



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Maestría en Ciencias en Geomática

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS CON DATOS  
PLUVIOMÉTRICOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA**

**Ing. Pedro Luis Bollat Flores**

Asesorado por el MSc. Ing. José Ramiro García Álvarez

Guatemala, septiembre 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS CON DATOS  
PLUVIOMÉTRICOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**ING. PEDRO LUIS BOLLAT FLORES**

ASESORADO POR EL MSC. ING. JOSÉ RAMIRO GARCÍA ÁLVAREZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**MAESTRO EN CIENCIAS EN GEOMÁTICA**

GUATEMALA, SEPTIEMBRE 2023

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
VOCAL II	Ing. Mario Renato Escobedo Martínez
VOCAL III	Ing. José Milton de León Bran
VOCAL IV	Br. Kevin Vladimir Cruz Lorente
VOCAL V	Br. Fernando José Paz González
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. José Francisco Gómez Rivera (a. i.)
EXAMINADOR	Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Marlon Antonio Pérez Türk
EXAMINADOR	Mtro. Ing. Edson Toniño Hernández Mazariegos
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

## **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:

### **ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS CON DATOS PLUVIOMÉTRICOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería, con fecha 10 de octubre de 2022.

**Ing. Pedro Luis Bollat Flores**

LNG.DECANATO.OI.624.2023

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 Estudios de Posgrado, al Trabajo de Graduación titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS CON DATOS PLUVIOMÉTRICOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA**, presentado por: **Ing. Pedro Luis Bollat Flores**, que pertenece al programa de Maestría en ciencias en Geomática después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
  
Ing. José Francisco Gómez Rivera  
Decano a.i.

Guatemala, septiembre de 2023

JFGR/gaac



**Guatemala, septiembre de 2023**

LNG.EEP.OI.624.2023

En mi calidad de Directora de la Escuela de Estudios de Postgrado de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer el dictamen del asesor, verificar la aprobación del Coordinador de Maestría y la aprobación del Área de Lingüística al trabajo de graduación titulado:

**“ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS CON DATOS PLUVIOMÉTRICOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA”**

presentado por **Ing. Pedro Luis Bollat Flores** correspondiente al programa de **Maestría en ciencias en Geomática** ; apruebo y autorizo el mismo.

Atentamente,

*“Id y Enseñad a Todos”*



**Mtra. Inga. Aurelia Anabela Cordova Estrada**  
**Directora**  
**Escuela de Estudios de Postgrado**  
**Facultad de Ingeniería**



Guatemala, 12 de mayo de 2023

**M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti**  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrado  
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el **INFORME FINAL y ARTÍCULO CIENTÍFICO** titulado: **ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS CON DATOS PLUVIOMÉTRICOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA** del estudiante **Pedro Luis Bollat Flores** quien se identifica con número de carné **202190946** del programa de Ingeniería Geomatica.

Con base en la evaluación realizada hago constar que he evaluado la calidad, validez, pertinencia y coherencia de los resultados obtenidos en el trabajo presentado y según lo establecido en el **Normativo de Tesis y Trabajos de Graduación aprobado por Junta Directiva de la Facultad de Ingeniería Punto Sexto inciso 6.10 del Acta 04-2014 de sesión celebrada el 04 de febrero de 2014**. Por lo cual el trabajo evaluado cuenta con mi aprobación.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



**Mtro. Ing. Marlon Antonio Perez Turk**  
Coordinador  
Ingeniería Geomatica  
Escuela de Estudios de Postgrado

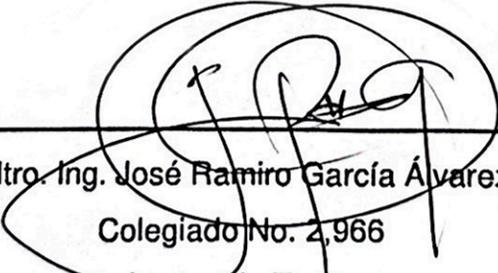
Guatemala, 12 de mayo de 2023

M.A. Ing. Edgar Dario Alvarez Coti  
Director  
Escuela de Estudios de Postgrados  
Presente

Estimado M.A. Ing. Alvarez Coti

Por este medio informo a usted, que he revisado y aprobado el Trabajo de Graduación y el Artículo Científico: **"ANÁLISIS COMPARATIVO DE DATOS DE PRECIPITACIÓN CHIRPS CON DATOS PLUVIOMÉTRICOS DEL DEPARTAMENTO DE CHIQUIMULA, GUATEMALA"** del estudiante **Pedro Luis Bollat Flores** del programa de **Ingeniería Geomatica** identificado(a) con número de carné 202190946.

Agradeciendo su atención y deseándole éxitos en sus actividades profesionales me suscribo.



Mtro. Ing. José Ramiro García Álvarez  
Colegiado No. 2,966  
Asesor de Tesis

MSc. Ing. José Ramiro García Álvarez  
Colegiado No. 2,966



## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Universidad de San Carlos de Guatemala</b>	Por darme la oportunidad de adquirir nuevos conocimientos y brindarme las herramientas necesarias para mi formación profesional.
<b>Mi asesor</b>	Msc. Ramiro García, por su invaluable apoyo y orientación durante todo el proceso de investigación.
<b>Mis profesores</b>	Por la enseñanza, dedicación y experiencias compartidas con nosotros.
<b>Mis compañeros</b>	Por compartir a lo largo de esta maravillosa aventura, horas de estudio y experiencias que siempre quedarán en mi vida, gracias por su amistad.
<b>Los profesionales</b>	Lic. Luis Vásquez, Ing. Diego Agudelo e Ing. Carlos Maldonado, por su orientación, consejos y sugerencias a lo largo de la investigación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES .....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	VII
GLOSARIO .....	IX
RESUMEN.....	XI
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	XIII
JUSTIFICACIÓN.....	XVII
OBJETIVOS.....	XIX
HIPÓTESIS.....	XXI
ANTECEDENTES.....	XXIII
ALCANCES.....	XXVII
RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO .....	XXIX
INTRODUCCIÓN .....	XXXIII
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	1
1.2. Teledetección .....	2
1.2.1. Teledetección y meteorología.....	2
1.3. Clima .....	3
1.3.1. Clasificación del clima .....	3
1.3.2. Variables meteorológicas .....	4
1.3.2.1. Precipitación pluvial .....	4
1.3.2.2. Temperatura .....	5
1.3.2.3. Humedad relativa.....	5
1.3.2.4. Evapotranspiración .....	6
1.3.2.5. Presión atmosférica .....	6

1.4.	Meteorología .....	6
1.4.1.	Modelos climáticos .....	7
1.4.2.	Estación meteorológica .....	7
1.4.3.	Tipos de estaciones meteorológicas .....	8
1.4.4.	Climatología .....	9
1.4.5.	Variabilidad climática.....	10
1.4.6.	Cambio climático .....	11
1.4.7.	Fenómeno El Niño, Oscilación del Sur (ENOS) .....	11
1.5.	Mesas técnicas sobre el clima .....	12
1.5.1.	Mesas técnicas agroclimáticas.....	12
1.5.2.	Redes de información agroclimáticas.....	13
1.6.	Teledetección aplicada sistemas de monitoreo del clima.....	13
1.6.1.	WorldClim.....	13
1.6.2.	Sistemas GOES .....	14
1.6.3.	CHIRP .....	14
1.6.4.	CHIRPS.....	15
1.7.	Análisis estadístico.....	16
1.7.1.	Raíz del error cuadrático medio (RMSE).....	19
1.7.2.	Error cuadrático medio (MSE) .....	19
1.7.3.	Error absoluto medio (MAE) .....	19
1.7.4.	Error porcentual absoluto medio (MAPE) .....	19
1.7.5.	Correlación de Pearson (r) .....	20
1.7.6.	T de Student.....	20
1.7.7.	Prueba U de Mann-Whitney .....	20
1.7.8.	Shapiro-Wilk.....	20
1.7.9.	Levene.....	21
1.7.10.	Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe.....	21
1.8.	Método de interpolación Kriging .....	22
1.8.1.	Kriging ordinario .....	23

2.	MARCO REFERENCIAL .....	25
2.1.	Área de estudio .....	25
2.2.	División político administrativo.....	26
2.3.	Clima .....	26
2.4.	Suelos.....	27
2.5.	Red de estaciones meteorológicas de Chiquimula.....	27
3.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	29
3.1.	Análisis de calidad de datos pluviométricos locales .....	29
3.2.	Análisis de la precipitación mensual.....	37
3.3.	Análisis de la precipitación por péntadas.....	50
3.4.	Análisis de la precipitación anual.....	52
3.5.	Análisis de la época seca .....	55
3.6.	Análisis del coeficiente de Nash-Sutcliffe .....	57
3.7.	Análisis espacial de la precipitación .....	59
3.7.1.	Análisis espacial promedio mensual.....	59
3.7.1.1.	Diferencias espaciales por mes.....	63
3.7.1.2.	Análisis estadístico de los resultados espaciales por mes.....	66
3.7.2.	Análisis espacial de precipitación del fenómeno ENSO .....	69
3.7.2.1.	Diferencias espaciales por fenómeno ENSO.....	72
3.7.2.2.	Análisis estadístico de los resultados espaciales por fenómeno ENSO.....	74
3.7.3.	Análisis espacial por estación.....	75
	CONCLUSIONES .....	83
	RECOMENDACIONES.....	85

REFERENCIAS .....87  
APÉNDICES.....97

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

<b>Figura 1.</b> Estación meteorológica.....	8
<b>Figura 2.</b> Esquema de producción y aplicación de CHIRPS .....	16
<b>Figura 3.</b> Área de estudio.....	25
<b>Figura 4.</b> Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas.....	33
<b>Figura 5.</b> Precipitación promedio mensual .....	34
<b>Figura 6.</b> Variabilidad de la precipitación local .....	35
<b>Figura 7.</b> Variabilidad de la precipitación CHIRPS .....	35
<b>Figura 8.</b> Tendencia de precipitación promedio anual respecto a la altitud.....	36
<b>Figura 9.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación Camotán .....	38
<b>Figura 10.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación Esquipulas .....	39
<b>Figura 11.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación CUNORI.....	40
<b>Figura 12.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación Alotepeque.....	41
<b>Figura 13.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación El Rosario .....	42
<b>Figura 14.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación Quebrada Chucte .....	43
<b>Figura 15.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación Chiramay .....	44
<b>Figura 16.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación Veguitas.....	45
<b>Figura 17.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación MAGA .....	46
<b>Figura 18.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación La Fragua .....	47
<b>Figura 19.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación La Unión .....	48
<b>Figura 20.</b> Precipitación local y CHIRPS, estación Pasabien.....	49
<b>Figura 21.</b> Precipitación promedio de mayo .....	59
<b>Figura 22.</b> Precipitación promedio de junio y julio .....	60
<b>Figura 23.</b> Precipitación promedio de agosto y septiembre .....	61

<b>Figura 24.</b> Precipitación promedio de octubre y noviembre .....	62
<b>Figura 25.</b> Diferencias espaciales de mayo - agosto .....	64
<b>Figura 26.</b> Diferencias espaciales de septiembre - noviembre .....	65
<b>Figura 27.</b> Precipitación promedio años niño.....	70
<b>Figura 28.</b> Precipitación promedio años niña.....	71
<b>Figura 29.</b> Precipitación promedio años neutro .....	72
<b>Figura 30.</b> Diferencias espaciales en fenómeno ENSO.....	73
<b>Figura 31.</b> Precipitación promedio años 1996 y 2001 .....	79
<b>Figura 32.</b> Precipitación promedio años 2006 y 2011 .....	80
<b>Figura 33.</b> Precipitación promedio años 2017 y 2022.....	81

## TABLAS

<b>Tabla 1.</b> Ecuaciones estadísticas.....	17
<b>Tabla 2.</b> Estaciones meteorológicas de Chiquimula.....	27
<b>Tabla 3.</b> Control de calidad de datos pluviométricos locales.....	29
<b>Tabla 4.</b> Estaciones meteorológicas aprobadas.....	31
<b>Tabla 5.</b> Resultados estadísticos mensuales, temporada lluviosa .....	37
<b>Tabla 6.</b> Resultados estadísticos por péntadas, temporada lluviosa.....	50
<b>Tabla 7.</b> Resultados estadísticos anuales, temporada lluviosa .....	53
<b>Tabla 8.</b> Resultados estadísticos mensuales, época seca .....	55
<b>Tabla 9.</b> Resultados de la eficiencia Nash-Sutcliffe .....	57
<b>Tabla 10.</b> Estadísticos de los resultados espaciales por mes .....	67
<b>Tabla 11.</b> Clasificación de años del fenómeno ENSO.....	69
<b>Tabla 12.</b> Estadísticos de los resultados espaciales del fenómeno ENSO .....	74
<b>Tabla 13.</b> Estadísticos de los resultados espaciales por estación.....	75

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
°	Grado
°C	Grado centígrado
km <sup>2</sup>	Kilómetro cuadrado
mm	Milímetro
'	Minuto
%	Porcentaje
"	Segundo



## GLOSARIO

<b>CHIRPS</b>	Siglas en inglés para referirse a los datos de precipitación tomados por satélite (climate hazards group infrared precipitation with station).
<b>ENSO</b>	Siglas en inglés para referirse a la oscilación del sur del fenómeno de El Niño (el niño southern oscillation).
<b>Estación meteorológicas</b>	Dispositivo que registra valores sobre determinadas variables meteorológicas, como la temperatura, precipitación, radiación solar, entre otros.
<b>IDW</b>	Siglas en inglés para referirse a la técnica estadística para la interpolación espacial (inverse distance weighting).
<b>INSIVUMEH</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
<b>Interpolación</b>	Cálculo aproximado de un valor desconocido, a partir de valores conocidos.
<b>Kriging</b>	Técnica geoestadística para la interpolación espacial.

<b>Precipitación</b>	Proceso por el cual, el agua en forma de gotas, cae desde la atmósfera a la superficie terrestre debido a la condensación del vapor de agua en las nubes.
<b>Teledetección</b>	Técnica de adquisición de información sobre la superficie terrestre o de otros objetos, sin entrar en contacto directo con ellos.
<b>Variabilidad climática</b>	Fluctuaciones naturales de las condiciones climáticas en una región a escala diaria, pentadal, mensual, estacional o anual.

## RESUMEN

En el departamento de Chiquimula, la variable precipitación tiene alto impacto en la producción agrícola y seguridad alimentaria y nutricional, por encontrarse ubicado en el corredor seco centroamericano. Donde, conocer la variabilidad espacial de la precipitación estimada por CHIRPS es importante por la cantidad y ubicación de la actual red de estaciones meteorológicas en el departamento.

La escasez de información climática generada a nivel local limita la toma de decisiones para realizar acciones que contribuyan a evitar efectos adversos en la producción de cultivos de subsistencia como maíz y frijol. Ante la variabilidad de la precipitación y la incertidumbre de los datos satelitales es necesario analizar y comparar a nivel espacial el grado de precisión que tiene CHIRPS con relación a datos locales, para determinar si son similares, y que permitan generar productos agroclimáticos de calidad para la toma de decisiones por parte de agricultores, ONG, academia, autoridades e instituciones de gobierno.

El estudio tiene como objetivo determinar la precisión de la precipitación estimada por satélite del producto CHIRPS con los datos pluviométricos del departamento de Chiquimula, mediante estadística espacial.

Para ello se realizó un análisis comparativo entre los datos de precipitación de 12 estaciones que aprobaron el control de calidad y los datos CHIRPS de la misma área geográfica, para la época lluviosa en el departamento Chiquimula; clasificando los datos en pentadías, mensual y anual, para determinar la

variabilidad de los datos de precipitación en diferentes escalas temporales. Luego, se realizó una evaluación espacial, de los datos interpolados de CHIRPS mediante el método de Kriging Ordinario en un diámetro de 10 kilómetros, partiendo de la coordenada espacial de cada estación.

Los datos CHIRPS mostraron alta correspondencia espacial con los datos locales de precipitación a escala mensual, y en los años donde se registró el fenómeno de La Niña; así como, para los años análogos de 1996, 2001, 2006 y 2011. Los grupos de datos cuentan con una correlación positiva de 0.84.

El 40 % de la red de estaciones cuentan con registros menores a un año, y un tercio tienen más de 10 % de datos atípicos, lo que indica problemas en la calibración o mantenimiento de los equipos meteorológicos. La escasez de datos a largo plazo, en la mayoría de las estaciones, representa un impacto en la toma de decisiones en la agricultura local y seguridad alimentaria.

La evaluación espacial muestra que la precisión entre los datos pluviométricos locales y CHIRPS es de 80 %. Finalmente, se observa que los datos satelitales sobrestiman la precipitación registrada por las estaciones meteorológicas, aunque con una variabilidad baja.

## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

El departamento de Chiquimula se encuentra ubicado dentro del corredor seco centroamericano en donde la producción agrícola se concentra en cultivo de subsistencia como lo son granos básicos (maíz y frijol), esencialmente para la seguridad alimentaria y nutricional de la población; donde se realizan esfuerzos para proveer de información climática, principalmente a los productores agropecuarios y tomadores de decisiones.

La información climática histórica es importante para determinar la variabilidad que actualmente experimenta el clima en dicha región; la escasez de información climática generada a nivel local es el principal problema que limita la generación de insumos climáticos fiables para que productores agropecuarios tomen decisiones y realicen acciones anticipadas para evitar efectos adversos en la producción de sus cultivos y la productibilidad de sus tierras. Asimismo, la escasez de información dificulta poder implementar estrategias y acciones para el monitoreo agroclimático; elementos muy importantes para atender las necesidades y requerimientos de información que demandan los productores.

Para la generación de los pronósticos climáticos se utiliza información proporcionada por el INSIVUMEH y por plataformas satelitales como CHIRPS, Modelos WRF (Weather Research and Forecasting), CHIRTS (Climate Hazards Center Infrared Temperature with Stations) entre otros; y la información de 2 estaciones meteorológicas propiedad de INSIVUMEH ubicadas en el departamento, en los municipios de Esquipulas y Camotán. La información climática a nivel local no es suficiente para generar perspectivas climáticas capaces de predecir las condiciones del tiempo en un determinado periodo,

debido a ello, se emplea información generada por las plataformas antes indicadas que generan información climática diaria.

Para generar productos agroclimáticos se requiere de una red de estaciones que proporcionen datos climáticos de calidad; la red que actualmente cubre el departamento de Chiquimula data del año 2012; con excepción de las estaciones del ente responsable del monitoreo climático a nivel nacional (INSIVUMEH), que dispone de más de 30 años de registros climáticos.

Debido al déficit de información climática en la mayor parte del departamento, donde la población y productores deben tomar decisiones con base en conocimientos tradicionales sobre el clima, el cual no sigue un patrón predecible, esto dificulta la predicción y las acciones que los productores deben de tomar para garantizar una producción aceptable. Lo cual conlleva la necesidad de utilizar los datos de la plataforma CHIRPS, que se especializa en información pluviométrica con base en información satelital de la precipitación diaria; por ello es necesario comparar y evaluar con la información existente de la precipitación del departamento, para conocer el grado de precisión que permita generar productos agroclimáticos.

Esto lleva a plantear la pregunta principal de este estudio: ¿Cuál es la precisión entre los datos de precipitación estimados por satélite CHIRPS con los datos locales de precipitación del departamento de Chiquimula?, adicionalmente el estudio también responderá a las siguientes preguntas:

¿Cuál es la calidad de los datos de precipitación generados por las estaciones meteorológicas establecidas en el departamento de Chiquimula?

¿Cuál es la correlación entre los datos de precipitación estimados por satélite CHIRPS con los datos de precipitación locales?

¿Cuál es el efecto a nivel espacial de la precisión entre los datos de precipitación estimados por satélite CHIRPS con los datos de precipitación locales?



## JUSTIFICACIÓN

La variabilidad climática en el departamento de Chiquimula afecta a la producción agrícola, especialmente la producción de maíz y frijol. Para prevenir los riesgos agrícolas se hace necesario contar con información climática fiable y con registros históricos de variables que proporcionen generación de perspectivas y pronósticos climáticos ajustados a nivel local en el departamento. Según la Organización Mundial de Meteorología (OMM), para analizar la variabilidad climática de una región se necesitan datos históricos de al menos 30 años.

Actualmente la carencia de datos históricos de las principales variables climáticas en el departamento de Chiquimula puede ser un factor que afecte la precisión y la confiabilidad de los pronósticos generados de forma trimestral para dicha región. El INSIVUMEH cuenta con dos estaciones meteorológicas, con información histórica superior a 30 años y una red de 19 estaciones locales, las cuales poseen información histórica menores a 30 años.

Existen plataformas satelitales como CHIRPS que operan a nivel mundial y ofrecen información pluviométrica histórica para una región como lo es el departamento de Chiquimula. Como se indicó anteriormente, la carencia de datos e información climática obliga a la utilización de dichas plataformas para realizar los pronósticos climáticos y monitoreo agroclimático y por la importancia que tiene el uso de la información de precipitación CHIRPS, se considera que es pertinente comparar y evaluar los datos con la información generada a nivel local; para ello se plantea desarrollar un estudio que permita correlacionar la información para determinar su grado de precisión; dicho estudio se justifica en

la línea de investigación de teledetección aplicada a medio ambiente de la Maestría en Geomática.

Mediante análisis espacial se compararán y evaluarán los datos de precipitación CHIRPS y los datos de precipitación a nivel local del departamento de Chiquimula.

El estudio pretende generar una potencial base de datos histórica validada para la precipitación en el departamento de Chiquimula que permita generar perspectivas y pronósticos climáticos confiables, así como también mapas temáticos para las condiciones particulares del departamento, y que dicha información sirva como base para generación de boletines agroclimáticos.

Los principales usuarios de la investigación son: la mesa técnica agroclimática de Chiquimula, en la cual la información será un insumo para los pronósticos y perspectivas climáticas del boletín agroclimático; los técnicos y extensionistas de programas, proyectos e instituciones en la región, que podrán ofrecer información con alto grado de precisión a los productores agropecuarios; así mismo, también serán de suma utilidad a la comunidad académica y de investigación, que podrán contar con datos e información precisa y de calidad.

Conocer y comprender la variabilidad climática y específicamente la variable de precipitación en el departamento de Chiquimula contribuirá a mejorar las recomendaciones que se brindan principalmente a los productores de granos básicos, así como a los tomadores de decisiones para planificar acciones que permitan reducir el riesgo asociado a eventos climáticos.

## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar la precisión de la precipitación estimada por satélite del producto CHIRPS con los datos pluviométricos locales del departamento de Chiquimula, mediante estadística espacial.

### **Específicos**

1. Determinar la calidad de los datos de precipitación generados por las estaciones meteorológicas establecidas en el departamento de Chiquimula.
2. Determinar la correlación de los datos de precipitación generados por las estaciones meteorológicas del departamento de Chiquimula, con los datos de precipitación estimada por satélite CHIRPS.
3. Evaluar mediante estadística espacial los datos de precipitación estimada por satélite CHIRPS con los datos pluviométricos del departamento de Chiquimula.



## HIPÓTESIS

Utilizando geoestadística se pretende determinar si los datos de precipitación de CHIRPS y los datos pluviométricos locales pueden ser útiles para las predicciones climáticas del departamento de Chiquimula.

$H_0$ : Los datos estimados de precipitación CHIRPS con respecto a los datos pluviométricos de la red de estaciones meteorológicas del departamento de Chiquimula, no presentan diferencias significativas.

$H_1$ : Los datos estimados de precipitación CHIRPS con respecto a los datos pluviométricos de la red de estaciones meteorológicas del departamento de Chiquimula, cuentan con diferencias significativas que reducen la calidad de la información.



## ANTECEDENTES

En otros países tales como Costa Rica, Perú, Colombia y Bolivia se han realizado análisis comparativos de datos de precipitación provenientes de fuentes satelitales y datos pluviométricos locales. Garay (2021) realizó un estudio para determinar estadísticamente la fuente de datos satelital que mejor representa la precipitación de los Llanos de la Rioja, Argentina, encontrando que los datos de precipitación CHIRPS representan aproximadamente el 89 % de la precipitación anual de la región, y que dichos datos constituyen una herramienta valiosa. Estos pueden utilizarse para completar carencia de datos faltantes ante la escasez (o inexistencia) de información climática local.

Según Rojas (2018), en su estudio *Índices distritales de riesgo de desastres por eventos lluviosos extremos en Costa Rica*, se validó que “los datos de precipitación CHIRPS estima características importantes como la precipitación media, precipitación acumulada y estacionalidad mensual, obteniendo como resultado más de 80 % de precisión en los días de precipitación y días sin precipitación” (p. 26). A la vez, concluye que a través de “los resultados del análisis comparativo y exploratorio se comprobó que la precisión de los datos estimados por satélite tiende a disminuir en terrenos con topografías montañosas” (Rojas, 2018, p. 53).

Dinku *et al.*, (2018), señala en la validación de datos satelitales que realizó para África Oriental, en los que “para poder realizar análisis climáticos, modelar el impacto de la variabilidad climática y conocer los cambios en el clima de un área geográfica en específico es necesario contar con datos climáticos históricos” (p. 292). Dada la limitada información local de precipitación con que contaba en

el área de su estudio, realizando una comparación de CHIRPS con los productos de lluvia satelital ARC2 Y TAMSAT; donde CHIRPS se desempeñó significativamente mejor al resto de productos con menores errores aleatorios y un coeficiente de correlación de 0.87 y un error absoluto medio de 13.4.

La información pluvial analizada de CHIRPS en otros países demuestra que ha ayudado al monitoreo de los regímenes lluviosos y al análisis de eventos extremos, obteniendo resultados acertados en periodos de lluvia mayores a 10 milímetros y, sobre todo, para eventos extremos de precipitación; cuantificando muy bien la cantidad de días lluviosos y la cantidad anual de lluvia, con un coeficiente de correlación de 0.61 (Yupanqui, 2015).

Los datos del producto CHIRPS se consideran valiosos con una precisión de más de 60 % en los días de precipitación y los días sin precipitación, a la vez destaca algunas fortalezas de los datos CHIRPS, entre ellas, “la resolución espacial es muy alta, la resolución temporal es relativamente alta y representa muy bien la precipitación acumulada total” (Urrea, 2016, p. 9).

