



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

**HOMOGENEIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN  
DE ESTACIONES DEL INSIVUMEH DE LA VERTIENTE DEL  
PACÍFICO DEL PERÍODO DE 1960 A 1970, GUATEMALA**

**Eduardo Alejandro Chavez Soto**

Asesorado por el Ing. Sergio Antonio López Dubón

Guatemala, enero de 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**HOMOGENEIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN  
DE ESTACIONES DEL INSIVUMEH DE LA VERTIENTE DEL  
PACÍFICO DEL PERÍODO DE 1960 A 1970, GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**EDUARDO ALEJANDRO CHAVEZ SOTO**  
ASESORADO POR EL ING. SERGIO ANTONIO LÓPEZ DUBÓN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ENERO DE 2016

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL I	Ing. Angel Roberto Sic García
VOCAL II	Ing. Pablo Christian de León Rodríguez
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Raúl Eduardo Ticún Córdova
VOCAL V	Br. Henry Fernando Duarte García
SECRETARIA	Inga. Lesbia Magalí Herrera López

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Angel Roberto Sic García
EXAMINADOR	Ing. Mario Estuardo Arriola Ávila
EXAMINADOR	Ing. Marco Antonio García Díaz
EXAMINADOR	Ing. Crecencio Benjamín Cifuentes Velásquez
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:

### **HOMOGENEIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES DEL INSIVUMEH DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DEL PERÍODO DE 1960 A 1970, GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Civil, con fecha noviembre de 2014.



**Eduardo Alejandro Chavez Soto**

Guatemala, 19 de octubre de 2015

Ingeniero Claudio César Castañón Contreras  
Jefe del Departamento de Hidráulica  
Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

Ingeniero Castañón:

Por medio de la presente hago constar que he asesorado el trabajo de graduación del estudiante Eduardo Alejandro Chavez Soto, titulado "HOMOGENEIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES DEL INSIVUMEH DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DEL PERÍODO DE 1960 A 1970, GUATEMALA".

Después de haber revisado y corregido dicho trabajo de graduación, considero que el mismo cumple con los requisitos exigidos por la Escuela de Ingeniería Civil, por lo que dejo constancia de mi aprobación para su autorización.

Atentamente,

  
Ing. Sergio López Dubón  
Colegiado No. 9914

Sergio Antonio López Dubón  
Ingeniero Civil  
Col. No. 9914



**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala,  
10 de noviembre de 2015

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación HOMOGENEIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES DEL INSIVUMEH DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DEL PERÍODO DE 1960 A 1970, GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Eduardo Alejandro Chavez Soto, quien contó con la asesoría del Ing. Sergio Antonio López Dubón.

Considero que este trabajo está bien desarrollado y representa un aporte para el departamento y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑADA A TODOS



FACULTAD DE INGENIERIA  
DEPARTAMENTO  
DE  
HIDRAULICA  
USAC

Ing. Claudio César Castañón Contreras  
Jefe del Departamento de Hidráulica

bbdeb  
Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

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

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Sergio Antonio López Dubón y del Coordinador del Departamento de Hidráulica Ing. Claudio César Castañón Contreras, al trabajo de graduación del estudiante Eduardo Alejandro Chavez Soto, titulado **HOMOGENEIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES DEL INSIVUMEH DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DEL PERÍODO DE 1960 A 1970, GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

*[Handwritten Signature]*  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, noviembre 2015

/mrrm.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua





El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **HOMOGENEIZACIÓN DE INFORMACIÓN DE PRECIPITACIÓN DE ESTACIONES DEL INSIVUMEH DE LA VERTIENTE DEL PACÍFICO DEL PERÍODO DE 1960 A 1970, GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario: **Eduardo Alejandro Chavez Soto**, y después de haber culminado las revisiones previas bajo la responsabilidad de las instancias correspondientes, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

  
Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco  
Decano



Guatemala, enero de 2016

/gdech



## **ACTO QUE DEDICO A:**

<b>Dios</b>	Por ser la fuente de sabiduría para este trabajo de graduación.
<b>Mis padres</b>	Eduardo Conrado Chavez Cabrera y Carolina Soto Morales.
<b>Mis hermanas</b>	Lourdes Paola, Carol Lorena y Sandra Mariela Chavez Soto.
<b>Mi novia</b>	Patsy Obando Hegar.
<b>Mis amigos</b>	Compañeros de estudio.

## **AGRADECIMIENTOS A:**

<b>Mis padres</b>	Por el apoyo, confianza y amor incondicional y ser mi ejemplo a seguir.
<b>Mis hermanas</b>	Por el apoyo y cariño que me han brindado.
<b>Mi novia</b>	Por su ayuda en este trabajo.
<b>Mi asesor</b>	Ing. Sergio López, por compartir sus conocimientos y ayudarme a realizar este trabajo de graduación.
<b>Facultad de Ingeniería</b>	Por brindarme los conocimientos científicos, técnicos y por ser mí segundo hogar.
<b>Insivumeh</b>	Por la colaboración en la realización del presente trabajo de graduación.

## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XIII
OBJETIVOS.....	XV
INTRODUCCIÓN .....	XVII
1. RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN.....	1
1.1. Análisis red de estaciones .....	1
1.2. Identificar registro de estaciones .....	6
1.3. Uso de suelo de la vertiente del Pacífico.....	11
1.4. Análisis del régimen de lluvias.....	12
1.5. Mapa de isoyetas .....	14
2. DESARROLLO DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS.....	17
2.1. Medidas de tendencia central.....	17
2.1.1. Media.....	18
2.1.1.1. Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores sin agrupar .....	18
2.1.1.2. Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores agrupados en intervalos de amplitud constante o variable .....	19
2.1.2. Mediana.....	19

2.1.3.	Moda .....	19
2.2.	Medidas de dispersión .....	20
2.2.1.	Desviación media .....	20
2.2.2.	Varianza .....	20
2.2.3.	Desviación estándar .....	21
2.2.4.	Rango.....	21
2.3.	Pruebas que realiza el programa Climatol .....	21
3.	DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DEL PROGRAMA CLIMATOL .....	23
3.1.	Introducción.....	23
3.2.	Metodología .....	23
3.2.1.	Tipo de regresión II .....	24
3.2.2.	Datos estimados.....	25
3.2.3.	Detección y corrección de valores anómalos y cambio agudo.....	26
3.3.	Aplicación.....	29
3.3.1.	Preparación de los datos.....	29
3.3.2.	Homogeneizar la serie .....	30
4.	APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA .....	37
4.1.	Gráficas.....	44
4.2.	Estaciones con problema .....	56
5.	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	71
5.1.	Estadísticas de las estaciones .....	71
5.2.	Estaciones con mayor variación.....	75
5.3.	Ubicación de nuevas estaciones .....	78
	CONCLUSIONES.....	81

RECOMENDACIONES..... 83  
BIBLIOGRAFÍA..... 85



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Cuencas hidrográficas.....	2
2.	Regiones de uso de suelo.....	11
3.	Isoyetas medias anuales.....	15
4.	Líneas de regresión lineal .....	25
5.	Gráfico de datos estimados.....	26
6.	Número total de datos disponibles en cada paso temporal.....	44
7.	Diagrama de caja .....	45
8.	Diagrama de caja enero .....	46
9.	Diagrama de caja febrero.....	46
10.	Diagrama de caja marzo .....	47
11.	Diagrama de caja abril .....	47
12.	Diagrama de caja mayo .....	48
13.	Diagrama de caja junio.....	48
14.	Diagrama de caja julio.....	49
15.	Diagrama de caja agosto .....	49
16.	Diagrama de caja septiembre .....	50
17.	Diagrama de caja octubre .....	50
18.	Diagrama de caja noviembre .....	51
19.	Diagrama de caja diciembre.....	51
20.	Histograma de todos los datos.....	52
21.	Correlograma de las primeras diferencias de las series.....	53
22.	Dendrograma .....	55
23.	Mapa de ubicación de las estaciones.....	55

24.	Análisis de anomalías, estación Asunción Mita .....	57
25.	Análisis de anomalías, estación Insivumeh .....	58
26.	Análisis de anomalías, estación Quezada .....	59
27.	Análisis de anomalías, estación Santiago Atitlán.....	60
28.	Análisis de anomalías, estación Catarina .....	61
29.	Análisis de anomalías, estación San José Aeropuerto .....	62
30.	Serie homogeneizada, estación Asunción Mita .....	63
31.	Serie homogeneizada, estación Insivumeh .....	64
32.	Serie homogeneizada, estación Quezada .....	65
33.	Serie homogeneizada, estación Santiago Atitlán.....	66
34.	Serie homogeneizada, estación Catarina .....	67
35.	Serie homogeneizada, estación San José Aeropuerto .....	68
36.	Histograma de anomalías normalizadas.....	69
37.	Estación con variación, Asunción Mita.....	75
38.	Estación con variación, Quezada.....	76
39.	Estación con variación, Santiago Atitlán .....	77
40.	Estación con variación, Catarina .....	78
41.	Ubicación de nueva estación .....	79

## TABLAS

I.	Estaciones pluviométricas .....	3
II.	Años de registro de estaciones pluviométricas.....	6
III.	Estaciones para el estudio.....	37
IV.	Registro de estación Asunción Mita.....	38
V.	Registro de estación Insivumeh.....	39
VI.	Registro de estación Quezada.....	40
VII.	Registro de estación Santiago Atitlán .....	41
VIII.	Registro de estación Catarina.....	42



IX.	Registro de estación San José Aeropuerto .....	43
X.	Estadísticas de estación Asunción Mita .....	72
XI.	Estadísticas de estación Insivumeh .....	72
XII.	Estadísticas de estación Quezada .....	73
XIII.	Estadísticas de estación Santiago Atitlán.....	73
XIV.	Estadísticas de estación Catarina .....	74
XV.	Estadísticas de estación San José Aeropuerto .....	74



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\hat{Q}$	Cuartil
<b>DM</b>	Desviación media
<b>msnm</b>	Metros sobre el nivel del mar
$\mu$	Media poblacional
$\bar{X}$	Media aritmética
%	Porcentaje
<b>SD</b>	Sin dato
$\sigma$	Varianza



## GLOSARIO

<b>Acuíferos</b>	Son reservorios de agua que están ubicados debajo de la superficie terrestre. Estos permiten la circulación del agua a través de diversas grietas y de la porosidad de su estructura.
<b>Caudal</b>	Volumen de agua que pasa por una determinada sección transversal en la unidad de tiempo.
<b>Escorrentía</b>	Agua de lluvia que circula libremente sobre la superficie de un terreno.
<b>Estación pluviométrica</b>	Lugar destinado a la obtención de datos de precipitación. Se cuenta, para ello, con un pluviómetro.
<b>Hidrología</b>	Es una rama de las ciencias de la tierra que estudia las propiedades físicas, químicas y mecánicas del agua continental y marítima, su distribución y circulación en la superficie de la tierra, en la corteza terrestre y en la atmósfera.
<b>Insivumeh</b>	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.

<b>Isoyeta</b>	Línea imaginaria que une los puntos de la tierra con la misma media de pluviosidad.
<b>Isolínea</b>	Es una curva que conecta los puntos en que la función tiene un mismo valor constante.
<b>Precipitación</b>	Es cualquier producto de la condensación del vapor de agua atmosférico que se deposita en la superficie de la tierra.
<b>Suelo</b>	La parte superficial de la corteza terrestre, biológicamente activa. Proviene de la desintegración o alteración física y química de las rocas y de los residuos de las actividades de seres vivos que se asientan sobre ella.
<b>Vertiente</b>	Es un conjunto de cuencas hidrográficas cuyos ríos, con sus afluentes, desembocan en un mismo mar. En ocasiones, en un mismo lago especialmente, si es de superficie considerable.

## RESUMEN

Existe la necesidad de contar con un registro de la precipitación lo más extenso posible de las diferentes vertientes de Guatemala. Esto debido a la importancia que radica en conocer datos de precipitación que han ocurrido a lo largo del tiempo que sirven para la realización de diseños de obras civiles, análisis de cultivos y uso de suelo, entre otros.

El inconveniente en la base de datos de precipitación, es que las series meteorológicas disponibles no poseen homogeneidad. Además que tienen errores debidos a causas no climáticas, es decir, como cambios en la localización de la estación, cambio en el entorno de la estación y que los instrumentos de la estación no estén bien calibrados.

El registro de la década de 1960 a 1970 no se encuentra de forma digital. Se busca extender el registro de precipitación, con lo que se hace necesaria la homogeneización de datos de precipitación mediante procesos estadísticos y manejar un control de calidad de datos. De esta manera se recuperarían datos de precipitación, con base en los diseños de planificación estructural, control y aprovechamiento hidráulico. De esta manera se ampliará un registro digitalizado a 50 años, ya que en la actualidad se encuentran digitalizados solamente los datos de precipitación de 1971 a 2014.





## **OBJETIVOS**

### **General**

Homogeneización de datos de precipitación del período de 1960 a 2014 de la vertiente del Pacífico.

### **Específicos**

1. Identificar anomalías en el registro de las estaciones.
2. Rellenar datos faltantes de precipitación.
3. Rescatar información histórica de precipitación.



## INTRODUCCIÓN

Desde el punto de vista de la ingeniería hidrológica, la precipitación es la fuente primaria del agua de la superficie terrestre. Sus mediciones forman el punto de partida de la mayor parte de los estudios concernientes al uso y control del agua.

La determinación de áreas homogéneas de precipitación es una manera de describir el régimen de precipitación en la zona. El conocer si existen en el registro histórico precipitaciones intensas o de corta duración, es de vital importancia para la implementación de ciertas técnicas en la construcción. También para entender procesos como la variación de la humedad del suelo, recarga de acuíferos y caudal en los ríos.

Se pretende, a través del trabajo de graduación, realizar la homogeneización de datos de precipitación del período de 1960 a 2014 de la vertiente del Pacífico de la República de Guatemala. Esto a través del programa Climatol, que contiene funciones dedicadas al problema de la homogenización, es decir, eliminar las perturbaciones producidas por los cambios en las condiciones de observación o en el medio ambiente cercano.

El trabajo de graduación comprende un análisis de la red de estaciones de la vertiente del Pacífico, así como la cantidad de años de registro que posee cada estación y usos de suelo de la vertiente, con lo cual se podrá identificar cuáles estaciones tienen problemas y a través de modelos estadísticos creados por los programas Climatol e InfoStat. Esto se podrá determinar qué estaciones

poseen mayores variaciones de precipitación y dónde es necesario la colocación de más estaciones.

# 1. RÉGIMEN DE PRECIPITACIÓN

## 1.1. Análisis red de estaciones

La República de Guatemala, desde el punto de vista de la hidrología, se encuentra dividida en tres vertientes territoriales las cuales son:

- Vertiente del Pacífico
- Vertiente del Caribe
- Vertiente del Golfo de México

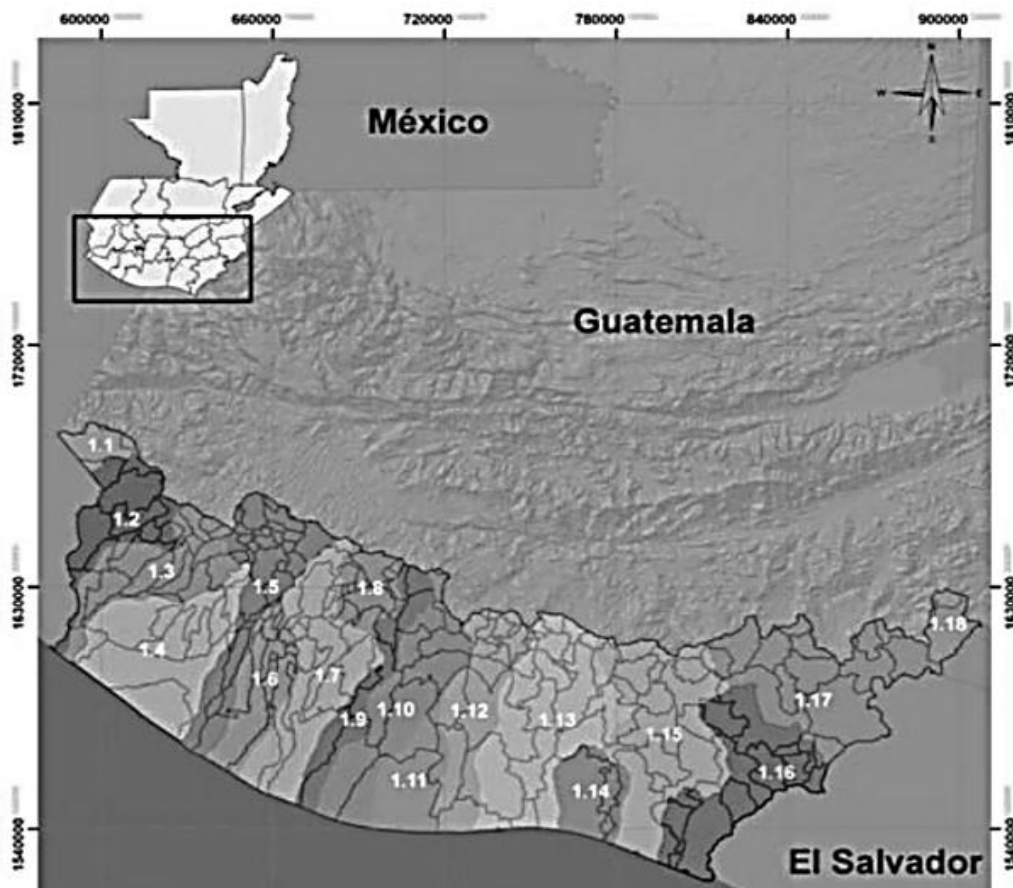
La vertiente del Pacífico, para la cual se realiza el presente estudio, ocupa el 22 % del territorio guatemalteco. Cuenta con 18 ríos que se caracterizan por construir una estrecha faja de tierra entre el declive de la Sierra Madre y el litoral del océano Pacífico. Sus ríos tienen longitudes cortas, un promedio de 110 kilómetros, originándose a alturas promedio de 3 000 msnm. Todos sus ríos acarrear grandes volúmenes de material, especialmente escorias y cenizas volcánicas, debido a que la cadena volcánica se encuentra entre los límites de la vertiente. Debido a este arrastre de material, los ríos tienen cursos inestables causando daños e inundaciones en la planicie costera.

Las pendientes son fuertes entre el 10 % y el 20 % en las partes altas de las cuencas, transformándose con brusquedad en pendientes mínimas en la zona costera, por lo que la región es susceptible a inundaciones. Por otro lado, debido a que las lluvias en la zona tienen períodos de gran intensidad se producen crecidas instantáneas de gran magnitud y corta duración, con una precipitación media anual de 2 200 milímetros.

La vertiente del Pacífico cuenta con 18 cuencas hidrográficas divididas de la siguiente forma:

Figura 1. **Cuencas hidrográficas**

1.1	Coatán	1.7	Nahualate	1.13	Maria Linda
1.2	Suchiate	1.8	Atitlán	1.14	Paso Hondo
1.3	Naranjo	1.9	Madre Vieja	1.15	Los Esclavos
1.4	Ocosito	1.1	Coyolate	1.16	Paz
1.5	Samalá	1.11	Acomé	1.17	Ostúa-Güija
1.6	Sis-Icán	1.12	Achiguate	1.18	Olopa



Fuente: Insivumeh.

La vertiente del Pacífico para la década de 1960 contaba con 189 estaciones pluviométricas, las cuales se vieron afectadas por diversos factores tanto climáticos como humanos, esto llevo a que algunas estaciones fueran clausuradas. A continuación se presenta la tabla que contiene la cantidad de estaciones por departamento y municipio, que operaron en esa misma década.

Tabla I. **Estaciones pluviométricas**

<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Escuintla</b>	La Gomera	2
	Siquinalá	1
	Tiquisate	4
	San José	1
	San Vicente Pacaya	1
	Escuintla	6
	Palín	5
	Masagua	4
	Santa Lucía Cotzumalguapa	4
	Puerto San José	1
	La Democracia	1
	Guanagazapa	1
	Total	31
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Chimaltenango</b>	Pochuta	1
	Tecpán	2
	San Pedro Yepocapa	2
Total	5	
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Jutiapa</b>	Quezada	1
	Asunción Mita	7
	Jalpatagua	2
	Agua Blanca	1
	Atescatempa	1
	Moyuta	1
	Jutiapa	1
Total	14	

Continuación de la tabla I.

<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Quetzaltenango</b>	Colomba	2
	Coatepeque	3
	El Palmar	7
	La Esperanza	1
	Genova	1
	Olintepeque	1
	Flores Costa Cuca	2
	Total	17
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>San Marcos</b>	El Tumbador	3
	La Reforma	6
	San Rafael Pie De La Cuesta	1
	Malacatán	2
	El Rodeo	1
	San Pablo	2
	Ocos	1
	El Quetzal	2
	San Marcos	1
	Tecún Umán	1
	Catarina	1
	Nuevo Progreso	1
	Total	22
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Sololá</b>	Panajachel	3
	San Pedro La Laguna	1
	San Lucas Tolimán	3
	San Andrés Semetabaj	1
	Sololá	1
	Santa Catarina Ixtaguacán	1
	Santa Clara La Laguna	1
	Santiago Atitlán	1
	San Juan La Laguna	1
	Total	13
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Santa Rosa</b>	Santa Cruz El Naranjo	1
	Nueva Santa Rosa	1
	Barberena	1
	Chiquimulilla	1
	Santa María Ixhuatán	1
	Total	5



Continuación de la tabla I.

<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Suchitepéquez</b>	San Pablo Jocopilas	1
	Santa Bárbara	5
	Patulul	8
	Chicacao	5
	San Antonio	2
	Santo Domingo	1
	San Francisco Zapotitlán	2
	Río Bravo	3
	Cuyotenango	3
	Mazatenango	1
	San Miguel Panan	1
	San José El Idolo	1
	Pueblo Nuevo	1
	Total	34
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Retalhuleu</b>	Retalhuleu	3
	San Andrés Villa Seca	1
	Nuevo San Carlos	1
Total	5	
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Guatemala</b>	Guatemala	20
	San José Pinula	4
	Villa Canales	6
	Amatitlán	2
	Villa Nueva	2
	Mixco	2
	Petapa	1
Total	37	
<b>Departamento</b>	<b>Municipio</b>	<b>Estaciones</b>
<b>Sacatepéquez</b>	Santa María Cuaque	1
	Antigua	1
	Ciudad Vieja	1
	Sacatepéquez	1
	Santa Lucía Milpas	2
Total	6	

Fuente: Insivumeh.

## 1.2. Identificar registro de estaciones

A continuación se presenta un listado de las estaciones pluviométricas para la vertiente del Pacífico, en donde se indica el año en que iniciaron operaciones, cantidad de años en operación durante la década de 1960 y años de registro:

Tabla II. Años de registro de estaciones pluviométricas

NOMBRE DE ESTACIÓN	DEPTO.	MUNICIPIO	INICIO	CLAUSURADA	AÑOS DE OPERACIÓN	AÑOS DE REGISTRO 60-69	
San Jerónimo	Escuintla	La Gomera	1958	1966	9	3	
San Carlos Viejo		La Gomera	1960	1961	2	1	
El Milagro		Siquinalá	1956	1963	8	4	
Tiquisate		Tiquisate	1969		1	1	
Pangola		Tiquisate	1958		12	10	
Nueva Concepción		Tiquisate	1957	1968	10	1	
El Arisco		Tiquisate	1958	1960	3	1	
San José Aeropuerto		San José	1960		10	3	
San Vicente Pacaya		San Vicente Pacaya	1958	1961	4	2	
San Andrés Osuna		Escuintla	1923		46	10	
Escuintla FICA		Escuintla	1934		35	10	
Escuintla		Escuintla	1940		29	10	
Ceylán		Escuintla	1958		12	10	
San Luis		Escuintla	1940		30	10	
San Jorge La Unión		Escuintla	1960	1969	10	8	
María Santísima		Palín	1958		12	10	
Medio Monte		Palín	1958	1968	10	8	
Palín FICA		Palín	1935		34	10	
Palín		Palín	1940		29	10	
San José Bella Vista		Palín	1957		13	10	
Santillana del Mar		Masagua	1968		2	1	
Santa María FICA		Masagua	1934		35	10	
Cuyuta		Masagua	1954	1968	15	4	
Obero FICA		Masagua	1934		35	10	
Los Tarros		Santa Lucía Cotzumalguapa	1935		34	10	
Belén		Santa Lucía Cotzumalguapa	1966		4	4	
Buena Vista FICA		Santa Lucía Cotzumalguapa	1934		35	8	
El Cajón		Santa Lucía Cotzumalguapa	1954	1961	8	1	
San José FICA		Puerto San José	1959		10	9	
Obispo FICA		La Democracia	1934	1969	36	10	
Las Mercedes		Guanagazapa	1953	1961	8	1	
Miranadilla		Chimaltenango	Pochuta	1958		12	10
Los Chocolllos			Tecpán	1966	1967	2	1
Chichoy	Tecpán		1966	1968	3	1	
Peña Plata	San Pedro Yepocapa		1947		23	10	
Morelia	San Pedro Yepocapa		1962	1963	2	1	

Continuación de la tabla II.

