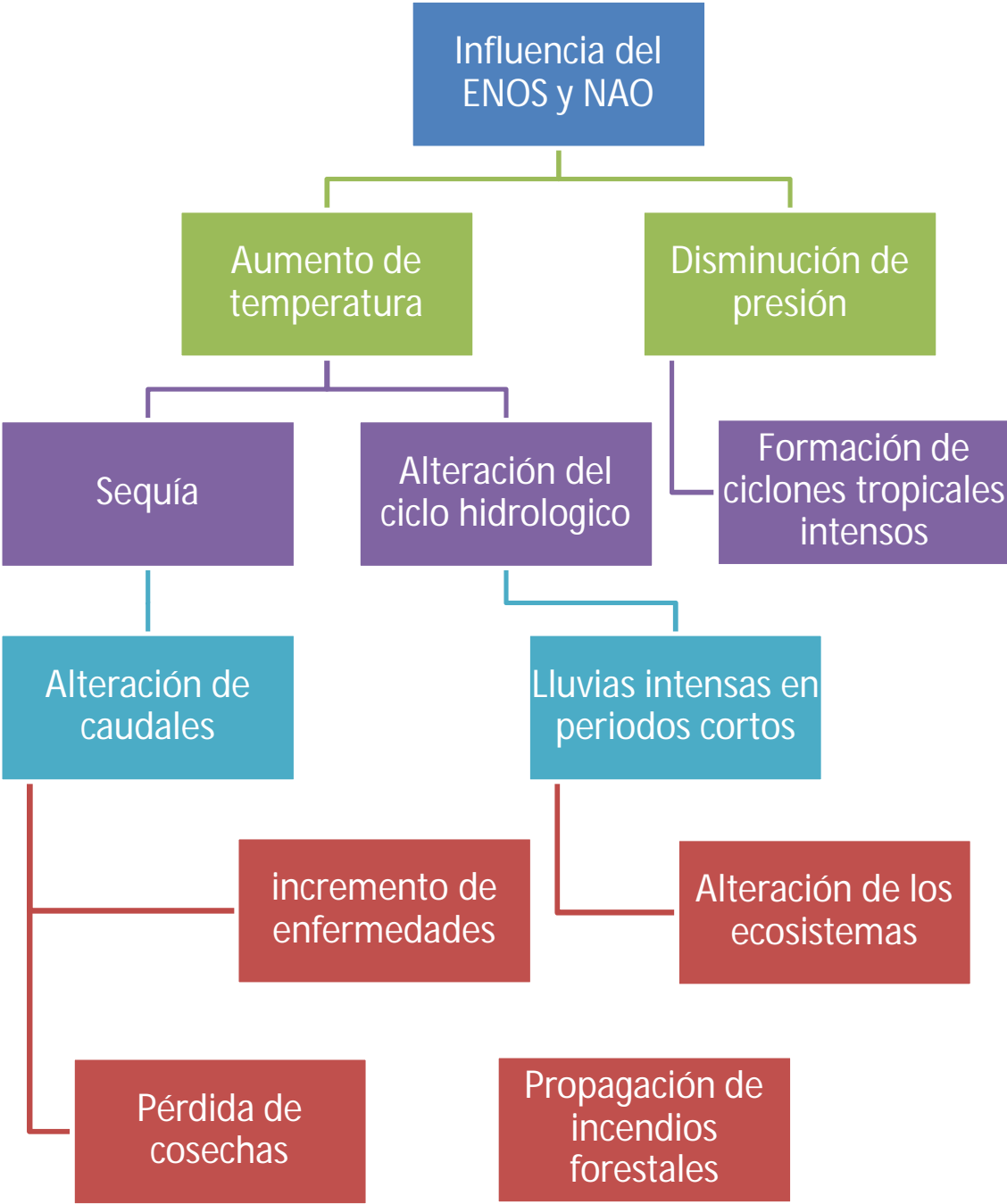
# APÉNDICES

## Apéndice 1. Tabla de requisitos académicos



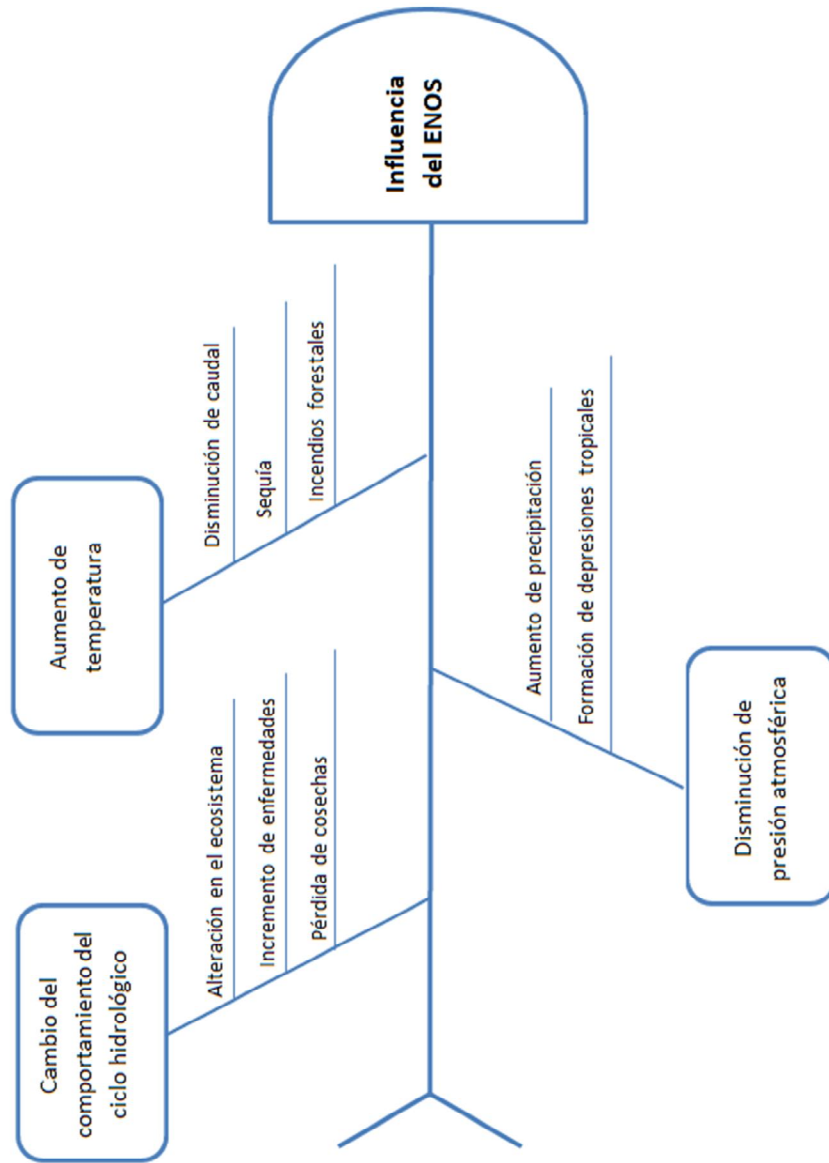
Fuente: elaboración propia.

Apéndice 2. **Árbol de problemas**



Fuente: elaboración propia.

Apéndice 3. Diagrama de Ishikawa



Fuente: elaboración propia.