A nivel mensual, se han obtenido resultados confiables mediante los datos satelitales de CHIRPS, utilizando correcciones mediante datos observados localmente, con mapas de errores y herramientas geoestadísticas como el Inverse Distance Weighted [Distancia inversa ponderada] (IDW), logrando una mejor distribución de la precipitación y un coeficiente de determinación de 0.72 (Collarani & Villazon, 2018).

Una evaluación de datos CHIRPS realizada por Funk *et al.*, (2015) muestra “como resultado un ajuste confiable en la variabilidad temporal de precipitación para dos áreas geográficas diferentes, donde para el área de Colombia se obtuvo una correlación de los datos de 0.97” (p. 9). Se utilizaron 338

estaciones meteorológicas y para el área de estudio de Perú una correlación de 0.72 con 403 estaciones comparadas.

La teledetección como fuente de información para el monitoreo climático se utiliza cada vez más como una herramienta fiable alta en zonas con limitada información pluviométrica. Según Rivera *et al.*, (2019), el producto CHIRPS es idóneo para su uso en zonas semiáridas, en las que obtuvo una correlación del 80 % con los datos locales de precipitación correspondientes a 49 estaciones.

En áreas donde los meses lluviosos van desde abril hasta septiembre, aunque con alturas diferentes a las del departamento de Chiquimula, y que sobrepasan los 4,000 m. s. n. m., según Méndez (2016), y tras evaluar CHIRPS con otros productos de precipitación satelital (NOAA CPC Morphing Technique , CMORPH e Integrated Multi-satellite Retrievals for GPM, IMGER), recomienda que CHIRPS es el producto con menor rango de errores sistemáticos medidos por el sesgo en toda la zona del estudio, y obtuvo una correlación entre 0.25 y 0.64 en la época lluviosa en el área de estudio.

En áreas geográficas donde las cuatro estaciones del año se hacen presentes, CHIRPS según Hsu *et al.*, (2021), obtuvo una mejor distribución espacial de la precipitación, mejor media estacional para las cuatro estaciones del año y una mejor estimación cuantitativa de la precipitación anual, comparado con el producto IMERG. CHIRPS obtuvo un coeficiente de correlación espacial entre 0.82 y 0.89, mientras IMERG, entre 0.55 y 0.72.



## **ALCANCES**

La presente investigación pretendió evaluar la precipitación estimada por satélite CHIRPS con los datos pluviométricos locales del departamento de Chiquimula mediante análisis espacial, lo cual facilitaría contar con registros de precipitación de al menos 30 años, para mejorar el monitoreo agroclimático y la generación de boletines y perspectivas climáticas fiables.

La presente investigación es de tipo comparativa, con un diseño no experimental y enfoque cuantitativo. Se realizará un control de calidad de los datos de precipitación locales y de las estaciones meteorológicas del INSIVUMEH, para determinar si existen datos atípicos y datos fuera de rango de los límites definidos; con la finalidad de generar criterios que sirvan para determinar datos erróneos.

Así mismo se determinó la correlación de los datos de precipitación estimada por satélite CHIRPS con los datos pluviométricos locales del departamento de Chiquimula, para expresar la dependencia lineal entre ambos grupos de datos en el tiempo.

Cabe hacer mención que la precisión de datos de precipitación generados por satélite aún no ha sido estudiada de esta manera en Guatemala, lo que convierte a esta investigación en un insumo importante para continuar la evaluación del resto de departamentos del país mediante estudios similares, posteriormente.



## RESUMEN DEL MARCO METODOLÓGICO

En este apartado se realizará una breve descripción de la metodológica utilizada para alcanzar los objetivos de la tesis.

Se ha dividido en fases, de tal manera, que en la primera se recopiló información de precipitación histórica de las estaciones meteorológicas ubicadas en el departamento de Chiquimula, y se realizó el control de calidad a los datos, para determinar las estaciones que serían sujetas al análisis de la investigación. La siguiente fase consistió en descargar mediante código de programación, los datos de precipitación diaria de CHIRPS para las coordenadas de las estaciones locales. Para luego, en la siguiente fase realizar análisis exploratorios y de correlación para determinar si existen diferencias significativas entre los datos, y finalmente se compararon a nivel espacial ambos productos para determinar la similitud entre ellos.

La primera fase consistió en recopilar información histórica de precipitación a una escala diaria, de las 21 estaciones meteorológicas del departamento de Chiquimula, a las cuales mediante un control de calidad se determinaron los años de información disponible para cada una de ellas, a la vez, la detección paramétrica de datos atípicos y porcentaje de datos faltantes. Debido a la cercanía y la temporalidad mayor a 30 años de las estaciones de INSIVUMEH, se tomaron en cuenta 3 estaciones meteorológicas del departamento vecino de Zacapa (La Fragua, La Unión y Pasabien), y una estación más denominada Veguitas, en la Unión, para incluirlas en el análisis comparativo. Mediante el control de calidad se descartaron las estaciones que no lo cumplieron satisfactoriamente.

Finamente en esta fase, se obtuvo la coordenada geográfica de cada estación que aprobó satisfactoriamente el control de calidad para utilizarla en las siguientes fases.

La segunda fase consistió en descargar mediante código de programación los datos satelitales de CHIRPS a una escala diaria para cada una de las coordenadas de las estaciones resultantes del control de calidad, con una temporalidad de 30 años para las estaciones de INSIVUMEH, y entre 4 a 8 años para el resto. Luego, la información de las estaciones y de CHIRPS se clasificó para su análisis en acumulados por péntadas (periodos de cinco días consecutivos), mensual y por acumulados de estación lluviosa anual (de mayo a noviembre).

La tercera fase consistió en realizar un análisis exploratorio con el fin de determinar el comportamiento que tienen ambas fuentes de datos. Se evaluaron los datos locales y CHIRPS para establecer si existe distribución normal de la precipitación mediante la prueba de Shapiro-Wilk. El nivel de significancia establecido para esta investigación es de 0.05, luego se realizaron pruebas de correlación de Pearson para conocer el grado de relación de las variables de precipitación. Así mismo se analizó la homogeneidad de varianzas entre los datos, con la prueba de Levene, para determinar con precisión la significancia entre ellos.

Mediante la prueba de T de Student, Welch y Mann-Whitney se realizaron evaluaciones de medias y medianas para examinar las diferencias entre los datos. Finalmente, se realizó una evaluación estadística mediante el error cuadrático medio estandarizado (RMSE), error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio MSE, error de porcentaje medio absoluto (MAPE) y el índice de

eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE), para evaluar el desempeño de las 2 variables de precipitación.

La cuarta fase consistió en aplicar análisis comparativo geoestadístico para modelar la variabilidad espacial de los datos locales de precipitación con los datos de satélite CHIRPS, utilizando el software Arcmap y R. En esta fase fue necesario la aplicación del modelo espacial de interpolación Kriging ordinario para poder comparar a nivel geoespacial los acumulados de precipitación de la estación lluviosa de Guatemala. Según Rodríguez (2021) “kriging es una técnica de estimación local que ofrece el mejor estimador lineal insesgado de una característica desconocida que se estudia” (p. 13). El modelo de kriging ordinario según Rivas (2015), utiliza un “semivariograma que permite a partir de la covarianza entre los puntos, representar la variabilidad y su dependencia en función de la distancia y la dirección” (p. 57).

Dado que este modelo necesita que los datos sigan una distribución normal, se aplicó la transformación Box-Cox para la normalización.

Finalmente, se determinó el promedio del valor obtenido de la interpolación del método kriging en un diámetro de 10 kilómetros para cada estación; distancia recomendada, con la finalidad de analizar y comparar espacialmente los valores de precipitación local con los datos interpolados de CHIRPS, en el área de influencia de cada estación. (OMM, 2010, p. 19)



## INTRODUCCIÓN

La producción agrícola en el corredor seco de Guatemala ha sido afectada por la variabilidad climática, lo que ha llevado a que los productores obtengan pérdidas de casi 80 % en la primera siembra (Organización de las Naciones Unidas, 2015).

Las tecnologías satelitales han sido una herramienta esencial en el monitoreo climático global, para ello se encuentran disponibles variables como precipitación y temperatura, entre otras. En el departamento de Chiquimula se carece de registros históricos de precipitación, situación que ha dificultado la generación de insumos agroclimáticos, que permitan prever pérdidas en cultivos y toma de decisiones ante eventos extremos, entre otros.

Según Brizuela (2015), la precipitación es una variable con un alto impacto social, económico y agropecuario; y hace referencia a que esta variable posee una gran variabilidad y los productos de satélite contienen incertidumbre en sus valores, lo que hace necesario comparar y validar las estimaciones de satélite con las mediciones de pluviómetros para evaluar el comportamiento de las precipitaciones a escala local.

Ante la limitada información climática que existe para el departamento de Chiquimula, que dificulta el monitoreo agrícola y la toma de decisiones, la presente investigación se realiza con el objetivo de determinar la calidad de los datos pluviométricos del departamento para evaluarlos con los datos de precipitación CHIRPS.



# 1. MARCO TEÓRICO

Este capítulo hace referencia a la descripción de los factores más importantes para poder analizar y comparar si los datos de precipitación CHIRPS y los datos pluviométricos medidos por estaciones meteorológicas cuentan con diferencias significativas para el uso complementario de los datos CHIRPS.

## 1.1. Sistema de Información Geográfica (SIG)

GIS, por las siglas en inglés, [Geographic Information System], es una herramienta que actualmente contribuye al monitoreo espacial de variables climáticas, como la precipitación, temperatura, entre otras.

Los SIG permiten realizar lectura, almacenamiento, edición y análisis de datos, los cuales generarán resultados como gráficas, informes y mapas. Para Olaya (2020) “los SIG son un conjunto de software y hardware diseñado para la adquisición, mantenimiento y uso de datos cartográficos” (p.5).

Mediante el análisis estadístico y la geoestadística, los sistemas de información geográfica pueden procesar los datos recopilados por satélites para convertirlos en herramientas que faciliten la toma de decisiones y una oportuna prevención de desastres ante los fenómenos climáticos.

## **1.2. Teledetección**

Las herramientas modernas para la captura de datos terrestres han logrado prevenir desastres agrícolas, inundaciones o bien monitorear fenómenos climáticos para un menor impacto en la sociedad.

El Instituto Geográfico Nacional de España (2004), menciona que:

La teledetección es la técnica de adquisición de datos de la superficie terrestre desde sensores instalados en plataformas espaciales. La interacción electromagnética entre el terreno y el sensor genera una serie de datos que son procesados para obtener información interpretable de la Tierra. (p. 2)

### **1.2.1. Teledetección y meteorología**

Existen dos tipos de satélites usados para la meteorología, Casanova (1992), menciona que son los “satélites geoestacionarios y los heliosincrónicos, los primeros se encuentran a 36,000 kilómetros de la superficie terrestre y los segundos a 900 km” (p. 60). Se diferencian en que los geoestacionarios observan en todo momento la misma zona y los heliosincrónicos vuelven a la misma área de observación de manera diaria.

Para Stoffelen y O’Sullivan (citados en Casanova 1992) mencionan que los datos provenientes de los satélites meteorológicos sirven para predecir tormentas, cantidades de lluvia, contenido del agua líquida de la atmósfera.

### **1.3. Clima**

Para Rodríguez *et al.*, (2004) el clima se define “Como el conjunto de estados de tiempo atmosférico que se producen en una determinada región y que otorgan a ésta una particular idiosincrasia” (p. 61).

#### **1.3.1. Clasificación del clima**

La clasificación climática de Köppen es un sistema empírico de clasificación climática basado en la vegetación, desarrollado por el botánico y climatólogo alemán Wladimir Köppen. Su objetivo era idear fórmulas que definieran los límites climáticos de tal manera que se correspondieran con los de las zonas de vegetación (Arnfield, 2020).

Clasificación del clima según Köppen:

- Clima tipo A: tropical

Se caracteriza por ausencia de invierno, la temperatura media es de 18 °C. La precipitación en el mes más seco es de al menos 60 mm

- Clima tipo B: seco

Las precipitaciones son muy escasas, la evaporación supera a la precipitación anual, muy poca vegetación.

- Clima tipo C: templado cálido

Se caracteriza por inviernos suaves, la temperatura del mes más cálido es de 10 °C y el mes más frío es de 18 °C.

- Clima tipo D: continental

Clima con inviernos fríos, la temperatura media mensual es de -3 °C y el mes más caliente es de 10 °C.

- Clima tipo E: frío

No existe el verano, el mes más cálido no alcanza los 10 °C.

### **1.3.2. Variables meteorológicas**

Bardales *et al.*, (2018) indican que en Guatemala “los días de lluvia están disminuyendo, la intensidad de la lluvia va en aumento y que la temperatura en el territorio nacional está aumentando” (p. 145). Esto es posible gracias a saberlo gracias al monitoreo de variables meteorológicas y climáticas, contando con bases de datos climáticas de al menos 30 años como lo indica la OMM, estos escenarios son posibles medirlos para una determinada área terrestre.

#### **1.3.2.1. Precipitación pluvial**

“Es el producto líquido o sólido de la condensación del vapor de agua que cae de las nubes o del aire y se deposita en el suelo. Dicho término comprende la lluvia, el granizo, la nieve, el rocío, la escarcha” (OMM, 2017, p. 199).

El monitoreo de la precipitación proporciona información oportuna para que tomadores de decisiones actúen antes de los desastres que provoca tanto la sequía como las inundaciones. “En Guatemala la ausencia de lluvia y las condiciones recurrentes de sequía, han acentuado las dificultades que enfrenta la mayor parte de la población en cuanto a seguridad alimentaria y medios de vida” (OXFAM, 2015, p. 9).

Mediante la medición de la precipitación, se pueden establecer factores de los regímenes lluviosos en una determinada área, según Vargas (2014) “La distribución de la lluvia define dos períodos de siembra, la primera que se inicia entre abril y mayo con las primeras lluvias y la segunda que se inicia en agosto después de las canículas” (p. 16).

#### **1.3.2.2. Temperatura**

“Es una magnitud relacionada con la rapidez del movimiento de las partículas que constituyen la materia. Cuanta mayor agitación presente estas, mayor será la temperatura” (Rodríguez et al., 2004, p. 12).

Para el área de meteorología la variable de temperatura más común es la del aire, la cual se define como una “temperatura leída en un termómetro expuesto al aire, protegido de la radiación solar directa” (OMM, 2017, p. 76).

#### **1.3.2.3. Humedad relativa**

Según Rodríguez et al., (2004) la humedad es “la cantidad de vapor de agua que contiene el aire. Esa cantidad no es constante, sino que dependerá de diversos factores, como si ha llovido recientemente, si estamos cerca del mar, si hay plantas, etc.” (p. 32).

Actualmente existen varias maneras de referirse al contenido de la humedad en la atmósfera, para la OMM (2017) la humedad relativa es “un coeficiente entre la tensión de vapor observada y la tensión saturante del vapor con respecto al agua a la misma temperatura y presión” (p. 144).

#### **1.3.2.4. Evapotranspiración**

La OMM (2017) define evapotranspiración como “la cantidad máxima de agua que puede evaporarse en un clima dado por una cubierta vegetal dotado de agua. Incluye la evaporación del suelo y la transpiración vegetal en una región determinada y en un intervalo de tiempo dado” (p. 346).

#### **1.3.2.5. Presión atmosférica**

Aunque no lo notemos, el aire que nos circunda tiene un peso y ejerce una fuerza mediante la gravedad sobre los cuerpos. La presión atmosférica sobre una superficie dada “es la fuerza por unidad de área que ejerce sobre dicha superficie el peso de la atmósfera que está encima” (OMM, 2017, p. 106).

### **1.4. Meteorología**

Según Rodríguez *et al.*, (2004) la meteorología es “la ciencia encargada del estudio de la atmósfera, de sus propiedades y de los fenómenos que en ella tienen lugar, los llamados meteoros” (p. 9). Así también el autor hace referencia a que el estudio de la atmósfera cuenta como base el conocimiento de la temperatura, la humedad, la presión atmosférica, entre otros.

El objetivo principal de la meteorología es “la predicción del tiempo y para ello lo primero que se necesita es conocer, con la mayor precisión posible, el tiempo actual para evaluar su evolución futura” (Ledesma, 2011, p. 277).

#### **1.4.1. Modelos climáticos**

Los modelos climáticos son las principales herramientas disponibles para investigar la respuesta del sistema climático. Estos modelos hacen predicciones mediante la simulación de las interacciones entre el forzamiento externo y el sistema climático (Flato et al., 2013, p. 743).

Para la Agencia Estatal de Meteorología [AEMET] (2015), la primera y más inmediata evaluación de un modelo climático se refiere a la precipitación y temperatura en superficie, al tratarse de las variables climáticas que normalmente se utilizan para definir el clima de una determinada región o localidad.

#### **1.4.2. Estación meteorológica**

Farreras et al., (citados por Acuña y Robles 2015), definen estación meteorológica como una instalación destinada a medir y registrar regularmente diversas variables meteorológicas, las mediciones y registros se realizan a través de instrumentos adecuados.

## Figura 1.

### *Estación meteorológica*



*Nota.* Detalle de una estación meteorológica de superficie, la cual registra datos de precipitación, temperatura, radiación solar, entre otras. Obtenido de USAID (2015). *Manual de meteorología y gestión de la información climática.* ([https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00N1N1.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00N1N1.pdf)), consultado el 10 de abril de 2022.

### **1.4.3. Tipos de estaciones meteorológicas**

Según Brenes & Saborío (1995), las estaciones meteorológicas pueden clasificarse por el número de instrumentos que posean o bien por la función que desempeñan:

Por el número de instrumentos:

- De primer orden, llamadas tipo A: con ellas se mide temperatura, precipitación nubosidad, viento, presión atmosférica, humedad, evaporación, etc.

- De segundo orden, tipo B: únicamente miden temperatura y precipitación.
- De tercer orden, tipo C: miden únicamente precipitación. (p. 53).

Por la función que desempeñan:

- Climatológicas: cuyos datos sirven para determinar las características del clima.
- Sinópticas: las que realizan observaciones de superficie y de la atmósfera libre para los análisis del estado del tiempo a horas fijas establecidas internacionalmente.
- Aeronáuticas: con las que se efectúan observaciones e informes meteorológicos para la navegación aérea, tanto nacional como internacional.
- Aerológicas: son las dedicadas a la observación de la atmósfera libre.
- Especiales: son las estaciones con fines no contemplados en las anteriores, por ejemplo, parásitos atmosféricos, agricultura, ozono, localización de nubes, entre otros. (pp. 53-54)

#### **1.4.4. Climatología**

La Organización de Estados Americanos [OEA] (2015), menciona que es indispensable conocer las condiciones climatológicas e hidrológicas de la región

para el ordenamiento y manejo de los recursos hídricos, agropecuarios y forestales entre otros.

La climatología consiste en el estudio del clima, el funcionamiento del sistema climático, sus variaciones y extremos y su influencia en diversas actividades, entre ellas los recursos hídricos y la salud, la seguridad y el bienestar humanos. En sentido estricto, se entiende por clima las condiciones meteorológicas normales correspondientes a un lugar y período de tiempo determinados. (OMM, 2018, p. 1)

#### **1.4.5. Variabilidad climática**

En Guatemala existen tres temporadas climáticas, López (2015) las cita como “temporada de lluvias, temporada cálida y la temporada fría” (p. 2).

IPCC (citado en Bardales et al., 2018) expresa que el concepto de variabilidad climática hace referencia a las variaciones del estado medio y a otras características estadísticas del clima en todas las escalas temporales y espaciales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos. La variabilidad puede deberse a procesos internos naturales del sistema climático (variabilidad interna) o a variaciones del forzamiento externo natural o antropogénico (variabilidad externa).

Chilsom (citado por Acuña y Robles 2015) expone que la variabilidad climática es cuando las condiciones actuales se desvían del promedio. Dos fenómenos que influyen en la variabilidad interanual son El Niño Oscilación del Sur (ENOS) y la Oscilación Decadal del Pacífico (PDO).

#### **1.4.6. Cambio climático**

El cambio climático es un tema de interés para Guatemala, especialmente para el corredor seco del país, el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (2013), define al cambio climático como:

Variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos. El cambio climático puede deberse a procesos internos naturales o a forzamientos externos tales como modulaciones de los ciclos solares, erupciones volcánicas o cambios antropógenos persistentes de la composición de la atmósfera o del uso del suelo. (p. 188)

Para el INSIVUMEH (2018) la importancia del estudio del cambio climático en Guatemala es “la de obtener la información necesaria para accionar de forma oportuna medidas, que ya sean de mitigación o adaptación serán claves para la prevención de desastres y el desarrollo del país” (p. 1).

#### **1.4.7. Fenómeno El Niño, oscilación del sur (ENOS)**

La OMM (2014) define a ENOS como “la fluctuación Inter estacional e interanual más predecible del sistema climático debido a la manera como los cambios lentos que se van produciendo en el contenido de calor oceánico condicionan el sistema para que se produzcan episodios de calor o frío” (p. 4).

A la vez “el fenómeno opuesto de El Niño se conoce como La Niña y se trata del enfriamiento a gran escala de las temperaturas de la superficie del océano en la misma región del Pacífico ecuatorial” (OMM, 2014, p. 2).

El fenómeno El Niño en Guatemala afecta especialmente al corredor seco del país, donde la precipitación se reduce, la OMM (2004) menciona que:

En ciertas regiones de Guatemala y Centroamérica, durante el verano boreal, los episodios de El Niño normalmente se manifiestan con un incremento en las temperaturas ambiente sobre el promedio histórico y una reducción de las precipitaciones pluviales, principalmente en áreas de la costa, boca-costa y meseta central. Los efectos y comportamiento de un episodio de El Niño nunca se repiten, mostrando variaciones en cada evento lo que lo hace difícil de pronosticar con certeza. (p. 1)

## **1.5. Mesas técnicas sobre el clima**

A continuación, se presentan las mesas técnicas sobre el clima, y se inicia con las agroclimáticas.

### **1.5.1. Mesas técnicas agroclimáticas**

Las Mesas Técnicas Agroclimáticas (MTA), buscan integrar actores del sector agropecuario a nivel local para informar, especialmente a los pequeños productores, sobre los cambios esperados en el clima de su región; cómo estos pueden afectar sus cultivos y qué pueden hacer para reducir los impactos negativos (Giraldo et al., 2018).

Estos autores mencionan que el enfoque MTA ha sido implementado en 10 países de América Latina y ha demostrado ser una herramienta efectiva para reducir el riesgo climático del sector agrícola y aumentar la resiliencia de los agricultores frente a la variabilidad climática.

### **1.5.2. Redes de información agroclimáticas**

Según el Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica (2018) la red de información agroclimática suministra información de las principales variables meteorológicas, como la temperatura, humedad relativa, radiación solar y la precipitación en forma de lluvia. Sus medidas permiten calcular la evapotranspiración de referencia, variable imprescindible para estimar las necesidades de riego.

## **1.6. Teledetección aplicada sistemas de monitoreo del clima**

Dentro de la teledetección aplicada a sistemas de monitoreo del clima se presenta la definición de WorldClim.

### **1.6.1. WorldClim**

Es un repositorio con variables climáticas, abierto y libre, que ha permitido un desarrollo exponencial de los trabajos sobre biogeografía, macro ecología y cambio climático en los últimos 10 años. Worldclim permite la descarga de 19 variables climáticas, a diferentes resoluciones espaciales y en diferentes formatos ráster (que son formatos SIG, es decir, una matriz de datos georreferenciada). Además de la interpolación espacial para el presente, con datos de estaciones meteorológicas de entre 1950 a 2000. Cuentan con alta resolución espacial (1 km<sup>2</sup>). Estos datos se pueden utilizar para el mapeo y el

modelado espacial, se encuentran en el Sistema de Coordenadas WGS 1984 EPSG: 4326 (Hijmans et al., 2005).

### **1.6.2. Sistemas GOES**

Satélite Geoestacionario Operacional Ambiental surge en el año 1974, por la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica de Estados Unidos (NOAA), tenían la capacidad de obtener perfiles verticales de temperatura y humedad en las diversas capas de la atmósfera. Esta dimensión adicional les dio a los pronosticadores una imagen más precisa de la intensidad y el alcance de las tormentas, y les permitió monitorear mejor los eventos que cambian rápidamente y hacer predicciones más precisas. Sin embargo, la cámara y la sonda aún compartían el mismo sistema óptico, lo que significaba que los instrumentos tenían que turnarse (NOAA, 2022).

### **1.6.3. CHIRP**

Funk et al., (2015) hacen referencia a que los datos CHIRPS:

Son variaciones de los Climate Hazards Group Precipitation Climatology (por sus siglas en inglés CHPclim). El enfoque utiliza la calibración local de las estimaciones de precipitación satelital. En dicho enfoque, se utilizan datos históricos de precipitaciones diarias para definir un umbral de temperatura óptimo para una región dada. Dado que la temperatura cae rápidamente con la altura atmosférica, y los satélites geoestacionarios observan la parte superior de las nubes, los valores Cold Cloud Duration

(Por sus siglas en ingles CCD) son una medida de la cantidad de tiempo que un píxel dado ha estado cubierto por nubes altas y frías. (p. 4)

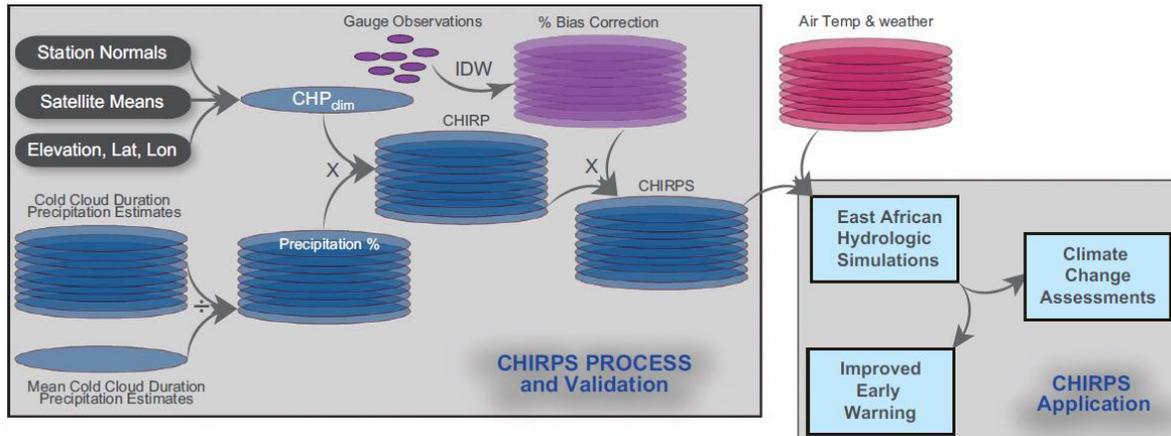
#### **1.6.4. CHIRPS**

Funk et al., (2015) mencionan el enfoque y objetivo que tienen los datos de precipitación CHIRPS

Los datos de CHIRPS están basados en enfoques con técnicas de interpolación, así como un amplio periodo de registro de precipitación. Utiliza información satelital de 0.05° de resolución y estimaciones de precipitación diaria, pentadal y mensual desde 1981 hasta el presente. Combina datos de las estaciones meteorológicas para producir información preliminar con una latencia de dos días aproximadamente y luego un producto final con una latencia promedio de tres semanas aproximadamente. CHIRPS tiene tres componentes principales los cuales son, primero, CHPclim, segundo, CHIRP y el procedimiento de mezcla para producir CHIRPS. (p. 1)

**Figura 2.**

*Esquema de producción y aplicación de CHIRPS*



*Nota.* Flujograma que muestra el proceso de producción y de la aplicación del producto CHIRPS. Obtenido de ResearchGate (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations—a new environmental record for monitoring extremes* [Los riesgos del clima de la precipitación infrarroja con estaciones – un nuevo récord ambiental para monitoreos extremos] ([https://www.researchgate.net/publication/286238685\\_The\\_climate\\_hazards\\_infrared\\_precipitation\\_with\\_stations\\_-\\_A\\_new\\_environmental\\_record\\_for\\_monitoring\\_extremes](https://www.researchgate.net/publication/286238685_The_climate_hazards_infrared_precipitation_with_stations_-_A_new_environmental_record_for_monitoring_extremes)), consultado el 05 de abril de 2022. De dominio público.