NOMBRE DE ESTACIÓN	DEPTO.	MUNICIPIO	INICIO	CLAUSURADA	AÑOS DE OPERACIÓN	AÑOS DE REGISTRO 60-69	
Quezada	Jutiapa	Quezada	SD		SD	1	
San Cristobal Frontera		Asunción Mita	1963		7	6	
Tiucal		Asunción Mita	1963		2	1	
Trapiche Bajo		Asunción Mita	SD		4	4	
Tusamates		Asunción Mita	SD		3	3	
Anguiatú		Asunción Mita	1934		34	10	
Las Cruces		Asunción Mita	1967		3	3	
Asunción Mita		Asunción Mita	1956		13	8	
El Jobo		Jalpatagua	1967		3	2	
Jalpatagua		Jalpatagua	1958		12	7	
Agua Blanca FICA		Agua Blanca	1941		29	10	
Atescatempa		Atescatempa	1967		3	2	
Montufar		Moyuta	1965		5	5	
Silos Del INFOP		Jutiapa	1959		11	8	
San Carlos Unidad		Quezaltenango	Colomba	1957	1962	6	3
La Mina			Colomba	1935	1965	30	4
Las Mercedes			Colomba	1908	1965	58	5
Culpan			Colomba	1956		14	8
La Moka			Colomba	1936	1966	30	6
La Esmeralda	Colomba		1958		12	9	
San Francisco Miramar	Colomba		1934	1967	34	6	
Acultzingo	Colomba		1934	1969	36	10	
Cafetal Magnolia	Colomba		1957	1964	8	4	
Vizcaya	Colomba		1924		46	10	
San Jerónimo	Colomba		1961		9	8	
El Rosario Bola De Oro	Colomba		1966		4	4	
Coatepeque FICA	Coatepeque		1934		36	10	
Monte Grande	Coatepeque		1922		48	10	
Roger	Coatepeque		1960		10	10	
Santa Marta	El Palmar		1951		19	10	
Saint Joan	El Palmar		1952	1970	19	10	
El Nil	El Palmar		1945		25	10	
Patzulín	El Palmar		1929		41	10	
Oakland	El Palmar		1951	1963	13	3	
La Suiza	El Palmar		1945		25	10	
Beliz-Helvetia	El Palmar		1934		36	10	
Santa Bárbara	La Esperanza		1950	1967	18	7	
San Antonio Morazán	Genova		1957		13	9	
Justo Rufino Barrios	Olintepeque		1966		1	1	
Santa Anita FHCA	Flores Costa Cuca		1960		8	6	
Candelaria	Flores Costa Cuca	1935		35	10		
El Pino	Santa Rosa	Santa Cruz El Naranjo	1967		2	1	
Nueva Santa Rosa		Nueva Santa Rosa	1962		8	7	
La Esperanza		Barberena	1964		6	6	
Silos del INFOP		Chiquimulilla	1959	1967	9	5	
La Gloria		Santa María Ixhvatán	1942		28	10	

Continuación de la tabla II.

NOMBRE DE ESTACIÓN	DEPTO.	MUNICIPIO	INICIO	CLAUSURADA	AÑOS DE OPERACIÓN	AÑOS DE REGISTRO 60-69	
Alabama Grande	San Marcos	El Tumbador	1945		25	10	
Santa Anita		El Tumbador	1959	1967	9	7	
El Rosario		El Tumbador	1934		36	10	
Primavera		La Reforma	1965		5	5	
La Victoria		La Reforma	1965		5	5	
Las Casas		La Reforma	1965		5	5	
La Sola		La Reforma	1949		21	10	
La Paz		La Reforma	1929	1962	34	3	
El Baluarte		La Reforma	1955		15	5	
Las Merceditas		San Rafael Pie De La Cuesta	1965		5	5	
Monte Límar		Malacatán	1934	1960	27	1	
Malacatán		Malacatán	1959		11	10	
El Pensamiento		El Rodeo	1934		36	10	
Santa Teresa		San Pablo	1929		41	5	
Porvenir		San Pablo	1966		1	1	
La Blanca		Ocos	1959		2	1	
Santa Rita		El Quetzal	1967		2	1	
Chiquilá		El Quetzal	1957		13	10	
Catarina		Catarina	SD		SD	1	
San Marcos		San Marcos	1934	1961	28	2	
Ayutla		Tecún Umán	1934		36	10	
La Unión		Nuevo Progreso	1951	1960	11	1	
Panajachel		Sololá	Panajachel	1967		1	1
San Andrés Semetabaj			Panajachel	1960	1965	6	5
San Rafael			Panajachel	1960		10	6
San Pedro La Laguna			San Pedro La Laguna	1959		11	10
Santa Teresa	San Lucas Tolimán		1954		16	10	
Santa Cruz Quixaya	San Lucas Tolimán		1934		36	9	
Santo Tomás Perdido	San Lucas Tolimán		1945		25	10	
Paquín	San Andres Semetabaj		SD		SD	3	
Chaquijya	Sololá		1966		2	2	
Santa Catarina Ixtaguacán	Santa Catarina Ixtaguacán		1966		2	2	
Santa Clara La Laguna	Santa Clara La Laguna		1966		2	2	
Monte de Oro	Santiago Atitlán		1937		33	10	
Pacayval	San Juan La Laguna		1958		12	9	
Caballo Blanco	Retalhuleu		Retalhuleu	1960	1962	3	2
La Esperanza			Retalhuleu	1954		16	6
San José La Granja		Retalhuleu	1954	1962	9	3	
El Carmen		San Andrés Villa Seca	1944	1961	18	1	
Liria		Nuevo San Carlos	1935		35	10	
Manzanales	Sacatepéquez	Santa María Cuaque	SD		SD	1	
Antigua		Antigua	1934		36	10	
El Potrero		Ciudad Vieja	1910		60	10	
Soledad		Sacatepéquez	SD		SD	1	
Florencia		Santa Lucía Milpas	1933		37	10	
San Joaquín		Santa Lucía Milpas	1967		3	3	

Continuación de la tabla II.

NOMBRE DE ESTACIÓN	DEPTO.	MUNICIPIO	INICIO	CLAUSURADA	AÑOS DE OPERACIÓN	AÑOS DE REGISTRO 60-69
Florinda	Guatemala	Guatemala	1967		3	2
Presa Acatán		Guatemala	1959	1964	6	4
Presa Cambray		Guatemala	1960	1964	5	3
Presa Teocinte		Guatemala	1955	1964	10	4
Fabrica De Tubos		Guatemala	1968		2	2
Canalitos		Guatemala	1959	1964	6	4
Planta Cambray		Guatemala	1954	1964	11	4
Las Limas		Guatemala	1962	1964	3	2
Guatemala		Guatemala	1940		30	10
Amatitlán		Guatemala	1940		30	10
El Zapote		Guatemala	1941		29	10
Planta La Brigada		Guatemala	1954		16	5
Planta Santa Luisa		Guatemala	1954	1964	11	5
Tímoteo Santiago zona 6		Guatemala	1963		7	7
Insivumeh		Guatemala	1928		42	10
Guarda Viejo		Guatemala	1955	1964	10	4
Estación Urrutia zona 10		Guatemala	1962		8	1
Guatemala FICA		Guatemala	1934		36	10
Presa La Brigada		Guatemala	1959	1964	6	4
Estación Lopez zona 7		Guatemala	1965	1968	4	3
La Soledad		San José Pinula	1968		2	2
El Maguey		San José Pinula	1969		1	1
San Antonio Las Vertientes		San José Pinula	1966		4	2
El Socorro		San José Pinula	1968		2	1
Granja Virginia		Villa Canales	1957	1961	5	1
Potrero Largo		Villa Canales	1967		3	2
Villa Canales		Villa Canales	1945		25	10
Moran FICA		Villa Canales	1934		36	10
San Agustín Las Minas		Villa Canales	1957		13	10
Laguna		Villa Canales	1947		23	10
Jardines Mil Flores		Amatitlán	1966		4	3
San Bernardo		Amatitlán	1955		15	10
Barcenás		Villa Nueva	1960		10	8
Villa Nueva		Villa Nueva	1941		29	10
Los Obiols		Mixco	1968	1969	SD	1
Labor De Castilla		Mixco	1960	1961	2	1
Morán La Amistad		Petapa	SD		2	1

Continuación de la tabla II.

NOMBRE DE ESTACIÓN	DEPTO.	MUNICIPIO	INICIO	CLAUSURADA	AÑOS DE OPERACIÓN	AÑOS DE REGISTRO 60-69
El Fito Chocola	Suchitpéquez	San Pablo Jocopilas	1951		19	3
San Rafael Panam		Santa Bárbara	1947		21	9
San Francisco Miramar		Santa Bárbara	1934		36	10
Moca		Santa Bárbara	1929		41	10
La Asunción		Santa Bárbara	1953		17	10
Palmeras		Santa Bárbara	1945		25	10
Santa Elena Sinaca		Patulul	1963		7	7
Cocales		Patulul	1954		16	10
Los Tarrales		Patulul	1934		36	10
Luisiana		Patulul	1934		36	9
Patulul FICA		Patulul	1934		36	9
San Julián		Patulul	1960		10	10
El Vesubio		Patulul	1954		16	10
Santa Clara		Patulul	1952		8	1
Los Angeles		Chicacao	1957		13	10
Bella Flor		Chicacao	1957		13	8
Nahualate		Chicacao	1934		28	1
La Abundancia		Chicacao	1938		32	10
Madrid		Chicacao	1960	1969	10	9
Palo Gordo FICA		San Antonio	1942		28	9
San Antonio		San Antonio	1961	1967	7	7
Monte Rey		Santo Domingo	1935		35	8
El Chile Yanexcs		San Francisco Zapotitlán	1961	1962	2	2
Las Nubes		San Francisco Zapotitlán	1960		10	9
San Antonio Sigucán		Río Bravo	1957		13	9
Río Bravo FICA		Río Bravo	1934		36	9
Guatalón		Río Bravo	1960		3	2
La Máquina		Cuyotenango	1960		10	3
Trinidad		Cuyotenango	1959	1963	5	3
Villa Juan Carlos		Cuyotenango	1969		1	1
Mazatenango FICA		Mazatenango	1934		36	9
Chinan		San Miguel Panan	1934		36	9
La Libertad	San José El Idolo	1959	1961	4	2	
Paris	Pueblo Nuevo	1966		4	2	

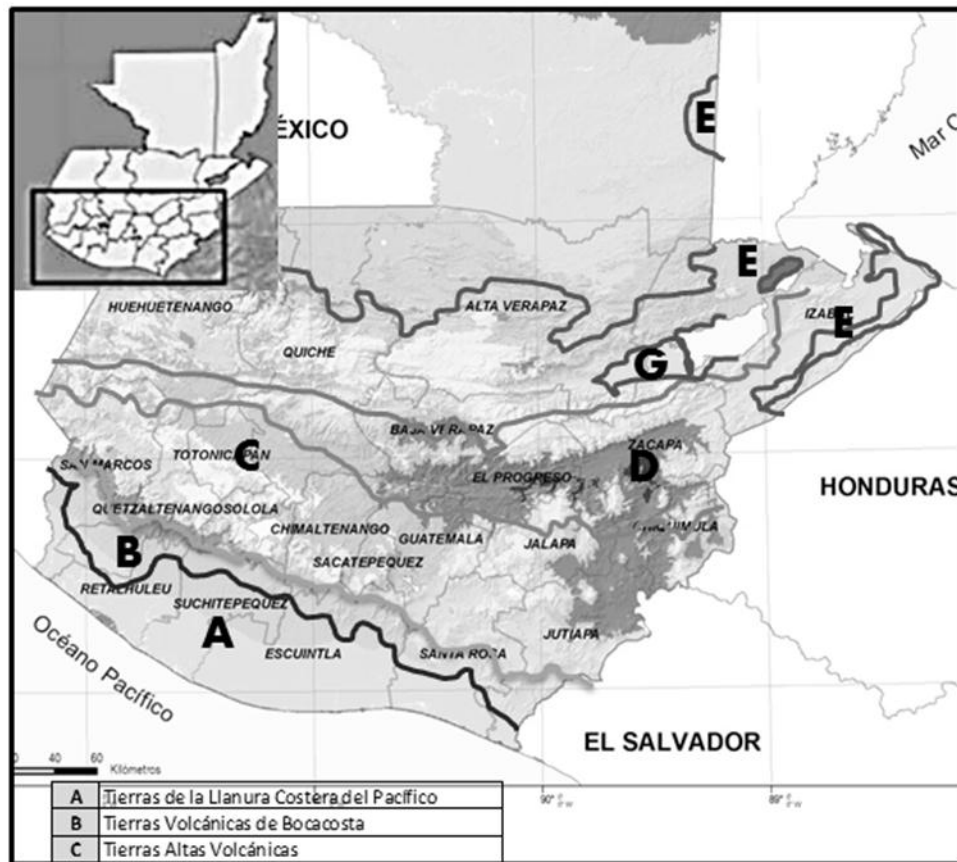
Fuente: Insivumeh.

El registro que posee cada estación es variado y debido a diversos factores existen varios datos faltantes, lo que no permite tener datos confiables. Esto ha provocado que se interfiera en la calidad de los datos por cada estación.

### 1.3. Uso de suelo de la vertiente del Pacífico

El territorio de Guatemala se encuentra dividido según criterios fisiográficos y geológicos en siete regiones para orientar el uso potencial del suelo. Las regiones se muestran en la siguiente figura:

Figura 2. Regiones de uso de suelo



Fuente: Inab.

Las regiones que comprende la vertiente del Pacífico son las regiones A, B y C.

La región A (tierras de la llanura costera del Pacífico) comprende una franja de tierra que va desde la frontera con México (río Suchiate) hasta el río Paz en la frontera con El Salvador. Cubre parcialmente los departamentos de San Marcos, Quetzaltenango, Retalhuleu, Suchitepéquez, Escuintla, Santa Rosa y Jutiapa. Entre los usos predominantes de la suelo se encuentran las plantaciones de caña de azúcar, hule, palma africana y pastos.

La región B (tierras volcánicas de Bocacosta) comprende la franja que limita al sur y al norte con las tierras altas volcánicas. La región comprende una superficie cuyo clima está caracterizado por una alta precipitación y temperaturas no tan altas como en la planicie del pacífico ni tan frías como en el altiplano, razón por la cual se le llama Bocacosta. Los usos del suelo para esta región son el café, cardamomo y hule.

La región C (tierras altas volcánicas) comprende el altiplano. Estas tierras se encuentran parcialmente en los departamentos de San Marcos, Totonicapán, Chimaltenango, Quetzaltenango, Sololá, Sacatepéquez, Jalapa, Santa Rosa, Zacapa, Chiquimula y Jutiapa. En esta región la mayor parte de las tierras está cubierta por bosques de cultivos de subsistencia, hortalizas que son de consumo nacional e internacional y frutales deciduos.

#### **1.4. Análisis del régimen de lluvias**

Entre los estudios, para el análisis del régimen de lluvias de un país, se encuentra el régimen de intensidades de lluvia. Entre las aplicaciones más sobresalientes de este tipo de análisis lo constituye el diseño hidráulico de diferentes obras hidráulicas, para la evacuación segura de la escorrentía originada por eventos de lluvias, en áreas urbanas y rurales. Normalmente, este



tipo de aplicaciones requiere de eventos de lluvias intensas asociados a una duración y a una frecuencia de ocurrencia.

El régimen de lluvias de Guatemala se refiere a la época de clima lluvioso en el territorio guatemalteco. La ubicación tropical del país no permite que se marquen con precisión cuatro estaciones en el año, como en los países situados al norte o al sur del ecuador. En realidad, las estaciones se reducen a dos: lluviosa y seca. El análisis de régimen de lluvia comprende la investigación del patrón de precipitaciones en el área con el propósito de establecer y cuantificar la cantidad de lluvia y su distribución.

La duración de ellas no es uniforme en todo el territorio, pero en términos generales, la época seca se extiende de noviembre a abril y la época lluviosa de mayo a octubre.

Las curvas de intensidad-duración-frecuencia (IDF), ofrecen dicha relación. En Guatemala, este tipo de curvas se encuentran deducidas para un número reducido de estaciones, para diferentes épocas y en documentos dispersos. Por otro lado, no se cuenta a la fecha, con un panorama espacial de este tipo de curvas a nivel nacional.

La precipitación media anual varía de una región a otra, por el relieve montañoso, y oscila entre los 500 milímetros en las zonas muy secas y 6 000 milímetros o más, en la Zona Reina y la Bocacosta.

## **1.5. Mapa de isoyetas**

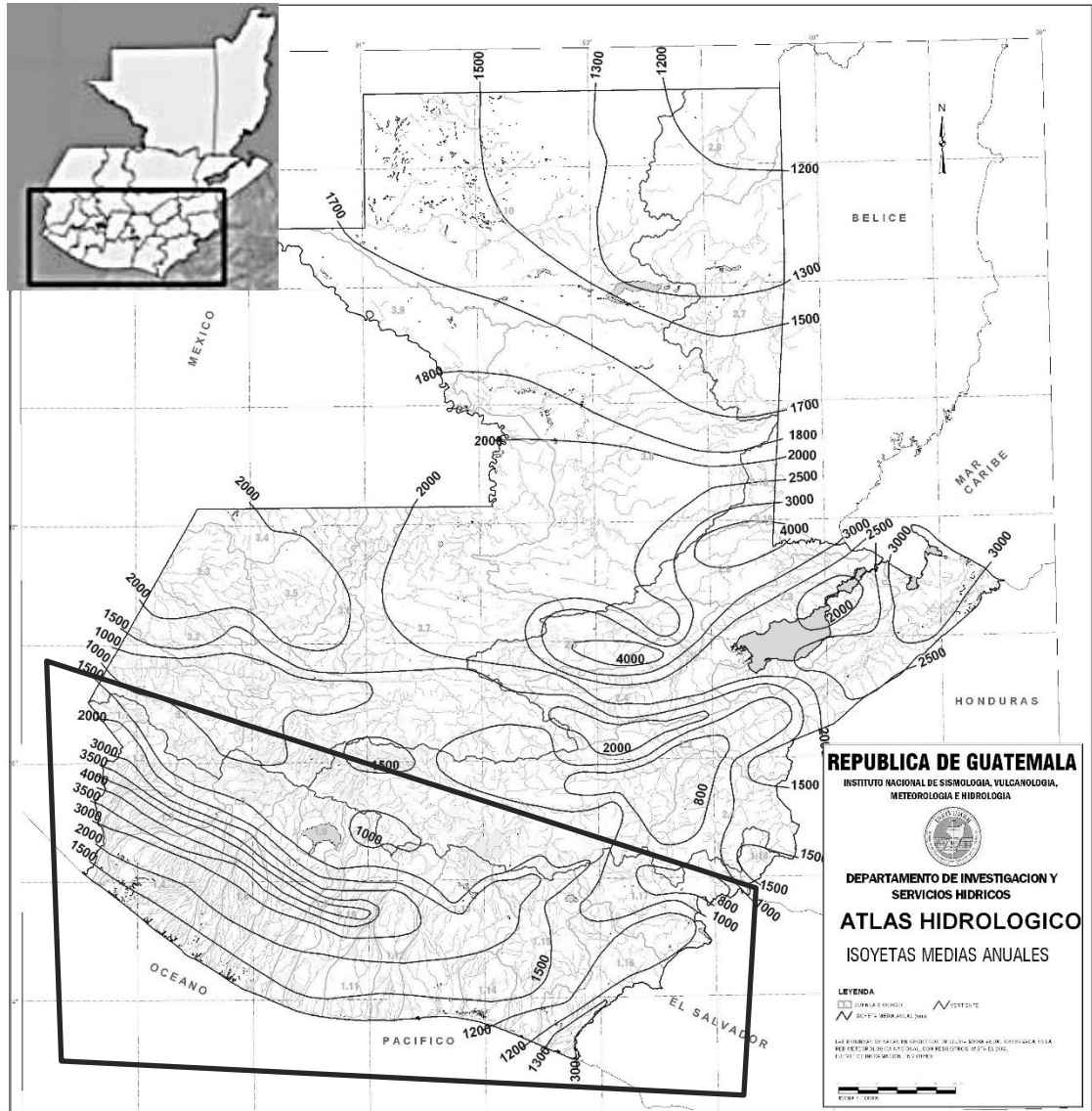
Las curvas isoyetas son líneas que unen puntos de igual cantidad de lluvia. Estas líneas se trazan interpolando los datos puntuales dados por los distintos pluviómetros; con una técnica similar a la utilizada en topografía y de acuerdo a las condiciones locales de la cuenca.

Por medio de estas curvas se permite promediar la precipitación sobre un área. Acá la localización de las estaciones y las cantidades de lluvia se grafican en un mapa adecuado y sobre este se dibujan las líneas de igual precipitación.

Para la vertiente del Pacífico el rango de las precipitaciones, se encuentra entre los 1 500 a 4 000 milímetros anuales. En el sector oeste-este de la vertiente, siendo inferiores en el sector este y mayores hacia el oeste; mientras que el rango para el sector norte-sur de la vertiente se encuentra entre 700 a 1 500 milímetros anuales, siendo inferiores los valores en la parte costera y aumentando conforme las elevaciones.

A partir de estas informaciones se estima un volumen de escorrentía de 25 500 millones de m<sup>3</sup>/año. La figura que se muestra a continuación se basa en registros de lluvia media anual observada en la red meteorológica nacional, con registros hasta 2003:

Figura 3. Isoyetas medias anuales



Fuente: Insivumeh.



## **2. DESARROLLO DE MÉTODOS ESTADÍSTICOS**

En el diseño de modelos de simulación o cualquier diseño de obras hidráulicas es necesario contar con información hidrológica confiable, por lo tanto es indispensable el uso de métodos estadísticos. Los métodos estadísticos consisten en una secuencia de procedimientos para el manejo de los datos cualitativos y cuantitativos de la investigación.

Los métodos estadísticos permiten presentar, organizar y reducir datos para facilitar su interpretación y evaluación. La implementación de métodos estadísticos en registros de precipitación contribuye para generar una homogeneidad y reconstrucción de los datos. Esto permite la identificación y la eliminación de inconsistencia en las series, que pueden ser a causa de factores no climáticos, como el cambio en la localización y el entorno de la estación, errores de los instrumentos de la estación pluviométrica y errores humanos. El objetivo principal de tener registros de precipitación confiables es obtener muestras representativas de la precipitación en la zona a que se refiera la medición.

### **2.1. Medidas de tendencia central**

Son indicadores estadísticos que muestran hacia qué valor o serie de valores se agrupan los datos. Sirven para caracterizar los datos en torno a un centro.

### 2.1.1. Media

Es el valor obtenido al sumar todos los datos y dividir el resultado entre el número total de datos. A pesar de ser muy sensible a los valores extremos, es una forma de encontrar un valor representativo en una serie de números. Esto indica que puede ser afectada por los valores extremos, por lo que puede dar una imagen distorsionada de la información de los datos.