### 1.7. Análisis estadístico

El análisis comparativo sirve para identificar visualmente y cuantificar sobre y subestimaciones de los datos de CHIRPS con respecto a los datos in situ confrontando uno a uno los datos de las series de tiempo.

Para Méndez (2016) “El RMSE permite cuantificar la magnitud de la desviación de los valores simulados con respecto a los observados. Y, Pearson expresa la dependencia lineal entre los valores observados y simulados en el tiempo” (p. 11). La prueba de T de Student se utilizará para determinar si existe diferencia significativa entre ambos grupos de datos.

La prueba de U según Sánchez (2015a), “establece la diferencia de dispersión de datos de un grupo con respecto a otro” (p. 19).

Con la finalidad de determinar si los datos de las estaciones meteorológicas tienen correlación con los datos del producto satelital CHIRPS, se utilizó la correlación de Pearson, a la vez, se realizaron análisis estadísticos de, Error cuadrático medio estandarizado (RMSE), error absoluto medio (MAE), error cuadrático medio (MSE), error de porcentaje medio absoluto (MAPE).

La prueba de Shapiro-Wilk tiene como función determinar la normalidad en la serie de datos históricos de ambos productos de precipitación, la prueba de estadística inferencial de Levene, para evaluar igualdad de las variables, la prueba T-Student para obtener la diferencia en las medias, la prueba de Welch para obtener la mediana, y la prueba de U de Mann-Whitney para determinar heterogeneidad en las muestras y el índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe (NSE).

En la tabla 1, se identifican las fórmulas para cada uno de los estadísticos por utilizar.

**Tabla 1.**

*Ecuaciones estadísticas*

Estadístico	Fórmula
RMSE	$\sqrt{\sum_{k=1}^n \frac{(P_S - P_E)^2}{n}}$ (Ecuación 1)
MSE	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$ (Ecuación 2)

Continuación tabla 1.

<b>MAE</b>	$\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n  Y_i - \hat{Y}_i $	(Ecuación 3)
<b>MAPE</b>	$\frac{\left( \sum \frac{ A - F }{A} \times 100 \right)}{N}$	(Ecuación 4)
<b>Correlación de Pearson</b>	$\frac{\sigma_{XY}}{\sigma_X * \sigma_Y}$	(Ecuación 5)
<b>T de Student</b>	$\frac{(x - \mu)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$	(Ecuación 6)
<b>Prueba U de Mann-Whitney</b>	$U_1 = n_1 n_2 + \frac{(n_1(n_1 + 1))}{2} - R_1$ $U_2 = n_1 n_2 + \frac{(n_2(n_2 + 1))}{2} - R_2$	(Ecuación 7)
<b>Shapiro-Wilk</b>	$W = \frac{(\sum_{i=1}^n a_i x_i)^2}{\sum_i^n (x_i - \bar{x})^2}$	(Ecuación 8)
<b>Estadístico</b>	<b>Fórmula</b>	
<b>Nash</b>	$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - Q_m^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_o^t - \bar{Q}_o)^2}$	(Ecuación 10)
<b>Levene</b>	$L = \frac{(N - k) \sum_{i=1}^k N_i (\bar{V}_i - \bar{V})^2}{(k - 1) \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{N_i} (V_{ij} - \bar{V}_i)^2}$	(Ecuación 9)

*Nota.* Detalle de las ecuaciones estadísticas para analizar y comparar los datos de precipitación de estaciones locales y CHIRPS. Elaboración propia, realizado con Word.

### **1.7.1. Raíz del error cuadrático medio (RMSE)**

Por sus siglas en inglés «root mean square error», “evalúa el error de las estimaciones del satélite en comparación con las de los pluviómetros con un énfasis en valores extremos” (Castro, 2014, p. 23).

### **1.7.2. Error cuadrático medio (MSE)**

Por sus siglas en inglés mean squared error. “Determina la diferencia cuadrática media entre la verdadera precipitación y su estimado a partir de los puntos de validación” (Argueta et al., 2021, p. 48).

### **1.7.3. Error absoluto medio (MAE)**

Por sus siglas en inglés: mean absolute error “El MAE es adecuado para describir errores uniformemente distribuidos, debido a que es probable que los errores del modelo tengan una distribución normal en lugar de una distribución uniforme” (Chai y Draxler, 2014, p. 3).

### **1.7.4. Error porcentual absoluto medio (MAPE)**

Por sus siglas en inglés: mean absolute porcentaje error. “Es una medida de error relativa que utiliza valores absolutos para evitar que los errores positivos y negativos se cancelen entre sí y utiliza errores relativos para permitirle comparar la precisión de previsión entre métodos de serie de tiempo” (Oracle, 2014, p. 221).

### **1.7.5. Correlación de Pearson (r)**

Según Castro (2014), La correlación de Pearson “Mide el nivel de concordancia lineal entre las estimaciones del satélite y los pluviómetros” (p. 23).

Según Wilks (citado por Delgado 2019) la correlación de Pearson oscila entre valores de -1 a 1, donde el valor de  $r = 1$  denota una perfecta correlación positiva,  $r = -1$  una perfecta correlación negativa y si  $r = 0$  es porque no existe alguna correlación lineal.

### **1.7.6. T de Student**

La distribución t es un conjunto de curvas estructurada por un grupo de datos de unas muestras en particular. “Establece que no hay diferencias en la media de las dos muestras independientes y que, de existir esta diferencia, sólo se debe al azar” (Sánchez, 2015b, p. 1).

### **1.7.7. Prueba U de Mann-Whitney**

Según Rivas et al., (2013), la prueba de U de Mann-Whitney se utiliza “para demostrar que existen diferencias entre grupos independientes con variables cuantitativas que tienen libre distribución, esta prueba tiene su base en la diferencia de rango” (p. 215).

### **1.7.8. Shapiro-Wilk**

La prueba de Shapiro-Wilk como prueba de normalidad, fue introducido considerando que el gráfico de probabilidad normal que examina el ajuste

de un conjunto de datos de muestra para la distribución normal es semejante a la de regresión lineal.

Se rechaza la hipótesis nula de normalidad si el estadístico Shapiro-Wilk es menor que el valor crítico para el tamaño de la muestra y el nivel de significancia dado. (Flores, C. y Flores, 2021, p. 5)

A su vez los autores mencionan que la prueba de Shapiro-Wilk puede aplicarse a muestras grandes.

#### **1.7.9. Levene**

La prueba de homogeneidad de varianzas es importante para garantizar que los procedimientos estadísticos a utilizar son de alta calidad. Correa *et al.*, (2006), mencionan que “la prueba de Levene es poco sensible a la desviación de la normalidad. Eso significa que será menos probable que rechace una verdadera hipótesis de igualdad de varianzas sólo porque las distribuciones de las poblaciones muestreadas no son normales” (p. 4).

#### **1.7.10. Índice de eficiencia de Nash-Sutcliffe**

Ramos (2013), menciona que el índice de Nash “es un estadístico normalizado del error que determina la magnitud relativa del modelo simulado en relación con un modelo de referencia” (p. 109).

NSE=1 indica correspondencia perfecta entre las simulaciones y observaciones; NSE=0 indica que las simulaciones del modelo tienen el

mismo poder explicativo como el promedio de las observaciones; y  $NSE < 0$  indica que el modelo es un mal predictor que la media de las observaciones. El  $NSE = 0$  se utiliza regularmente como el punto de referencia que distingue los modelos buenos y malos. (Knoben *et al.*, 2019, p. 1)

### **1.8. Método de interpolación Kriging**

Kriging es un método geoestadístico que se utiliza para estimar valor desconocidos. Según Murillo *et al.*, (2012), es “un estimador lineal insesgado que busca generar superficies continuas a partir de puntos discretos. Asume que la media, aunque desconocida, es constante y que las variables son estacionarias y no tienen tendencias” (p. 2).

Moral (2004), menciona las principales características que hacen que el modelo de interpolación Kriging, obtenga mejores resultados que otros modelos, por ejemplo, el inverso ponderado de la distancia o de triangulación:

Mientras que los métodos tradicionales utilizan el concepto euclidiano de la distancia para el cálculo de los pesos que se aplicarán a cada dato muestral, el kriging considera tanto la distancia como la geometría de la localización de las muestras. Mediante el kriging se minimiza la varianza del error esperado (diferencia entre el valor real y el estimado). Como el valor real en un punto no muestral es desconocido, el kriging emplea un modelo conceptual con una función aleatoria asociada a los valores reales.

Los métodos geoestadísticos muestran una gran flexibilidad para la interpolación, pudiéndose estimar valores puntuales o en bloques, así como métodos para incorporar información secundaria que esté relacionada con la variable principal. Todos estos métodos dan lugar a unas superficies muy suaves, además de una estimación de la varianza en todos los puntos, lo cual no puede realizarse con otros métodos de interpolación. (p. 4)

### **1.8.1. Kriging ordinario**

En la investigación de Xu et al., (2014), se hace referencia al método de interpolación geoestadístico de Kriging Ordinario se basa en:

La teoría de variograma y análisis estructural, en la cual se utiliza mejor predicción no sesgada de las variables regionales dada en un área determinada. El principio del método es que el cambio espacial continuo debe de describirse apropiadamente dentro de una superficie determinada, a diferencia de un modelo matemático uniforme porque el cambio espacial es irregular. (p. 41)



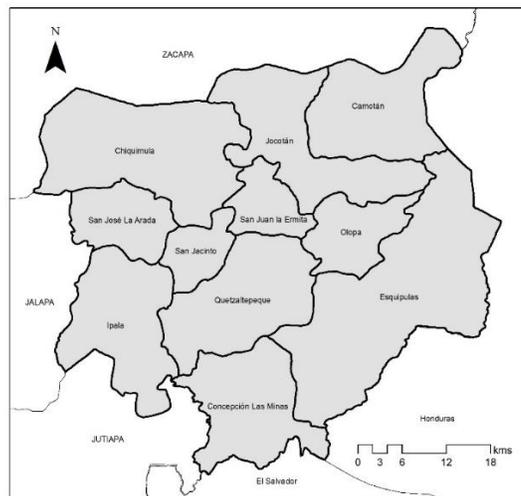
## 2. MARCO REFERENCIAL

### 2.1. Área de estudio

El área de estudio corresponde al departamento de Chiquimula, Guatemala, tiene una extensión territorial de 2376 km<sup>2</sup>. Ubicado en el oriente del país, limita al norte con el departamento de Zacapa, al sur con El Salvador, al este con Honduras y al oeste con los departamentos de Zacapa y Jalapa. Su cabecera departamental es Chiquimula, sus coordenadas son: latitud Norte 14°47'58" longitud Oeste 89°32'37".

#### Figura 3.

##### Área de estudio



*Nota.* Límite político del departamento de Chiquimula y sus municipios. Obtenido del Instituto Geográfico Nacional (2012). *Departamentos y municipios de Guatemala.* (<http://ide.segeplan.gob.gt/descargas.php>), consultado el 10 de abril de 2022. De dominio público.

## **2.2. División político administrativo**

La Secretaría de Planificación y de Programación de la Presidencia (2020) indica que “el departamento se encuentra conformado por once municipios, siendo estos Chiquimula, San José La Arada, San Juan Ermita, Jocotán, Camotán, Olopa, Esquipulas, Concepción Las Minas, Quezaltepeque, San Jacinto e Ipala, y su cabecera departamental posee el mismo nombre” (p. 15).

## **2.3. Clima**

Según el informe de SEGEPLAN (citado por Recinos 2016) el departamento de Chiquimula posee cierta variabilidad en sus condiciones climáticas, se presentan temperaturas variadas, los municipios de: Chiquimula, San José La Arada, San Juan Ermita, San Jacinto, Jocotán y Camotán son cálidos; mientras que: Esquipulas, Olopa, Concepción Las Minas, Ipala y Quezaltepeque son templados.

En los municipios considerados como templados, la temperatura media se sitúa entre los 27-28 °C. En los municipios cálidos las medias máximas anuales, están entre los 36-38 °C. Es necesario hacer notar qué como efecto del cambio climático, las temperaturas se han incrementado considerablemente en los meses más cálidos y ha llegado hasta valores de 42 °C, lo que, asociado a la falta de precipitación, contribuye a que se agudice la escasez de los alimentos en estos municipios. La media de precipitación anual es de 1036 mm y se reporta de déficit de humedad de 7 meses.

## 2.4. Suelos

Corea y Sagastume (citados por Recinos 2016), mencionan que los suelos del departamento son propios de laderas y pie de montes, pocos profundos, algunos pedregosos, de textura que varía de fina a media. En menor escala aparecen suelos propios de colinas, montañas y valles altos, de textura fina a media y profundidad moderada. Los suelos de los valles son ligeramente inclinados o planos de origen reciente, presentan una textura media y se caracterizan por ser de drenaje restringido.

## 2.5. Red de estaciones meteorológicas de Chiquimula

El departamento de Chiquimula cuenta con una red de 21 estaciones meteorológicas, instaladas en diferentes municipios, en la tabla 2 se detalla la ubicación de estas.

**Tabla 2.**

*Estaciones meteorológicas de Chiquimula*

Nombre estación	Municipio	Longitud	Latitud
CUNORI	Chiquimula	-89.5311	14.8025
MAGA	Chiquimula	-89.5484	14.7951
Camotán	Camotán	-89.3728	14.823
Esquipulas	Esquipulas	-89.3414	14.5597
Alotepeque	Concepción Las Minas	-89.4115	14.4641
El Rosario	Esquipulas	-89.3126	14.5771

Continuación de la tabla 2.

<b>Nombre estación</b>	<b>Municipio</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
Quebrada el Chucte	Olopa	-89.3267	14.6936
Chiramay	Quezaltepeque	-89.3752	14.6228
Plan de Jocote	Chiquimula	-89.58	14.86
Tierra Blanca	Jocotán	89.39	14.8
Rancho La Cumbre	Jocotán	-89.5	14.86
Municipalidad de San Jacinto	San Jacinto	-89.5	14.68
El Rincón	San José La Arada	-89.62	14.69
Municipalidad de Esquipulas	Esquipulas	-89.36	14.57
Alotepeque 2	Concepción Las Minas	-89.41	14.46
Chiramay 2	Quezaltepeque	-89.38	14.62
Quebrada el Chucte 2	Olopa	-89.33	14.69
Veguitas	San Juan Ermita	-89.46	14.75
Municipalidad de Camotán	Camotán	-89.37	14.82
ASORECH	Quezaltepeque	-89.42	14.63
Esquipulas 2	Esquipulas	-89.33	14.56

*Nota.* Detalle de las estaciones meteorológicas en el departamento de Chiquimula. Elaboración propia, realizado con Excel.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

#### 3.1. Análisis de calidad de datos pluviométricos locales

La recopilación y el control de calidad de los datos pluviométricos de la red de 21 estaciones meteorológicas del departamento de Chiquimula, adicionando 4 estaciones vecinas del departamento de Zacapa, fue el primer paso desarrollado para el análisis de los datos, con la finalidad de describir el comportamiento de la variable de este estudio a una escala mensual, pentadal y anual.

En la tabla 3 se detalla la cantidad de años de información disponible de precipitación, el porcentaje de datos atípicos y el porcentaje de datos faltantes para cada estación meteorológica.

**Tabla 3.**

*Control de calidad de datos pluviométricos locales*

Nombre estación	Años de información	% Datos atípicos	% Datos faltantes
CUNORI	8	0.3	7.6
MAGA	1	0	7.4
Camotán	31	0.3	4.3
Esquipulas	31	1	2.4
Alotepeque	6	0	13.6
El Rosario	5	6.9	7
Quebrada el Chucte	6	6.6	8.9

Continuación de la tabla 3.

<b>Nombre estación</b>	<b>Años de información</b>	<b>% Datos atípicos</b>	<b>% Datos faltantes</b>
Chiramay	5	6.5	0
Veguitas	5	6.7	10.5
Plan de Jocote	<1	12.8	3.5
Tierra Blanca	<1	2.6	3.4
Rancho La Cumbre	<1	12	3.3
Municipalidad de San Jacinto	1	12.5	12.3
El Rincón	<1	0	3
Municipalidad de Esquipulas	<1	11.3	18.4
Alotepeque 2	<1	4.1	1
Chiramay 2	<1	6	1.2
Quebrada el Chucte 2	2	10.7	12
Veguitas 2	<1	10.3	1
Municipalidad de Camotán	<1	9.7	25.2
ASORECH	1.5	4.5	41.7
Esquipulas 2	<1	12.1	0
La Fragua	31	1.5	2.7
La Unión	31	1.8	4.5
Pasabien	31	1.3	3.3

*Nota.* Resultados del control de calidad de los datos pluviométricos de las 25 estaciones meteorológicas de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

El control de calidad muestra que los datos de la red de estaciones meteorológica son variables, y que 10 de ellas cuentan con registros menores a un año. Las estaciones de INSIVUMEH cuentan con los mejores resultados de la evaluación, y registran datos mayores a 30 años, indicando que el mantenimiento es oportuno y eficiente.

En la tabla 4, se detallan las estaciones meteorológicas que mostraron resultados positivos en el control de calidad, descartando las que cuentan con menos de un año de registros de precipitación, más de 20 % de datos faltantes y más de 10 % de datos atípicos. Siendo un total de 12 estaciones meteorológicas.

**Tabla 4.**

*Estaciones meteorológicas aprobadas*

<b>Nombre estación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
CUNORI	-89.5311	14.8025
MAGA	-89.5484	14.7951
Camotán	-89.3728	14.823
Esquipulas	-89.3414	14.5597
Alotepeque	-89.4115	14.4641
El Rosario	-89.3126	14.5771
Quebrada el Chucte	-89.3267	14.6936
Chiramay	-89.3752	14.6228
Veguitas	-89.2114	14.9457
La Fragua	-89.5843	14.9655

Continuación de la tabla 4.

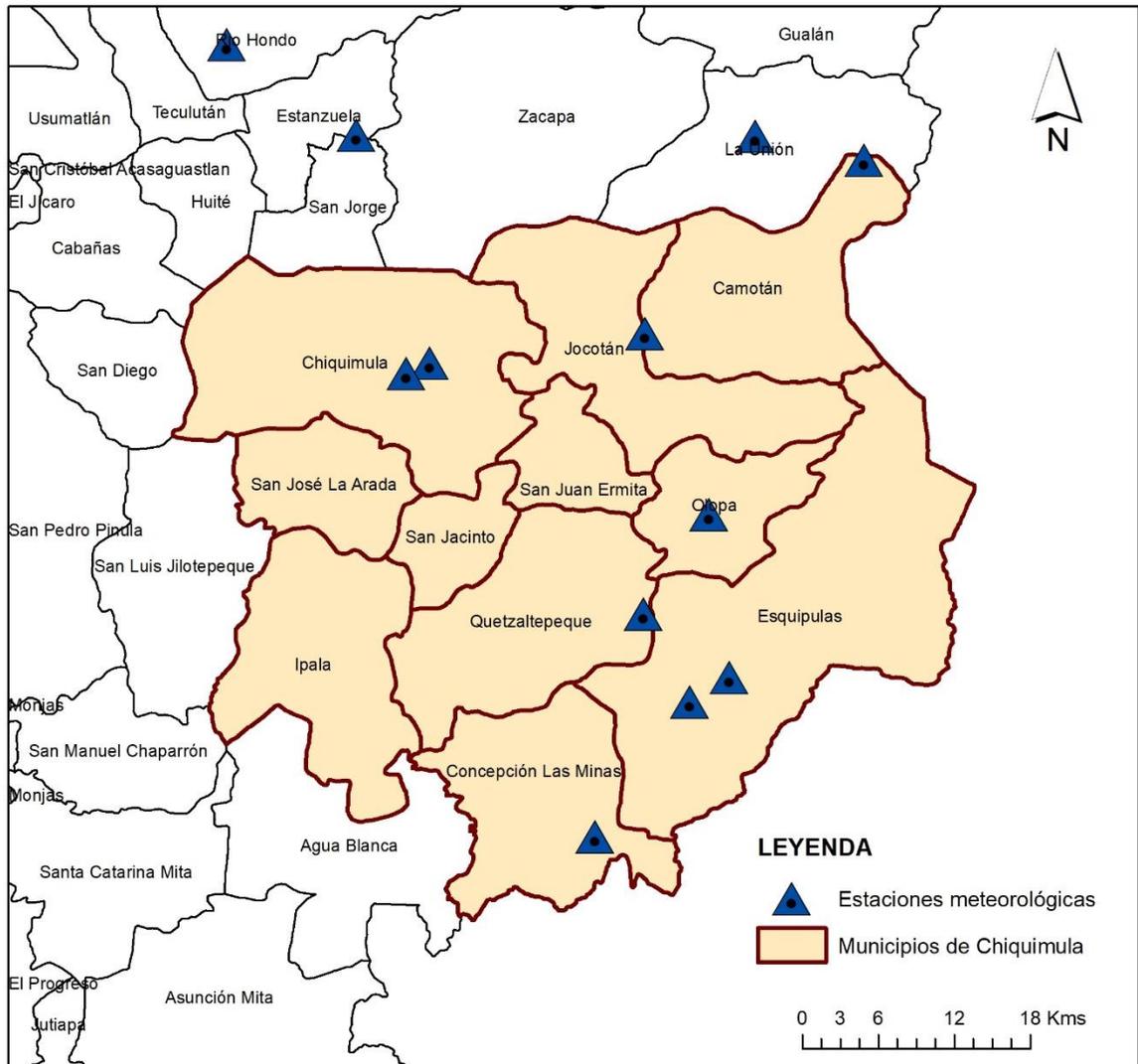
<b>Nombre estación</b>	<b>Longitud</b>	<b>Latitud</b>
La Unión	-89.2911	14.9633
Pasabien	-89.6792	15.0302

*Nota.* Detalle de las 12 estaciones meteorológicas que aprobaron satisfactoriamente el control de calidad. Elaboración propia, realizado con Excel.

En la figura 4 se muestra el mapa donde se visualiza la ubicación de cada estación meteorológica que aprobó satisfactoriamente el control de calidad.

**Figura 4.**

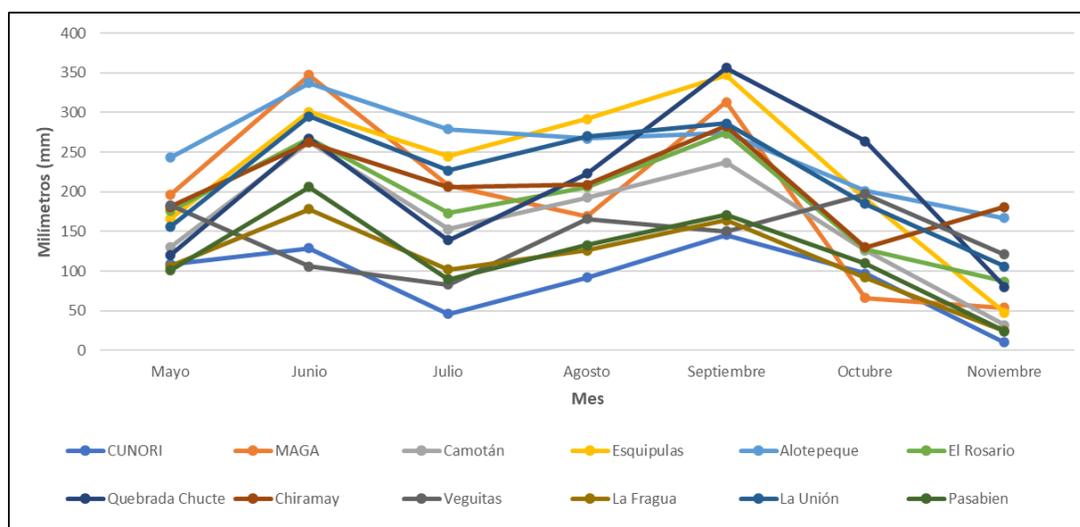
*Ubicación geográfica de las estaciones meteorológicas*



*Nota.* Se muestra la ubicación geográfica de cada estación meteorológica que cumplió satisfactoriamente el control de calidad. Elaboración propia, realizado con ArcMap.

La precipitación promedio mensual en la temporada lluviosa alcanza valores de 345 mm en los meses de julio y septiembre. Asimismo, se observa en la figura 5 que el mes de noviembre es el mes con menor promedio mensual de precipitación, registrando desde 20 mm hasta 160 mm en las partes más altas del departamento.

**Figura 5.**  
*Precipitación promedio mensual*



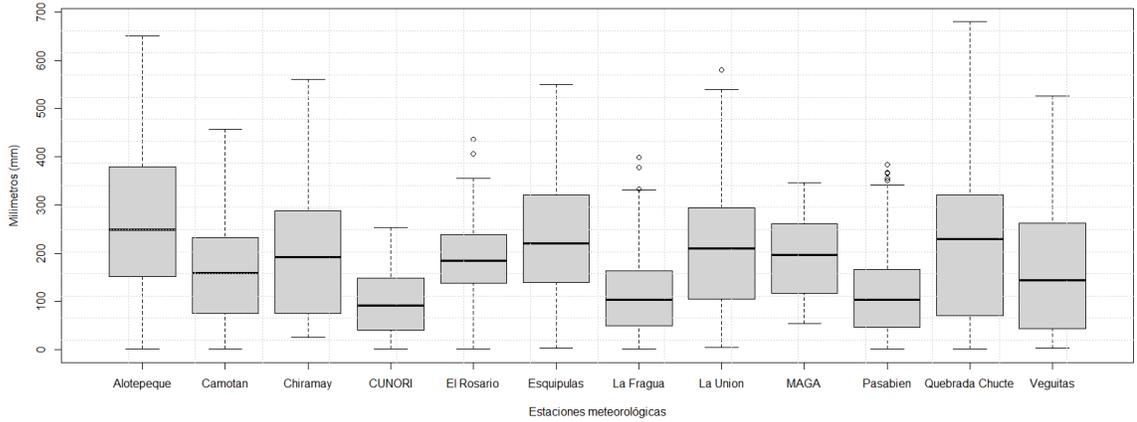
*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio mensual para las 12 estaciones meteorológicas de la investigación. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los registros históricos locales de precipitación muestran un comportamiento similar a escala mensual en la temporada lluviosa, se observa que históricamente los meses más lluviosos son junio y septiembre.

En la figura 6 y 7, se muestra la variabilidad de los datos históricos de precipitación registrados por las estaciones meteorológicas y por CHIRPS, respectivamente.

**Figura 6.**

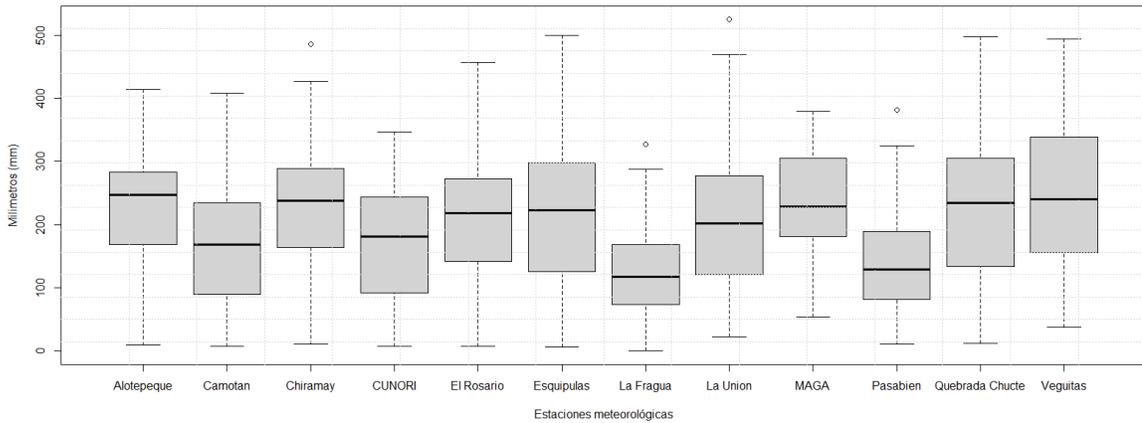
*Variabilidad de la precipitación local*



*Nota.* Comportamiento de la distribución y dispersión de los datos locales de precipitación para las estaciones meteorológicas de la investigación. Elaboración propia, realizado con RStudio.

**Figura 7.**

*Variabilidad de la precipitación CHIRPS*



*Nota.* Comportamiento de la distribución y dispersión de los datos CHIRPS para las coordenadas de las estaciones meteorológicas de la investigación. Elaboración propia, realizado con RStudio.

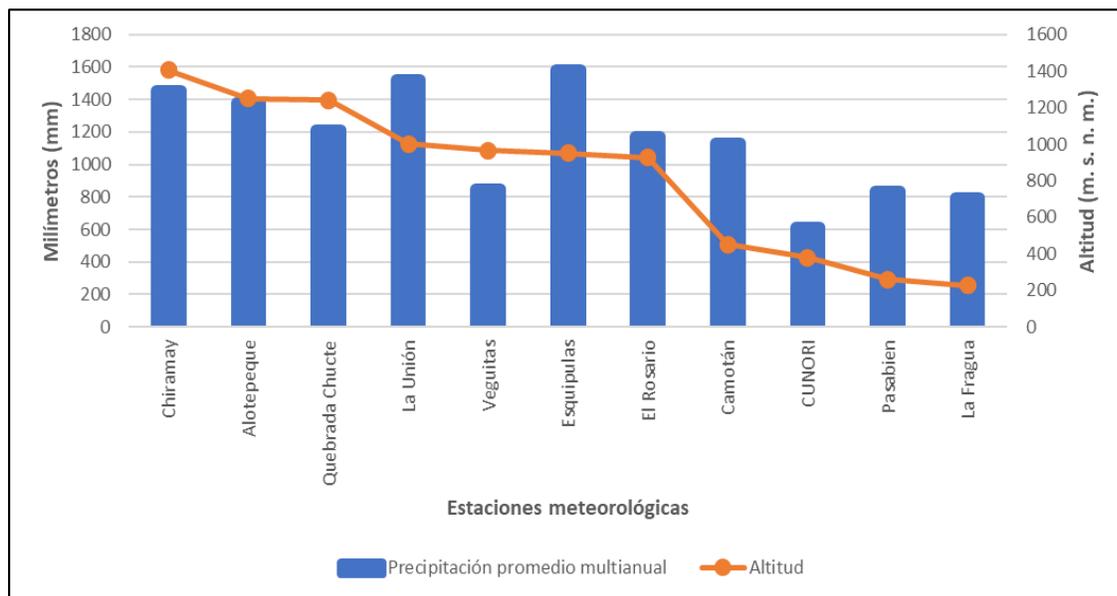
Se observa que la distribución de los datos de CHIRPS sobrestima en la mayoría de los casos el promedio de precipitación, asimismo los datos atípicos

registrados por las estaciones son más altos que los datos de satélite, esto muestra una estimación más uniforme de los eventos extremos para CHIRPS.

En la figura 8 se detalla la tendencia de la precipitación promedio anual registrada por las estaciones meteorológicas con respecto a la altitud de cada una de ellas. Se ordenaron de manera descendente con respecto a la altitud y se muestra una alta correlación positiva entre las 2 variables, dando como resultado una correlación de Pearson de 0.73.

**Figura 8.**

*Tendencia de precipitación promedio anual respecto a la altitud*



*Nota.* Comportamiento del promedio anual de precipitación histórica de las estaciones meteorológicas. Elaboración propia, realizado con Excel.

### 3.2. Análisis de la precipitación mensual

El análisis estadístico mensual de la precipitación local y de CHIRPS, puede ser útil en la agricultura para identificar patrones y tendencias de esta variable. En la tabla 5 se detallan los resultados de los estadísticos realizados a los datos históricos de precipitación local y de CHIRPS a escala mensual.

**Tabla 5.**

*Resultados estadísticos mensuales, temporada lluviosa*

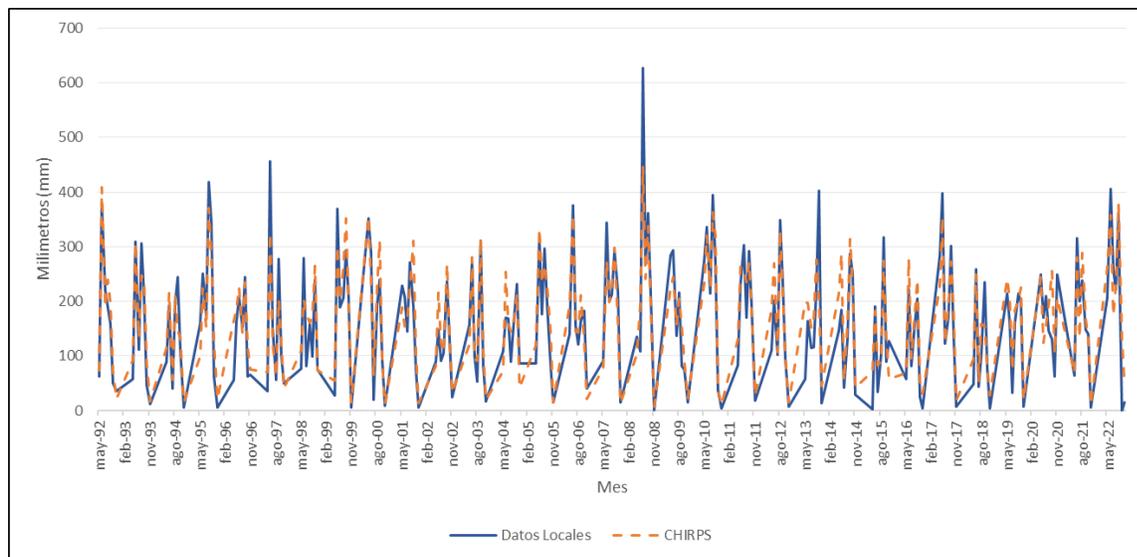
Estación	MSE	RMSE	MAE	MAPE	r
CUNORI	9,307	96	79	255	0.77
MAGA	2,244	47	40	30	0.98
Camotán	2,185	47	35	55	0.91
Esquipulas	3,893	62	48	29	0.90
Alotepeque	18,774	137	109	90	0.53
El Rosario	6,724	82	58	63	0.71
Quebrada Chucte	14,631	121	95	458	0.72
Chiramay	15,778	126	101	125	0.60
Veguitas	28,616	169	115	927	0.35
La Fragua	2,132	46	34	66	0.85
La Unión	4,337	66	50	50	0.88
Pasabien	2,474	50	41	93	0.88

*Nota.* Resultados de los estadísticos aplicados a los datos de precipitación local y CHIRPS, con una resolución temporal mensual, del departamento de Chiquimula. Elaboración propia, realizado con Excel.

Las estaciones de INSIVUMEH muestran los mejores resultados en términos absolutos y relativos, y una correlación desde 0.85 a 0.9. Las estaciones Alotepeque, Quebrada Chucte, Chiramay y Veguitas, muestran una mayor variabilidad en los datos en comparación al resto de estaciones.

En la figura 9 se representa el comportamiento de los datos históricos observados de precipitación de la estación Camotán con los datos del producto satelital CHIRPS.

**Figura 9.**  
*Precipitación local y CHIRPS, estación Camotán*



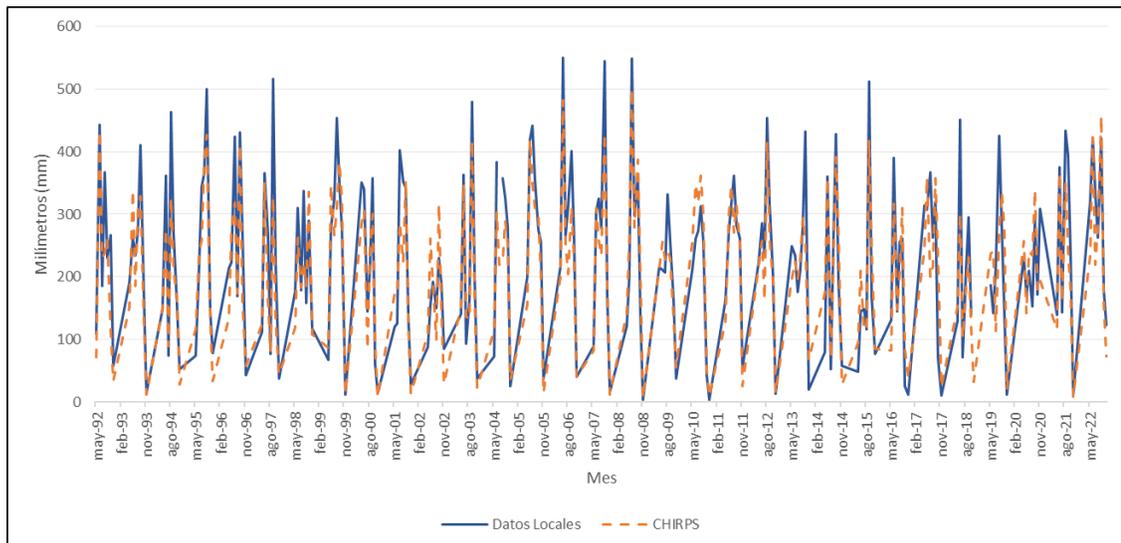
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación Camotán para los años 1992 - 2002, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados muestran una correlación positiva muy fuerte, la T de Student (0.03) muestra que existen diferencias significativas. Aunque, los errores de ajuste son relativamente bajos, lo que refleja que los datos locales y CHIRPS tienen un buen ajuste en términos de su variabilidad, al existir una alta relación en términos de precisión.

Para la estación Esquipulas, se aprecia una subestimación de los registros de CHIRPS en relación con los datos de la estación. En la figura 10 se representa el comportamiento de ambos datos de precipitación. Se obtuvo un error cuadrático medio de 3,893, un error de raíz cuadrática media de 62, error medio absoluto de 48, un error de porcentaje medio absoluto de 29 y Mann-Whitney 0.0006

**Figura 10.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación Esquipulas*



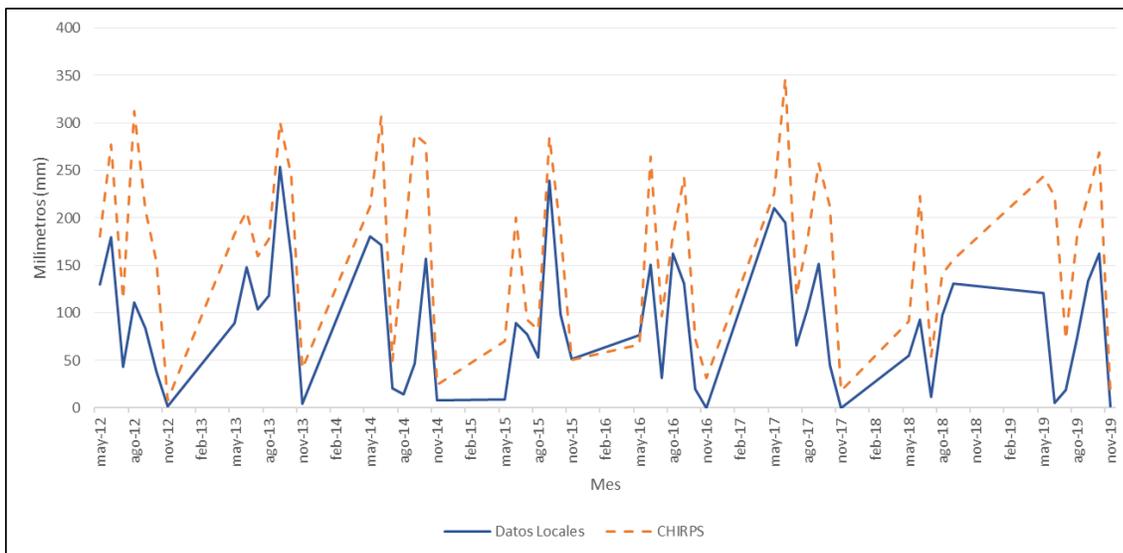
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación Esquipulas para los años 1992 - 2002, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Existen diferencias significativas en los datos, aunque los datos cuentan con una fuerte relación positiva, el resultado de Mann-Whitney sugiere diferencias en las medianas de los datos locales y CHIRPS. Los errores de ajuste son relativamente bajos, lo que refleja que los datos locales y CHIRPS tienen un buen ajuste en términos de su variabilidad, al existir una alta relación en términos de precisión.

Para la estación CUNORI, se aprecia una sobreestimación de los registros de CHIRPS en relación con los datos de la estación. En la figura 11 se representa el comportamiento de ambos datos de precipitación. Se obtuvo un error cuadrático medio de 9,307, un error de raíz cuadrática media de 96, error medio absoluto de 79 y un error de porcentaje medio absoluto de 255.

**Figura 11.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación CUNORI*



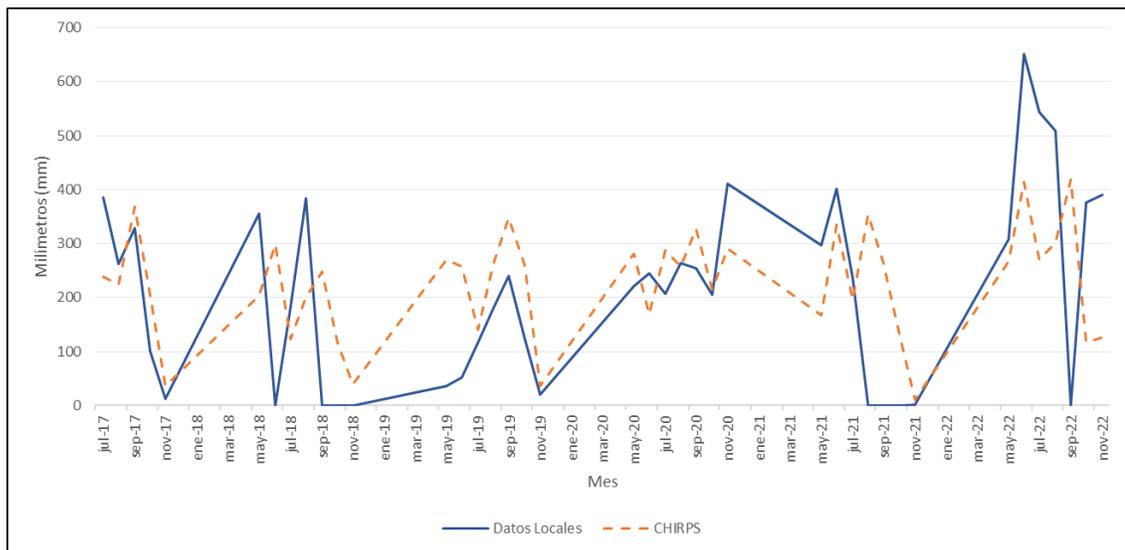
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación CUNORI para los años 2012 - 2019, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

La comparación estadística de los datos locales y CHIRPS muestran un alto error de ajuste, los valores de los estadísticos son altos, lo que indica que existe una alta variabilidad en los datos y no se ajustan entre sí. La correlación existente es moderadamente fuerte, pero la prueba de Welch indica que hay una diferencia significativa entre los datos.

Para la estación Alotepeque, se aprecia una sobreestimación de los registros de CHIRPS en relación con los datos de la estación. En la figura 12 se representa el comportamiento de ambos datos de precipitación. Se obtuvo un error cuadrático medio de 18,774, un error de raíz cuadrática media de 137, error medio absoluto de 109, un error de porcentaje medio absoluto de 90 y la prueba de Welch 0.159.

**Figura 12.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación Alotepeque*



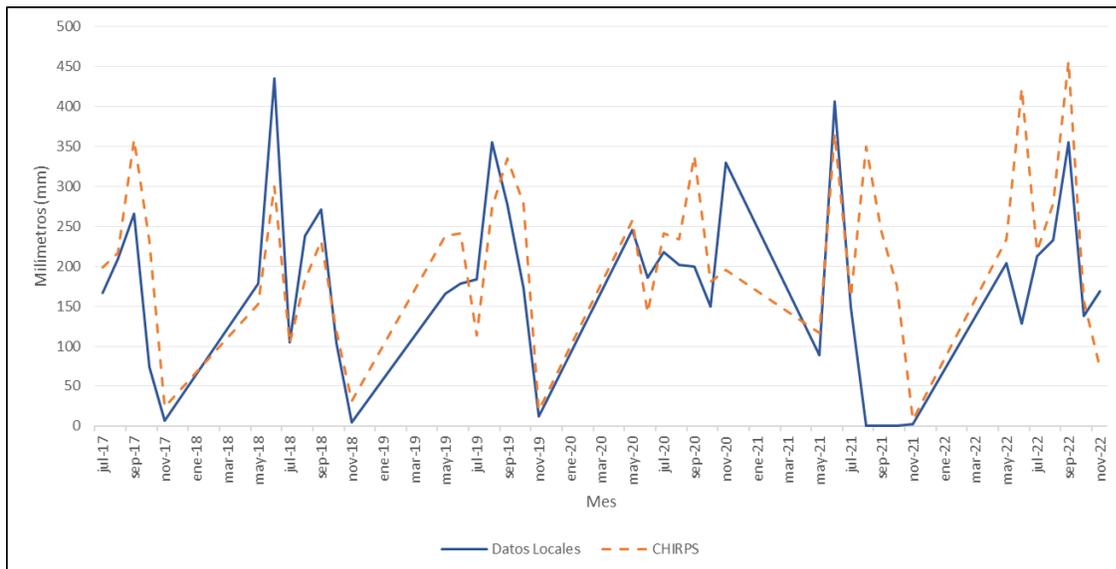
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación Alotepeque para los años 2017 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

La prueba de Welch sugiere que no hay diferencias significativas entre los datos locales y CHIRPS, sin embargo, la correlación entre ellos es moderada, los errores de ajuste muestran diferencias entre los datos en términos de la variabilidad, lo que refleja poca precisión en los datos satelitales.

En la figura 13 se representa el comportamiento de los datos históricos observados de precipitación de la estación El Rosario con los datos del producto satelital CHIRPS. Asimismo, se aprecia una sobreestimación de los registros del satélite en relación con los datos de la estación. Se obtuvo un error cuadrático medio de 6,724, un error de raíz cuadrática media de 82, error medio absoluto de 58, un error de porcentaje medio absoluto de 63 y la T de Student 0.157.

**Figura 13.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación El Rosario*



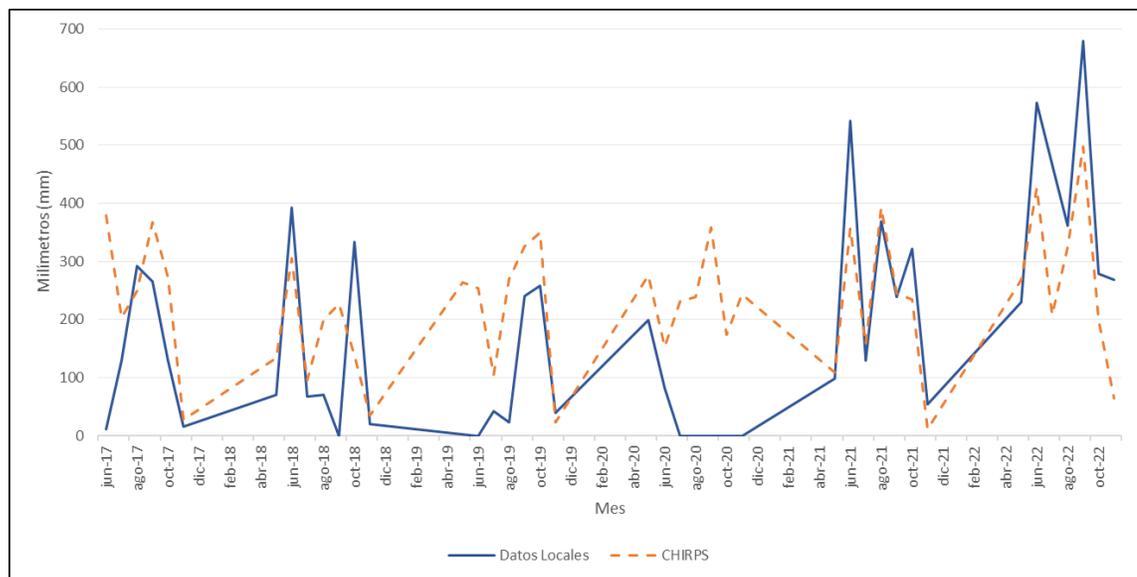
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación El Rosario para los años 2017 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

El resultado de la T de Student indica que no hay diferencia significativa entre lo datos, los errores de ajuste son relativamente bajos y la correlación es moderadamente fuerte. Lo que refleja que CHIRPS puede ser una buena fuente de datos para esta área geográfica.

Para la estación Quebrada Chucte, se aprecia una sobreestimación de los registros de CHIRPS en relación con los datos de la estación. En la figura 14 se representa el comportamiento de ambos datos de precipitación. Se obtuvo un error cuadrático medio de 14,631, un error de raíz cuadrática media de 121, error medio absoluto de 95 y un error de porcentaje medio absoluto de 458.

**Figura 14.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación Quebrada Chucte*



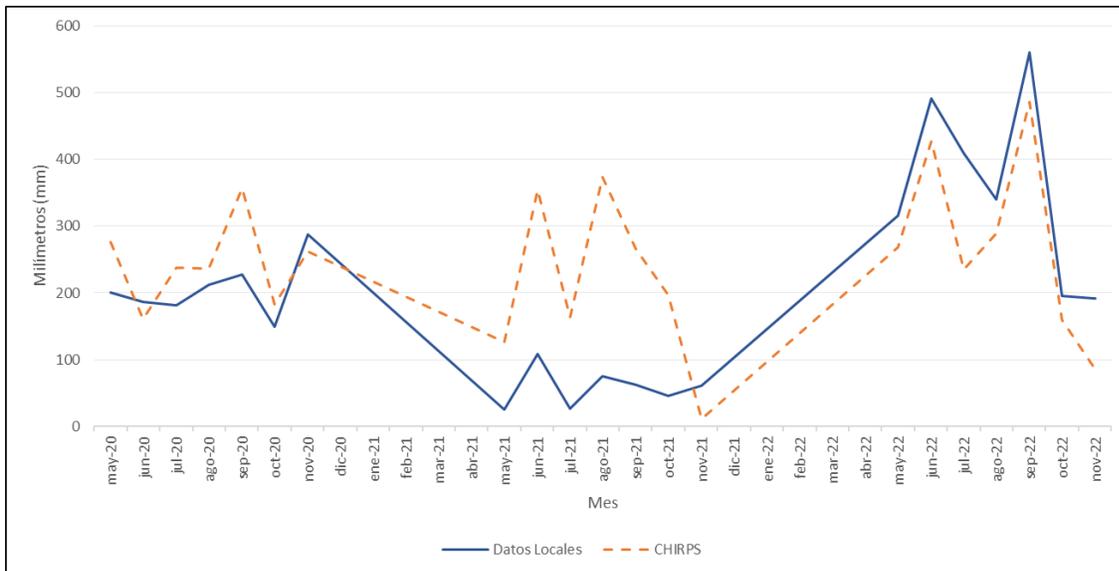
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación Quebrada Chucte para los años 2017 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados muestran que no hay diferencias significativas entre los datos según la T de Student, y que existe una correlación moderada entre ellos, aunque los errores de ajuste son altos, puede existir un sesgo en las predicciones de CHIRPS.