Se simboliza por la letra griega  $\mu$  (mu) se toman datos poblacionales y con la letra romana  $\bar{X}$  (equis barra) se considera una muestra.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (\text{Ecuación 1})$$

Donde:

$\sum_{i=1}^n x_i =$  sumatoria de los datos

$n =$  número total de datos

#### 2.1.1.1. Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores sin agrupar

A este modo de obtención de la media aritmética se le conoce como método largo o promedio ponderado, ya que cada término se repite al menos dos veces. Se calcula mediante la siguiente fórmula:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n f \cdot x_i}{n} \quad (\text{Ecuación 2})$$

Donde:

$f$  = número de veces que se repite un mismo número

$x_i$  = cada uno de los valores que forman el conjunto de datos

$n$  = número total de datos

### **2.1.1.2. Media aritmética de una distribución de frecuencias de valores agrupados en intervalos de amplitud constante o variable**

Para un conjunto de datos agrupados en un tabular, la media se calcula partiendo de la suposición que todos los valores que caen dentro de un determinado intervalo de clase. Este se localiza en el punto medio de clase el cual se obtiene calculando el promedio de los límites superior e inferior del intervalo. Es necesario encontrar la marca de clase de cada intervalo de amplitud constante o variable y multiplicarla por la frecuencia correspondiente. La fórmula para el cálculo es la misma que el caso anterior.

### **2.1.2. Mediana**

Dentro de un conjunto de datos la mediana es un punto que tiene como característica el que divide al conjunto en dos partes iguales. Al contrario de la media aritmética, la mediana es un promedio de posición. Por lo tanto, para encontrarla en su forma más sencilla, se localiza el valor que ocupe el lugar central de una serie ordenada de datos.

### **2.1.3. Moda**

Es el valor que ocurre con mayor frecuencia en un conjunto de datos, si existe un solo valor máximo se dice que es unimodal; si tiene dos o más valores

con la misma frecuencia máxima se dice que el conjunto es bimodal, trimodal y así sucesivamente. Si todas las variables tienen la misma frecuencia se dice que no hay moda.

## **2.2. Medidas de dispersión**

También llamadas medidas de variabilidad, muestran la variabilidad de una distribución, indicando por medio de un número si las diferentes puntuaciones de una variable están muy alejadas de la media. Cuanto mayor sea ese valor, mayor será la variabilidad, y cuanto menor sea, más homogénea será a la media. Así se sabe si todos los casos son parecidos o varían mucho entre ellos.

### **2.2.1. Desviación media**

Es el valor absoluto de la media aritmética de las desviaciones de los valores de la variable respecto a su promedio. Equivale a la división de la sumatoria del valor absoluto de las distancias existentes entre cada dato y su media aritmética y el número total de datos.

$$DM = \frac{\sum_{i=1}^n f|x_i - \bar{x}|}{n} \quad (\text{Ecuación 3})$$

### **2.2.2. Varianza**

Se representa como  $\sigma^2$  y se define como la suma de los cuadrados de las desviaciones dividida entre el total de las frecuencias o casos.



$$\sigma^2 = \frac{\sum_{i=1}^n |x_i - \bar{x}|^2}{n} \quad (\text{Ecuación 4})$$

### **2.2.3. Desviación estándar**

Es una medida de dispersión para variables de razón (variables cuantitativas o cantidades racionales) y de intervalo. Se define como la raíz cuadrada de la varianza de la variable.

### **2.2.4. Rango**

Es el intervalo entre el valor máximo y el valor mínimo. Su objetivo es cuantificar la medida del grado que los datos se separan o varían del valor central, es decir, el grado de variación o dispersión de dichos valores.

## **2.3. Pruebas que realiza el programa Climatol**

Climatol hace uso de un proceso de homogeneización relativa, mediante la creación de series de referencia. Están construidas a partir de un promedio ponderado de las estaciones vecinas en cada una de los puntos donde se ubican las estaciones. Para la ponderación de cada una de las estaciones se considera el criterio de la distancia, el cual parece presentar buenos resultados cuando se dispone de una red densa de estaciones pertenecientes a una región de gran coherencia climática.

Construidas las series de referencia se calculan las series con anomalías, obtenidas a partir de las diferencias entre los datos normalizados de las estaciones originales y de las series de referencia. Posteriormente, a las series de diferencia normalizada se les aplica un análisis, eliminándose aquellos

registros de los datos originales que superan un determinado límite de desviaciones estándar, fijado previamente en uno de los parámetros de la función en el programa. Tras la detección de no homogeneidades en los datos, la función Climatol vuelve aplicar el *test* de homogeneidad a la serie completa, con el fin de detectar otros saltos más pequeños que pueden haber pasado inadvertidos durante el proceso.

Una característica importante de Climatol es que cada vez que detecta una no-homogeneidad, se produce la división de la serie inicial en dos nuevas series independientes, una previa y otra posterior al punto de salto. Analizadas todas las no homogeneidades y obtenidas las nuevas series en las que se dividieron las series iniciales. Climatol finaliza con un relleno de los datos faltantes detectados, tanto de las series que no experimentaron ninguna ruptura como de las nuevas series generadas. En el siguiente capítulo se amplía la metodología que utiliza el programa Climatol.

### **3. DESCRIPCIÓN METODOLÓGICA DEL PROGRAMA CLIMATOL**

#### **3.1. Introducción**

Uno de los problemas en la base de datos climatológicos, es que las series meteorológicas disponibles no poseen homogeneidad y poseen errores debidos a causas no climáticas. El estudio de homogeneidad y reconstrucción de datos permite la identificación y la eliminación de inconsistencia en las series temporales climáticas, que son a causa de factores no climáticos, como cambio en la localización de la estación, cambio en el entorno de la estación y descalibración de los instrumentos en la estación.

En la actualidad los ordenadores permiten la manipulación de grandes cantidades de datos y se han convertido en una potente herramienta en la reconstrucción de base de datos climáticos. De ahí, la importancia de implementación de software que permita la manipulación de datos climáticos y realizar estudios de homogeneidad.

#### **3.2. Metodología**

Climatol está mayoritariamente destinado al problema de la homogeneización de series climatológicas, es decir, a eliminar las perturbaciones producidas por cambios en las condiciones de observación o en el entorno de la estación. Esto para que las series reflejen solamente (hasta donde sea posible) las variaciones climáticas.

### 3.2.1. Tipo de regresión II

Al igual que en muchos otros métodos, las pruebas de homogeneidad se aplican aquí en una serie de diferencias entre la estación de problema y una serie de referencia construido como (opcionalmente) la media ponderada de las series de las estaciones cercanas. Pero a diferencia de la mayoría de ellos, la selección de las estaciones de estos se basa en la proximidad solamente, sin tener en cuenta el criterio de correlación. El fin es ser capaz de utilizar las estaciones más cercanas, incluso si tienen un demasiado corto (o ninguno) período común de observación.

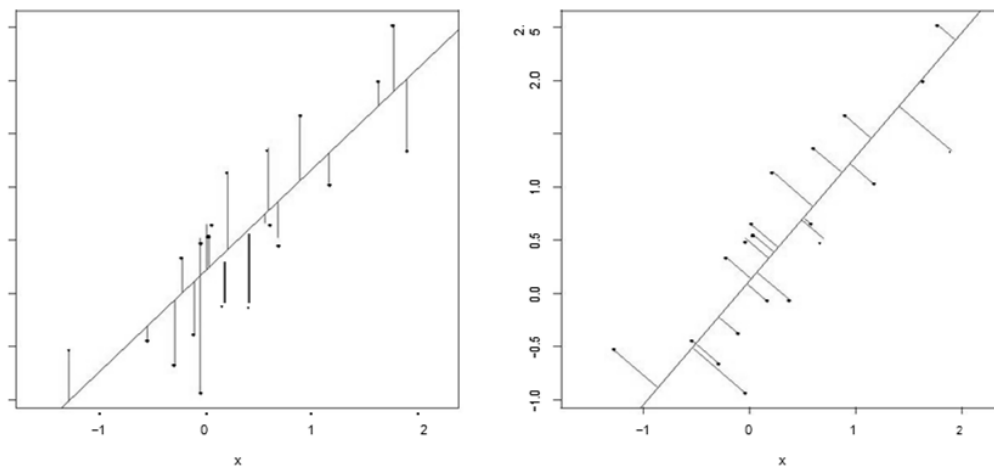
Por lo tanto, mientras que el uso de las correlaciones es generalmente limitada a series largas seleccionadas, que son capaces de utilizar la mayor cantidad de información posible de la red climatológica. Esto implica, sin embargo, que la región bajo estudio debe ser homogénea climáticamente, ya que la presencia de límites geográficos montañosos, puede conducir a la utilización de estaciones en las inmediaciones mal correlacionadas para calcular la serie de referencia. En este caso, la región debe ser subdividida y el proceso de homogeneidad aplicarse independientemente a cada subregión.

Desde el punto de vista estadístico, esto es equivalente a aplicar un modelo de regresión lineal de tipo II, en lugar del tipo mucho más conocido I. Este último se calcula normalmente por un mínimo cuadrado, minimizando las desviaciones entre los puntos (observaciones) a la línea de regresión en la dirección del eje Y verticalmente (figura 4 a la izquierda).

El supuesto subyacente es que la variable independiente X es controlada, ya sea por el investigador o se medirá con errores despreciables. Pero este no es el caso cuando el ajuste de líneas de regresión a pares de serie de una red

climatológica, donde los errores son similares en todas las estaciones. En este caso, las desviaciones para minimizar deben ser calculadas perpendicularmente a la línea de regresión, (figura 4 derecha).

Figura 4. **Líneas de regresión lineal**



Fuente: Climatol. *Manual del programa Climatol*. p. 2.

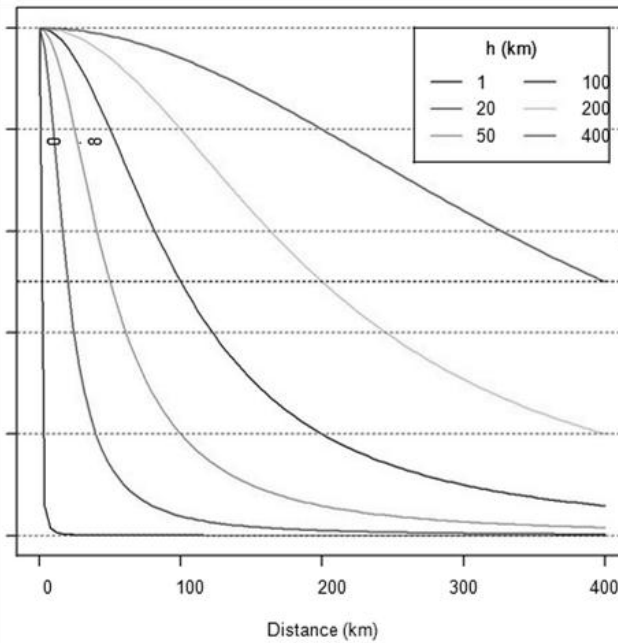
### 3.2.2. **Datos estimados**

Una vez que los datos originales se normalizan, se calcula cada término de cada serie como un promedio ponderado de un número prescrito de los datos disponibles más cercanos. Los valores que se aplicarán a los datos de referencia pueden ser todos iguales (promedio simple) o se calcula como una función inversa de la distancia  $d$  entre los sitios de observación.

La función originalmente elegida para esta es  $1 = (1 + d^2 = a)$ , donde el parámetro  $a$ , permite que el investigador pueda modular el valor relativo de las estaciones cercanas a las más distantes. Pero es más convenientemente

formulado como  $1 = (1 + d^2 = h^2)$ , ya que de esta manera el nuevo parámetro  $h$  se convierte en la distancia a la que el valor es la mitad de una estación, colocado en el mismo lugar de los datos que son estimados. En la figura 5 se representa gráficamente esta función para diferentes valores de  $h$ . (El parámetro  $h$  se llama distancia peso o de valor, en la lista de parámetros de la función de homogeneización).

Figura 5. **Gráfico de datos estimados**



Fuente: Climatol. *Manual del programa Climatol*. p. 3.

### 3.2.3. **Detección y corrección de valores anómalos y cambio agudo**

Después de haber estimado todos los datos, para cada serie original se puede calcular las series de anomalías (diferencias entre los datos observados y los estimados), y aplicar sobre ellas pruebas para detectar:

- Datos anómalos: la serie de anomalías se estandariza, y las anomalías mayores de 5 (por defecto) desviaciones típicas se borran de los datos originales.
- Saltos en la media: a la serie de anomalías se le aplica la prueba SNHT *Standard Normal Homogeneity Test*, (por sus siglas en inglés o el estándar normal de prueba de homogeneidad, por Alexandersson, 1986) en dos etapas:
  - Sobre ventanas de 120 términos que se van moviendo en saltos de 60 términos (valores por defecto).
  - Sobre la serie completa.

Los máximos valores de SNHT (llamados tv en este paquete) y sus posiciones en cada serie se guardan en memoria y las series con los valores más altos si superan el límite establecido. Estos se cortan en la posición en que se encontró ese máximo valor de inhomogeneidad, de forma que a partir de esa posición se transfieren todos los valores a una nueva serie (con las mismas coordenadas) y se borran de la original.

Lo ideal sería repetir todo el proceso después de cortar la serie más inhomogénea, puesto que esta inhomogeneidad puede haber influido sobre la valoración de la homogeneidad de las estaciones vecinas. Pero esto haría el proceso muy largo si se trata con un elevado número de estaciones con muchas inhomogeneidades, de modo que se proporciona un factor de tolerancia para permitir el corte de varias estaciones en cada etapa.

Una vez que todas las inhomogeneidades superiores al límite establecido se han cortado con la prueba SNHT, aplicada en las dos primeras etapas, se

repite todo el proceso aplicando esta prueba sobre las series completas. Con ello se pueden generar más cortes en las series.

La prueba sobre ventanas móviles se ha implementado para evitar la existencia de múltiples saltos. En la media pueda subestimar los valores del SNHT, mientras que su aplicación a las series completas es más sensible y permite detectar saltos más pequeños que en la prueba sobre ventanas (con menores tamaños muestrales).

De todos modos, el valor por defecto del límite fijado para la prueba sobre las series completas se ha puesto más alto que en la prueba sobre ventanas, para evitar que se corten series debido a la presencia de tendencias locales y no de saltos en la media (aunque si las tendencias locales son lo suficientemente fuertes se detectarán y tratarán como si fueran saltos).

Después de haber eliminado todas las inhomogeneidades superiores a los límites establecidos, se realiza una nueva etapa dedicada únicamente a recalcular todos los datos ausentes (incluyendo los eliminados en la detección de saltos y datos anómalos). Esto se aplica a todas las series, tanto si son originales (series no cortadas, o sus primeros fragmentos en caso contrario) como si se trata de las nuevas series creadas tras los cortes efectuados.

En este caso, la reconstrucción de las series se efectúa únicamente con los datos de los otros fragmentos, cualquiera que sea el número de datos de referencia fijado. (Salvo cuando no existan datos originales, en cuyo caso la estimación se realiza según el método general).



### **3.3. Aplicación**

Lo primero que se hace es preparar los datos de entrada en dos ficheros de texto con los formatos adecuados. En uno de ellos hay que relacionar las coordenadas y nombres de las estaciones, y en el otro los años inicial y final del periodo estudiado junto con los datos para cada estación.

#### **3.3.1. Preparación de los datos**

Las coordenadas de las estaciones y los datos climatológicos deben suministrarse por medio de ficheros estructurados de diferente manera mediante sus propios procedimientos, pudiendo aprovechar las funciones del programa R para acceder a bases de datos relacionales. La única precaución es que los datos deben alojarse en la memoria de R en estos dos objetos:

- **dat:** matriz numérica que contiene los datos, de dimensiones  $n_d$ ,  $n_e$  (donde  $n_d$  y  $n_e$  representan el número de datos por estación y el número de estaciones, respectivamente). Los datos ausentes deben especificarse como NA (el estándar de R).
- **est:** tabla de datos con cinco columnas X, Y, Z, código y nombre, conteniendo las coordenadas (XY que corresponden a longitud y latitud, pueden expresarse en grados o en km, y Z es decir la elevación en m), códigos y nombres de las estaciones. Estas líneas deben disponerse en el mismo orden en que aparecen los datos de cada estación en el objeto **dat**.

### 3.3.2. Homogeneizar la serie

La función de homogeneización de este paquete se llama `homogen`, y para aplicarla deben suministrarse, al menos, estos tres parámetros:

- `varcli`: acrónimo del nombre de la variable climática tratada
- `anyi`: año inicial del período de estudio
- `anyf`: año final del período de estudio

Estos tres parámetros no tienen asignados valores por defecto, y la función los usará para determinar el nombre base de los ficheros de entrada y salida. Los demás parámetros (opcionales) que acepta la función son los siguientes:

- `nm`: número de datos por año en cada estación (12 por defecto: datos mensuales. Poner `nm=1` para analizar datos anuales, `nm=4` para los estacionales, y otros).
- `nref`: número máximo de datos de referencia a emplear para la estimación de los datos. Todos los datos se estiman como si no existieran (para calcular las anomalías), como una media ponderada de los datos más próximos. Este parámetro fija el número máximo de datos a usar en caso de que hubiera muchos disponibles. (10 por defecto).
- `dz.max`: límite de tolerancia para los datos anómalos. Por defecto, las anomalías superiores a 5 desviaciones típicas (de las propias series de anomalías) serán rechazadas.

- wd: distancia en kilómetros a la que los datos valdrán la mitad que los de una estación localizada en el mismo sitio de la serie a estimar. El valor por defecto es 0 para las dos primeras fases (lo que indica que todos los datos tendrán el mismo valor), y 100 para la última fase de cálculo final de todos los datos ausentes. Se puede modificar suministrando un vector de tres valores, como  $wd=c$  (0, 200, 50). Cualquier valor adicional será ignorado, y si el vector tuviera menos de tres elementos se repetirá el último valor las veces que sea necesario.
- tVt: valor límite para la prueba SNHT sobre ventanas escalonadas (25 por defecto).
- tVf: factor de tolerancia para fragmentar varias series en una misma pasada. Por defecto vale 0,02, lo que permite un 2 % de tolerancia en cada dato de referencia. (Ej.: Si el máximo valor de la prueba SNHT en una serie vale 30 y se han usado 10 referencias para el cálculo de las anomalías. La serie se cortará si el máximo valor de cualquiera de las series de referencia es menor que  $30*(1+0,02*10)=36$ . (Colocar  $tVf=0$  para inhabilitar la fragmentación si cualquiera de las referencias ya ha sido fragmentada en la misma pasada).
- swa: tamaño del desfase a aplicar a las ventanas para la aplicación de la prueba SNHT. El valor por defecto es 60, lo que significa que la prueba se aplicará a los primeros  $2*60$  términos disponibles, y luego esta ventana de 120 términos se desplazará 60 términos hacia adelante para repetir la prueba y así sucesivamente hasta alcanzar el final de la serie. Este valor por defecto resulta adecuado para valores mensuales, pero es demasiado grande para los anuales, y posiblemente demasiado pequeño para datos diarios.

- snhtt: valor límite para la prueba SNHT aplicada a las series completas. Por defecto tiene un valor de 50 (bastante conservador), y puede cambiarse a 0 para inhabilitar esta prueba.
- mxdif: máxima diferencia de datos en iteraciones consecutivas. El cálculo iterativo de las medias (opcionalmente las desviaciones típicas) de las series se detendrá cuando la máxima diferencia de cualquier dato respecto a su valor en la iteración anterior sea como máximo igual a este valor, fijado por defecto en 0,05.
- force: parámetro lógico para forzar la fragmentación de las series incluso cuando solo haya una referencia disponible. Por defecto vale *FALSE*, evitando las fragmentaciones con una sola referencia.
- a: constante a añadir a los datos tras leerlos del fichero de entrada. En combinación con el siguiente parámetro b, permite aplicar una transformación lineal a los datos si, por ejemplo, los datos originales vienen expresados en unidades diferentes a las deseadas. (Por defecto vale 0).
- b: factor a aplicar a los datos. (1 por defecto).
- wz: factor a aplicar a las altitudes de la estación antes de calcular la matriz de distancias euclídeas o distancia entre dos puntos. Por defecto vale 0,001, para dar a la coordenada vertical (dada en metros) el mismo valor que a las horizontales (dada en kilómetros).
- deg: usar *TRUE* (verdadero) si las coordenadas geográficas se dan en grados, o dejarlo en su valor por defecto *FALSE* (falso) si se dan en

kilómetros (la unidad de distancia usada internamente en el paquete de Climatol).

- ndec: número de decimales de los datos de salida homogeneizados. (1 por defecto).
  
- mndat: mínimo número de datos para que un fragmento se convierta en una nueva serie. Si se deja en su valor por defecto (0), se fijará en la mitad del valor del parámetro cuando se aplique a datos diarios, y se igualará al valor de nm en caso contrario, con un valor mínimo absoluto de 5. (Si se da un valor demasiado bajo, las medias y desviaciones típicas de las series no serán fiables, y lo mismo sucederá con la reconstrucción de las series).
  
- gp: parámetro gráfico. Darle un valor:
  - 0, para no generar ninguna salida gráfica.
  - 1, para obtener únicamente los gráficos descriptivos de los datos de entrada. (No se realizará ninguna homogeneización).
  - 2, para obtener también los gráficos de anomalías.
  - 3 (valor por defecto), para obtener también los gráficos de medias móviles anuales y correcciones aplicadas.
  - 4: como con 3, pero en lugar de medias móviles anuales se representarán sumas móviles. (Preferible cuando se trabaje con datos de precipitación).

- read: dar *FALSE* si no hay que leer los datos porque ya se ha hecho con otros procedimientos de R.
- na.strings: cadena de caracteres que representa los valores ausentes. Su valor por defecto es el estándar de R, "NA".
- nclust: número máximo de estaciones para el análisis de agrupamiento. Por defecto, si el número de series de entrada es mayor que 100, los gráficos iniciales descriptivos de los datos de entrada se realizarán sobre una muestra aleatoria de *nclust series*.
- maxite: número máximo de iteraciones para el cálculo de las medias de las series. 50 por defecto, para evitar un tiempo de proceso demasiado largo cuando la convergencia sea muy lenta.
- ini: fecha inicial. Vacía por defecto, si se fija (con formato 'AAAA-MM-DD') se supondrá que las series contienen datos diarios.
- vmin: valor mínimo posible (límite inferior) de la variable estudiada. No tiene ningún valor por defecto.
- vmax: valor máximo posible (límite superior) de la variable estudiada. Por defecto no se establece ninguno pero, por ejemplo, puede ser útil usar  $vmax=100$  y  $vmin=0$  para datos expresados como porcentajes, como la humedad o la insolación relativas.

El ejemplo más simple para efectuar una homogeneización de series con esta función es:

```
homogen ("Prec", 1960, 2014)
```

Donde Prec sería el nombre del archivo con extensión dat y est, y 1960 y 2014 representan el período de estudio que se pretende homogeneizar.

La orden `homogen ("Prec", 1960, 2014)` genera cuatro ficheros de salida, almacenados en el directorio de trabajo:

- `Prec_1960-2014.txt`: un fichero de texto que guarda la información del proceso tal como sale por la consola.
- `Prec_1960-2014.pdf`: un fichero PDF con una colección de gráficos de diagnóstico.
- `Prec_1960-2014.dah`: un fichero de texto que contiene los datos homogeneizados (con los datos ausentes rellenados). Tiene la misma estructura que el archivo de entrada `Prec_1960-2014.dat`.
- `Prec_1960-2014.esh`: un fichero de texto con las coordenadas, nombres e información adicional de las estaciones de los datos homogeneizados.





#### 4. APLICACIÓN DE LA METODOLOGÍA

Para la aplicación de la metodología, las estaciones deben contar por lo menos con un registro posterior de 30 años, al período en estudio (1960 a 1970). Por consiguiente las estaciones que cumplen con los requisitos para realizar la homogeneización son las siguientes:

Tabla III. Estaciones para el estudio

Núm.	Estación	Coordenada X	Coordenada Y	Coordenada Z	Código
1	Asunción Mita	89,7000	14,3344	478	100301
2	Insivumeh	90,5328	14,5864	1 502	60100
3	Quezada	90,0333	14,2667	980	101301
4	Santiago Atitlán	91,2333	14,5500	1 020	19192
5	Catarina	92,0667	14,8500	232	170301
6	San José Aeropuerto	90,8333	13,9333	6	50805

Fuente: Insivumeh.