En la figura 15 se representa el comportamiento de los datos históricos observados de precipitación de la estación Chiramay con los datos del producto satelital CHIRPS. Se obtuvo un error cuadrático medio de 15,778, un error de raíz cuadrática media de 126, error medio absoluto de 101 y un error de porcentaje medio absoluto de 125.

**Figura 15.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación Chiramay*



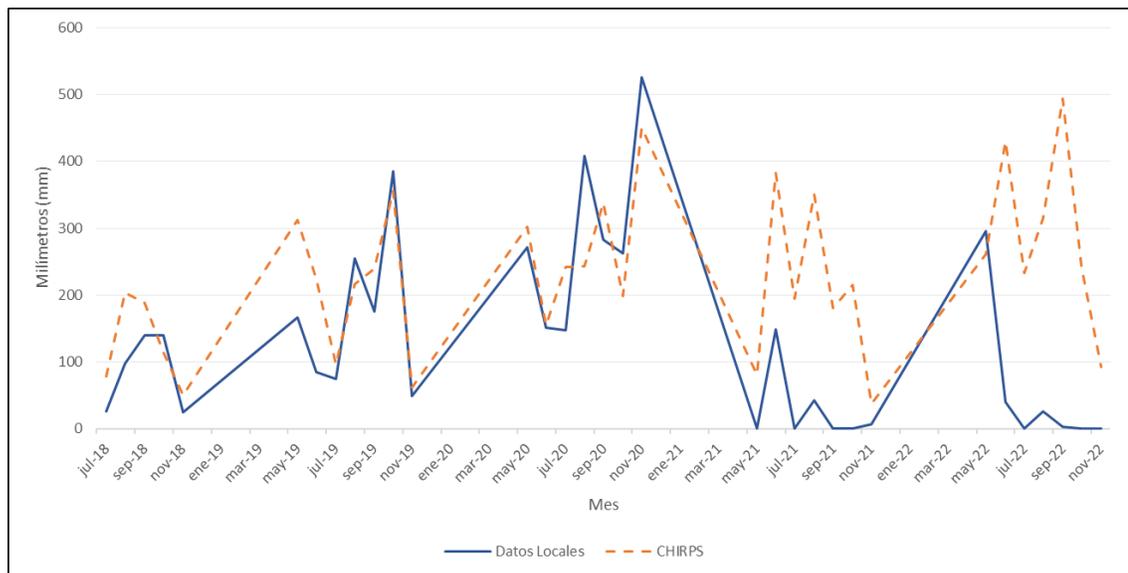
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación Chiramay para los años 2020 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados muestran que no hay diferencias significativas entre los datos según la T de Student, y que existe una relación moderada entre ellos, aunque los errores de ajuste son altos, puede existir un sesgo en las predicciones de CHIRPS.

Para la estación Veguitas, se aprecia una sobreestimación de los registros de CHIRPS en relación con los datos de la estación. En la figura 16 se representa el comportamiento de ambos datos de precipitación. Se obtuvo un error cuadrático medio de 28,616, un error de raíz cuadrática media de 169, error medio absoluto de 115 y un error de porcentaje medio absoluto de 927.

**Figura 16.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación Veguitas*



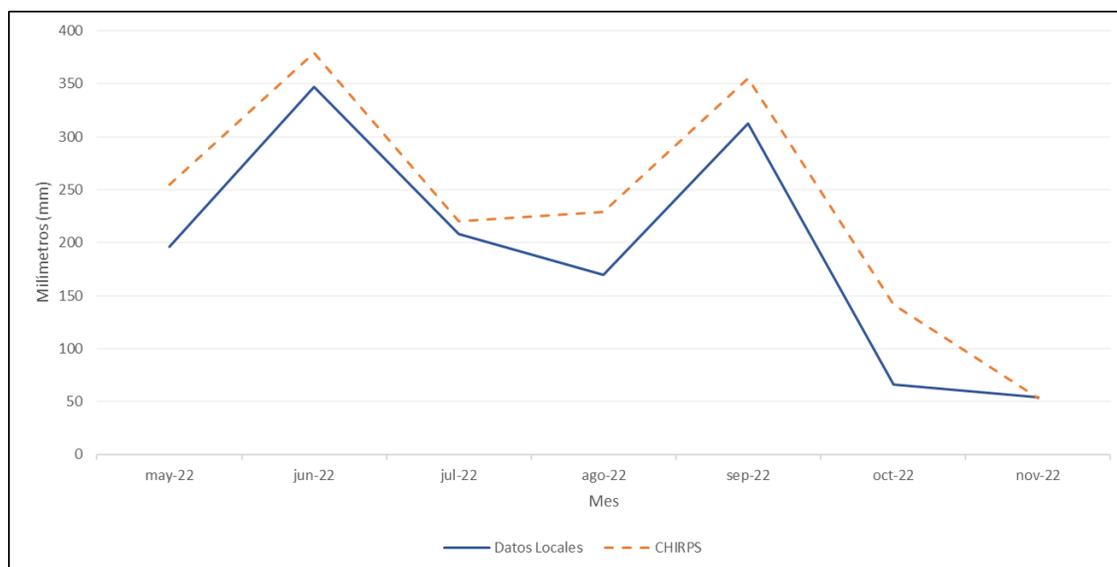
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación Veguitas para los años 2018 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados reflejan diferencias significativas entre los datos locales y del satélite, según la T de Student (0.011), el MSE y RMSE indican que la diferencia es bastante grande en promedio, el MAE y MAPE muestran que los valores CHIRPS difieren de los valores de las estaciones. Y la relación es débil entre los datos locales y CHIRPS.

Para la estación MAGA, se aprecia una sobreestimación de los registros de CHIRPS en relación con los datos de la estación. En la figura 17 se representa el comportamiento de ambos datos de precipitación. Se obtuvo un error cuadrático medio de 2,244, un error de raíz cuadrática media de 47, error medio absoluto de 40 y un error de porcentaje medio absoluto de 30.

### Figura 17.

*Precipitación local y CHIRPS, estación MAGA*



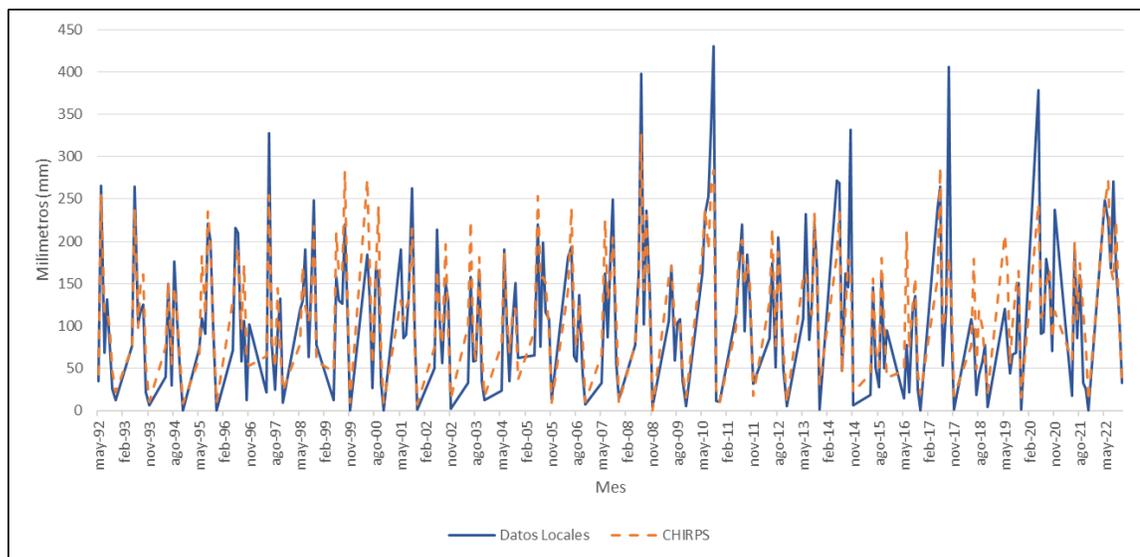
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación MAGA para el año 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados muestran que los datos locales y CHIRPS están altamente relacionados, los errores de ajuste son bajos, lo cual indica que las diferencias son pequeñas, el MAPE sugiere que CHIRPS se ajusta a los datos locales. Aunque el resultado de la T de Student (0.008) indique que hay una diferencia significativa, esta no es relevante, debido a que el RMSE y MAE son bajos.

En la figura 18 se representa el comportamiento de los datos históricos observados de precipitación de la estación La Fragua con los datos del producto satelital CHIRPS. Se obtuvo un error cuadrático medio de 2,131, un error de raíz cuadrática media de 46, error medio absoluto de 64 y un error de porcentaje medio absoluto de 66.

**Figura 18.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación La Fragua*



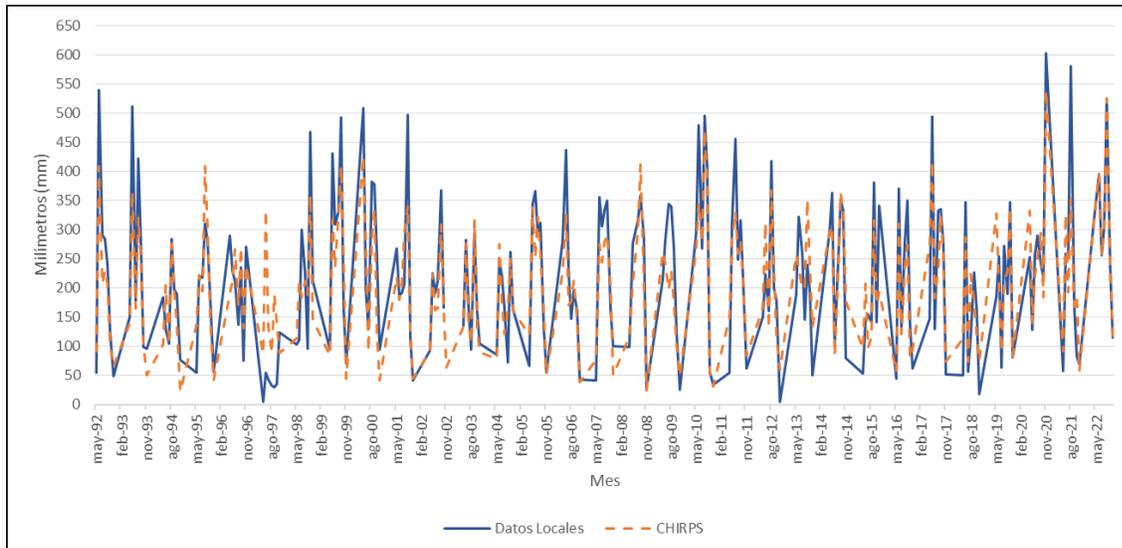
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación La Fragua para los años 1992 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados muestran una fuerte correlación entre los datos, los estadísticos reflejan que la diferencia entre los datos es relativamente pequeña, aunque el MAPE es un poco alto, puede sobreestimar o subestimar los datos de satélite en algunos casos. Mann-Whitney indica una diferencia significativa (0.00004) alta entre los datos. A pesar de la fuerte correlación es posible existan diferencias sistemáticas entre los datos.

En la figura 19 se representa el comportamiento de los datos históricos observados de precipitación de la estación La Unión con los datos del producto satelital CHIRPS. Se obtuvo un error cuadrático medio de 4,637, un error de raíz cuadrática media de 66, error medio absoluto de 50 y un error de porcentaje medio absoluto de 50.

**Figura 19.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación La Unión*



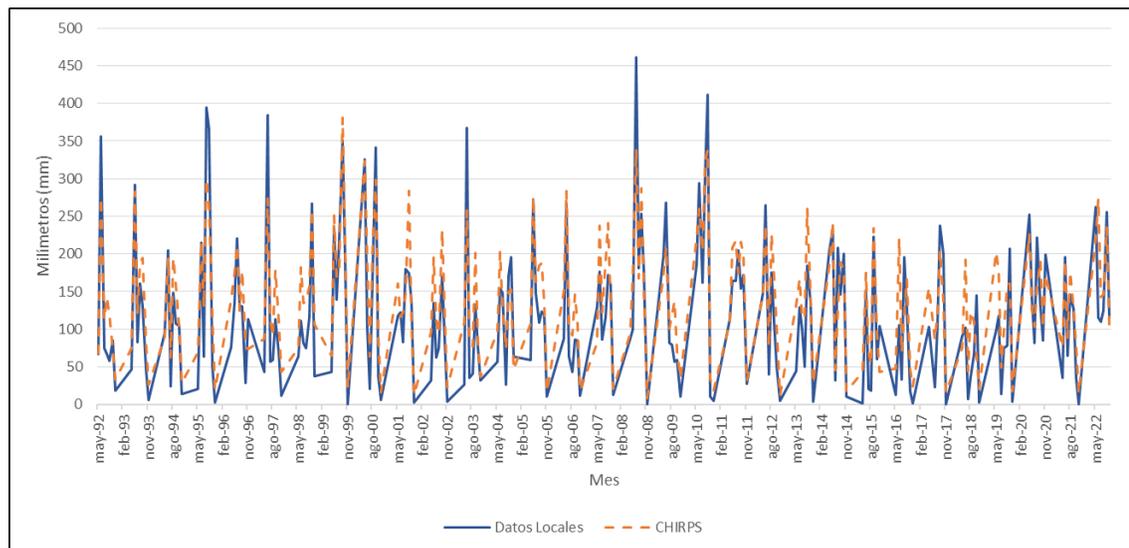
*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación La Unión para los años 1992 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados muestran una fuerte relación lineal entre los datos locales y CHIRPS, Mann-Whitney indica que existe una diferencia significativa entre ellos, los errores de ajuste también indican que los datos no son exactamente iguales, pero si comparables. En términos generales los dos grupos de datos son similares, pero existen algunas discrepancias.

El comportamiento de los datos históricos observados de precipitación de la estación Pasabien con los datos del producto satelital CHIRPS se representan en la figura 20. Se obtuvo un error cuadrático medio de 2,474, un error de raíz cuadrática media de 50, error medio absoluto de 40 y un error de porcentaje medio absoluto de 93.

**Figura 20.**

*Precipitación local y CHIRPS, estación Pasabien*



*Nota.* Tendencia del comportamiento de los registros mensuales locales de precipitación y CHIRPS en la estación Pasabien para los años 1992 - 2022, para la temporada lluviosa (mayo – noviembre). Elaboración propia, realizado con Excel.

Los datos locales y de satélite muestran una relación positiva y fuerte entre ambos conjuntos de datos. Los errores de ajuste son bajos, los cuales sugieren correspondencia con los valores CHIRPS. El valor de T de Student es sumamente bajo, indicando que la diferencia entre los datos no se deba al azar. En general, los registros locales y de satélite son bastante similares.

### 3.3. Análisis de la precipitación por péntadas

Se realizaron análisis estadísticos por péntadas de la precipitación local y de CHIRPS, lo cual puede ser útil en la agricultura, gestión del recurso hídrico y boletines climáticos. En la tabla 6 se detallan los resultados de los estadísticos realizados a los datos históricos de precipitación local y de CHIRPS a escala pentadal.

**Tabla 6.**

*Resultados estadísticos por péntadas, temporada lluviosa*

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b>r</b>
CUNORI	689	26	20	487	0.53
MAGA	645	25	20	160	0.69
Camotán	510	23	16	27	0.74
Esquipulas	849	29	20	137	0.69
Alotepeque	2213	47	33	394	0.55
El Rosario	976	31	22	138	0.53
Quebrada Chuacte	1,576	40	25	271	0.60
Chiramay	1,185	34	25	291	0.64
Veguitas	1,077	33	22	181	0.67
La Fragua	448	21	14	161	0.65
La Unión	915	30	21	127	0.70
Pasabien	524	23	16	166	0.65

*Nota.* Resultados de los estadísticos aplicados a los registros de precipitación local y CHIRPS, con una resolución temporal de péntadas. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados de los datos de la estación CUNORI y CHIRPS indican que hay una buena precisión en éstos, aunque el MAPE al ser alto muestra variabilidad significativa en los datos, y los valores CHIRPS pueden fluctuar en un 487 % en comparación a los datos locales. Aunque hay cierta precisión en los datos, el MAPE muestra una alta variabilidad entre los datos, y la relación lineal entre ellos es moderada.

Los datos locales de la estación MAGA y CHIRPS cuentan con una relación positiva moderadamente fuerte. En promedio tienen diferencias bajas, aunque el resultado del MAPE es alto, los datos satelitales pueden tener problemas para determinar con buena precisión los eventos extremos para esa área geográfica.

Los resultados en la estación Camotán muestran correspondencia entre los datos de precipitación local y CHIRPS, los 2 conjuntos de datos no difieren en el promedio y el MAPE no es alto. Para esta área geográfica los datos CHIRPS a nivel pentadal son una fuente confiable para obtener datos de precipitación.

Para la estación Esquipulas, los datos locales y de satélite a nivel pentadal no son precisos, en términos porcentuales las comparaciones pueden ser inexactas.

Los resultados de las estaciones Alotepeque, El Rosario, Quebrada Chucte, Chiramay y Veguitas, son similares. La diferencia del promedio entre ambos conjuntos de datos es alta comparada con la magnitud de la precipitación de esas áreas. Asimismo, el error promedio en la predicción de CHIRPS es alto en relación con los datos locales y la correlación entre los valores es moderada.

Para la estación La Fragua, el error cuadrático medio entre la precipitación local y CHIRPS es bajo, lo cual indica que los datos se ajustan bien. Según el MAE la diferencia absoluta es baja, con lo cual se refleja una alta precisión entre ambos conjuntos de datos. Aunque el MAPE es relativamente alto, los resultados son buenos para utilizar CHIRPS en esta área geográfica.

Los resultados para la estación La Unión, en series de tiempo pentadal muestra que existe variación entre la precipitación local y CHIRPS. Asimismo, el MAPE refleja un error porcentual alto, con lo cual la precisión de CHIRPS no es precisa en términos absolutos y relativos para esta área geográfica.

Los resultados de los datos de la estación Pasabien en relación con CHIRPS cuentan una relación positiva moderada, a su vez, el error promedio entre los dos conjuntos de datos es bajo. Aunque el MAPE es relativamente alto, los resultados sugieren que los datos CHIRPS son similares a esta escala.

### **3.4. Análisis de la precipitación anual**

Se realizaron análisis estadísticos de la precipitación a escala anual, de datos locales y CHIRPS, lo cual puede ser útil para determinar el momento óptimo de siembra, prevención de desastres naturales, inundaciones o deslizamientos.

En la tabla 7 se detallan los resultados de los estadísticos realizados a los datos históricos de precipitación local y de CHIRPS a escala anual.

**Tabla 7.***Resultados estadísticos anuales, temporada lluviosa*

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b>r</b>
CUNORI	295,982	544	518	87	0.7
MAGA	78,243	280	280	21	-
Camotán	13,590	117	97	9	0.88
Esquipulas	362,234	190	164	10	0.75
Alotepeque	415,744	645	457	37	0.51
El Rosario	54,633	234	190	17	0.86
Quebrada Chucte	242,917	493	388	40	0.88
Chiramay	518,405	720	635	103	0
Veguitas	355,261	596	471	136	0.80
La Fragua	2,132	46	34	66	0.85
La Unión	4,337	66	50	50	0.88
Pasabien	2,474	50	40	93	0.88

*Nota.* Resultados de los estadísticos aplicados a los registros de precipitación local y CHIRPS, con una resolución temporal anual. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados de los estadísticos a escala anual para la estación CUNORI, reflejan altas diferencias entre los datos, y la precisión entre ellos es baja, por lo cual, en el promedio de acumulados anuales, CHIRPS no presenta correspondencia para esta estación.

Los datos de la estación MAGA, muestra que las diferencias en el promedio anual con CHIRPS son altas, el MAE y MAPE también son altos, lo cual indica que los conjuntos de datos en términos absolutos y relativos no son similares. En la estación Camotán, los datos locales y de satélite muestran una

correlación positiva fuerte, y en promedio tienen buena precisión. El MAPE indica que la tasa de error porcentual promedio entre los datos es de 9 %, lo cual es un valor bajo y aceptable para sugerir que existe correspondencia entre los registros locales y CHIRPS.

Los registros de precipitación en la estación Esquipulas muestran altas diferencias significativas entre los valores de CHIRPS, a la vez, las desviaciones entre los datos son grandes. Los datos de satélite muestran un buen desempeño en términos relativos, pero existe una gran discrepancia en términos absolutos con los datos locales.

Los datos de las estaciones Alotepeque, Quebrada Chucte, Chiramay y Veguitas con respecto a CHIRPS, muestran diferencias significativas a una escala temporal anual, la precisión de los datos satelitales es considerablemente baja en relación con los registros históricos. Aunque la estación Quebrada Chucte cuentan con una correlación fuerte con los datos CHIRPS, en términos absolutos y relativos los datos no son similares.

En la estación El Rosario, aunque el MSE indica que existen diferencias entre los dos grupos de datos, el RMSE, MAE y MAPE muestran que los errores promedio en las comparaciones son relativamente bajos, y cuentan con una relación positiva fuerte entre los datos locales y CHIRPS, por lo cual, a escala anual para esta estación, CHIRPS es una herramienta que puede predecir la precipitación, aunque con cierto nivel de sobrestimación.

Los registros de precipitación de las estaciones La Fragua, La Unión y Pasabien a una escala anual comparados con CHIRPS, muestran un error cuadrático medio relativamente alto, lo cual refleja diferencias entre ambos conjuntos de datos. Aunque en términos absolutos la diferencia promedio es

considerablemente bajo, a nivel porcentual el error promedio incrementa, sin embargo, los datos están fuertemente relacionados. Aunque puede haber discrepancia en algún momento, los dos conjuntos de datos son relativamente similares.

### 3.5. Análisis de la época seca

La época seca o no lluviosa en el departamento de Chiquimula es considerada en los meses de diciembre a abril. En la tabla 8, se detallan los resultados estadísticos para esta temporada a una escala mensual.

**Tabla 8.**

*Resultados estadísticos mensuales, época seca*

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>r</b>
CUNORI	142	12	9	0.71
MAGA	46	7	6	0.71
Camotán	199	14	8	0.80
Esquipulas	376	19	10	0.80
Alotepeque	5,302	73	48	0.27
El Rosario	125	11	8	0.87
Quebrada Chucte	999	32	23	0.56
Chiramay	509	23	17	0.62
Veguitas	284	17	14	0.66

Continuación de la tabla 8.

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>r</b>
La Fragua	119	11	6	0.83
La Unión	1,229	35	24	0.5
Pasabien	118	11	7	0.86

*Nota.* Resultados de los estadísticos aplicados a los registros locales y CHIRPS, en la temporada seca, con una resolución temporal mensual. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los datos registrados en la época seca de la estación CUNORI y CHIRPS, muestran una correlación positiva moderadamente fuerte, el MSE, RMSE y MAE obtuvieron resultados bajos, lo cual indica que los valores del satélite son muy cercanos a los locales.

Para la estación MAGA los resultados muestran una correlación positiva moderadamente fuerte y los estadísticos reflejan resultados muy bajos, por lo cual para la temporada seca ambos conjuntos de datos tienen una buena correspondencia entre ellos.

Los datos de las estaciones Camotán, Esquipulas, El Rosario, La Fragua y Pasabien cuentan con una correlación positiva fuerte, lo cual se interpreta como una alta relación entre los dos grupos de datos. Asimismo, los resultados de los estadísticos para Camotán, El Rosario, La Fragua y Pasabien muestran una fuerte correspondencia entre ellos. La estación Esquipulas, aunque muestra cierta cantidad de error en la estimación de CHIRPS, estos son bajos y no afectan a la correspondencia con los valores locales.

Los resultados de las estaciones Quebrada Chucte, Chiramay y La Unión muestran diferencias relativamente altas entre los datos locales y CHIRPS, y con una correlación moderada entre ellos. Lo cual refleja que los dos grupos de datos están moderadamente relacionados, pero con una precisión relativamente baja.

La estación Alotepeque en la temporada seca a una escala mensual muestra una baja correspondencia entre los datos locales y CHIRPS, y a la vez la correlación refleja una relación débil entre ellos.

### 3.6. Análisis del coeficiente de Nash-Sutcliffe

En la tabla 9 se muestran los resultados de la variabilidad de los datos CHIRPS en relación con los datos locales de precipitación.

**Tabla 9.**

*Resultados de la eficiencia Nash-Sutcliffe*

<b>Estación</b>	<b>PENTADAL</b>	<b>MENSUAL</b>	<b>ANUAL</b>
CUNORI	-0.42	-1.16	-14.06
MAGA	0.37	0.79	- -
Camotán	0.54	0.82	0.71
Esquipulas	0.46	0.78	0.28
Alotepeque	0.24	0.23	0.17
El Rosario	0.22	0.37	0.55
Quebrada Chucte	0.34	0.52	0.67
Chiramay	0.38	0.26	0.29

Continuación de la tabla 9.

<b>Estación</b>	<b>PENTADAL</b>	<b>MENSUAL</b>	<b>ANUAL</b>
Veguitas	0.42	-0.57	0.26
La Fragua	0.41	0.71	0.63
La Unión	0.47	0.75	0.64
Pasabien	0.41	0.73	0.43

*Nota.* Resultados de la eficiencia de Nash-Sutcliffe de los registros de precipitación locales y CHIRPS, a una escala pentadal, mensual y anual. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados muestran que la estación MAGA, Camotán, Esquipulas, La Fragua, La Unión y Pasabien a nivel mensual obtuvieron una muy buena eficiencia en la precisión de la predicción de CHIRPS. El Rosario, Quebrada Chucte, Alotepeque y Chiramay una eficiencia moderada y CUNORI y Veguitas, una eficiencia insatisfactoria.

En términos generales una escala más baja como la pentadal, los resultados son más bajos en comparación con la escala mensual, para una escala anual, los resultados mejoran para las estaciones que muestran los NSE más bajos a escala mensual, sin embargo, éstos siguen siendo insatisfactorios.

### 3.7. Análisis espacial de la precipitación

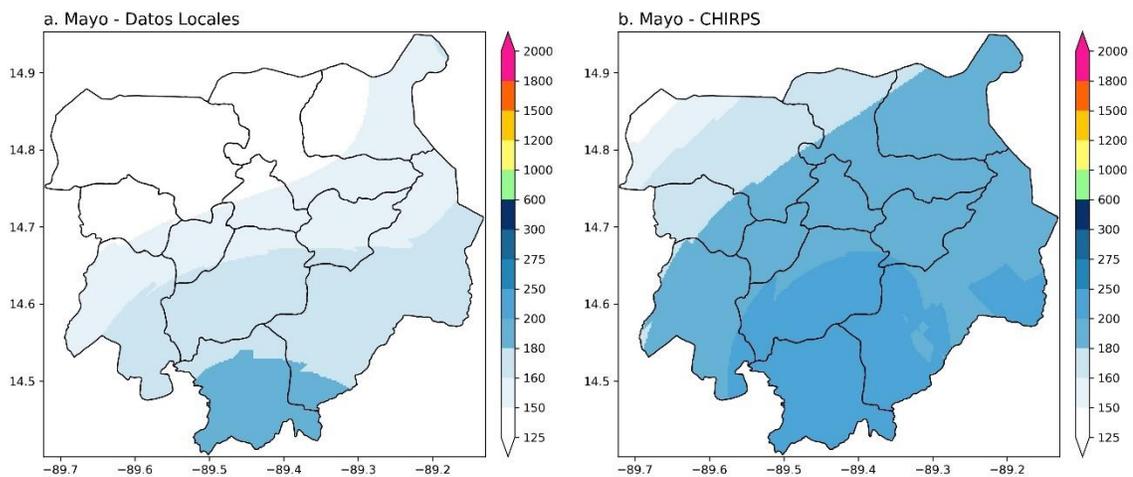
A continuación, se presenta el análisis espacial de la precipitación, dando inicio con el análisis espacial promedio mensual.

#### 3.7.1. Análisis espacial promedio mensual

Para modelar el comportamiento promedio mensual de la precipitación en Chiquimula, se utilizaron los datos históricos de la red de estaciones del departamento de la tabla 4. Asimismo, se modeló el comportamiento utilizando datos CHIRPS. En la figura 21 se muestra la precipitación promedio en el departamento en el mes de mayo.

**Figura 21.**

*Precipitación promedio de mayo*



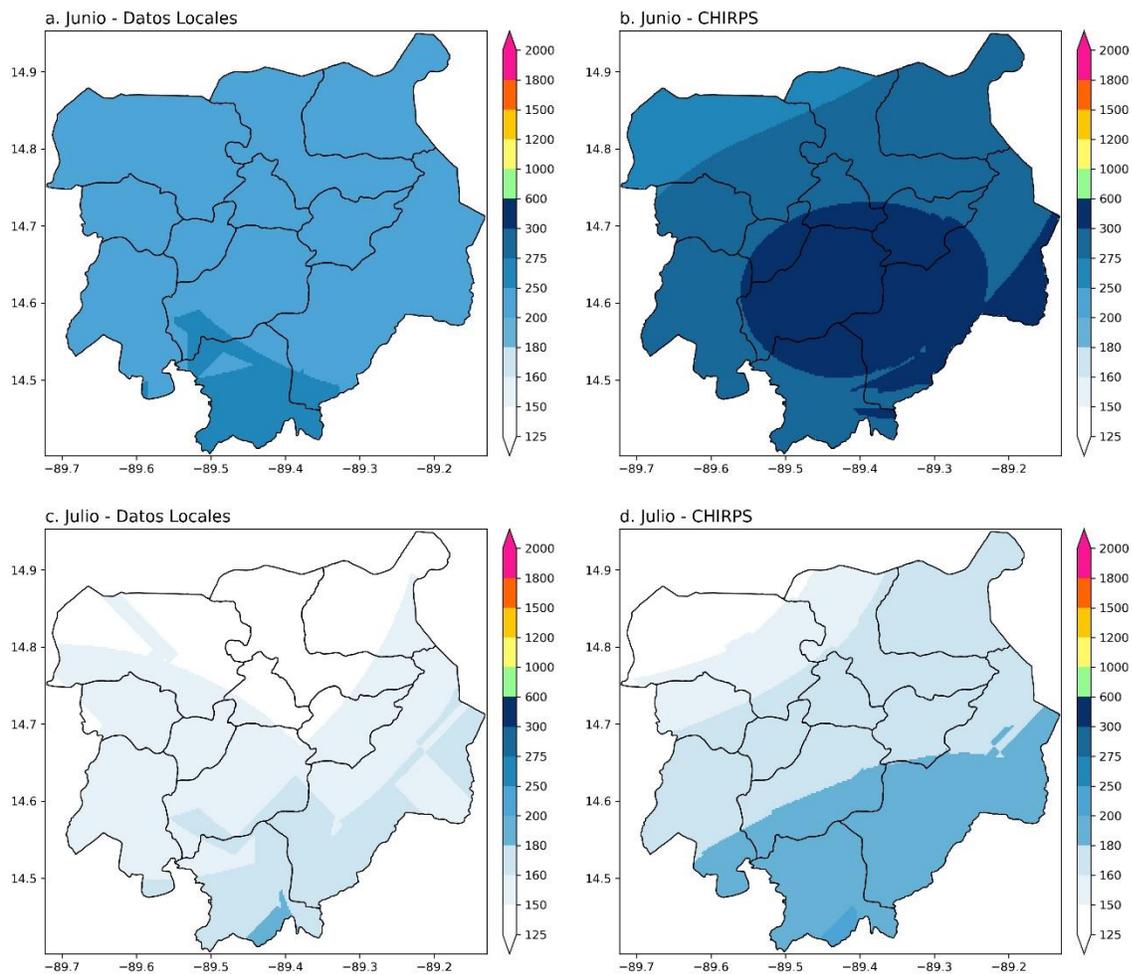
*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio en el mes de mayo del departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b). Elaboración propia, realizado con Python.

Los resultados muestran que los datos del producto satelital CHIRPS, sobreestiman los datos registrados por las estaciones locales, aunque el comportamiento es relativamente similar.

En la figura 22 se muestra la precipitación promedio en el departamento en el mes de junio y julio.

**Figura 22.**

*Precipitación promedio de junio y julio*

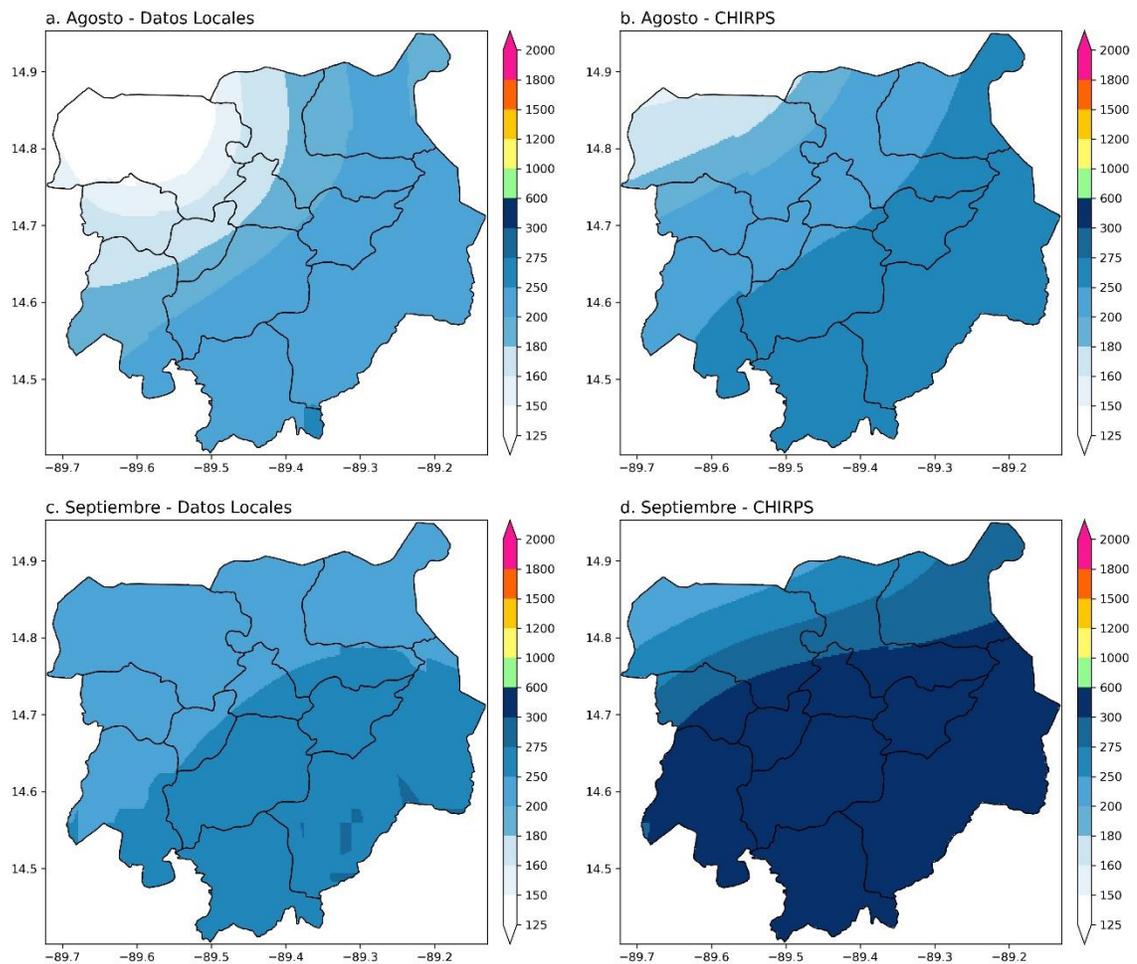


*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio en el mes de junio del departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b). Asimismo, para el mes de julio utilizando datos locales (c) y CHIRPS (d). Elaboración propia, realizado con Python.

En la figura 23 se muestra la precipitación promedio en el departamento en el mes de agosto y septiembre.

**Figura 23.**

*Precipitación promedio de agosto y septiembre*

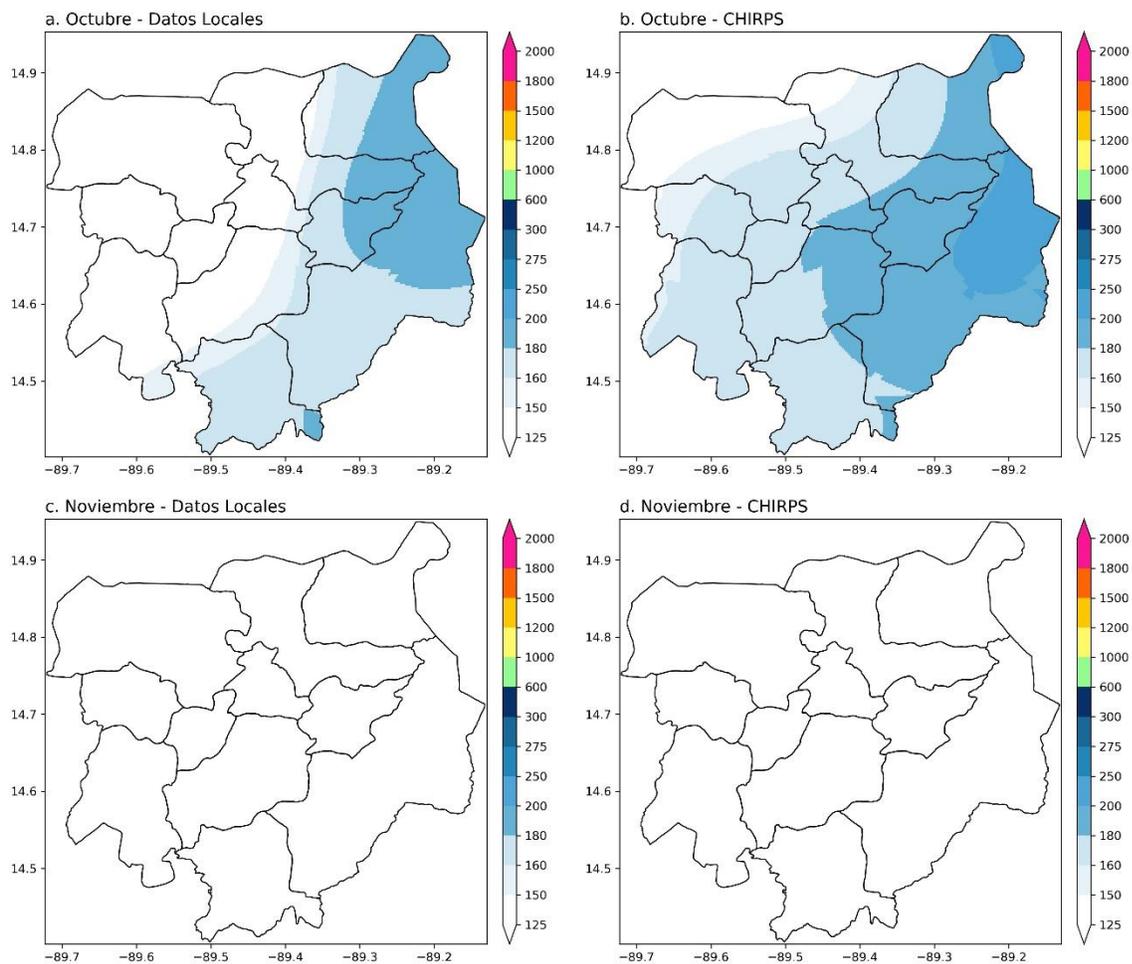


*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio en el mes de agosto del departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b). Asimismo, para el mes de septiembre utilizando datos locales (c) y CHIRPS (d). Elaboración propia, realizado con Python.

En la figura 24 se muestra la precipitación promedio en el departamento en el mes de octubre y noviembre.

### Figura 24.

#### *Precipitación promedio de octubre y noviembre*



*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio en el mes de octubre del departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b). Asimismo, para el mes de noviembre utilizando datos locales (c) y CHIRPS (d). Elaboración propia, realizado con Python.

Los resultados de la figura 22 para el mes de junio muestran como el producto CHIRPS sobreestima para la región central del departamento la precipitación comparada con los datos locales, siendo diferentes ambos productos en la mayor parte del área de estudio. En el mes de julio, el comportamiento es relativamente similar, sobreestimando CHIRPS en proporciones bajas en el sudeste del departamento. Para el resto del departamento el comportamiento es significativo.

Para el mes de agosto según la figura 23, la variabilidad espacial de los datos locales y CHIRPS es baja. El comportamiento es significativo, sobreestimando CHIRPS en proporciones menores. En el mes de septiembre el comportamiento es a la vez similar, aunque los datos satelitales sobreestiman la precipitación en relación con los datos locales.

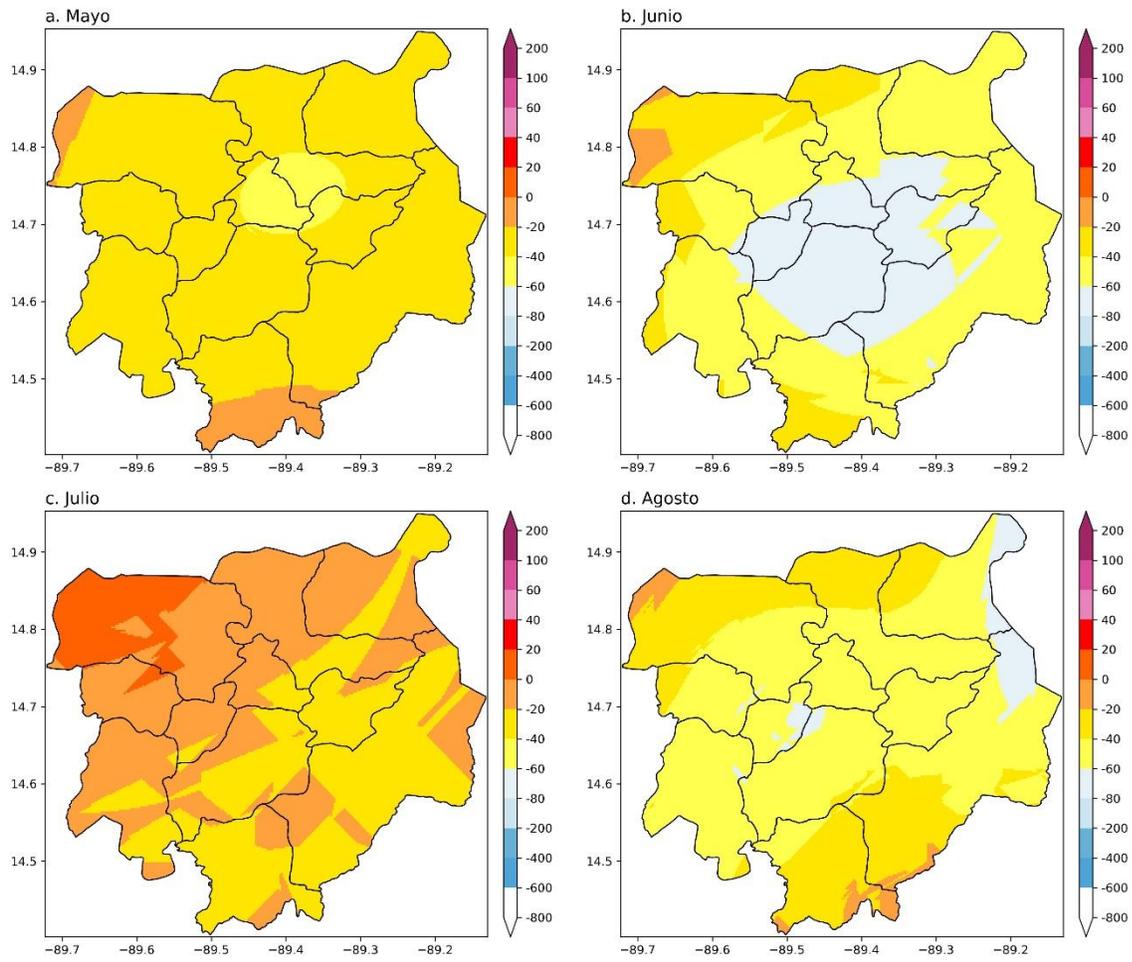
En el mes de octubre según la figura 24, la variabilidad espacial de los datos CHIRPS es mayor en relación con los datos locales, el comportamiento de entre ambos es poco semejante. Y para el mes de noviembre, en el cual los acumulados de precipitación son menores en relación con el resto de los meses, CHIRPS modela en altas proporciones el comportamiento de los datos locales.

#### **3.7.1.1. Diferencias espaciales por mes**

En la figura 25 se muestra las diferencias de precipitación a nivel espacial expresadas en milímetros de los meses de mayo, junio, julio y agosto.

**Figura 25.**

*Diferencias espaciales de mayo - agosto*

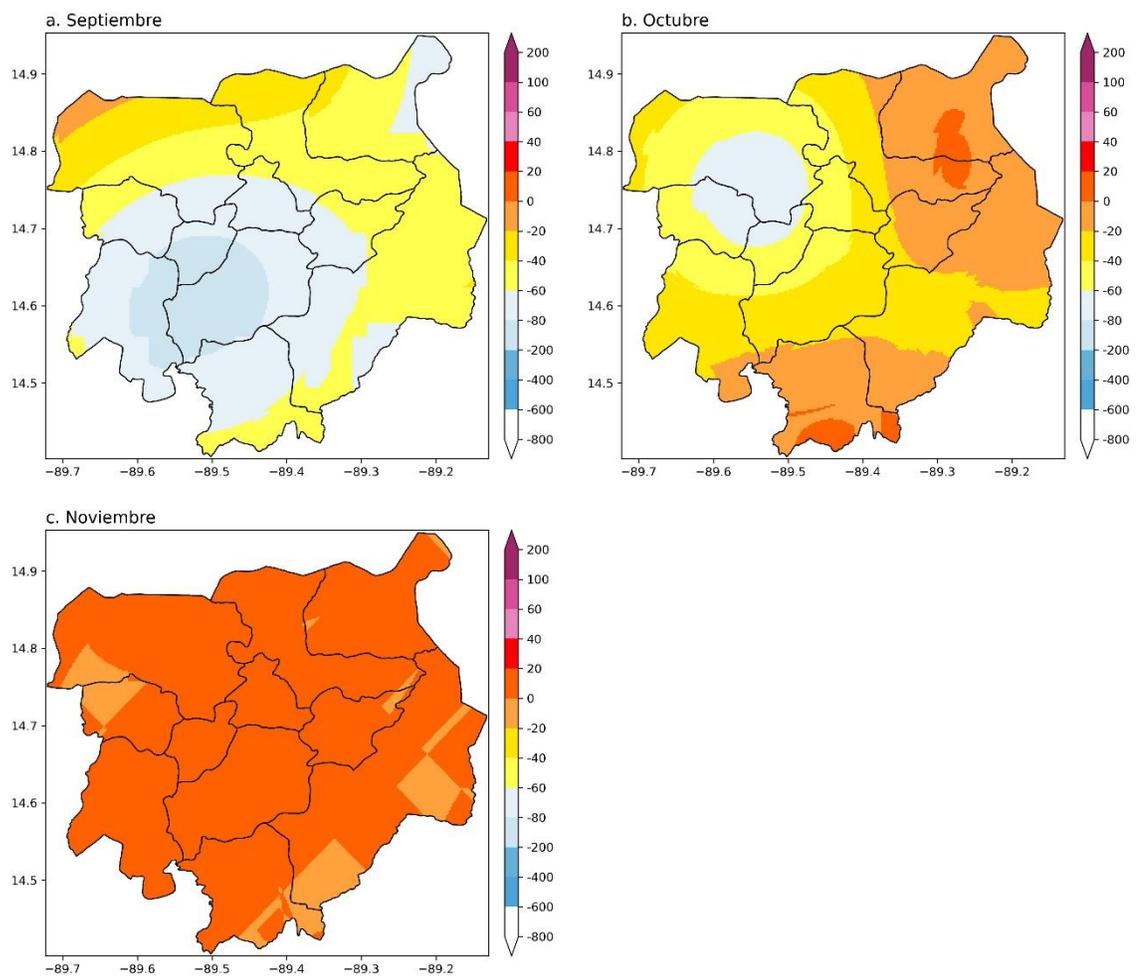


*Nota.* Diferencia espacial de la precipitación promedio en los meses de mayo (a), junio (b), julio (c) y agosto (d). Elaboración propia, realizado con Python.

En la figura 26 se muestra las diferencias de precipitación a nivel espacial expresadas en milímetros de los meses de septiembre, octubre y noviembre.

**Figura 26.**

*Diferencias espaciales de septiembre - noviembre*



*Nota.* Diferencia espacial de la precipitación promedio en los meses de septiembre (a), octubre (b) y noviembre (c). Elaboración propia, realizado con Python.

Los resultados para el mes de mayo muestran que en promedio CHIRPS sobreestima entre 10 a 40 mm de precipitación, el mes de junio en la parte central del departamento alcanza los 70 mm de sobreestimación los datos satelitales respecto a los datos locales, y gran parte del departamento los sobreestima entre 40 a 60 milímetros.

El mes de julio, los datos satelitales sobreestiman la precipitación en el área sudeste, alcanzando valores de 30 mm y en la zona noroeste el dato satelital subestima los registros con relación a los datos locales en un máximo de 10 milímetros. En el mes de agosto, CHIRPS sobreestima los datos locales en gran parte del departamento entre 40 a 60 milímetros.

En el mes de septiembre los datos satelitales sobrestiman los datos locales en la mayor parte del departamento entre los 40 a 80 mm, siendo la región oeste la más afectada. En el mes de octubre CHIRPS sobrestima entre 40 y 60 mm la parte noroeste y subestima la parte noreste y sur en un promedio de 10 milímetros. En noviembre la diferencia espacial es relativamente pequeña, sobrestimando 8 mm y subestimando otra parte del departamento por 4 milímetros. Siendo un mes con pocas diferencias espaciales.

#### **3.7.1.2. Análisis estadístico de los resultados espaciales por mes**

En la tabla 10 se detallan los resultados estadísticos realizados a los datos espaciales de Kriging con relación a los datos locales de precipitación de los meses de la temporada lluviosa.

**Tabla 10.***Estadísticos de los resultados espaciales por mes*

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b>r</b>
Mayo	1,678	41	36	20	0.63
Junio	6,087	78	58	21	0.35
Julio	3,693	61	53	32	0.65
Agosto	2,516	50	43	19	0.74
Septiembre	4,272	65	54	19	0.68
Octubre	21,572	147	138	49	0.51
Noviembre	2,181	47	33	53	0.73

*Nota.* Resultados de los estadísticos aplicados a los datos del modelo geoestadístico de interpolación Kriging de CHIRPS en relación con los datos locales a escala mensual. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados para el mes de mayo muestran que el promedio de diferencia entre datos locales y CHIRPS es de 36 mm, ambos conjuntos de datos tienen una correlación moderada positiva entre ellos. La falta de diferencia significativa en la distribución y la correlación moderada sugiere que los datos CHIRPS son relativamente similares con los datos locales.

El mes de junio muestra una alta variabilidad en los datos comparados, el error promedio entre los datos locales y CHIRPS es de 58 mm, la correlación débil, la alta variabilidad y la presencia de diferencia significativa sugiere que los datos no son del todo similares.

En el mes de julio, los datos locales y de satélite cuentan con una correlación positiva moderada, la variabilidad de los datos CHIRPS es relativamente pequeña, y los errores promedio son aceptables en términos generales. Al no contar con diferencia significativa, CHIRPS puede ser una fuente razonablemente precisa.

Los resultados del mes de agosto muestran una correlación positiva fuerte entre los datos locales y CHIRPS, la precisión entre los datos es alta, y la diferencia absoluta promedio es aceptable. Al no existir diferencia significativa entre los dos conjuntos de datos se sugiere que CHIRPS es un buen predictor de precipitación para este mes.