Las coordenadas X, Y y Z corresponden a: longitud, latitud y elevación, respectivamente. El número (Núm.) de estación corresponde al orden en que han sido ingresadas al programa Climatol, de aquí en adelante cada estación será identificada con dicho número. A continuación se muestra el registro completo de precipitación mensual en milímetros, que contiene cada estación sin homogeneización de 1960 a 2014:

Tabla IV. Registro de estación Asunción Mita

Estación	ASUNCIÓN MITA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	NA	2,50	NA	70,00	144,50	NA	207,50	263,00	NA	NA	NA	NA
1961	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	234,00	99,00	42,00
1962	NA	NA	NA	18,00	55,00	208,00	137,00	142,00	359,00	120,00	3,70	NA
1963	NA	NA	NA	26,30	68,20	268,30	176,60	72,50	192,80	15,90	NA	NA
1964	NA	NA	NA	47,90	211,80	285,70	343,90	220,20	184,50	38,40	16,50	10,70
1965	NA	0,20	NA	3,70	170,10	239,70	177,40	177,70	166,70	164,40	NA	NA
1966	NA	3,30	4,40	82,50	182,00	342,60	174,90	176,30	124,80	63,30	NA	NA
1967	NA	5,40	13,60	92,40	85,20	195,60	163,00	153,40	135,90	97,50	96,70	NA
1968	NA	NA	NA	57,40	185,90	394,70	126,60	166,70	346,90	238,40	37,30	0,20
1969	NA	NA	10,80	21,20	159,50	298,70	230,10	208,90	329,30	90,70	1,10	NA
1970	3,00	0,00	0,00	87,60	161,80	212,00	298,80	266,70	NA	NA	0,00	0,60
1971	0,00	6,90	3,40	8,30	128,40	153,20	197,40	442,50	301,10	508,90	15,40	0,00
1972	0,00	0,00	0,00	29,10	147,40	327,20	122,30	136,00	129,80	25,80	47,00	0,00
1973	0,00	0,00	0,00	74,10	153,00	301,60	170,30	362,10	186,20	266,40	49,80	13,50
1974	1,10	0,00	27,70	15,50	232,90	291,70	116,80	145,10	150,60	15,50	0,00	0,00
1975	2,00	0,00	0,00	12,90	137,30	181,50	169,90	249,70	367,60	256,00	9,70	0,00
1976	0,00	0,00	0,00	90,90	92,90	367,90	127,10	190,00	227,20	65,70	0,00	0,20
1977	0,00	0,00	0,00	23,40	164,60	325,40	56,60	190,40	201,00	15,70	40,80	4,60
1978	0,00	0,00	0,20	40,50	73,40	184,80	284,70	277,50	286,90	46,60	3,50	28,50
1979	0,00	0,00	0,00	90,70	147,60	189,10	18,90	278,80	140,30	143,30	0,00	0,00
1980	26,00	0,00	0,00	3,00	256,50	401,40	244,60	255,60	263,40	89,20	29,10	0,00
1981	0,00	0,00	0,00	13,30	108,90	367,00	232,70	197,20	195,30	332,00	0,00	26,00
1982	25,00	13,10	2,40	121,90	129,60	303,00	70,70	65,10	348,40	144,70	22,40	0,00
1983	0,00	17,00	35,90	10,00	155,10	353,00	149,90	108,30	263,40	90,70	100,00	0,00
1984	0,00	0,00	4,50	2,10	273,70	262,80	261,20	147,60	328,50	94,00	1,80	0,00
1985	0,00	26,20	0,80	36,30	147,00	183,60	186,60	244,30	277,70	195,80	19,90	0,00
1986	0,00	0,00	0,00	0,50	65,00	232,60	133,50	210,20	171,10	79,20	9,50	0,00
1987	0,00	0,00	12,40	30,50	27,80	550,90	315,30	185,50	243,00	0,00	0,00	0,00
1988	0,00	1,80	2,40	14,90	34,80	294,60	285,00	271,90	313,10	155,30	0,00	0,00
1989	0,00	0,00	9,60	62,70	116,50	254,50	226,20	236,50	343,90	149,50	60,50	0,00
1990	1,40	24,10	0,00	19,60	234,70	99,40	179,90	202,90	238,10	94,60	42,80	4,20
1991	0,00	0,00	2,00	14,10	189,70	223,90	120,30	137,90	193,40	157,80	41,60	74,50
1992	0,00	0,00	0,00	7,30	10,70	295,20	150,70	220,70	251,90	77,30	27,90	0,00
1993	0,00	0,00	2,80	24,30	274,20	252,00	151,10	192,00	223,10	106,60	8,70	0,00
1994	0,20	0,00	0,00	14,70	145,50	399,30	47,10	391,30	134,30	152,80	10,50	0,00
1995	0,00	0,00	8,00	125,70	144,40	261,80	220,20	330,60	392,00	103,80	1,90	3,50
1996	1,70	0,00	0,00	128,50	179,80	286,40	243,00	173,30	461,70	248,60	11,30	0,00
1997	3,80	4,20	10,10	15,90	198,20	287,10	128,10	101,20	263,50	91,90	34,80	7,10
1998	0,00	0,20	17,70	0,00	46,90	352,50	183,30	160,10	166,30	337,30	NA	NA
1999	0,00	NA	NA	10,10	157,00	305,00	168,40	304,20	323,10	309,90	0,00	0,00
2000	0,00	0,00	8,00	30,40	273,30	447,20	127,90	234,80	212,10	52,10	0,00	0,00
2001	0,00	0,00	0,00	37,60	256,50	97,70	366,20	149,30	401,20	184,40	5,10	9,10
2002	0,00	0,80	0,00	4,10	114,10	296,20	203,20	181,20	316,40	110,30	11,00	0,00
2003	1,00	0,00	21,90	14,60	154,80	290,20	209,80	184,60	443,40	100,80	6,20	0,00
2004	0,50	5,00	0,00	0,60	239,20	175,60	221,20	78,90	250,80	136,80	7,80	0,00
2005	0,00	0,00	7,50	5,40	106,50	320,40	262,90	222,10	308,70	201,20	9,40	0,00
2006	0,00	1,70	0,00	21,30	197,40	405,80	217,30	167,00	263,10	243,30	109,90	0,00
2007	0,00	0,00	7,80	48,80	54,00	330,10	245,20	159,80	320,10	82,60	1,10	0,30
2008	1,40	7,30	3,50	30,90	101,20	391,00	337,50	221,40	289,00	156,90	0,00	0,00
2009	0,00	4,40	0,00	5,90	311,20	180,90	267,40	289,80	120,00	104,00	60,00	12,40
2010	0,00	0,00	0,60	91,60	306,50	305,30	334,10	373,40	215,40	44,90	37,00	0,00
2011	0,00	29,60	8,30	19,10	296,50	283,50	364,40	348,90	268,80	372,20	22,70	0,00
2012	0,00	1,30	0,60	44,30	311,20	54,30	160,20	508,10	238,80	108,80	0,00	13,60
2013	0,00	0,00	11,90	32,00	139,40	252,40	NA	NA	491,00	323,30	21,70	0,00
2014	0,00	0,30	13,30	NA	176,70	299,10	25,80	250,10	344,00	NA	6,60	0,00

Fuente: Insivumeh.

Tabla V. Registro de estación Insivumeh

Estación	INSIVUMEH											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DECIEMBRE
1960	3,40	0,40	0,40	6,10	332,00	299,70	166,20	260,20	178,50	156,40	71,50	2,40
1961	8,70	6,30	38,10	25,90	154,50	207,80	198,10	76,70	137,10	19,20	87,30	52,40
1962	0,00	0,00	0,00	38,40	152,50	384,00	220,30	171,90	229,10	105,30	1,40	0,00
1963	1,20	2,00	12,30	15,70	45,20	264,00	151,40	129,40	211,50	50,00	63,00	1,80
1964	0,40	0,00	0,00	60,80	61,30	207,30	345,20	245,90	239,30	49,10	20,90	7,80
1965	13,90	9,60	0,00	3,30	104,60	307,40	60,80	194,90	244,50	101,40	4,10	2,90
1966	8,70	26,70	38,30	53,80	181,80	271,00	173,00	247,50	120,80	121,30	4,00	0,00
1967	2,30	0,20	9,20	46,30	69,80	152,30	95,20	146,40	134,40	87,50	83,60	57,80
1968	0,70	0,00	2,90	1,10	128,30	230,50	111,80	94,80	250,10	183,70	43,80	7,00
1969	0,00	2,90	3,40	46,70	103,30	338,90	260,30	358,50	395,30	155,10	6,80	0,00
1970	0,00	0,00	0,00	0,00	98,10	207,40	358,50	260,50	392,40	105,30	40,60	1,70
1971	1,80	3,40	2,50	7,90	132,60	224,20	175,30	254,80	188,50	183,10	34,20	1,80
1972	0,00	0,00	7,20	2,20	129,00	222,90	152,40	105,20	134,90	62,30	28,20	4,00
1973	0,60	0,40	0,00	11,60	115,40	261,80	187,20	288,50	374,20	132,60	25,40	1,00
1974	11,70	0,00	36,60	0,00	166,00	244,80	101,30	163,50	292,00	40,40	3,00	0,00
1975	2,50	0,20	0,00	14,90	58,50	222,20	88,90	139,40	384,10	161,60	14,90	2,50
1976	0,00	0,00	0,00	81,30	135,50	330,00	132,50	97,30	114,00	176,90	10,50	0,00
1977	0,00	0,00	0,00	13,90	97,80	183,00	51,20	191,30	97,80	92,90	77,70	7,20
1978	1,50	0,00	33,00	17,50	55,30	107,10	171,80	127,70	266,90	80,40	3,50	8,10
1979	0,00	0,00	4,10	75,20	85,80	152,80	361,30	212,60	278,90	44,50	0,70	2,80
1980	18,70	2,10	0,00	3,80	120,90	158,70	103,90	176,10	192,70	106,40	9,10	2,70
1981	13,50	0,40	11,30	6,10	73,10	106,80	161,80	158,80	234,20	248,50	33,90	9,00
1982	4,60	0,50	0,30	2,20	146,00	305,80	149,90	37,20	344,00	96,10	0,00	3,20
1983	0,70	64,20	44,30	20,90	50,40	307,20	113,80	93,40	260,00	66,00	69,90	24,50
1984	0,40	1,30	6,50	11,50	152,10	211,30	230,40	81,80	313,60	80,20	2,50	1,20
1985	0,50	12,60	4,10	1,20	97,70	150,80	271,90	184,50	196,30	84,60	9,90	0,50
1986	2,50	0,00	0,40	13,10	103,40	153,20	149,60	162,20	246,90	119,60	7,50	0,00
1987	0,00	0,00	52,90	52,60	55,80	279,80	204,00	153,30	224,70	11,10	0,60	1,70
1988	3,40	0,90	26,50	4,70	64,50	429,20	208,90	458,40	258,30	225,10	2,50	11,30
1989	1,00	3,50	19,90	16,70	139,20	211,30	172,60	252,20	242,00	128,90	10,50	2,80
1990	4,50	0,40	0,70	21,90	190,60	205,60	156,60	64,10	242,60	58,50	46,20	6,60
1991	4,60	0,80	14,40	14,40	128,90	328,60	157,60	68,30	180,80	189,70	16,10	51,80
1992	1,50	0,00	11,70	32,50	21,90	261,30	189,20	210,50	151,50	134,00	21,80	0,60
1993	0,10	0,00	11,40	97,40	65,30	300,40	110,40	233,90	229,00	112,90	29,50	0,10
1994	5,00	0,40	1,20	12,50	122,50	170,00	125,00	252,90	188,00	101,20	3,00	3,00
1995	0,20	0,80	3,40	72,60	114,40	325,90	219,30	236,60	396,30	119,80	25,20	9,50
1996	14,40	2,00	2,30	80,90	104,40	227,20	188,10	111,60	339,40	134,40	20,60	4,40
1997	10,60	10,20	2,10	13,40	58,90	170,30	153,80	91,80	268,40	130,90	37,00	12,30
1998	3,60	0,00	21,10	0,00	68,90	286,50	236,00	210,60	127,60	224,10	355,50	3,60
1999	1,00	25,20	0,40	6,40	96,90	294,90	276,80	220,80	335,90	172,50	19,70	3,00
2000	1,50	0,00	14,30	40,90	231,40	301,10	62,10	130,40	220,20	41,50	14,50	1,60
2001	1,10	4,80	2,60	4,10	129,50	162,80	175,10	223,70	152,70	137,60	19,60	1,30
2002	0,00	6,60	0,00	12,70	76,40	208,40	163,70	109,30	242,90	108,60	83,60	0,20
2003	0,90	14,40	20,30	36,80	167,60	301,30	186,80	109,40	374,20	42,10	18,60	2,00
2004	0,20	0,50	23,90	5,20	108,30	314,50	197,20	97,60	228,20	166,70	0,00	0,20
2005	2,00	0,00	6,70	2,60	141,90	211,80	415,10	278,30	180,20	128,70	23,00	5,70
2006	11,30	0,40	6,30	32,60	153,00	449,80	200,60	93,30	211,70	216,90	39,20	11,60
2007	1,40	0,00	0,90	31,20	84,80	206,70	219,60	333,00	287,00	114,40	2,10	1,50
2008	3,30	11,90	3,40	22,40	169,60	460,30	410,60	187,30	354,80	67,40	0,00	0,00
2009	0,00	4,00	0,00	17,30	161,00	189,60	94,70	141,50	92,30	81,20	130,50	29,50
2010	0,00	4,70	0,00	108,20	429,40	376,90	317,40	470,80	343,60	26,80	6,40	0,00
2011	0,00	6,70	13,40	15,30	101,50	222,30	238,60	414,20	246,80	384,50	13,80	1,50
2012	3,20	5,30	5,10	40,90	130,40	165,50	121,10	397,50	130,90	71,90	3,20	1,10
2013	0,20	2,60	34,20	12,70	167,10	166,90	262,10	300,20	273,70	224,30	0,00	0,00
2014	0,00	2,10	63,70	10,60	178,40	358,30	52,00	151,50	300,40	239,80	6,30	2,30

Fuente: Insivumeh.

Tabla VI. Registro de estación Quezada

Estación	QUEZADA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE
1960	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1961	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1962	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1963	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1964	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1965	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1966	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1967	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1968	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1969	NA	NA	NA	NA	NA	258,00	172,40	259,10	478,80	154,90	NA	NA
1970	5,20	1,30	0,00	30,10	121,70	166,70	238,60	220,60	278,40	84,20	0,70	0,00
1971	0,00	0,00	8,50	18,10	116,60	212,70	142,00	296,00	262,10	292,30	8,40	0,00
1972	4,40	0,00	0,00	9,00	72,40	79,20	111,50	103,40	58,70	44,80	27,10	0,00
1973	0,00	0,00	0,00	21,10	156,60	144,10	170,50	407,80	247,20	317,90	26,00	16,70
1974	1,50	0,00	42,80	0,40	91,80	142,60	71,40	69,60	154,00	31,70	0,00	0,00
1975	0,10	4,30	0,00	9,50	30,10	79,50	130,60	159,60	119,90	174,40	0,70	0,00
1976	NA	0,00	0,00	33,60	86,80	146,20	86,90	84,20	141,80	43,30	23,90	0,00
1977	0,00	0,00	0,00	4,20	47,80	249,40	92,30	164,50	150,40	26,00	11,70	0,00
1978	0,00	0,00	0,10	0,00	33,70	72,50	224,40	83,20	239,10	66,00	0,00	15,40
1979	1,70	0,00	4,80	44,00	87,90	66,10	84,00	190,90	164,60	99,00	15,80	0,00
1980	6,00	0,00	0,00	0,10	188,70	252,50	190,10	134,30	126,00	29,90	0,40	0,00
1981	0,00	0,00	0,00	35,00	45,70	121,90	172,00	113,70	158,70	286,70	0,00	4,80
1982	0,00	0,00	1,20	21,60	59,20	172,90	80,40	23,30	131,80	73,30	13,30	4,50
1983	0,00	2,20	41,70	14,20	86,00	198,40	NA	181,70	141,60	65,30	2,40	8,30
1984	0,00	0,50	0,40	9,40	185,10	192,80	124,70	129,70	109,90	42,20	0,00	0,00
1985	0,00	0,00	0,00	1,60	111,50	193,40	144,70	273,50	116,00	45,20	32,40	0,00
1986	0,00	0,00	0,00	1,10	27,60	169,60	130,90	162,90	171,20	73,70	6,20	0,00
1987	55,30	0,00	13,70	37,70	7,30	207,70	331,90	142,30	135,30	2,60	0,20	0,00
1988	0,00	6,50	0,00	51,40	64,70	336,20	270,20	286,70	297,10	80,40	34,70	0,00
1989	0,00	1,00	26,70	26,50	98,40	170,40	174,10	340,80	283,60	194,20	14,20	0,00
1990	0,00	4,70	0,00	47,90	191,50	161,40	103,90	122,00	357,60	123,40	82,40	1,30
1991	0,00	0,20	0,00	4,30	138,60	261,80	44,70	104,70	140,70	89,70	5,10	24,50
1992	0,00	0,00	1,20	37,90	15,30	336,20	169,50	195,20	196,40	93,70	5,20	0,00
1993	0,00	0,00	0,00	10,00	65,80	313,60	78,30	247,50	223,70	57,00	5,20	0,00
1994	4,50	0,60	4,50	0,00	144,40	135,50	99,90	186,60	160,80	70,40	25,50	0,10
1995	0,00	0,00	0,30	21,70	54,20	145,60	195,30	153,70	352,40	133,80	0,00	0,70
1996	2,50	0,00	0,00	154,80	171,60	231,00	175,50	211,50	559,50	127,70	10,20	0,00
1997	20,40	0,00	0,00	14,20	114,60	213,10	66,10	108,70	104,30	57,30	76,40	4,50
1998	0,00	35,00	0,00	0,00	26,70	151,10	136,30	267,30	45,80	376,30	135,20	0,00
1999	0,00	0,00	5,30	0,00	21,50	296,30	91,80	249,70	218,50	99,90	1,50	0,00
2000	0,00	0,00	0,00	20,00	142,90	19,10	93,00	148,60	144,10	39,00	5,50	0,00
2001	0,00	0,00	0,00	15,00	94,50	47,80	135,00	73,30	166,30	18,00	5,00	0,00
2002	0,00	0,00	0,00	0,00	72,10	230,00	156,60	61,60	203,30	192,50	5,20	0,00
2003	0,00	0,00	22,80	10,00	41,40	220,10	66,90	313,80	196,30	54,00	0,00	1,80
2004	0,00	0,00	NA	NA	NA	154,00	285,00	138,00	189,00	56,00	7,00	NA
2005	0,00	0,00	14,00	16,20	100,30	341,70	219,10	205,40	225,00	388,40	3,70	0,00
2006	0,00	0,00	0,00	6,80	119,30	345,40	327,30	216,50	216,00	191,60	75,60	0,00
2007	0,00	0,00	40,90	122,30	27,80	172,50	245,90	261,50	435,70	249,50	0,10	0,00
2008	0,00	11,20	0,00	28,10	102,70	353,60	341,10	204,90	243,00	257,70	0,00	0,00
2009	0,00	8,00	0,00	2,10	173,30	191,10	235,00	272,70	175,50	96,40	67,10	21,80
2010	0,00	0,00	0,50	108,30	423,90	389,90	203,40	459,40	411,00	40,00	14,40	0,00
2011	0,00	15,10	1,40	66,20	135,90	302,70	293,50	238,90	220,50	665,80	7,90	0,00
2012	0,10	0,00	0,50	47,20	295,90	256,40	151,20	286,40	150,00	84,00	0,00	0,00
2013	0,40	0,00	0,00	5,80	192,20	273,90	NA	NA	376,00	92,90	9,00	19,40
2014	0,00	0,00	0,40	0,00	159,20	310,60	53,40	198,90	NA	118,30	2,80	0,00

Fuente: Insivumeh.

Tabla VII. Registro de estación Santiago Atilán

Estación	SANTIAGO ATILÁN											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	34,50	35,50	16,00	164,00	419,00	565,00	311,00	542,00	568,00	569,00	157,00	35,00
1961	19,00	279,50	84,00	242,00	162,00	467,00	702,50	400,50	744,00	344,50	410,00	160,00
1962	7,00	27,00	36,00	98,00	422,00	715,00	246,00	579,00	788,00	320,00	88,00	73,00
1963	57,00	123,00	105,00	109,00	248,50	563,00	526,00	258,00	815,00	279,00	283,00	39,50
1964	40,00	57,00	45,00	320,00	425,50	1119,50	518,00	547,00	759,00	542,00	241,00	132,00
1965	42,00	33,50	15,00	136,00	260,00	909,50	478,00	504,50	670,00	831,00	117,00	31,00
1966	14,50	125,50	154,00	370,00	494,50	659,00	634,50	837,50	996,80	625,00	194,10	89,00
1967	64,00	77,00	133,00	290,00	131,00	812,00	376,00	495,00	971,00	410,50	63,00	96,50
1968	26,00	8,80	16,00	376,00	452,50	1317,50	226,00	246,80	673,50	553,00	2685,00	33,30
1969	21,00	96,50	118,70	282,30	462,00	875,00	569,00	1205,00	931,50	642,00	111,50	117,00
1970	NA	NA	NA	NA	NA	165,10	219,40	192,80	388,70	81,40	35,50	0,00
1971	4,10	4,80	4,60	80,20	79,60	162,80	176,00	182,60	109,10	104,70	19,50	0,00
1972	0,00	15,30	0,00	11,90	66,00	311,00	101,60	29,10	94,70	42,60	14,60	0,00
1973	0,00	8,20	0,00	89,90	183,80	275,60	138,40	382,10	184,90	149,60	21,40	1,10
1974	3,10	6,50	24,00	2,60	164,20	320,30	39,10	39,10	295,50	9,90	3,30	0,00
1975	0,00	0,00	0,00	7,20	NA	NA	NA	NA	NA	NA	9,40	2,00
1976	0,00	4,40	0,00	25,70	127,60	376,20	68,70	115,10	127,60	141,20	43,90	0,00
1977	0,00	0,00	2,00	132,50	89,30	134,60	10,90	181,50	142,10	20,20	49,70	1,20
1978	6,90	62,70	86,40	19,60	133,60	243,80	161,00	152,20	540,80	51,30	13,80	7,80
1979	0,00	1,50	19,50	101,30	95,00	203,00	185,50	120,50	483,20	113,10	1,30	0,00
1980	8,10	0,00	1,70	39,30	96,30	200,40	122,50	235,50	192,30	30,10	31,80	8,80
1981	12,00	0,00	94,40	43,40	196,20	367,00	115,00	233,50	130,60	149,00	10,00	26,40
1982	8,30	26,80	11,80	0,00	266,40	205,60	28,40	8,00	319,20	138,60	0,00	0,00
1983	0,00	124,00	37,50	91,50	16,20	178,00	135,90	110,00	134,70	62,90	78,50	0,00
1984	0,00	0,00	44,70	12,00	192,20	139,70	221,00	186,10	301,20	33,10	10,00	0,00
1985	0,00	NA	8,80	NA	NA	NA	NA	168,20	238,50	115,20	97,10	7,70
1986	1,00	4,10	0,00	48,90	242,80	156,70	52,10	93,00	116,80	109,50	11,30	2,80
1987	0,00	0,80	227,20	15,80	48,30	149,40	106,70	84,30	214,60	63,20	NA	NA
1988	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1989	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1990	NA	NA	NA	NA	NA	NA	109,00	70,50	213,10	50,50	16,80	22,10
1991	0,00	0,00	1,50	6,50	179,60	267,70	62,00	86,50	132,30	163,80	5,90	0,00
1992	0,10	0,70	20,10	92,80	103,30	223,30	106,20	79,70	96,40	138,90	46,70	4,10
1993	11,50	0,00	16,10	48,60	165,00	285,80	147,50	215,00	141,00	114,90	4,30	0,00
1994	0,00	3,20	0,00	115,30	63,00	151,30	38,60	146,40	130,80	132,70	44,20	56,70
1995	1,70	1,20	56,70	116,30	153,50	269,90	114,40	221,20	262,30	341,50	0,20	51,50
1996	15,80	0,10	6,00	200,50	267,90	251,20	235,70	221,40	180,50	128,70	21,40	0,50
1997	21,30	14,50	75,40	108,60	78,60	115,40	87,70	74,20	298,20	252,20	166,60	51,30
1998	4,40	0,40	48,30	0,00	67,60	145,10	200,60	128,20	347,40	289,70	29,80	0,00
1999	2,50	1,00	0,00	31,40	71,60	346,60	123,50	136,70	372,10	276,40	54,90	14,30
2000	0,00	0,00	28,40	38,90	261,20	220,60	52,30	197,20	284,60	23,20	88,50	0,00
2001	1,10	4,00	15,70	1,90	189,70	269,50	103,20	111,10	317,70	104,30	6,50	16,00
2002	3,40	1,70	0,00	82,60	192,30	249,40	115,60	50,90	357,40	66,00	41,10	1,60
2003	1,00	3,90	51,50	42,20	135,80	326,10	146,60	83,70	169,40	284,10	8,90	0,00
2004	4,80	31,70	35,30	99,70	181,50	123,80	159,20	58,20	170,70	159,30	5,10	0,00
2005	0,00	0,00	87,70	8,30	241,10	459,50	168,20	111,10	233,40	496,10	25,20	9,20
2006	20,80	1,90	19,60	39,00	266,80	405,80	156,10	153,90	167,70	138,30	11,50	45,30
2007	0,00	0,00	1,50	168,80	60,50	247,40	110,00	243,30	156,50	281,00	9,10	6,10
2008	2,80	15,60	3,30	30,10	82,70	326,50	230,10	244,80	235,00	113,50	4,60	0,40
2009	0,00	0,00	0,00	85,10	318,80	279,70	97,30	71,50	135,50	65,60	63,80	53,20
2010	3,30	133,90	77,00	128,90	459,10	461,60	501,20	434,50	441,10	112,20	62,60	0,00
2011	0,00	6,20	8,70	46,20	87,70	353,50	273,50	211,20	569,40	478,60	1,50	0,30
2012	0,00	7,00	5,90	62,00	243,30	332,90	40,50	220,60	88,00	106,00	8,40	0,00
2013	14,50	0,70	56,50	6,80	221,40	353,20	238,50	172,50	139,50	217,60	NA	NA
2014	0,00	0,40	51,10	15,50	135,80	362,70	28,70	84,50	NA	NA	21,00	0,00

Fuente: Insivumeh.

Tabla VIII. Registro de estación Catarina

Estación	CATARINA											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICEMBRE
1960	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1961	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1962	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1963	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1964	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1965	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1966	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1967	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1968	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1969	NA	NA	NA	66,00	258,90	688,80	440,70	740,80	731,20	792,80	122,90	125,10
1970	2,50	6,30	10,30	109,10	95,70	188,20	742,20	378,10	225,40	558,60	315,90	1,30
1971	84,40	57,10	10,10	117,50	474,00	531,40	439,10	605,20	787,50	300,00	300,00	8,50
1972	13,00	18,40	308,10	363,00	595,40	476,90	402,00	382,20	517,50	337,30	468,30	8,10
1973	7,10	14,30	16,40	287,50	428,60	400,40	830,30	839,40	424,70	705,10	72,40	44,30
1974	186,30	122,70	135,40	150,10	310,70	655,30	298,50	673,40	817,90	206,40	226,00	3,80
1975	37,40	9,60	88,60	94,10	404,20	416,40	734,60	429,50	708,80	350,60	331,10	96,10
1976	58,00	6,50	13,20	338,30	278,50	456,10	307,50	287,00	410,00	413,10	218,50	29,00
1977	6,70	34,70	9,50	250,90	392,20	442,10	243,40	392,60	492,20	410,80	106,30	66,70
1978	31,70	39,90	148,50	138,30	205,20	528,90	350,70	497,30	789,60	221,20	72,90	25,90
1979	1,10	4,80	51,80	250,80	597,50	305,50	563,20	628,60	568,20	607,40	99,80	120,70
1980	32,40	0,60	17,20	223,80	530,10	541,30	573,70	560,60	594,60	771,80	42,40	13,70
1981	26,40	3,10	135,20	171,50	213,30	547,50	456,10	692,80	576,10	647,30	242,40	21,20
1982	26,10	94,80	13,30	544,30	699,70	566,00	317,90	243,30	703,30	410,50	99,60	5,50
1983	0,00	33,20	40,20	35,50	65,70	630,30	443,10	456,00	688,40	481,50	163,30	52,80
1984	0,90	73,90	42,30	29,80	381,10	610,20	673,10	954,30	786,70	262,20	98,80	1,00
1985	1,40	4,70	56,70	126,30	307,40	498,30	489,70	524,50	382,20	593,90	123,60	29,40
1986	22,80	113,80	13,20	87,10	495,20	242,30	393,60	331,40	619,70	679,10	114,20	1,00
1987	0,00	0,00	48,40	150,90	168,00	514,50	680,10	434,10	784,70	367,00	101,80	50,80
1988	55,90	1,20	51,00	40,00	243,20	569,30	452,40	713,90	707,00	405,90	245,60	55,40
1989	38,20	122,70	17,40	92,40	632,40	587,20	395,40	425,80	709,80	525,10	314,40	76,40
1990	13,90	58,30	60,70	222,80	624,30	600,90	665,00	405,80	564,10	490,80	151,90	16,30
1991	13,60	0,50	5,70	93,90	357,00	776,60	388,20	304,00	462,00	516,30	120,80	29,20
1992	17,30	0,30	202,80	167,90	363,80	524,60	424,90	371,60	475,50	308,50	214,60	0,20
1993	61,60	10,80	73,20	168,50	384,80	327,90	317,70	811,80	519,40	386,30	149,20	0,00
1994	7,40	8,20	137,90	103,70	708,10	317,60	77,10	473,30	428,70	696,90	384,60	110,60
1995	6,20	74,70	56,50	202,40	477,70	641,50	889,80	506,30	1063,90	392,00	NA	130,50
1996	0,80	0,00	85,20	392,90	452,60	917,60	294,00	401,90	548,30	523,20	238,10	1,60
1997	0,00	16,30	67,00	185,00	307,80	254,40	371,80	224,80	595,30	325,90	272,30	68,80
1998	0,00	0,00	0,00	23,90	99,80	1017,00	438,60	714,20	716,80	379,50	183,10	3,70
1999	40,30	31,00	82,10	294,90	419,60	542,60	520,90	635,30	531,50	735,40	163,70	43,40
2000	11,00	13,20	9,30	168,30	778,40	647,10	427,90	773,40	620,50	510,30	232,00	0,00
2001	23,00	3,90	151,70	216,50	682,90	461,70	552,00	639,30	426,10	725,60	101,60	183,70
2002	0,00	0,00	3,40	330,50	405,40	440,50	377,90	397,50	676,60	632,20	302,70	1,70
2003	0,00	33,60	17,60	57,60	289,90	539,60	635,80	561,10	719,50	865,20	233,90	0,00
2004	0,00	0,00	76,00	262,30	707,60	516,90	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2005	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	224,30	473,20	509,60	5,40	30,40
2006	11,50	0,00	3,20	99,00	212,80	272,00	259,90	272,30	256,10	509,20	117,70	36,10
2007	59,40	0,00	13,50	95,30	387,00	NA	277,90	447,60	457,30	382,20	3,40	73,70
2008	49,70	17,10	43,70	335,30	132,80	486,60	349,80	687,90	NA	787,80	NA	NA
2009	40,60	5,80	86,70	51,20	NA	NA	NA	NA	376,20	1043,50	149,10	NA
2010	0,00	0,80	4,10	324,40	786,10	889,10	732,80	604,80	880,70	343,00	57,20	15,80
2011	8,40	51,00	219,50	267,20	404,60	506,30	925,90	1013,10	565,80	781,70	101,20	60,40
2012	0,90	82,10	142,40	408,90	446,90	349,40	517,60	687,00	606,20	840,90	72,20	91,50
2013	38,30	44,00	8,10	275,20	468,30	525,00	694,40	690,60	614,30	982,40	262,70	58,40
2014	0,00	6,60	131,10	163,90	572,10	920,00	247,10	504,50	779,20	758,80	183,70	21,50

Fuente: Insivumeh.

Tabla IX. Registro de estación San José Aeropuerto

Estación	SAN JOSÉ AEROPUERTO											
	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	0,00	0,00	0,00	56,00	95,00	274,00	345,00	NA	NA	NA	NA	0,00
1961	0,00	15,30	1,00	6,00	156,80	306,20	362,50	141,80	682,60	123,00	253,80	10,00
1962	0,00	0,00	73,20	10,00	138,10	281,30	55,00	NA	NA	NA	NA	NA
1963	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1964	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1965	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1966	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	21,00	339,00	50,00	0,00
1967	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	326,00	200,00	275,00	551,40	129,00	5,00	22,00
1968	0,00	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1969	NA	NA	NA	0,00	0,00	NA	NA	219,00	125,00	0,30	NA	NA
1970	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1971	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1972	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1973	0,00	0,00	0,00	24,00	296,00	158,10	180,30	343,70	356,10	219,00	53,00	0,00
1974	0,00	0,00	0,00	0,00	253,50	307,00	66,00	77,00	301,00	77,30	14,00	0,00
1975	0,00	0,00	0,00	4,80	4,70	16,20	71,40	170,60	112,90	73,80	47,30	0,00
1976	0,00	0,00	12,00	34,00	166,00	403,00	100,60	103,00	145,00	216,40	81,20	4,00
1977	0,00	0,00	0,00	0,00	91,50	433,90	98,60	67,80	202,60	73,00	17,80	19,00
1978	0,00	2,00	0,00	0,00	91,50	379,90	97,20	198,50	210,00	0,00	0,00	0,00
1979	0,00	0,00	0,00	4,80	23,30	96,30	47,40	177,80	631,10	196,00	0,00	0,00
1980	0,00	0,00	0,10	16,00	158,50	NA	NA	NA	NA	158,50	0,00	0,00
1981	0,00	0,00	0,00	27,10	81,70	266,20	224,30	283,90	158,80	183,30	10,60	9,10
1982	0,10	0,00	2,00	72,50	159,30	440,80	67,80	85,70	379,30	126,90	61,20	0,00
1983	0,00	2,00	7,60	0,00	95,20	76,00	183,40	142,00	478,30	159,50	30,70	18,30
1984	0,00	0,20	3,70	10,50	139,90	422,80	311,40	300,20	366,70	179,20	10,90	0,00
1985	0,00	0,00	20,60	128,30	78,00	222,80	384,40	164,80	95,20	140,80	242,50	4,40
1986	0,10	4,40	0,10	9,00	155,20	149,20	152,20	212,90	283,90	155,10	3,90	0,20
1987	0,00	0,00	0,20	14,50	105,10	142,90	255,70	198,20	84,40	132,00	2,50	0,00
1988	17,80	4,20	0,00	9,20	200,90	269,90	176,70	558,30	113,30	136,30	45,20	0,00
1989	0,00	0,00	0,00	2,90	203,70	144,50	369,90	206,80	641,20	202,30	18,00	0,00
1990	0,00	38,00	0,00	105,40	329,70	307,30	216,30	163,30	107,00	263,60	46,10	29,60
1991	0,00	0,00	5,20	18,60	98,80	437,00	21,00	175,70	150,20	97,80	37,20	7,60
1992	0,00	0,00	83,10	53,00	123,90	266,10	431,10	160,30	419,50	94,80	77,90	0,00
1993	14,80	0,00	5,40	13,80	143,30	497,70	332,70	403,40	376,20	90,80	25,70	0,00
1994	0,00	0,00	0,00	30,50	103,90	149,80	98,50	330,80	205,40	197,10	45,40	13,00
1995	0,00	0,00	0,00	18,60	96,80	323,40	138,30	468,10	175,90	271,30	10,80	3,60
1996	4,80	0,00	0,00	69,60	167,70	299,70	182,00	368,70	392,90	167,60	72,80	0,00
1997	0,00	0,00	14,40	98,00	9,40	276,00	285,80	136,80	636,90	363,20	185,90	41,20
1998	0,00	0,00	0,00	0,00	50,20	263,00	414,40	323,90	221,50	446,00	946,00	0,00
1999	0,00	0,00	14,00	59,40	102,60	434,90	396,00	198,80	517,50	205,60	4,80	67,10
2000	0,00	0,00	32,00	18,70	353,80	181,30	119,80	164,50	276,70	225,90	73,30	0,00
2001	0,00	0,00	10,50	1,60	114,80	190,20	318,50	56,40	297,30	89,40	15,70	0,00
2002	0,00	0,00	0,00	3,10	268,10	209,50	170,40	148,00	237,90	123,10	8,60	0,00
2003	0,00	0,00	58,00	66,00	159,60	547,20	207,70	299,40	236,50	213,00	108,70	0,00
2004	0,00	0,80	5,40	0,50	132,50	207,60	91,80	297,10	236,20	258,60	8,30	4,10
2005	0,00	0,00	1,10	58,00	118,30	487,80	216,60	162,80	365,10	802,30	1,60	0,00
2006	0,20	0,00	NA	12,20	297,30	325,90	320,50	222,10	112,90	163,70	151,60	2,00
2007	0,00	56,80	NA	24,40	191,30	187,70	295,20	480,10	195,60	368,70	0,00	0,00
2008	0,00	58,40	22,20	87,70	202,10	385,10	254,90	316,30	396,50	128,20	1,90	0,00
2009	0,00	0,00	0,00	22,00	189,00	182,40	228,30	338,40	105,10	143,90	NA	NA
2010	0,00	0,40	0,00	83,40	733,10	398,30	450,70	594,70	801,20	83,60	3,90	0,00
2011	0,00	0,00	0,00	56,50	126,00	276,00	220,30	321,90	252,40	683,30	0,40	0,00
2012	0,00	0,20	6,30	41,60	156,70	141,00	159,20	217,20	155,70	226,10	42,60	0,00
2013	1,40	0,00	0,10	77,60	176,80	309,20	201,60	499,60	300,90	205,50	120,20	0,20
2014	0,00	8,90	3,20	23,20	125,20	379,10	NA	459,00	247,10	297,50	6,10	0,00

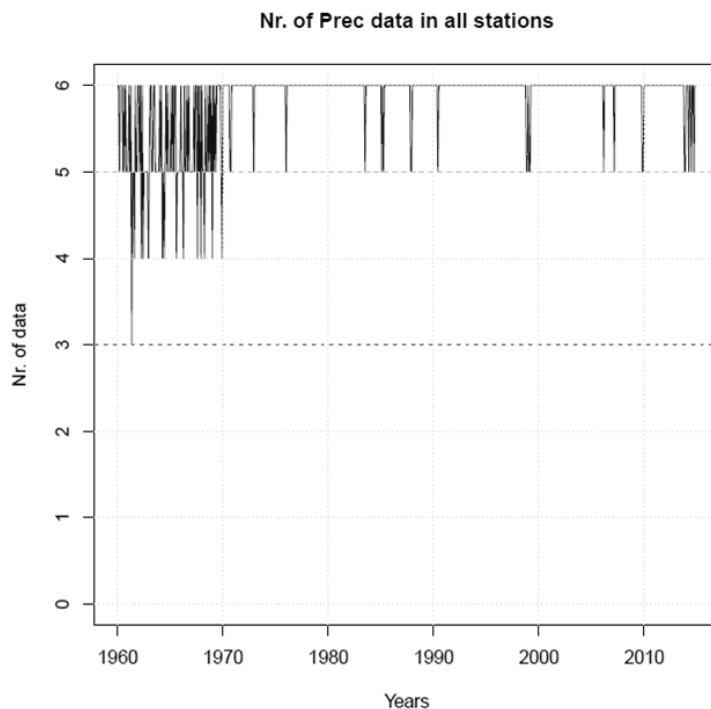
Fuente: Insivumeh.

## 4.1. Gráficas

Al aplicar la homogeneización para las estaciones citadas, el programa Climatol da los siguientes resultados:

Las primeras figuras describen los datos de entrada: número total de datos disponibles en cada paso temporal (figura 6), diagramas de caja (figuras 8 a 19), y un histograma de todos los datos (figura 20). Al inspeccionar los gráficos de la figura 6 se observa la variación que existe de 1960 a 1970 en todas las estaciones, debido a que no existe una homogeneidad y hay varios datos faltantes.

Figura 6. **Número total de datos disponibles en cada paso temporal**

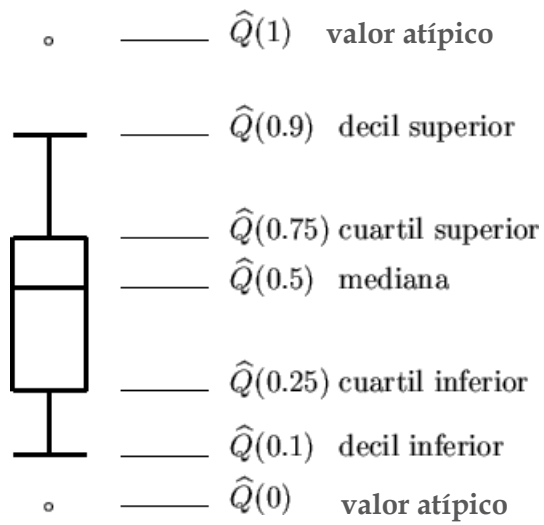


Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.



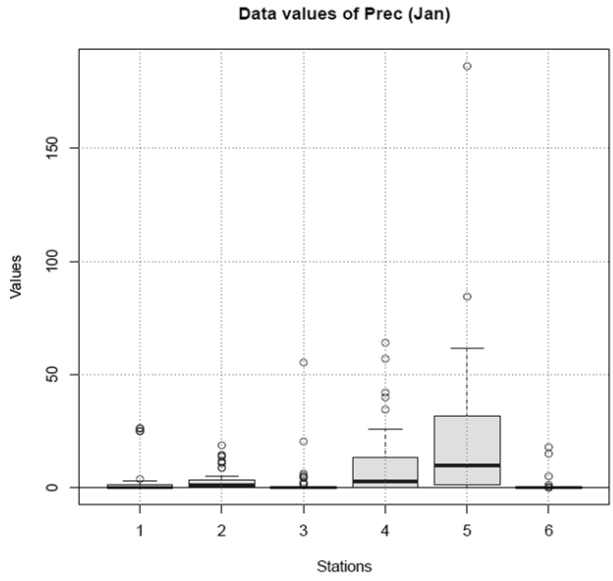
En las figuras 8 a 19 se muestra una representación gráfica de la distribución de datos de precipitación mensual en milímetros. Esto para cada estación, señalando donde se encuentra la mayoría de los valores y los valores que difieren considerablemente de la norma (valores atípicos) que muestran anomalías en los datos (la figura 7 muestra el diagrama de caja y sus partes para una mayor comprensión).

Figura 7. **Diagrama de caja**



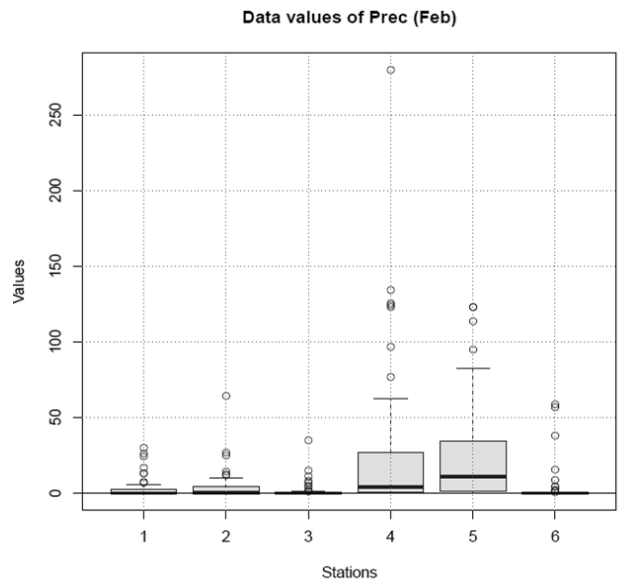
Fuente: elaboración propia, empleando Paint.

Figura 8. Diagrama de caja enero



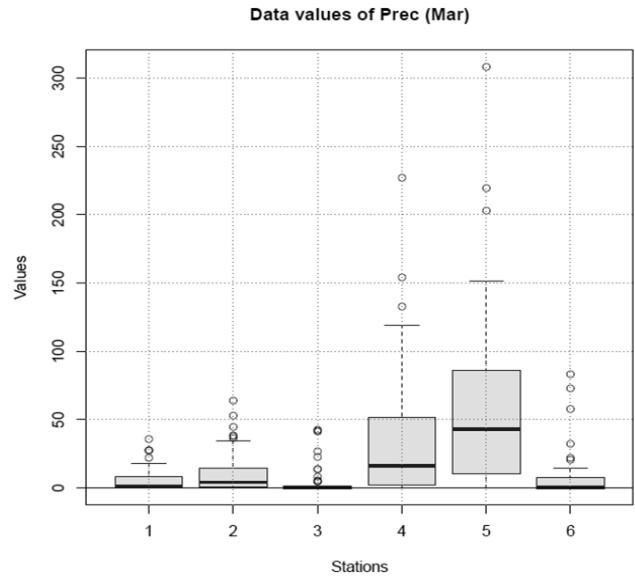
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 9. Diagrama de caja febrero



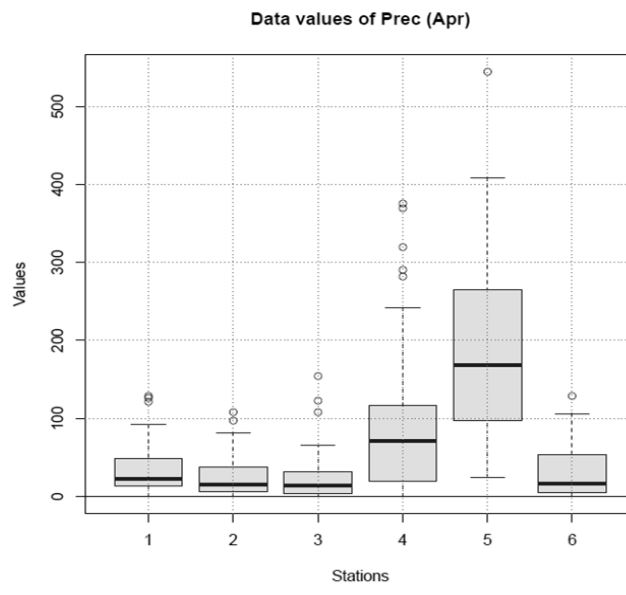
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 10. **Diagrama de caja marzo**



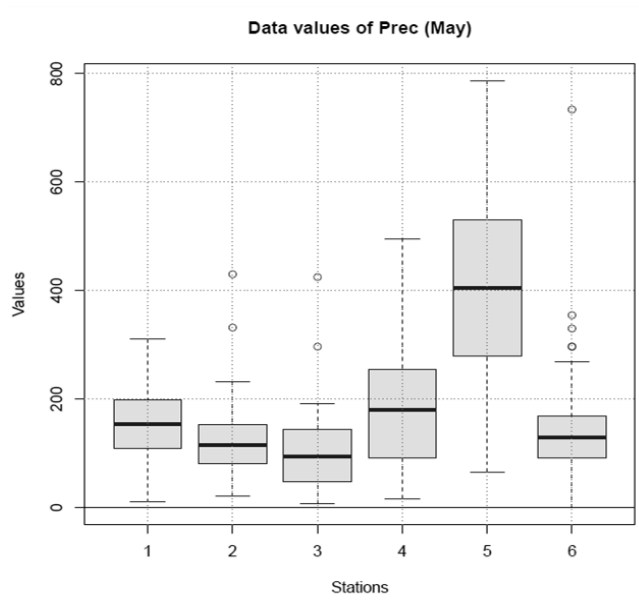
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 11. **Diagrama de caja abril**