En el mes de septiembre los datos locales y CHIRPS cuentan con una correlación positiva moderada, pero con una alta diferencia cuadrática media, el error promedio es de 58 mm, y un porcentaje de error relativamente bajo. Aunque existe una discrepancia moderada entre los datos, esta no es suficientemente baja para determinar si existe una diferencia significativa.

El mes de octubre muestra grandes diferencias entre los datos locales y CHIRPS, los resultados muestran que los datos satelitales se desvían significativamente en relación con los locales y la correlación es relativamente baja. Los resultados muestran la existencia de una alta diferencia significativamente entre los datos.

Finalmente, el mes de noviembre muestra resultados donde la precisión de CHIRPS es razonablemente alta, la diferencia absoluta promedio es baja y la correlación indica que existe una relación lineal entre los datos de precipitación. Los resultados muestran que no existe una diferencia significativa con relación a los datos locales.

### 3.7.2. Análisis espacial de precipitación del fenómeno ENSO

Se comparó el comportamiento promedio anual de los datos de precipitación local y CHIRPS en los años que se registró fenómeno del niño, niña o bien años neutro. En la tabla 11 se muestran los años correspondientes a la investigación para cada fase del ENSO.

**Tabla 11.**

*Clasificación de años del fenómeno ENSO*

<b>El Niño</b>	<b>La Niña</b>	<b>Neutro</b>
1992	1995	1993
1997	1998	1994
2002	1999	1996
2004	2000	2001
2006	2007	2003
2009	2008	2005
2015	2010	2012
2018	2011	2013
2019	2016	2014
--	2020	--
--	2021	--
--	2022	--

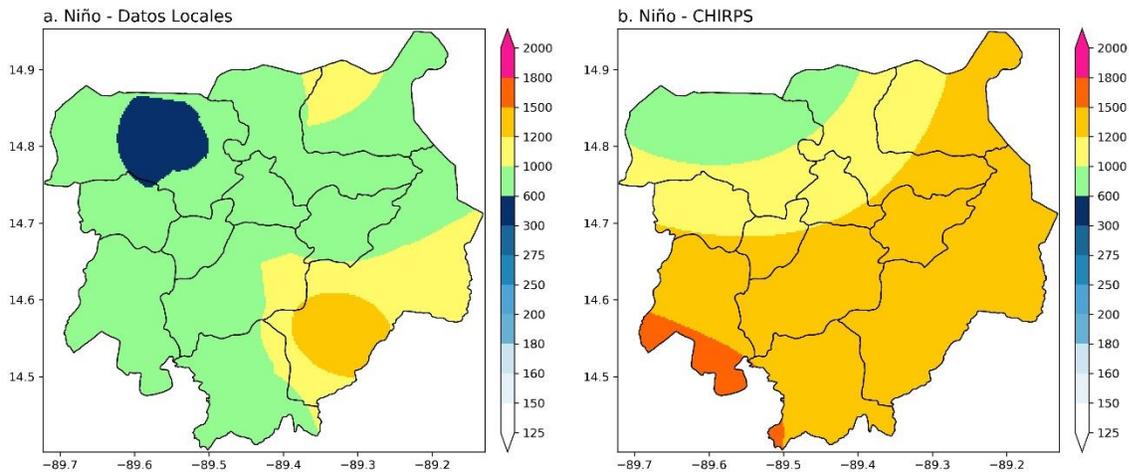
*Nota.* Fases del fenómeno El Niño, La Niña y años neutro, clasificados por año. Obtenido de National Oceanic and Atmospheric Administration (2022). *Cold & Warm Episodes by Season* [Episodios fríos y cálidos por temporada] ([https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis\\_monitoring/ensostuff/ONI\\_v5.php](https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php))

Consultado el 10 de noviembre de 2022. De dominio público.

En la figura 27 se muestra la precipitación promedio de los años donde se registró fenómeno del niño.

**Figura 27.**

*Precipitación promedio años niño*



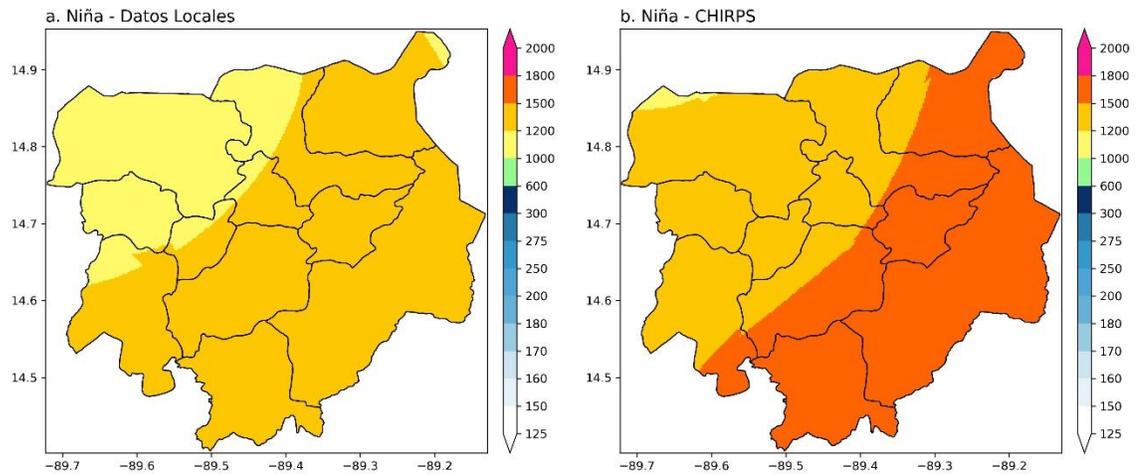
*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio en los años donde se registró fenómeno del Niño en el departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b). Elaboración propia, realizado con Python.

Los resultados muestran alta variabilidad en los datos CHIRPS, con relación a los datos locales. Mostrando diferencias de hasta 800 mm entre ambos datos.

En la figura 28 se muestra el comportamiento de la precipitación promedio anual en años Niña, el cual es muy similar para ambos grupos de datos, CHIRPS sobrestima un promedio de 250 mm en relación con los datos locales.

**Figura 28.**

*Precipitación promedio años niña*

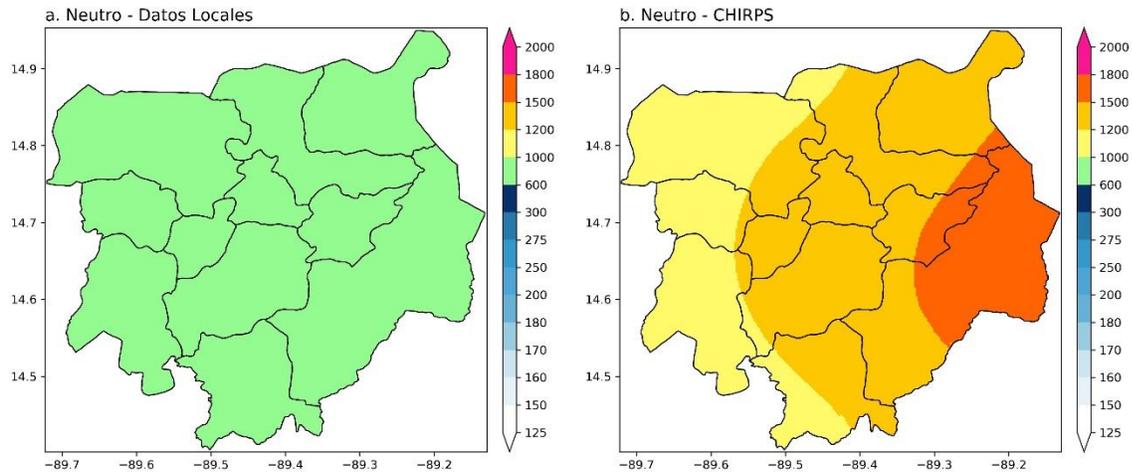


*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio en los años donde se registró fenómeno La Niña en el departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b). Elaboración propia, realizado con Python.

En la figura 29 se muestra el comportamiento de la precipitación promedio anual en los años neutro, es decir, los años donde no se registró fenómeno del niño, ni fenómeno de la niña. Para estos años se muestra una diferencia significativa alta entre ambos conjuntos de datos.

## Figura 29.

### *Precipitación promedio años neutro*



*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio en los años neutro del departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b). Elaboración propia, realizado con Python.

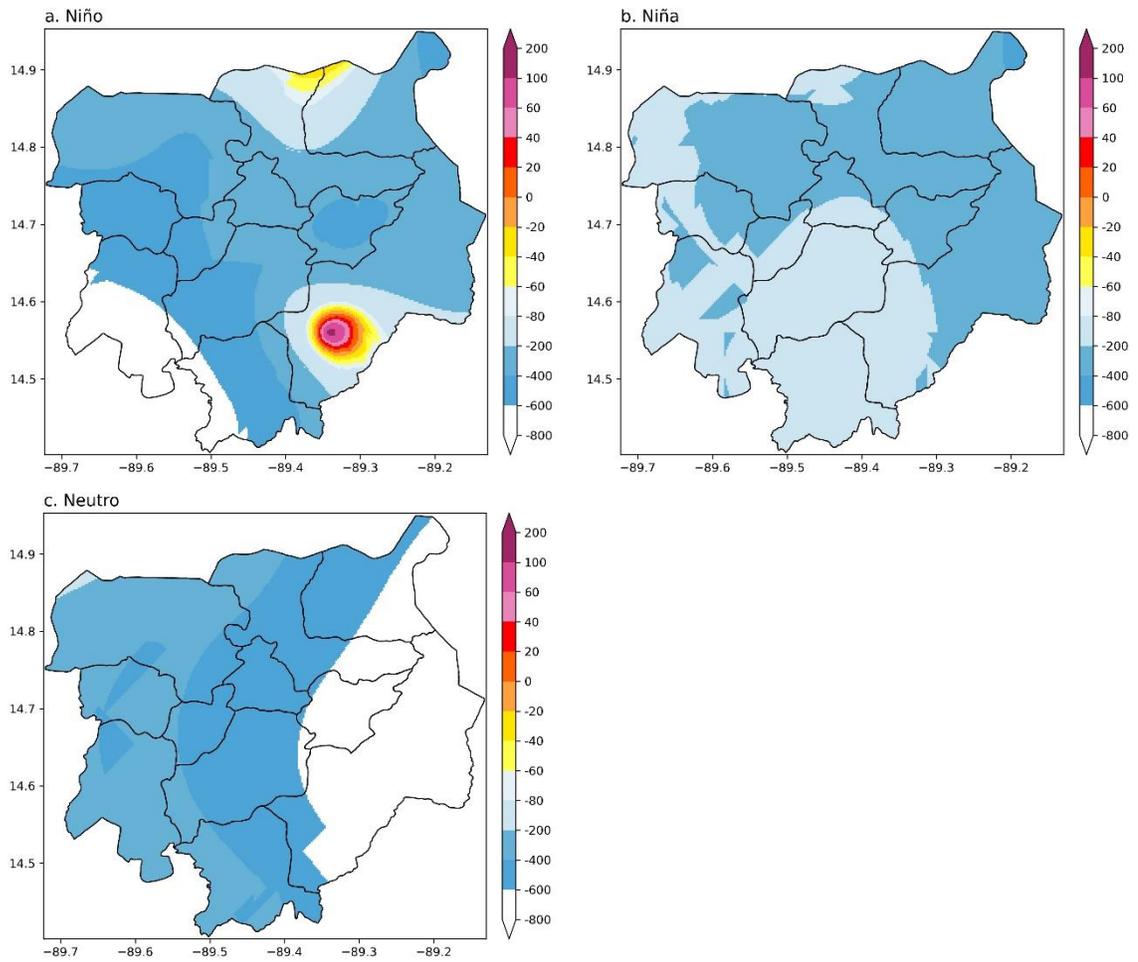
### 3.7.2.1. Diferencias espaciales por fenómeno ENSO

En la figura 30 se detallan las diferencias espaciales expresadas en milímetros para los años con fenómeno del niño, niña y años neutro.

Para los años con fenómeno El Niño, los datos CHIRPS alcanzan una diferencia máxima de 800 mm con relación a los datos locales. El promedio en gran parte del departamento se muestra alrededor de 200 milímetros. Los años con fenómeno de La Niña, muestran una menor variabilidad, promediando 200 mm de diferencia. Sin embargo, los años neutro muestran la mayor cantidad de variabilidad, alcanzando diferencias mayores a 800 milímetros.

**Figura 30.**

*Diferencias espaciales en fenómeno ENSO*



*Nota.* Diferencia espacial de la precipitación anual promedio en los años donde se registró fenómeno El Niño (a), Niña (b) y años neutro (c). Elaboración propia, realizado con Python.

### 3.7.2.2. Análisis estadístico de los resultados espaciales por fenómeno ENSO

En la tabla 12 se detallan los resultados estadísticos realizados a los datos espaciales de Kriging con relación a los datos locales de precipitación clasificados por fenómeno El Niño, La Niña y años neutro.

**Tabla 12.**

*Estadísticos de los resultados espaciales del fenómeno ENSO*

Estación	MSE	RMSE	MAE	MAPE	r
Niño	112,184	335	266	23	0.60
Niña	123,669	352	265	18	0.61
Neutro	174,694	418	314	23	0.22

*Nota.* Resultados de los estadísticos aplicados a los datos del modelo geoestadístico de interpolación Kriging de CHIRPS en relación con los datos locales clasificados por el fenómeno ENSO. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados para los años con fenómeno El Niño muestran una correlación moderada, aunque una variabilidad alta entre los datos. La desviación promedio entre los valores locales y CHIRPS es a su vez alta. La T de Student (0.027) indica que existe una diferencia estadística significativa entre los datos para estos años.

Para los años con fenómeno de la niña, aunque el error porcentual promedio es menor al de los años con Niño, los resultados muestran la existencia de una diferencia significativa, los errores absolutos son altos y la correlación es moderada.

Por último, los años neutro, muestran una mayor variabilidad con respecto a los años con Niño o Niña, las diferencias absolutas y porcentuales son alta, y la correlación es muy débil. Lo cual indica que existe diferencia significativa.

### 3.7.3. Análisis espacial por estación

Se realizó un análisis de los resultados espaciales para determinar que estaciones meteorológicas cuentan con diferencias significativas. En la tabla 13 se muestran los resultados de los estadísticos de la información espacial generada.

**Tabla 13.**

*Estadísticos de los resultados espaciales por estación*

Estación	MSE	RMSE	MAE	MAPE	r
CUNORI	250,600	500	482	44	0.69
MAGA	21,600	147	128	11	0.84
Camotán	50,913	226	190	14	0.73
Esquipulas	286,984	536	425	27	0.78
Alotepeque	287,812	536	427	27	0.05
El Rosario	693,793	833	730	45	0.48
Quebrada Chucte	431,802	657	592	38	0.99
Chiramay	997,311	999	816	52	0.33
Veguitas	54,814	234	193	21	0.75
La Fragua	80,939	285	221	17	0.78

Continuación de la tabla 13.

<b>Estación</b>	<b>MSE</b>	<b>RMSE</b>	<b>MAE</b>	<b>MAPE</b>	<b>CORR.</b>
La Unión	29,268	171	150	16	0.90
Pasabien	250,600	500	482	44	0.69

*Nota.* Resultados de los estadísticos aplicados a los datos del modelo geoestadístico de interpolación Kriging de CHIRPS en relación con los datos locales. Elaboración propia, realizado con Excel.

Los resultados para la estación CUNORI muestran una correlación positiva moderada, pero se muestra una discrepancia entre datos CHIRPS y datos locales de precipitación, a una escala anual, para el histórico de datos de la estación muestra un promedio de 482 mm de diferencia con relación a los datos satelitales. La diferencia entre los datos es estadísticamente significativa.

La estación MAGA, aunque de reciente instalación, muestra una alta correspondencia entre los datos locales y CHIRPS, a diferencia entre los datos es relativamente baja, y cuentan con una fuerte relación positiva. Los resultados sugieren que CHIRPS puede ser una herramienta útil para estimar la precipitación local en el área de esta estación.

Para la estación Camotán, la correlación es positiva y moderadamente fuerte, aunque los resultados muestran una variabilidad entre los datos, la diferencia promedio anual es de 190 milímetros. A una escala absoluta y relativa, las diferencias son bajas, por lo cual los resultados sugieren que CHIRPS puede predecir la precipitación local en esta área geográfica, tomando en consideración la sobrestimación que muestran los datos de satélite.

Para la estación Esquipulas, las diferencias son mayores en comparación a la estación Camotán, los resultados muestran una diferencia significativa a una escala anual, aunque, la correlación es moderada, las diferencias son altas. Por lo cual estadísticamente CHIRPS muestra una diferencia en relación con los datos locales.

La estación Alotepeque muestra una alta variabilidad entre los datos locales y CHIRPS, no existe una relación lineal entre ellos y la discrepancia absoluta es alta. Por lo cual, los datos satelitales muestran diferencia significativa comparados con los datos locales.

Los resultados para las estaciones El Rosario, Quebrada Chucte y Chiramay muestran una alta variabilidad en los datos, los errores absolutos y relativos son a su vez altos, aunque, la estación Quebrada Chucte cuenta con una alta relación positiva, en términos generales los datos cuentan con una diferencia significativa, que hacen que en promedio los datos se alejen alrededor de 700 milímetros.

La estación Veguitas muestra una alta correspondencia entre los valores locales y CHIRPS, mostrando errores promedio relativamente bajos, y una relación lineal positiva alta. En términos generales no se reflejan diferencias significativas entre los dos grupos de valores, lo cual hace que CHIRPS sea una herramienta útil para la estimación de precipitación en esta área geográfica a una escala anual.

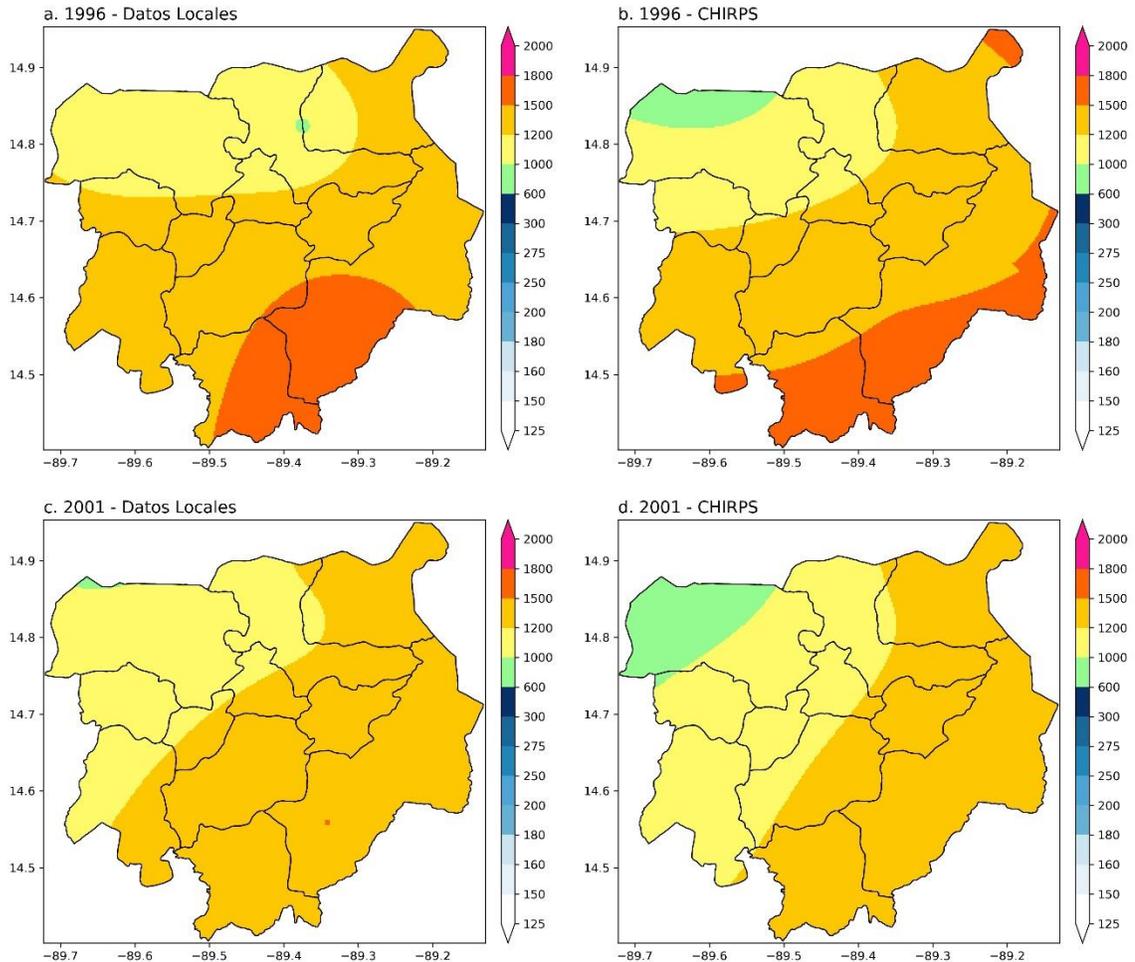
Para las estaciones La Fragua y La Unión, se muestran relaciones positivas altas entre los conjuntos de datos, en términos relativos las diferencias son bajas, aunque en términos absolutos la diferencia es moderada. CHIRPS para estas áreas geográficas muestra un desempeño moderado-alto.

Finalmente, la estación Pasabien, muestra una alta variabilidad en los datos, la diferencia promedio alcanza los 480 milímetros y la relación entre los datos es moderada, por lo cual CHIRPS muestra una diferencia significativa con relación a los datos locales.

En la figura 31 se muestra el comportamiento de la precipitación acumulada en los años análogos 1996 y 2001.

**Figura 31.**

*Precipitación promedio años 1996 y 2001*



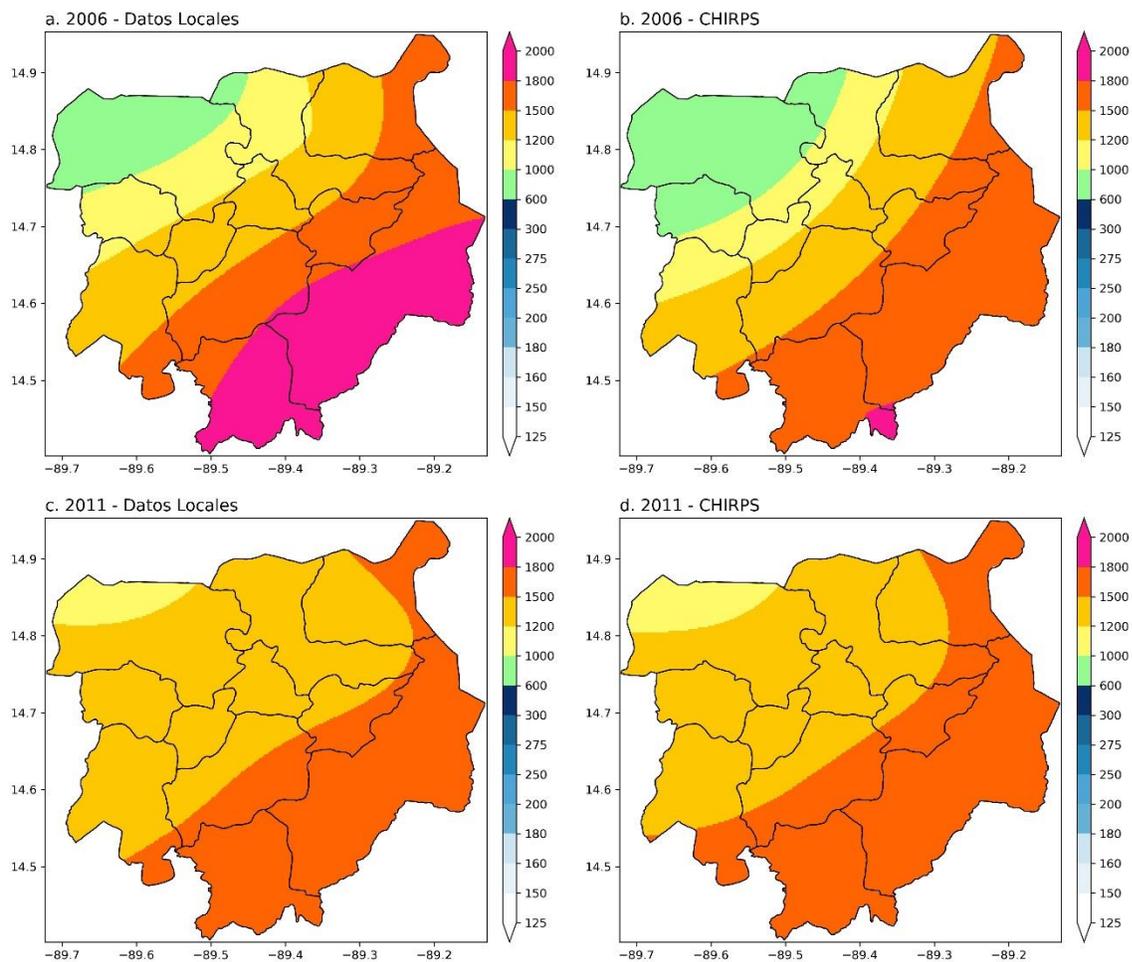
*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio anual departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b) para el año 1996. Asimismo, para el año 2001 utilizando datos locales (c) y CHIRPS (d). Elaboración propia, realizado con Python.

A nivel espacial, los resultados para los años 1996 y 2001 son muy similares, la variabilidad es relativamente baja. CHIRPS sobrestima en proporciones bajas los datos locales de precipitación.

En la figura 32 se muestra el comportamiento de la precipitación acumulada en los años análogos 2006 y 2011.