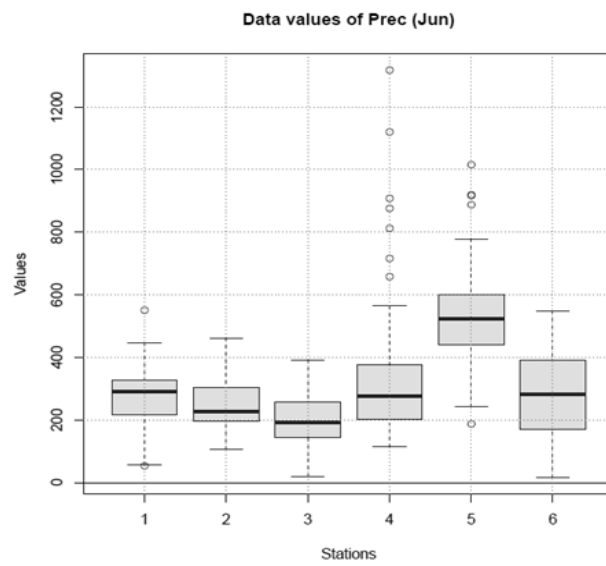
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 12. **Diagrama de caja mayo**



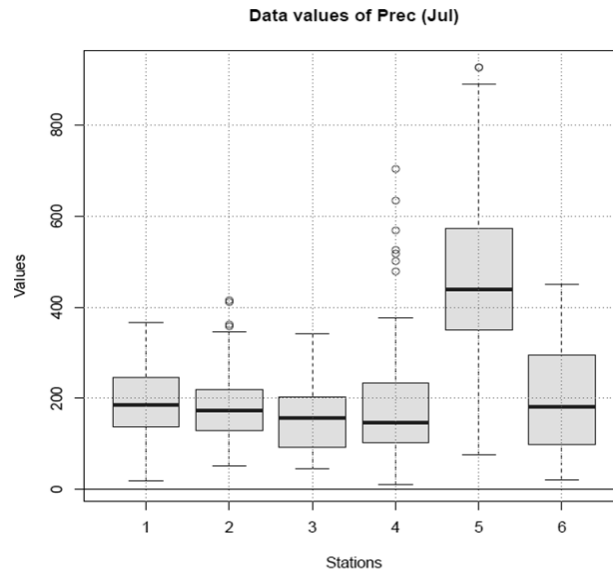
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 13. **Diagrama de caja junio**



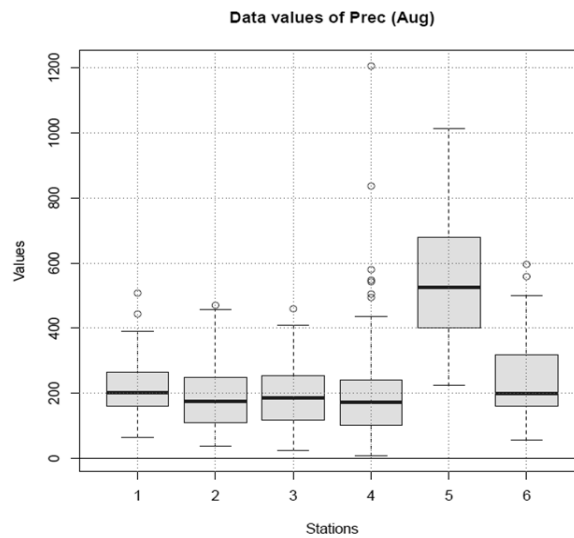
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 14. Diagrama de caja julio



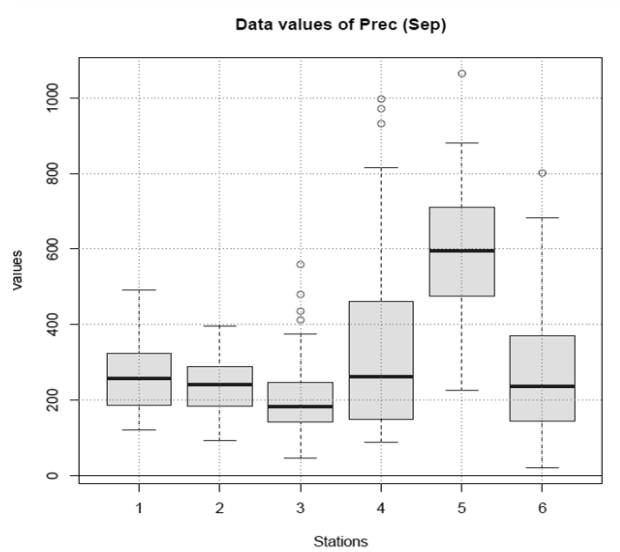
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 15. Diagrama de caja agosto



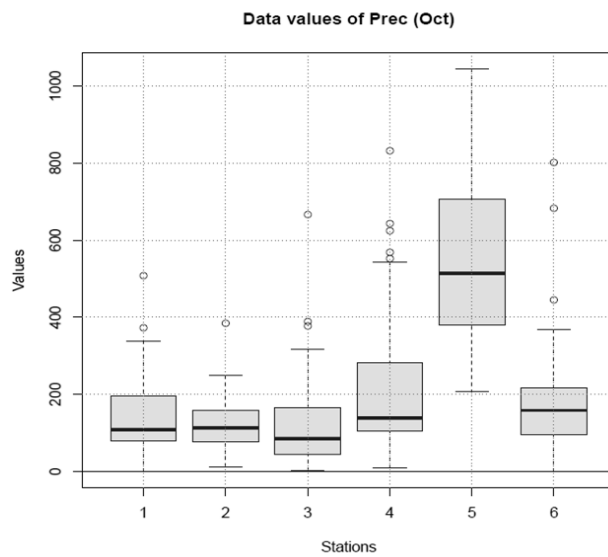
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 16. Diagrama de caja septiembre



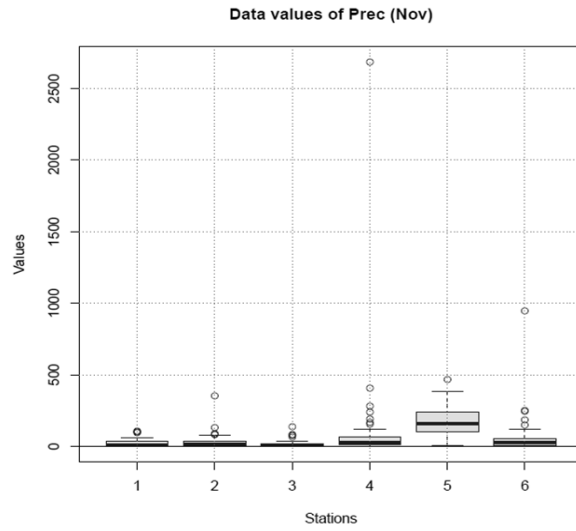
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 17. Diagrama de caja octubre



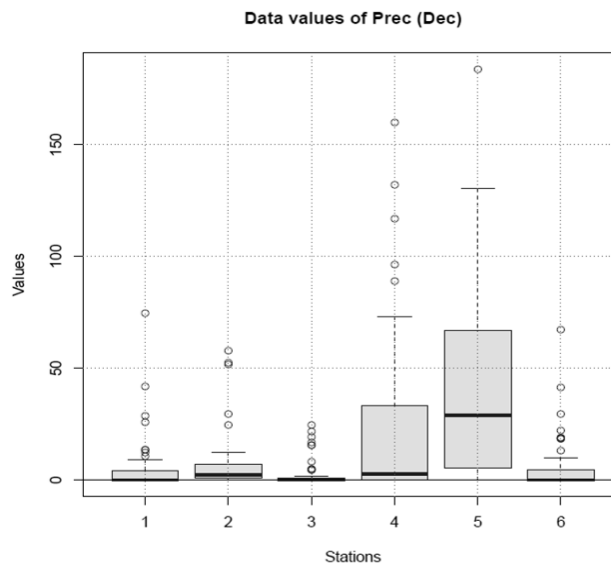
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 18. **Diagrama de caja noviembre**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

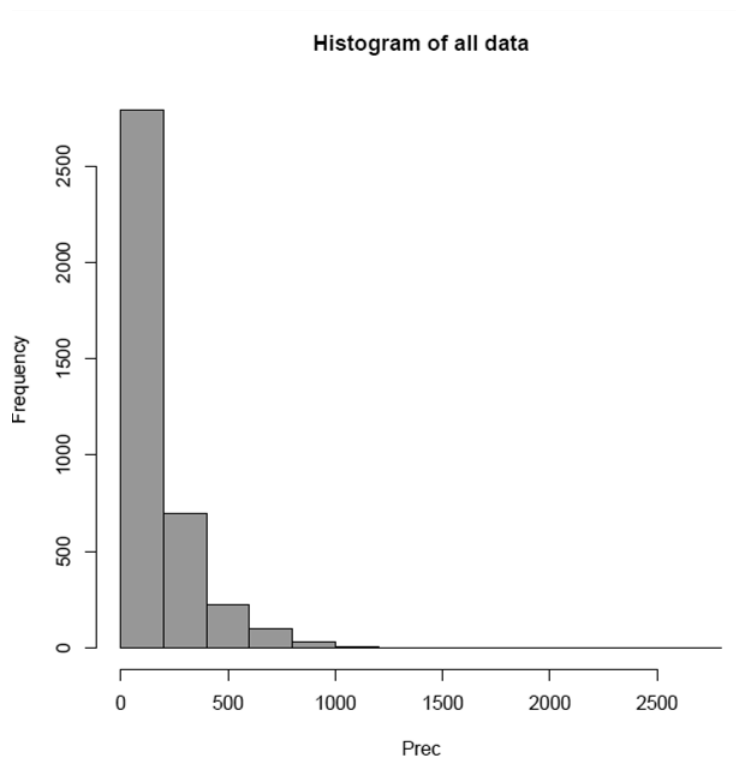
Figura 19. **Diagrama de caja diciembre**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

En la figura 20 se muestra un histograma de todos los datos de precipitación, en donde se observa la frecuencia en la que existen los datos de entrada.

Figura 20. **Histograma de todos los datos**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

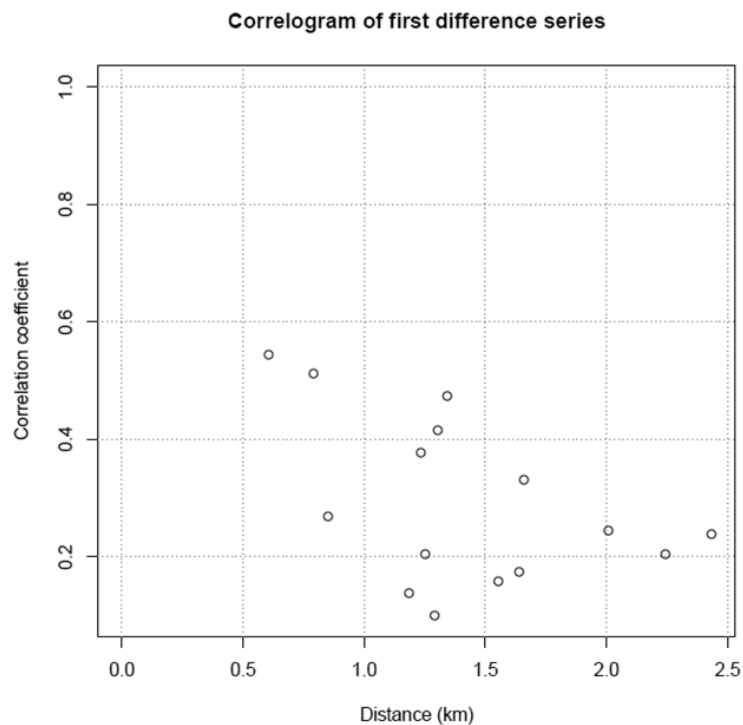
La siguiente figura es un gráfico de coeficientes de correlación en función de la distancia (figura 21). Estos valores de correlación se calculan a partir de las series diferenciadas, para evitar el posible impacto de las inhomogeneidades, y se usan todos los pares de observaciones disponibles.

Este gráfico sirve para comprobar que no haya barreras geográficas que provoquen cambios abruptos en las características climáticas de la zona de



estudio. Se observan por lo tanto valores altos como bajos a distancias relativamente pequeñas, indicando el impacto de las diferentes condiciones topográficas de las estaciones.

Figura 21. **Correlograma de las primeras diferencias de las series**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

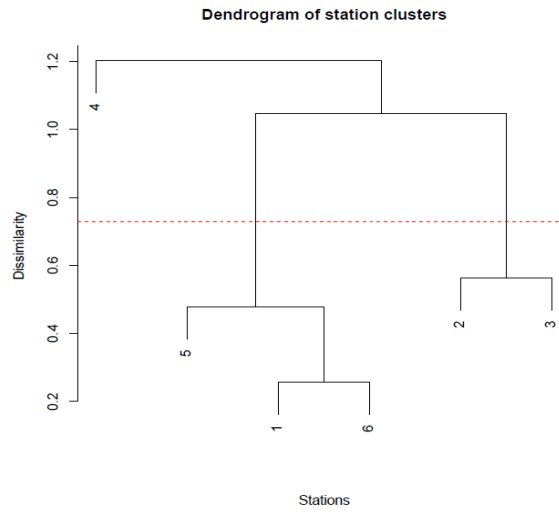
A continuación se presenta el análisis de agrupamiento basado en la matriz de correlaciones. Esto da lugar a dos nuevas figuras: un dendrograma (figura 22), donde pueden verse las estaciones agrupadas por la similitud de las variaciones de sus datos. Un mapa de la ubicación de las mismas (figura 23), identificadas por su número de orden y color distinto según el grupo al que pertenecen.

En el dendrograma (figura 22), se agrupan las estaciones con el objeto de lograr la máxima homogeneidad en cada grupo y la mayor diferencia entre cada uno de los grupos. Este tipo de representación permite apreciar claramente cómo se relacionan las estaciones según la semejanza entre los valores de precipitación y su disimilitud que existe en cada una de ellas aislándolas unas de otras.

Por ejemplo en la estación 4 que corresponde a Santiago Atitlán, se observa que aparece en la parte superior del dendrograma. La razón es debido a que sus valores de precipitación no poseen similitud con los valores de las demás estaciones lo que afectará su homogeneización. Posteriormente se verá en el capítulo 5,2 en la figura 39 como esta estación es la que sufre un mayor cambio.

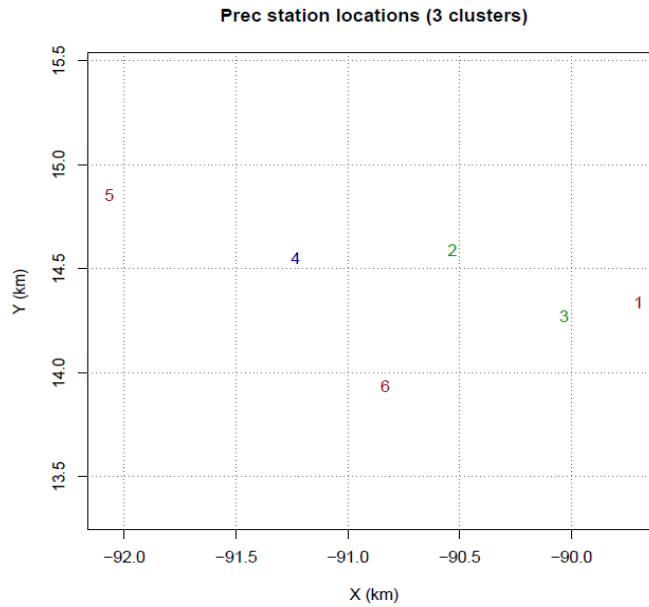
La diferencia fundamental entre las figuras 22 y 23, es la forma de presentación de las estaciones. En la figura 23 se muestra las estaciones ubicadas en un plano en dos dimensiones tomando en cuenta su latitud y longitud. El objeto de este análisis es proveer una primera aproximación a una clasificación climática de las estaciones.

Figura 22. **Dendrograma**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 23. **Mapa de ubicación de las estaciones**



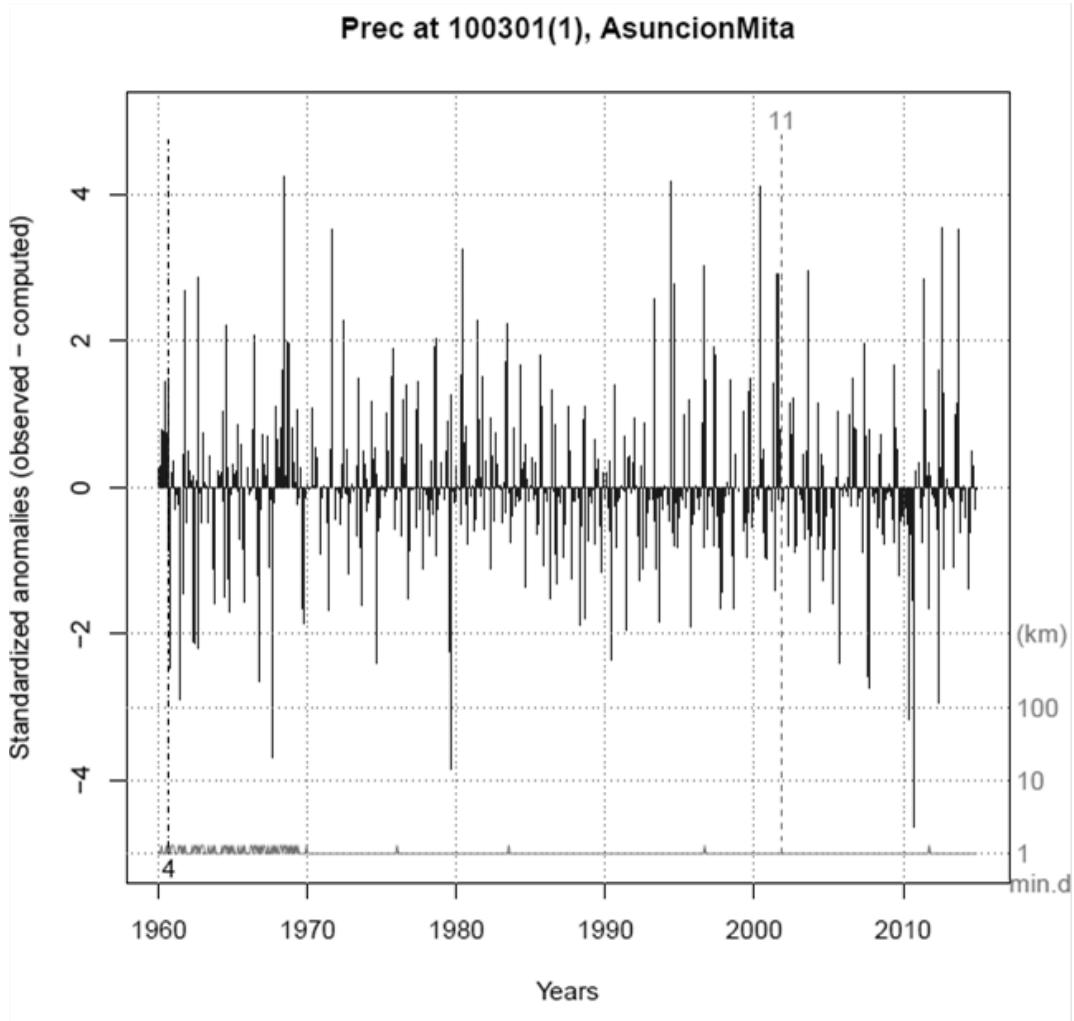
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

## 4.2. Estaciones con problema

Tras los gráficos descriptivos, se encuentra los que describen el análisis de las series con anomalías. En las figuras 24 a 29, las anomalías de cada estación figuran dibujadas como trazos verticales de color negro. Cuando el valor máximo de la prueba de saltos en la media supera el límite establecido, la posición donde se va a cortar la serie se marca con una línea vertical punteada, rotulada en su parte superior con el valor de la prueba (redondeado por defecto).

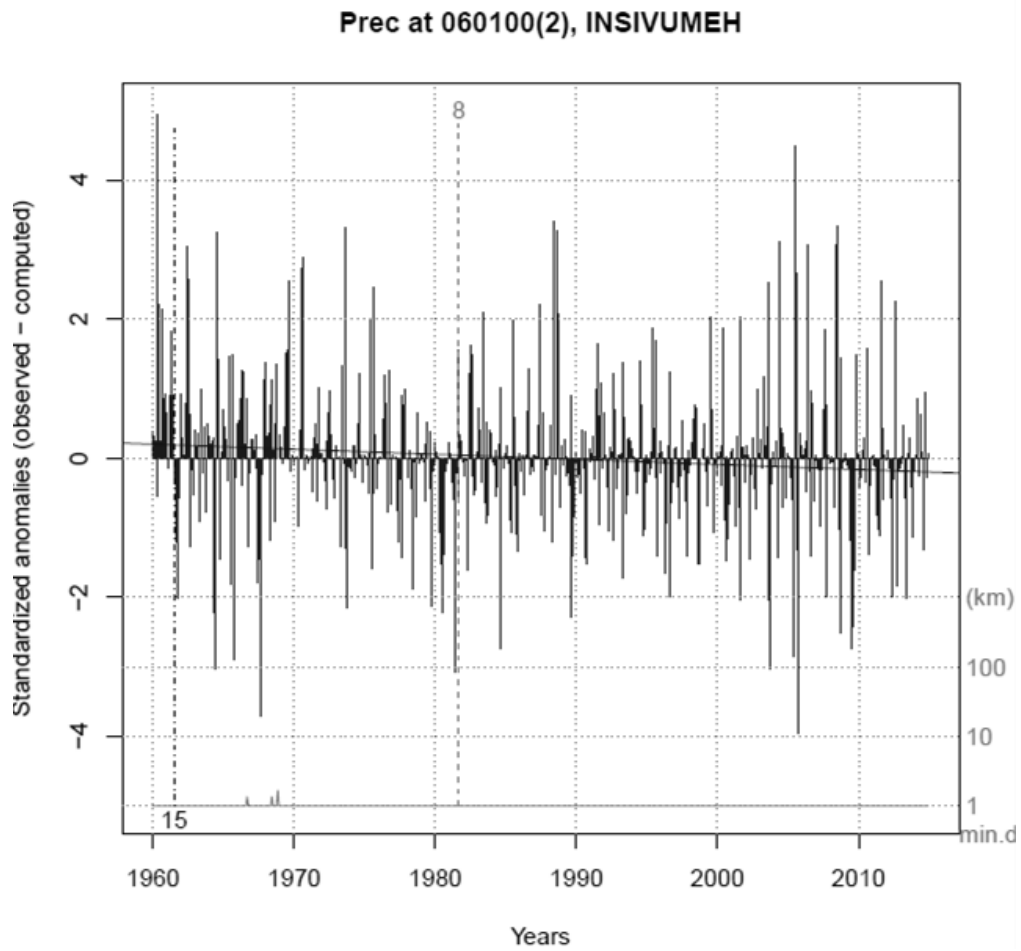
En la parte inferior del gráfico se dibuja en gris la distancia al dato más próximo en cada paso temporal, en kilómetros (con escala logarítmica). Todas las series cortadas se muestran en gráficos similares, para permitir inspeccionar el proceso de homogeneización de forma subjetiva.