**Figura 32.**

*Precipitación promedio años 2006 y 2011*



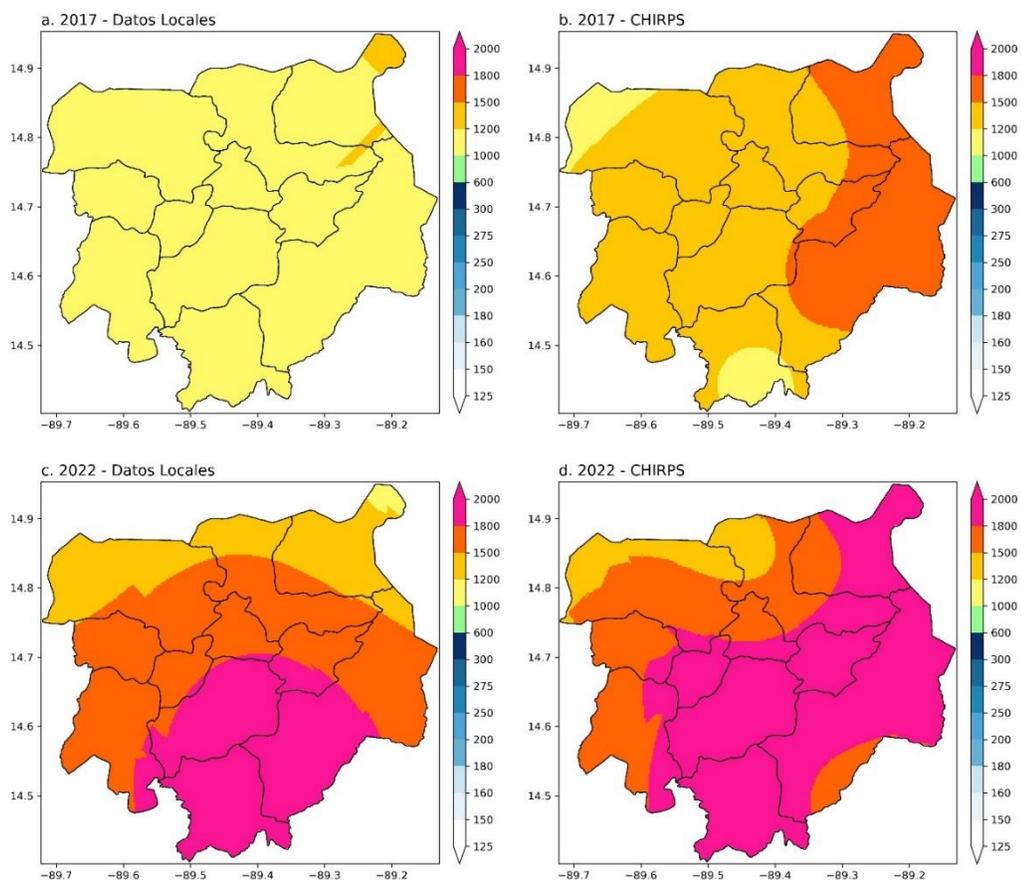
*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio anual departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b) para el año 2006. Asimismo, para el año 2011 utilizando datos locales (c) y CHIRPS (d). Elaboración propia, realizado con Python.

Para los años análogos de 2006 y 2001, se muestra una baja variabilidad espacial entre los datos, en especial el año 2011. Para el año 2006 CHIRPS muestra una subestimación en los datos relativamente pequeña.

En la figura 33 se muestra el año análogo 2017 el cual es el que muestra más variabilidad en los datos, alcanzando diferencias mayores a 400 milímetros. Y el año 2022, muestra un comportamiento relativamente similar entre los datos, aunque con diferencias en la parte noreste.

### Figura 33.

#### Precipitación promedio años 2017 y 2022



*Nota.* Comportamiento de la precipitación promedio anual departamento de Chiquimula, utilizando datos locales (a) y CHIRPS (b) para el año 2017. Asimismo, para el año 2022 utilizando datos locales (c) y CHIRPS (d). Elaboración propia, realizado con Python.



## CONCLUSIONES

1. La calidad de los datos de precipitación generados por las estaciones meteorológicas de Chiquimula es heterogénea, 40 % de las estaciones cuentan con registros menores a un año y un tercio de las estaciones tienen más de 10 % de datos atípicos, lo que indica problemas en la calibración o mantenimiento de los equipos meteorológicos.
2. Existe fuerte correlación positiva de 0.84 entre los datos locales de precipitación y los datos estimados por CHIRPS. Asimismo, las diferencias significativas entre los conjuntos de datos son de 58 % en escala pentadal, 17 % para escala mensual y 75 % para escala anual.
3. Los promedios mensuales de precipitación para la época lluviosa muestran alta relación espacial con respecto a los datos CHIRPS; la precisión de los datos en el primer trimestre de la temporada es de 90 % y para el segundo trimestre es de 72 %; a la vez, la evaluación indica que no hay diferencias significativas en los años análogos de 1996, 2001, 2006, 2011, y en los años con fenómeno de La Niña.
4. Se determinó en la evaluación espacial que la precisión de los datos pluviométricos del departamento de Chiquimula con los datos estimados de CHIRPS es de 80 %; asimismo, la evaluación proporciona evidencia confiable que los datos de satélite son una herramienta efectiva para la estimación de la precipitación en el departamento.



## RECOMENDACIONES

1. El INSIVUMEH y la Mesa Técnica Agroclimática de Chiquimula deben mejorar la red de estaciones meteorológicas del departamento de Chiquimula, reubicando e incrementado las estaciones para tener cobertura cada 10 kilómetros y evitar saturación y duplicidad en la captura de datos en determinadas áreas geográficas del departamento.
2. Utilizar los datos del producto satelital CHIRPS a escala mensual para el departamento de Chiquimula en el estudio y comprensión de los patrones de distribución de la precipitación, considerando que CHIRPS puede sobrestimar los acumulados en escala moderada.
3. En las áreas del departamento donde no existe cobertura de la red de estaciones meteorológicas, utilizar los datos de precipitación CHIRPS para complementar los vacíos de información, en el análisis de los pronósticos estacionales y perspectivas climáticas, que permita mejorar la información que se traslada a los productores de granos básicos.
4. Utilizar técnicas de geoestadística y, en particular, el método de interpolación Kriging, para evaluar la precisión de los datos locales de precipitación y el producto CHIRPS. Este método es adecuado para la estimación de valores en ubicaciones no muestreadas, proporcionando resultados con consideración de la variabilidad espacial.

5. Realizar la presente investigación en otros departamentos del país, para conocer si los datos de precipitación CHIRPS se correlacionan a nivel espacial con los datos locales de las estaciones meteorológicas.

## REFERENCIAS

- Acuña, D., & Robles, D. (2015). *Manual de meteorología y de gestión de la información climática*. USAID.  
[https://pdf.usaid.gov/pdf\\_docs/PA00N1N1.pdf](https://pdf.usaid.gov/pdf_docs/PA00N1N1.pdf)
- Agencia Estatal de Meteorología. (s.f.). *Evaluación de modelos climáticos*.  
[http://www.aemet.es/es/idi/clima/evaluacion\\_modelos\\_climaticos](http://www.aemet.es/es/idi/clima/evaluacion_modelos_climaticos)
- Argueta, J., Bardales, W., & Polanco, E. (2021). *Análisis comparativo de los métodos de interpolación de la precipitación en Guatemala 1981-2019*. DIGI. <https://digi.usac.edu.gt/bvirtual/informes/puidi/INF-2021-11.pdf>
- Arnfield, J. (2020). *Köppen climate classification*. Encyclopedia Britannica.  
<https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>
- Bardales, W., Campos, L., Gómez, R., Ordóñez, S., & Machuca, N. (2018). *Variabilidad y cambio climático en Guatemala*. INSIVUMEH.
- Brenes, Á., & Saborío, F. (1995). *Elementos de climatología*. EUNED.

Brizuel, A., Nosetto, M., Aguirre, C., & Bressán, M. (2015). Comparación de datos de precipitación estimada por Trmm con mediciones en estaciones meteorológicas de Entre Ríos, Argentina. *Revista UD y la Geomática*. 10 (3), 18-26.

Casanova, J. (1992). *La Teledetección en la enseñanza de la meteorología*. Servicio de publicaciones Universidad de Alcalá.

Castro, E. S. (2014). *Evaluación de Imágenes Satelitales de Precipitaciones (TRMM 3B43 mensual) en región Costa, Sierra y Oriente del Ecuador*. [Tesis de licenciatura de la Universidad de CUENCA, Ecuador]. Archivo digital. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/20874>

Collarani, F., & Villazon, M. (septiembre 2018). Validación del satélite meteorológico CHIRPS en la Cuenca Rubbenabaque-Bolivia. *XXVIII Congreso Latinoamericano de hidráulica*. Congreso llevado a cabo en Buenos Aires Argentina.

Correa, J., Iral, R., & Rojas, L. (2006). Estudio de potencia de pruebas de homogeneidad de varianza. *Revista colombiana de estadística*. 29 (1) 57-76 <https://www.redalyc.org/pdf/899/89929104.pdf>

Dinku, T., Chris, F., Pete, P., Ross, M., Tsegaye, T., Hussein, G., & Pietro, C. (2018). *Validation of the CHIRPS satellite rainfall estimates over eastern Africa*. RMetS. <https://bit.ly/3aTLB3h>

Flores, C., & Flores, K. (2021). *Pruebas para comprobar la normalidad de datos en procesos productivos: Anderson-Darlin, Ryan-Joiner, Shapiro-Wilk y Kolmogórov-Smirnov*. SOCIETAS. <http://portal.amelica.org/ameli/jatsRepo/341/3412237018/3412237018.pdf>

Funk, C., Peterson, P., Landsfeld, M., Pedreros, D., Verdin, J., Shukla, S., Husak, G., Rowland, J., Harrison, L., Hoell, A., & Michaelsen, J. (2015). *The climate hazards infrared precipitation with stations-A new environmental record for monitoring extremes*. Scientific Data.

Giraldo, D., Martínez, D., Loboguerrero, A., Gumucio, T., Martínez, J., & Ramírez, J. (2018). *Mesas Técnicas Agroclimáticas*. CIAT. <https://cgspace.cgiar.org/handle/10568/99717>

Hijmans, R., Cameron, S., Parra, J., Jones, P., & Jarvis, A. (2005). *Very high-resolution interpolated climate surfaces for global land areas*. Royal Meteorological Society. <https://rmets.onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/joc.1276>

Hsu, J., Huang, W. R., Liu, P. Y., & Li, X. (2021). *Validation of CHIRPS Precipitation Estimates over Taiwan at Multiple Timescales*. MDPI. <file:///C:/Users/Administrador/Downloads/remotesensing-13-00254-v2.pdf>

INSIVUMEH. (marzo 2018). *Cambio climático*. [https://insivumeh.gob.gt/?page\\_id=14371](https://insivumeh.gob.gt/?page_id=14371)

Instituto Andaluz de Investigación y Formación Agraria, Pesquera, Alimentaria y de la Producción Ecológica. (s.f.) *Red de Información Agroclimática de Andalucía*. Unión Europea.

Instituto Geográfico Nacional de España. (2004). *Teledetección*. Centro Nacional de Información Geográfica. <http://www.ign.es/web/resources/docs/IGNCnig/OBS-Teledeteccion.pdf>

Knoben, W., Freer, J., & Woods, R. (2019). *Comparing Nash–Sutcliffe and Kling–Gupta efficiency scores*. European Geosciences Union. <https://doi.org/10.5194/hess-23-4323-2019>

Ledesma, M. (2011). *Principios de meteorología y climatología*. Paraninfo. <https://books.google.es/books?id=QgtMz54pUWQC>

López, M. M. (2015). *Cambio y variabilidad climática*. Caraparens Editorial.

Méndez, R. (2016). *Productos de precipitación satelital de alta resolución espacial y temporal en zonas de topografía compleja* [Tesis de maestría de la Pontificia Universidad Católica de Chile]. Archivo digital. <https://doi.org/10.7764/tesisUC/ING/21480>

Moral, F. (2004). Aplicación de la geoestadística en las ciencias ambientales. *Revista Científica de Ecología y Medio Ambiente*. 13 (1) 47-79  
<https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/582>

Murillo, D., Ortega, I., Carrillo, J., Pardo, A., & Rendón, J. (2012). *Comparación de métodos de interpolación para la generación de mapas de ruido en entornos urbanos*. *Revista Usmed*. 3 (1) 54-68  
<https://dialnet.unirioja.es/descarga/articulo/4694125.pdf>

Olaya, V. (2020). *Sistemas de información geográfica*. Sheldon and Company. <https://pcsitna.navarra.es/archivo/Documents/Sistemas.de.Informacion.Geografica.pdf>

Oracle (2014). *Fusion Cloud EPM*. Oracle Corporation. [https://docs.oracle.com/cloud/help/es/pbcs\\_common/PFUSU/PFUSU.pdf](https://docs.oracle.com/cloud/help/es/pbcs_common/PFUSU/PFUSU.pdf)

Organización de Estados Americanos [OEA]. (2015). *Climatología*.

<https://www.oas.org/dsd/publications/unit/oea32s/ch13.htm>

Organización de las Naciones Unidas. (2015). *Sistema mundial de información y*

*alerta sobre la alimentación y la agricultura*.

<https://www.fao.org/giews/reports/giews-updates/es/>

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2010). *Guía del Sistema Mundial de Observación*. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=5440](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=5440)

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2014). *El Niño/ Oscilación del Sur*.

[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=7889](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7889)

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2017). *Guía de Instrumentos y Métodos de Observación Meteorológicos*.

[https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=3664](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3664)

Organización Meteorológica Mundial [OMM]. (2018). *Guía de prácticas climatológicas*. [https://library.wmo.int/doc\\_num.php?explnum\\_id=10027](https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=10027)

OXFAM América. (2015). *Impacto de la sequía*.

<http://www.siinsan.gob.gt/siinsan/wpcontent/uploads/emergencias/05%20>

[Canicula%20Prolongada%202015/impacto-de-la-sequia-en-guatemala,-](http://www.siinsan.gob.gt/siinsan/wpcontent/uploads/emergencias/05%20Canicula%20Prolongada%202015/impacto-de-la-sequia-en-guatemala,-)

[2015.pdf](http://www.siinsan.gob.gt/siinsan/wpcontent/uploads/emergencias/05%20Canicula%20Prolongada%202015/impacto-de-la-sequia-en-guatemala,-2015.pdf)

Ramos, L. (2013). *Estudio de la utilidad de la lluvia estimada de satélite en la modelación hidrológica distribuida*. [Tesis doctoral de la Universidad Politécnica de Valencia]. Archivo digital. [https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27548/Estudio%20de%20la%20utilidad%20de%20la%20lluvia%20estimada%20de%20sat%E9lite%20en%20la%20modelaci%F3n%20hidrol%F3gica%20distribuida%205598\\_5599.pdf?sequence=11](https://riunet.upv.es/bitstream/handle/10251/27548/Estudio%20de%20la%20utilidad%20de%20la%20lluvia%20estimada%20de%20sat%E9lite%20en%20la%20modelaci%F3n%20hidrol%F3gica%20distribuida%205598_5599.pdf?sequence=11)

Recinos, S. (2016). *Línea base de la gestión comunitaria del agua y saneamiento en el área rural del departamento de Chiquimula*. [Tesis de graduación de la Universidad de San Carlos de Guatemala]. Archivo digital. [http://cunori.edu.gt/descargas/linea\\_base\\_de\\_la\\_Gestion\\_comunitaria\\_d\\_el\\_agua\\_y\\_saneamiento\\_en\\_el\\_area\\_rural\\_del\\_departamento\\_de\\_Chiquimula\\_2015\\_.pdf](http://cunori.edu.gt/descargas/linea_base_de_la_Gestion_comunitaria_d_el_agua_y_saneamiento_en_el_area_rural_del_departamento_de_Chiquimula_2015_.pdf)

Rivas, J. (2015). *Análisis de la correlación de datos de precipitación entre el satélite TRMM y las estaciones pluviométricas ubicadas en la cuenca del río Bogotá*. [Tesis de de grado de la Universidad de Santo Tomás, Bogotá, Colombia]. Archivo digital. <https://repository.usta.edu.co/handle/11634/2932>

Rivas, R., Moreno, J., & Talavera, J. (2013). *Diferencias de medianas con la U de Mann-Whitney*. Medigraphic. <https://www.medigraphic.com/pdfs/imss/im-2013/im134k.pdf>

Rivera, J. A., Hinrichs, S., & Marianetti, G. (2019). Using CHIRPS Dataset to Assess Wet and Dry Conditions along the Semiarid Central-Western Argentina. *Advances in Meteorology, 2019*. Editorial Minha Choi.

Rodríguez, J. (2021). *Validación de los productos TRMM y CHIRPS para la intercuenca Alto Apurímac* [Tesis de licenciatura, Universidad Nacional Agraria La Molina]. Archivo digital. <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/4716/rodriguez-mamani-john-david.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Rodríguez, R., Águeda, B., & Portela, A. (2004). *Meteorología y Climatología*. FECYT.

Rojas, N. (2018). *Índices distritales de riesgo de desastres por eventos lluviosos extremos en Costa Rica* [Tesis de maestría, Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza de Costa Rica]. Archivo digital. <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8725>

Sánchez, R. (2015a). Prueba de Wilcoxon-Mann-Whitney: Mitos y realidades.

*Revista mexicana Endocrinol.* XXI (2) 18-23

<https://biblat.unam.mx/hevila/Revistamexicanadeendocrinologiametabolismo&nutricion/2015/vol2/no1/3.pdf>

Sánchez, R. (2015b). t-Student. Usos y abusos. *Revista mexicana de cardiología.*

26 (1) 59-61 <https://www.scielo.org.mx/pdf/rmc/v26n1/v26n1a9.pdf>

SEGEPLAN. (2020). *Plan Estratégico Institucional PEI Programación Operativa*

*Multianual 2021-2025 Plan Operativo Anual 2021.*

[https://siplan.segeplan.gob.gt/documentos/3820\\_11000\\_PLAN%20ESTRATEGICO%20INSTITUCIONAL%202021-2025.pdf](https://siplan.segeplan.gob.gt/documentos/3820_11000_PLAN%20ESTRATEGICO%20INSTITUCIONAL%202021-2025.pdf)

Urrea, V., Ochoa, A., & Mesa, O. (2016). Validación de la base de datos de

precipitación CHIRPS para Colombia a escala diaria, mensual y anual en el periodo 1981-2014. *XXVII Congreso Latinoamericano de Hidráulica.*

Congreso llevado a cabo en Colombia.

<file:///C:/Users/Administrador/Downloads/UrreaOchoaMesa.2016.ValidaciondelabasededatosdeprecipitacinCHIRPSparaColombiaaescaladiariamenualyannualenelpe.pdf>

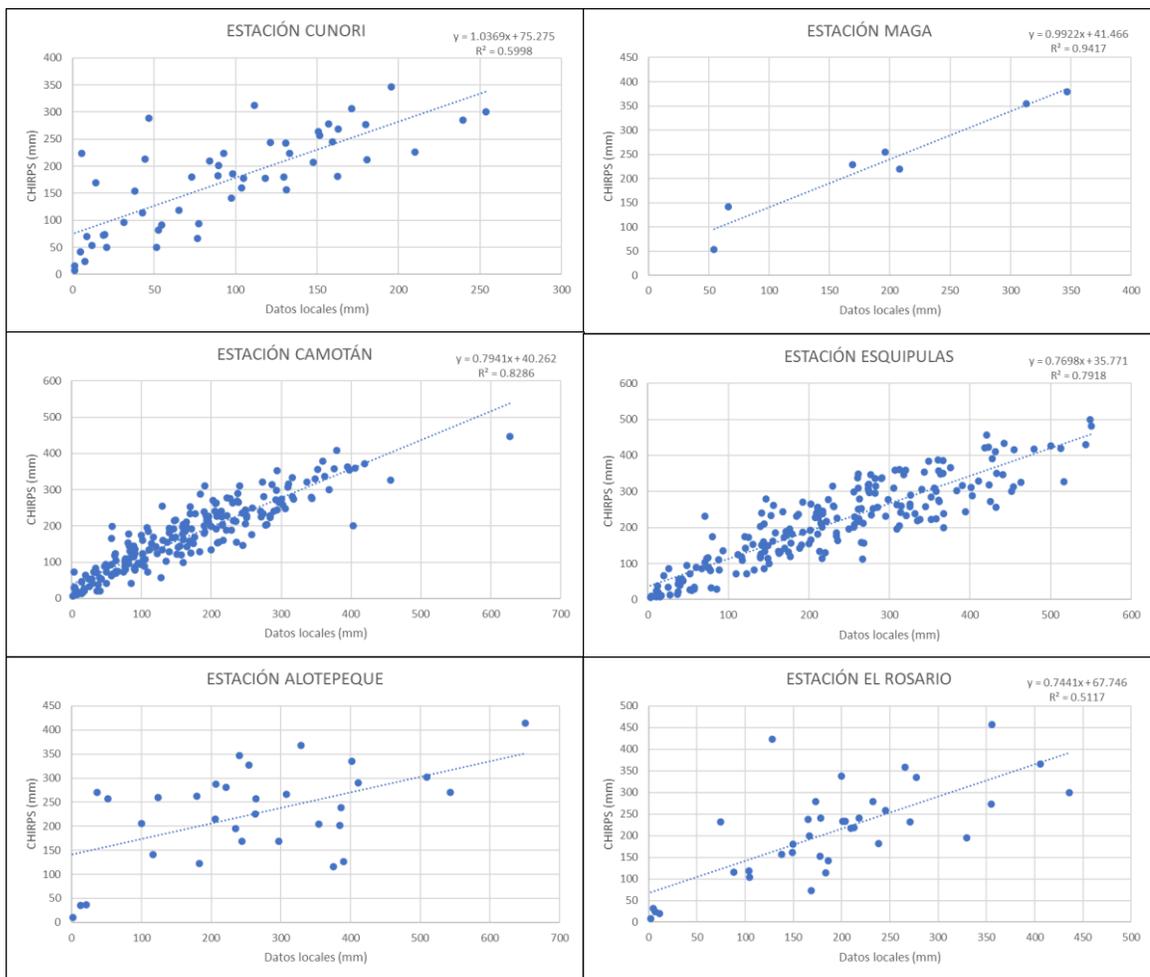
Vargas, A. (2014). *Patrones de sequía en Centroamérica*.  
[https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/patrones-de-sequia\\_fin.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/patrones-de-sequia_fin.pdf)

Yupanqui, R. (2015). *Validación de Datos CHIRPS de precipitación para monitoreo de periodos secos y húmedos en el Perú*. Global Water Partnership. [https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam\\_files/patrones-de-sequia\\_fin.pdf](https://www.gwp.org/globalassets/global/gwp-cam_files/patrones-de-sequia_fin.pdf)

# APÉNDICES

## Apéndice 1.

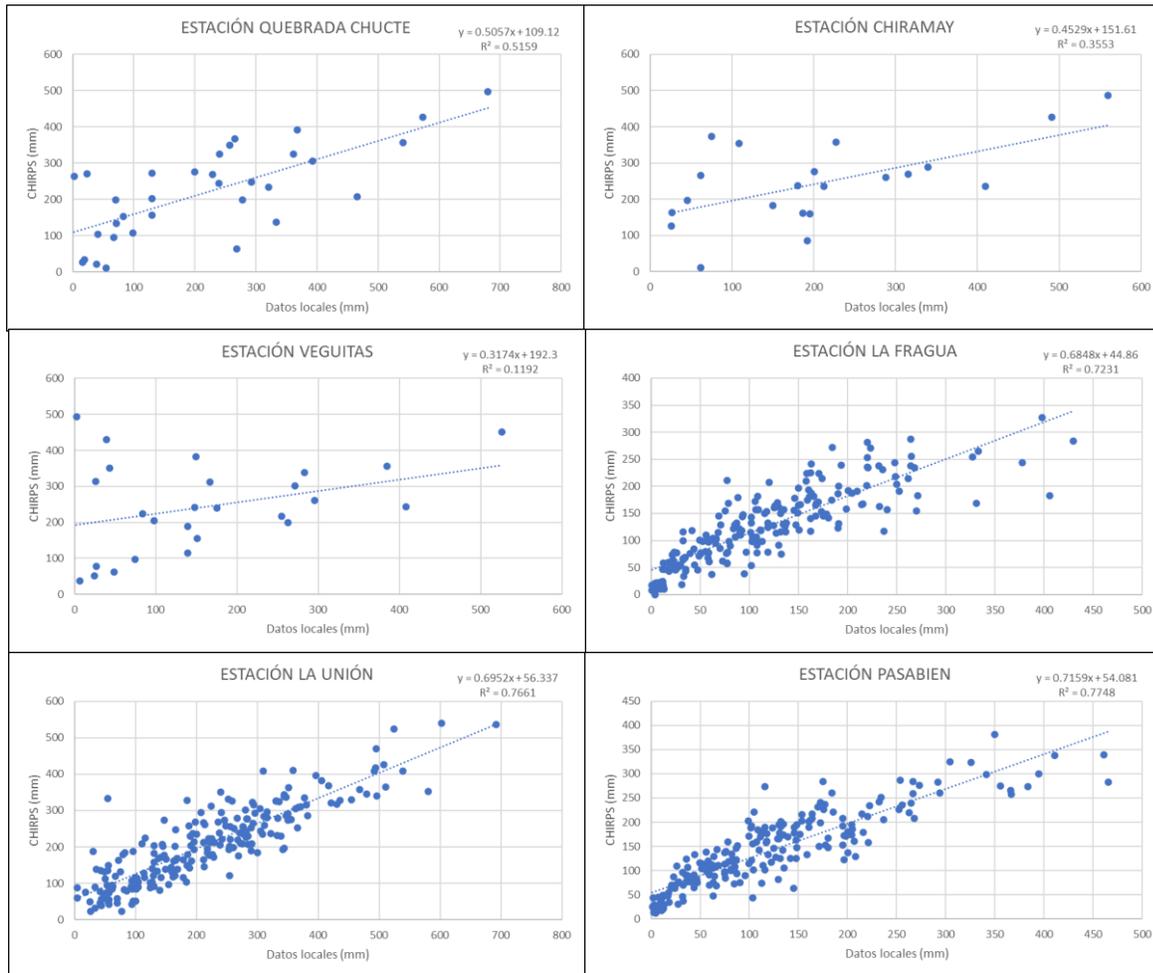
### Correlación de datos de precipitación I



*Nota.* Gráficos de correlación entre datos locales de precipitación y CHIRPS para las estaciones: Cunori, MAGA, Camotán, Esquipulas, Alopeque y El Rosario. Elaboración propia, realizado con Excel.

## Apéndice 2.

### Correlación de datos de precipitación II



*Nota.* Gráficos de correlación entre datos locales de precipitación y CHIRPS para las estaciones: Quebrada Chucte, Chiramay, Veguitas, La Fragua, La Unión y Pasabien. Elaboración propia, realizado con Excel.