Figura 24. **Análisis de anomalías, estación Asunción Mita**



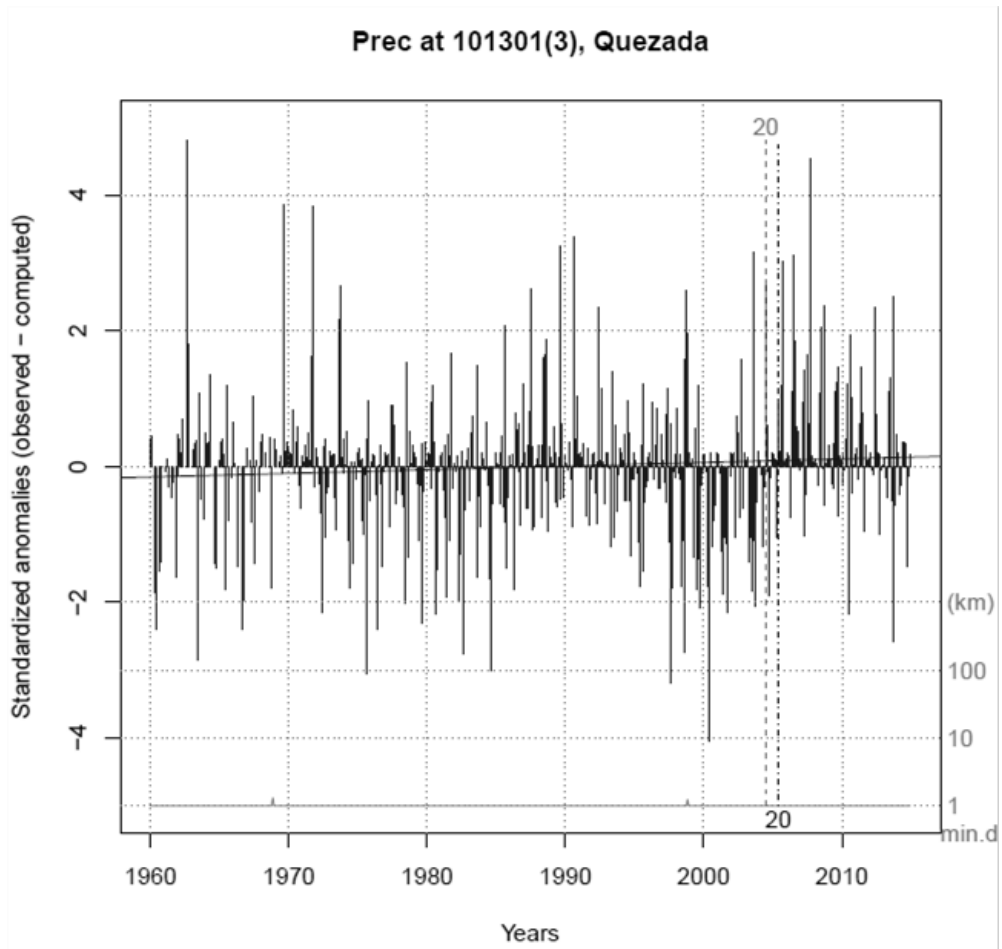
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 25. **Análisis de anomalías, estación Insivumeh**



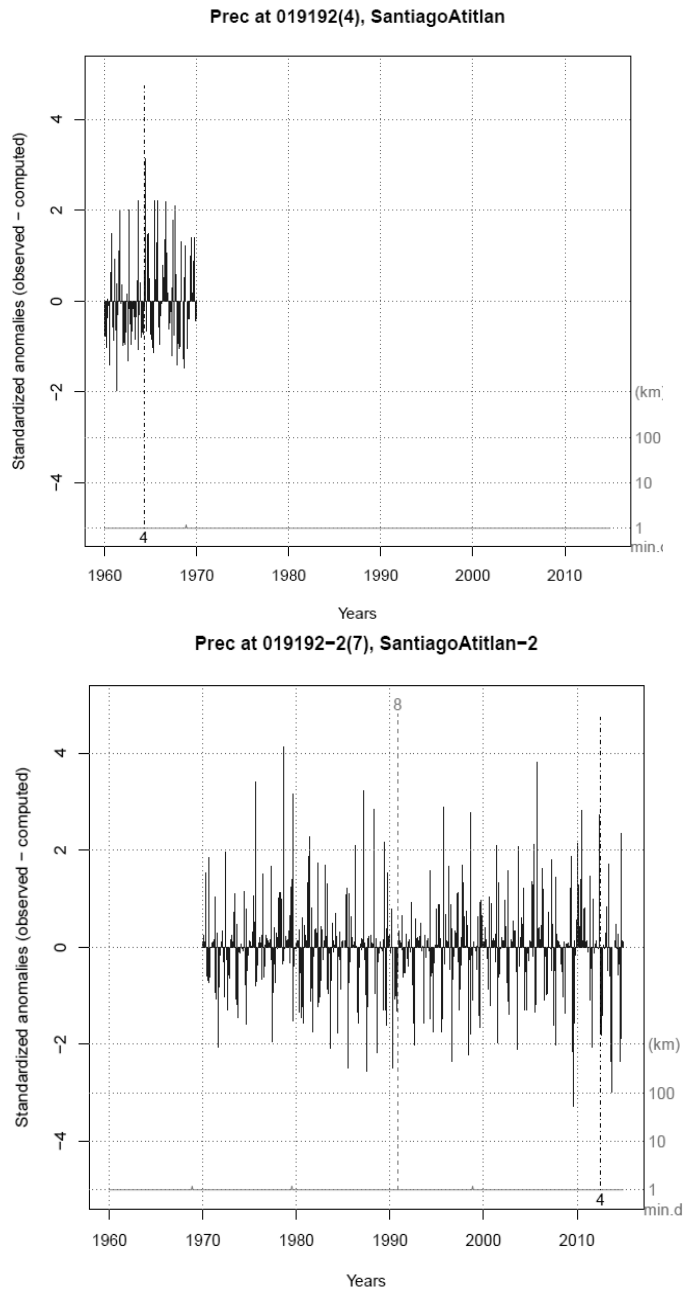
Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 26. **Análisis de anomalías, estación Quezada**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

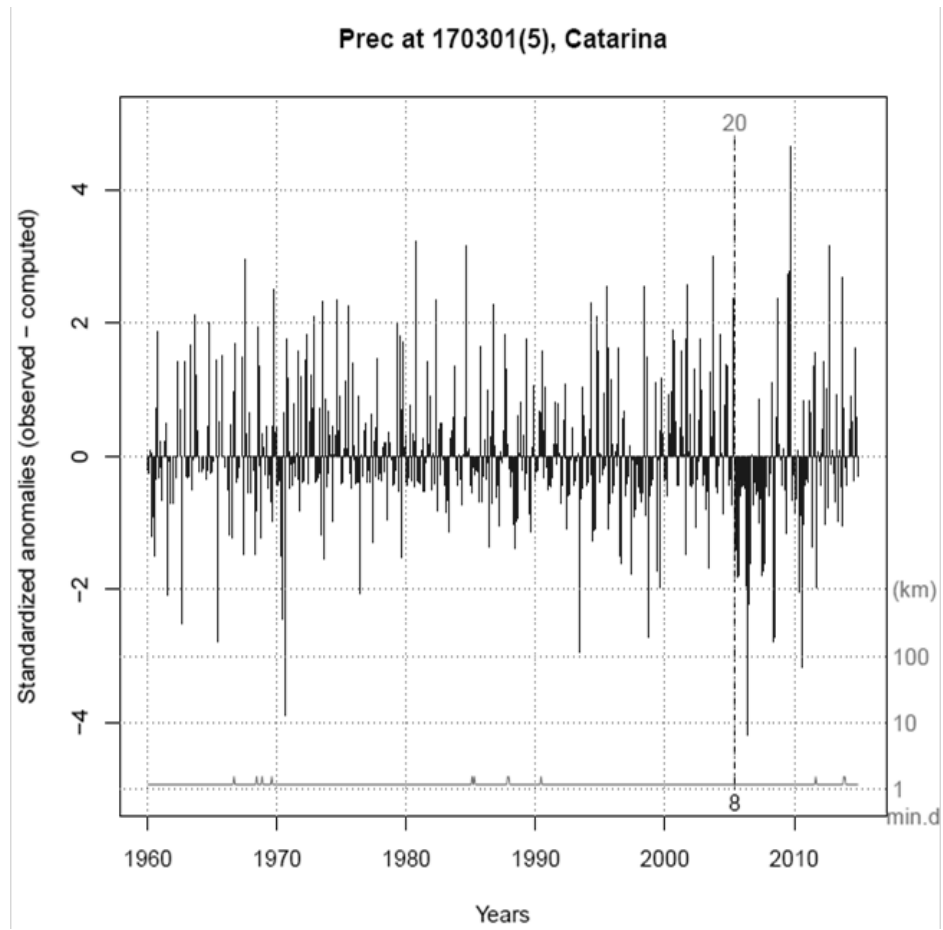
Figura 27. **Análisis de anomalías, estación Santiago Atitlán**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

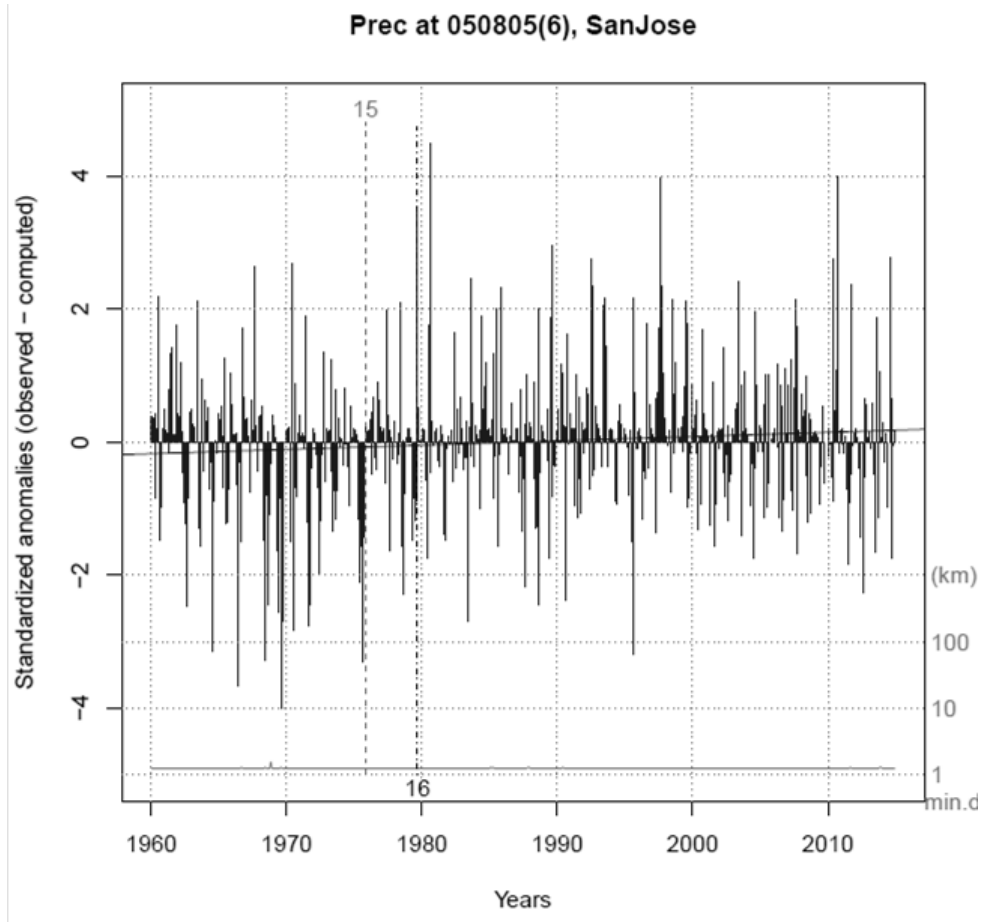


Figura 28. **Análisis de anomalías, estación Catarina**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 29. **Análisis de anomalías, estación San José Aeropuerto**

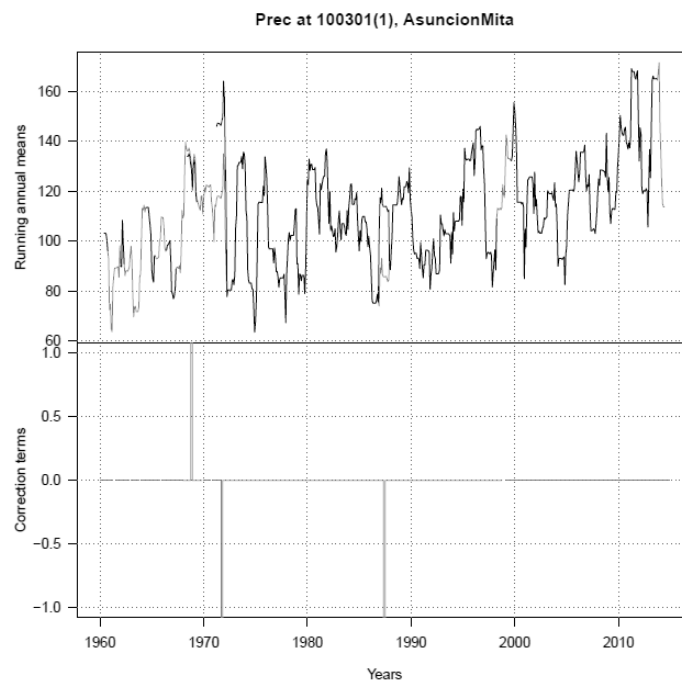


Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Como se observa en esta fase del proceso de homogeneización, se dedica al relleno de todos los datos ausentes, tanto los que ya faltaban en las series originales como los derivados del borrado de datos anómalos y del proceso de fragmentación de las series. Esta última fase genera otros dos bloques de gráficos: de anomalías, similares a los de las dos fases anteriores, y de series homogeneizadas y correcciones aplicadas.

A continuación se presenta un gráfico por cada serie original. Este muestra series anuales originales y reconstruidas (arriba). La serie original es la línea color negro y su reconstrucción es la línea gris. Esta última línea es la recomendación que brinda el programa con base en los cálculos realizados, y correcciones aplicadas a cada fragmento (abajo). Debajo se encuentra la tabla con los datos ya homogeneizados pertenecientes a cada estación.

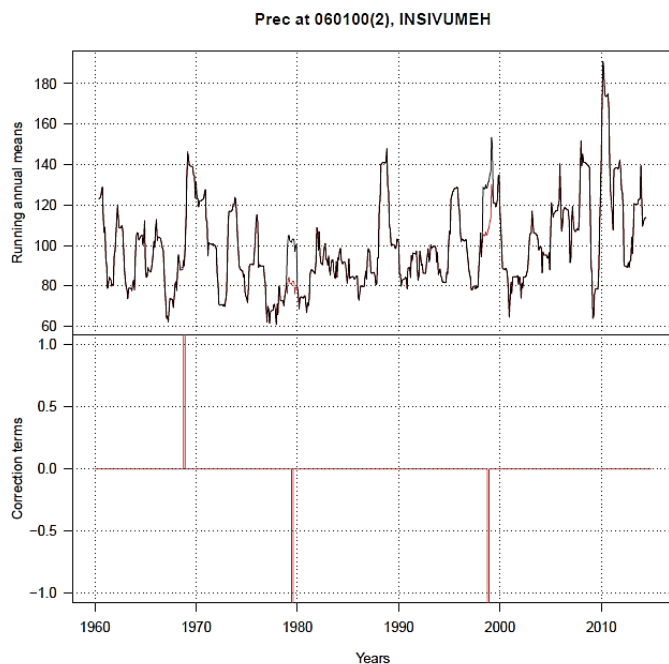
Figura 30. **Serie homogeneizada, estación Asunción Mita**



Estación	ASUNCIÓN MITA											
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	0,00	2,50	27,70	70,00	144,50	301,60	207,50	263,00	150,60	15,50	49,80	4,60
1961	0,00	0,00	0,20	15,50	105,80	56,60	234,40	145,10	135,90	234,00	99,00	42,00
1962	2,00	0,00	3,40	18,00	55,00	208,00	137,00	142,00	359,00	120,00	3,70	15,00
1963	26,00	0,00	0,00	26,30	68,20	268,30	176,60	72,50	192,80	15,90	49,80	10,30
1964	0,00	0,00	0,00	47,90	211,80	285,70	343,90	220,20	184,50	38,40	16,50	10,70
1965	1,10	0,20	0,20	3,70	170,10	239,70	177,40	177,70	166,70	164,40	18,20	5,40
1966	2,00	3,30	4,40	82,50	182,00	342,60	174,90	176,30	124,80	63,30	0,00	0,00
1967	26,00	5,40	13,60	92,40	85,20	195,60	163,00	153,40	135,90	97,50	96,70	9,60
1968	25,00	0,00	27,70	57,40	185,90	394,70	126,60	166,70	346,90	238,40	37,30	0,20
1969	25,00	13,10	10,80	21,20	159,50	298,70	230,10	208,90	329,30	90,70	1,10	5,60
1970	3,00	0,00	0,00	87,60	161,80	212,00	298,80	266,70	308,10	123,80	0,00	0,60

Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

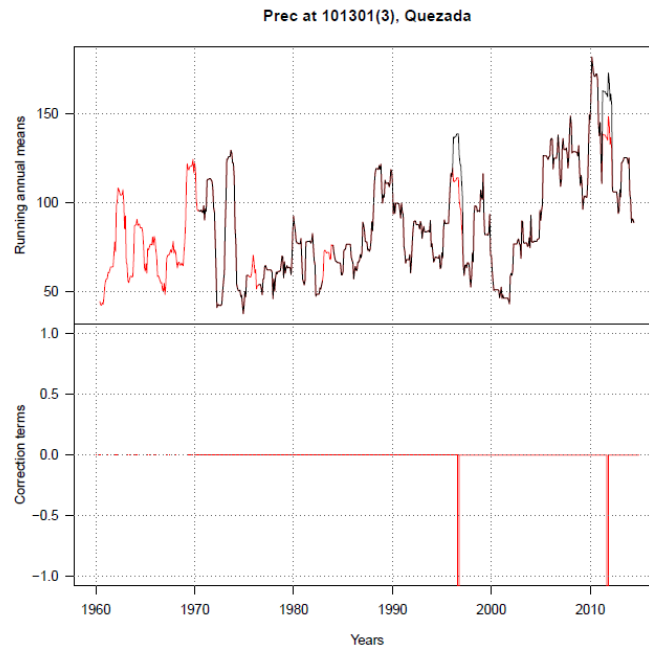
Figura 31. Serie homogeneizada, estación Insivumeh



Estación	INSIVUMEH											
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	3,40	0,40	0,40	6,10	332,00	299,70	166,20	260,20	178,50	156,40	71,50	2,40
1961	8,70	6,30	38,10	25,90	154,50	207,80	198,10	76,70	137,10	19,20	87,30	52,40
1962	0,00	0,00	0,00	38,40	152,50	384,00	220,30	171,90	229,10	105,30	1,40	0,00
1963	1,20	2,00	12,30	15,70	45,20	264,00	151,40	129,40	211,50	50,00	63,00	1,80
1964	0,40	0,00	0,00	60,80	61,30	207,30	345,20	245,90	239,30	49,10	20,90	7,80
1965	13,90	9,60	0,00	3,30	104,60	307,40	60,80	194,90	244,50	101,40	4,10	2,90
1966	8,70	26,70	38,30	53,80	181,80	271,00	173,00	247,50	120,80	121,30	4,00	0,00
1967	2,30	0,20	9,20	46,30	69,80	152,30	95,20	146,40	134,40	87,50	83,60	57,80
1968	0,70	0,00	2,90	1,10	128,30	230,50	111,80	94,80	250,10	183,70	43,80	7,00
1969	0,00	2,90	3,40	46,70	103,30	338,90	260,30	358,50	395,30	155,10	6,80	0,00
1970	0,00	0,00	0,00	0,00	98,10	207,40	358,50	260,50	392,40	105,30	40,60	1,70

Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

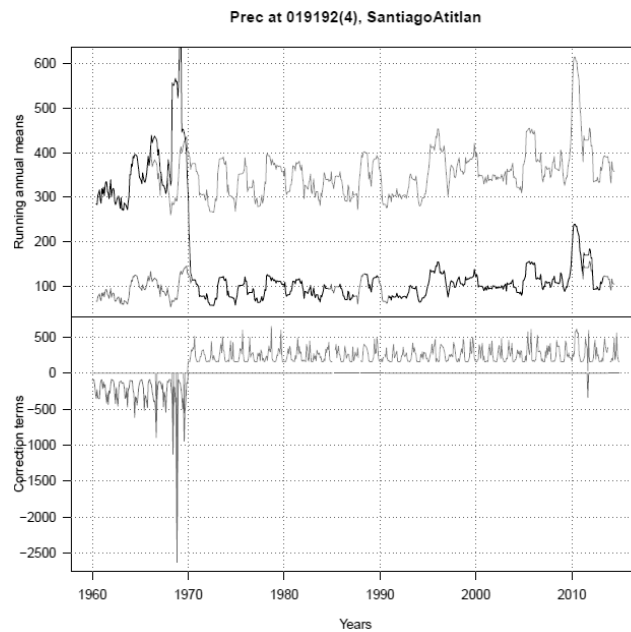
Figura 32. **Serie homogeneizada, estación Quezada**



Estación	QUEZADA											
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	0,00	1,30	16,30	9,50	30,10	79,50	138,70	84,20	153,10	43,30	25,60	16,80
1961	23,00	0,00	0,00	0,40	81,20	153,80	170,50	98,00	154,00	84,30	23,90	0,00
1962	0,00	0,00	0,10	1,30	156,60	246,60	104,00	407,80	183,10	174,40	13,10	21,40
1963	16,30	0,00	4,80	33,60	67,90	72,50	190,10	97,10	164,60	67,70	0,00	0,00
1964	4,40	0,00	0,00	39,20	188,70	289,30	196,00	103,40	197,70	26,00	9,40	0,00
1965	19,60	0,00	0,00	4,20	101,80	142,60	172,00	155,40	131,80	193,10	0,00	15,40
1966	1,70	0,00	2,60	56,30	47,80	200,20	146,80	83,20	88,20	65,30	3,60	0,00
1967	15,40	16,70	1,20	4,20	45,90	249,40	71,40	151,50	262,10	82,30	11,70	0,60
1968	1,50	1,30	17,40	34,10	91,80	169,40	92,90	134,30	207,70	31,70	45,70	4,80
1969	17,40	0,00	2,00	21,60	85,20	258,00	172,40	259,10	478,80	154,90	13,30	3,90
1970	5,20	1,30	0,00	30,10	121,70	166,70	238,60	220,60	278,40	84,20	0,70	0,00

Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

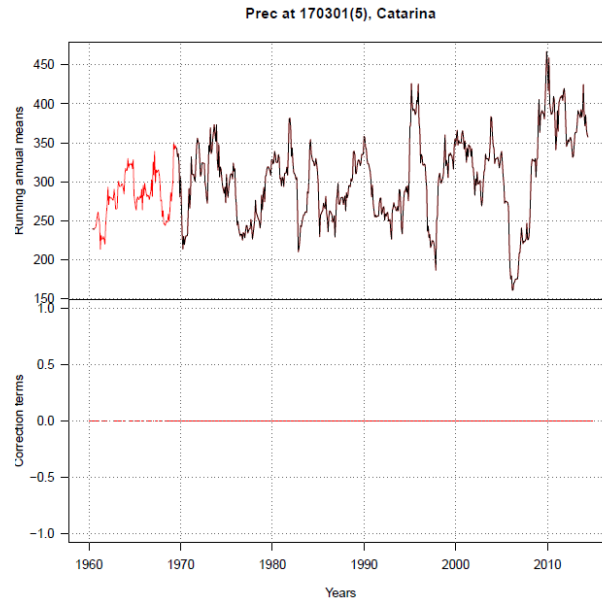
Figura 33. **Serie homogeneizada, estación Santiago Atitlán**



Estación	SANTIAGO ATITLÁN											
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	34,50	35,50	16,00	164,00	419,00	565,00	311,00	542,00	568,00	569,00	157,00	35,00
1961	19,00	279,50	84,00	242,00	162,00	467,00	702,50	400,50	744,00	344,50	410,00	160,00
1962	7,00	27,00	36,00	98,00	422,00	715,00	246,00	579,00	788,00	320,00	88,00	73,00
1963	57,00	123,00	105,00	109,00	248,50	563,00	526,00	258,00	815,00	279,00	283,00	39,50
1964	40,00	57,00	45,00	320,00	425,50	1119,50	518,00	547,00	759,00	542,00	241,00	132,00
1965	42,00	33,50	15,00	136,00	260,00	909,50	478,00	504,50	670,00	831,00	117,00	31,00
1966	14,50	125,50	154,00	370,00	494,50	659,00	634,50	837,50	996,80	625,00	194,10	89,00
1967	64,00	77,00	133,00	290,00	131,00	812,00	376,00	495,00	971,00	410,50	63,00	96,50
1968	26,00	8,80	16,00	376,00	452,50	1317,50	226,00	246,80	673,50	553,00	2685,00	33,30
1969	21,00	96,50	118,70	282,30	462,00	875,00	569,00	1205,00	931,50	642,00	111,50	117,00
1970	0,00	8,20	0,00	89,90	183,80	165,10	219,40	192,80	388,70	81,40	35,50	0,00

Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

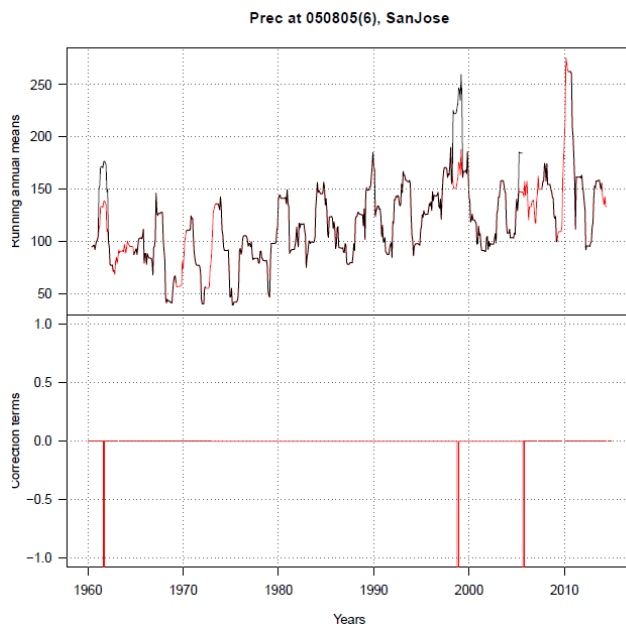
Figura 34. Serie homogeneizada, estación Catarina



Estación	CATARINA											
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	6,70	0,60	51,80	138,30	213,30	442,10	243,40	429,50	568,20	607,40	106,30	66,70
1961	2,50	0,60	70,40	150,10	290,60	541,30	298,50	333,60	492,20	206,40	324,30	3,80
1962	7,10	37,40	17,20	85,80	595,40	714,40	439,10	592,00	225,40	329,90	300,00	8,10
1963	2,50	9,60	17,20	250,90	474,00	531,40	439,10	605,20	558,30	413,10	218,50	8,10
1964	6,70	45,00	9,50	182,90	392,20	823,70	541,30	573,70	560,60	594,60	72,90	72,20
1965	2,50	33,20	38,90	94,10	530,10	278,50	456,10	480,70	509,40	771,80	99,80	29,00
1966	13,00	77,10	10,30	226,70	213,30	655,30	298,50	673,40	424,70	705,10	42,40	53,00
1967	2,50	18,40	75,00	287,50	392,20	400,40	830,30	470,80	789,60	221,20	242,40	13,70
1968	26,40	33,50	9,50	170,00	95,70	416,40	573,70	560,60	594,60	206,40	226,00	66,70
1969	37,90	18,40	135,40	66,00	258,90	688,80	440,70	740,80	731,20	792,80	122,90	125,10
1970	2,50	6,30	10,30	109,10	95,70	188,20	742,20	378,10	225,40	558,60	315,90	1,30

Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

Figura 35. Serie homogeneizada, estación San José Aeropuerto



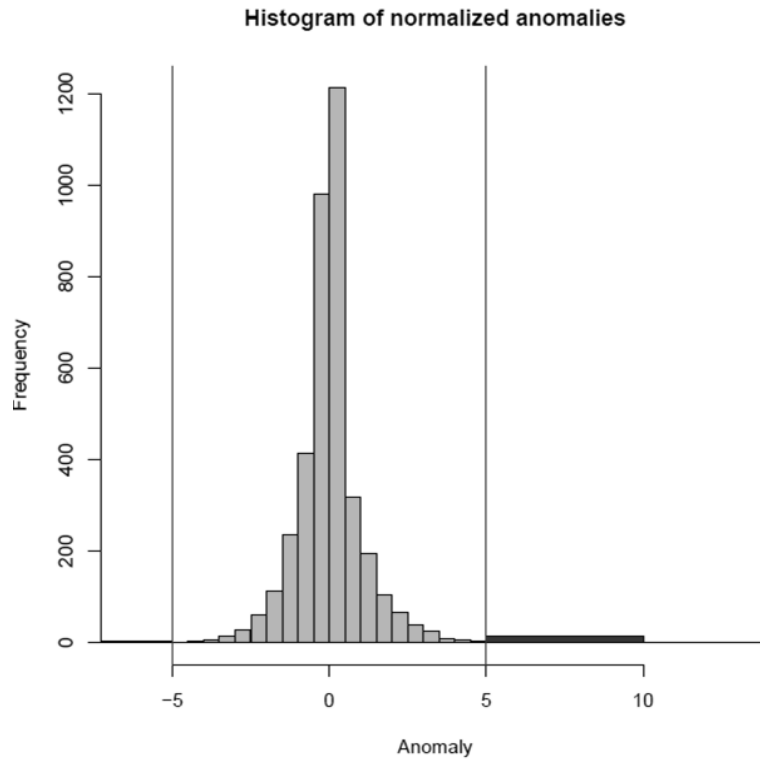
Estación	SAN JOSÉ AEROPUERTO											
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1960	0,00	0,00	0,00	56,00	95,00	274,00	345,00	103,00	145,00	73,80	47,30	0,00
1961	0,00	15,30	1,00	6,00	156,80	306,20	362,50	141,80	682,60	123,00	253,80	10,00
1962	0,00	0,00	73,20	10,00	138,10	281,30	55,00	170,60	77,00	73,00	47,30	0,00
1963	0,00	2,00	0,00	22,50	91,50	433,90	98,60	103,00	145,00	158,50	14,00	18,30
1964	0,00	0,00	12,00	4,80	179,70	379,90	47,40	177,80	210,00	129,00	0,00	0,00
1965	0,00	0,00	12,00	0,00	91,50	403,00	71,40	198,50	145,00	216,40	81,20	19,00
1966	0,00	2,00	2,00	34,00	166,00	16,20	180,30	198,50	21,00	339,00	50,00	0,00
1967	0,00	0,00	0,00	0,00	11,00	326,00	200,00	275,00	551,40	129,00	5,00	22,00
1968	0,00	0,00	12,00	4,80	4,70	16,20	71,40	170,60	112,90	73,80	47,30	0,00
1969	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	158,10	180,30	219,00	125,00	0,30	5,20	4,00
1970	0,00	2,00	2,00	4,80	4,70	433,90	98,60	343,70	301,00	73,80	47,30	19,00

Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

La siguiente figura consiste en un histograma de anomalías normalizadas (coloreando de negro las frecuencias de las que exceden el límite de corrección de datos anómalos). Esto indica después de realizada la homogeneización, la frecuencia de los datos de precipitación para todas las estaciones en estudio.



Figura 36. **Histograma de anomalías normalizadas**



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.



## **5. ANÁLISIS DE RESULTADOS**

### **5.1. Estadísticas de las estaciones**

Las tablas X a XV representan las estadísticas de las estaciones, su media, mediana, varianza y desviación estándar calculadas por medio del programa Infostat (aplicando las ecuaciones 1 a 4). Esto con los datos ya homogeneizados de 1960 a 1970, los parámetros estadísticos están calculados mensualmente.

La media indica el valor promedio de precipitación que hubo durante la década para cada uno de los meses. La mediana representa el valor de la variable de posición central en el conjunto de los datos de precipitación por cada mes. La varianza representa a la diferencia de los datos con respecto a su media.

Tabla X. **Estadísticas de estación Asunción Mita**

Mes	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar
ENERO	10,01	2,00	151,82	12,32
FEBRERO	2,23	0,00	16,34	4,04
MARZO	8,00	3,40	116,32	10,79
ABRIL	47,50	47,90	1040,73	32,26
MAYO	139,07	159,50	2735,13	52,30
JUNIO	254,86	268,30	7957,33	89,20
JULIO	206,38	177,40	7957,33	66,77
AGOSTO	181,14	176,30	4458,02	56,54
SEPTIEMBRE	221,32	184,50	8797,96	93,80
OCTUBRE	109,26	97,50	6072,76	77,93
NOVIEMBRE	33,83	18,20	1353,45	36,79
DICIEMBRE	9,45	5,60	140,05	11,83

Fuente: elaboración propia, empleando Infostat.

Tabla XI. **Estadísticas de estación Insivumeh**

Mes	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar
ENERO	3,57	1,20	22,31	4,72
FEBRERO	4,37	0,40	64,70	8,04
MARZO	9,51	2,90	217,99	14,76
ABRIL	27,10	25,90	527,83	22,97
MAYO	130,13	104,60	6250,69	79,06
JUNIO	260,94	264,00	4628,98	68,04
JULIO	194,62	173,00	4628,98	96,08
AGOSTO	198,79	194,90	9231,08	84,67
SEPTIEMBRE	230,27	229,10	8708,75	93,32
OCTUBRE	103,12	105,30	2540,32	50,40
NOVIEMBRE	38,82	40,60	1120,08	33,47
DICIEMBRE	12,16	2,40	458,92	21,42

Fuente: elaboración propia, empleando Infostat.

Tabla XII. **Estadísticas de estación Quezada**

Mes	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar
ENERO	9,50	5,20	77,76	8,82
FEBRERO	1,87	0,00	24,54	4,95
MARZO	4,04	1,20	42,45	6,52
ABRIL	21,32	21,60	349,89	18,71
MAYO	92,61	85,20	2315,23	48,12
JUNIO	184,36	169,40	5151,19	71,77
JULIO	153,95	170,50	5151,19	49,50
AGOSTO	163,15	134,30	2450,10	99,09
SEPTIEMBRE	209,05	183,10	10990,18	104,83
OCTUBRE	91,56	82,30	3284,67	57,31
NOVIEMBRE	13,36	11,70	193,78	13,92
DICIEMBRE	5,72	0,60	65,63	8,10

Fuente: elaboración propia, empleando Infostat.

Tabla XIII. **Estadísticas de estación Santiago Atitlán**

Mes	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar
ENERO	29,55	26,00	403,42	20,09
FEBRERO	79,23	57,00	6169,94	78,55
MARZO	65,70	45,00	3015,23	54,91
ABRIL	225,20	242,00	12012,69	109,60
MAYO	332,80	419,00	18565,12	136,25
JUNIO	742,51	715,00	100377,55	316,82
JULIO	436,95	478,00	100377,55	170,60
AGOSTO	528,01	504,50	29103,22	289,74
SEPTIEMBRE	755,05	759,00	32411,34	180,03
OCTUBRE	472,49	542,00	43501,72	208,57
NOVIEMBRE	398,65	157,00	586881,31	766,08
DICIEMBRE	73,30	73,00	2502,86	50,03

Fuente: elaboración propia, empleando Infostat.

Tabla XIV. **Estadísticas de estación Catarina**

Mes	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar
ENERO	10,03	6,70	136,78	11,70
FEBRERO	25,46	18,40	527,00	22,96
MARZO	40,50	17,20	1605,24	40,07
ABRIL	160,13	150,10	5143,63	71,72
MAYO	322,85	290,60	28202,75	167,94
JUNIO	516,41	531,40	37678,54	194,11
JULIO	482,08	440,70	37678,54	182,01
AGOSTO	530,76	560,60	33127,40	124,51
SEPTIEMBRE	516,33	558,30	31169,05	176,55
OCTUBRE	491,57	558,60	51142,67	226,15
NOVIEMBRE	188,31	218,50	10595,22	102,93
DICIEMBRE	40,70	29,00	1552,43	39,40

Fuente: elaboración propia, empleando Infostat.

Tabla XV. **Estadísticas de estación San José Aeropuerto**

Mes	Media	Mediana	Varianza	Desviación Estándar
ENERO	0,00	0,00	0,00	0,00
FEBRERO	1,94	0,00	20,48	4,53
MARZO	10,38	2,00	461,36	21,48
ABRIL	12,99	4,80	314,70	17,74
MAYO	85,36	91,50	4928,42	70,20
JUNIO	275,34	306,20	22912,08	151,37
JULIO	155,50	98,60	22912,08	111,52
AGOSTO	191,05	177,80	12437,63	70,84
SEPTIEMBRE	228,72	145,00	42707,01	206,66
OCTUBRE	126,33	123,00	8140,72	90,23
NOVIEMBRE	54,40	47,30	5015,21	70,82
DICIEMBRE	8,39	4,00	88,24	9,39

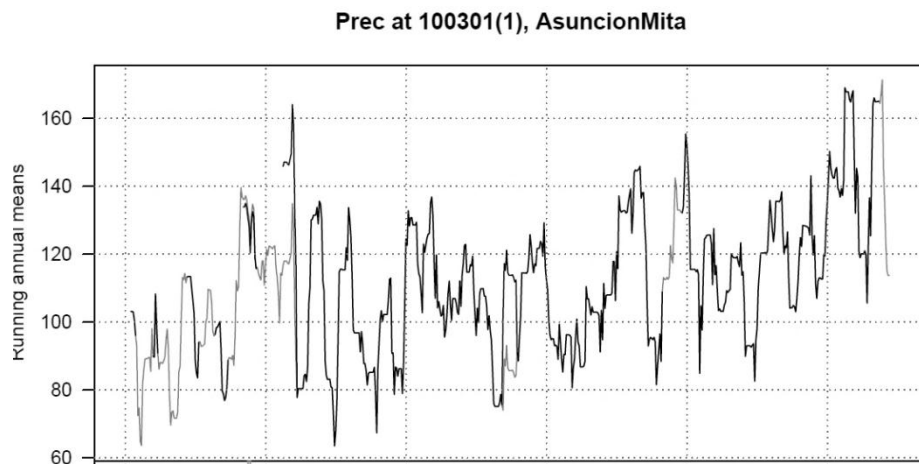
Fuente: elaboración propia, empleando Infostat.

## 5.2. Estaciones con mayor variación

Las estaciones que presentaron mayores variaciones son:

- Estación Asunción Mita: esta estación contaba con un registro más completo para la década de los sesenta. La línea color negro representa los datos existentes y la línea gris representa los datos que se han rellenado y homogeneizado. Por ello se puede apreciar en el gráfico que se eliminaron las anomalías y se rellenaron los datos faltantes, dando una mejor calidad en los datos.

Figura 37. Estación con variación, Asunción Mita

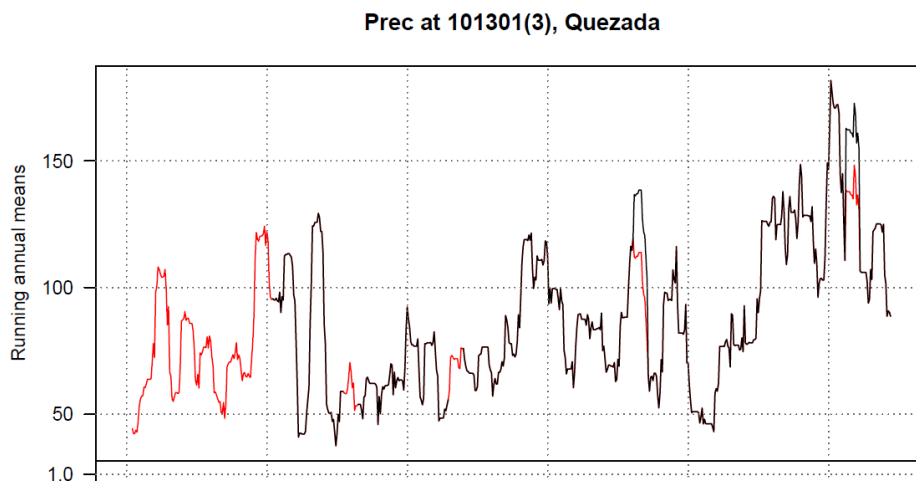


Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

- Estación Quezada: esta estación no poseía un registro completo para la década del sesenta al igual que en algunos otros meses a lo largo del periodo en estudio, por lo que al evaluar el gráfico se puede observar las variaciones que existen y como se completó la serie. La línea color negro representa los datos existentes y la línea gris representa los datos que se

han rellenado y homogeneizado, se puede observar que en donde ya había un registro de datos. El programa Climatol da una variación que se debe a anomalías en el registro.

Figura 38. Estación con variación, Quezada

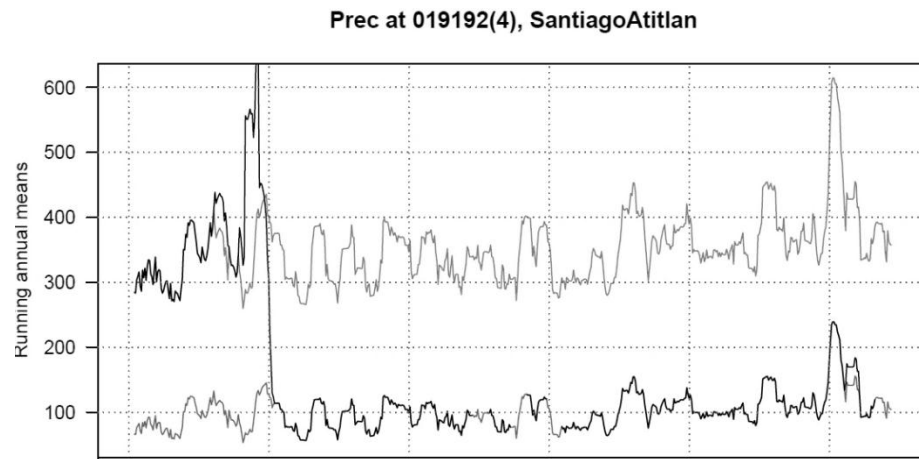


Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

- Estación Santiago Atitlán: esta estación poseía un registro casi completo pero entre la década sesenta y setenta existe una variación en los datos. Esta variación se puede deber a una mala anotación de los datos en el campo así como a un mal manejo en la información. La línea color negro representa los datos existentes y la línea gris representa los datos que se han homogeneizado, se aprecia que el programa reconoce la variación y construye una nueva serie que por lo extenso de la serie de referencia del año setenta en adelante (gráfica inferior).



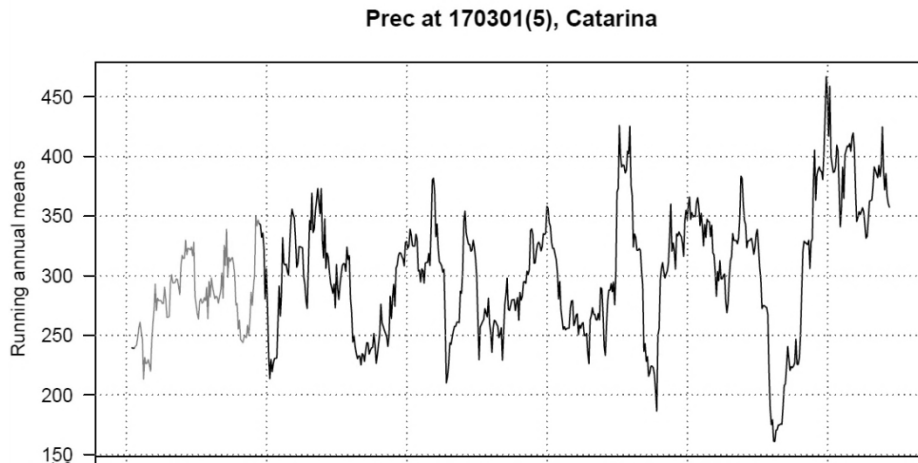
Figura 39. Estación con variación, Santiago Atitlán



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

- Estación Catarina: esta estación no poseía un registro completo para la década del sesenta al igual que en algunos otros meses a lo largo del periodo en estudio, por lo que al evaluar el gráfico se puede observar las variaciones que existen y como se completó la serie. La línea color negro representa los datos existentes y la línea gris representa los datos que se han rellenado y homogeneizado.

Figura 40. **Estación con variación, Catarina**

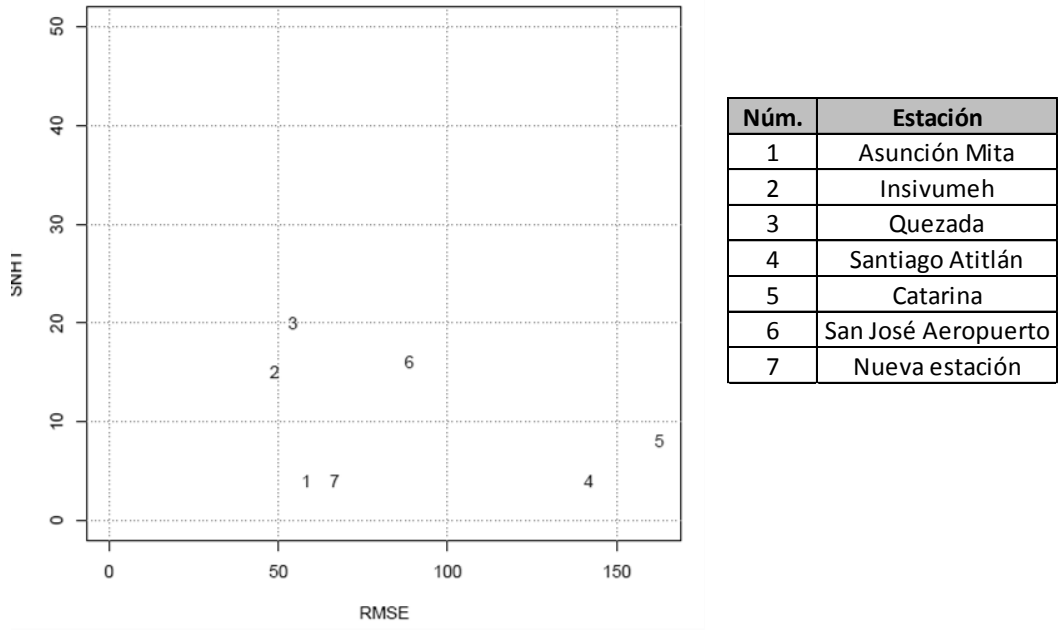


Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.

### **5.3. Ubicación de nuevas estaciones**

Con base en los resultados obtenidos, luego de haber aplicado la homogeneización a los datos de precipitación y tomando en cuenta la ubicación de las estaciones existentes, se hace evidente que se necesita de una nueva estación. Se recomienda que la nueva estación sea ubicada en cercanías de la estación Asunción Mita, de esta manera contribuiría a tener una mejor calidad de datos en el futuro. En la figura 41 se muestra la ubicación de las estaciones existentes y de la nueva estación.

Figura 41. Ubicación de nueva estación



Fuente: elaboración propia, empleando Climatol.



## CONCLUSIONES

1. Se rellenaron y homogeneizaron los datos de precipitación del período de 1960 a 2014 de las estaciones: Asunción Mita, Insivumeh, Quezada, Santiago Atitlán, Catarina y San José Aeropuerto.
2. La homogeneización de los datos de precipitación se realiza para detectar anomalías a lo largo de una serie. De esta manera se obtiene un registro confiable que puede ayudar en el diseño de obras civiles y usos de suelo en la zona.
3. El programa Climatol para efectuar la homogeneización y relleno de datos, necesita por lo menos que una de las series de referencia esté completa, de este modo se garantiza que los resultados obtenidos serán confiables.
4. La estación Insivumeh cuenta con un registro que data de 1928 a la fecha, que es el más extenso en Guatemala.
5. Se identificaron anomalías en los datos de precipitación de las estaciones: Asunción Mita, Quezada, Santiago Atitlán, Catarina y San José Aeropuerto. Estos se corrigieron y rellenaron los datos que hacían falta, con lo cual se logró rescatar información histórica que ahora estará a la disposición del pueblo de Guatemala.

6. La estación que más anomalías presentó es Santiago Atitlán. Esto se puede deber a posibles factores como, inadecuada recolección de datos en el campo, factores climáticos y cambio en el entorno.

## RECOMENDACIONES

1. Tener información pluviográfica de calidad del país, con el objeto de poseer datos confiables a la disposición de quien así lo requiera.
2. Mantener un registro constante en las estaciones que se encuentran en funcionamiento para no tener pérdida de información.
3. Implementar más estaciones pluviográficas con el fin de conocer mejor el comportamiento de la lluvia en determinadas zonas.
4. Realizar más estudios de este tipo.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Grupo Infostat. *Manual de programa InfoStat, Versión 2008.*
2. GUIJARRO PASTOR, José A. *Manual de programa Climatol software libre para la depuración y homogeneización de datos climatológicos.* Centro Meteorológico en Illes Balears, Instituto Nacional de Meteorología, edición 2004.
3. Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología. *Base de datos de la institución.* 15 de mayo de 2015.
4. LÓPEZ ARRIAGA, Víctor Hugo. *Análisis regional altura-precipitación de la vertiente del Pacífico.* Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 1990. 68 p.
5. WALPOLE, Ronald; MYERS, Raymond; MYERS, Sharon. *Probabilidad y estadística para ingenieros.* 6a ed. México: Pearson Educación, 1999. 752 p.