

**UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

**EVOLUCIÓN DE LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LA
PRECIPITACIÓN COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO
CLIMÁTICO EN LA SUBCUENCA DEL LAGO GATÚN SUR,
CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ (1984-2018)**

LUZ NEYLA MEDINA ARDILA

8-927-2070

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
2020**

**EVOLUCIÓN DE LA FRECUENCIA E INTENSIDAD DE LA
PRECIPITACIÓN COMO CONSECUENCIA DEL CAMBIO
CLIMÁTICO EN LA SUBCUENCA DEL LAGO GATÚN SUR,
CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ (1984-2018)**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN PRESENTADO COMO REQUISITO
PARA OPTAR POR EL TÍTULO DE INGENIERO EN MANEJO DE
CUENCAS Y AMBIENTE**

**FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA**

APROBADO

DR. CARLOS HIM

DIRECTOR

MGTER. AARON CONTE

ASESOR

MGTER. LOURDES RUBATINO

ASESOR

**PANAMÁ, REPÚBLICA DE PANAMÁ
2020**

DEDICATORIA

El presente trabajo de graduación está dedicado a mi madre, Elsa Ardila y a mi padre Manuel Medina, quienes me han ayudado a salir adelante y han sido mi inagotable fuente de inspiración, fortaleza y amor a lo largo de toda mi vida.

A mis hermanos Ana María, Edna, Diego y Angela por el apoyo brindado en mis estudios.

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios por darme vida, salud y permitirme culminar mis estudios universitarios y poder superarme en mi vida profesional. A mis padres y hermanos por el apoyo motivacional.

Al Dr. Carlos Him González, asesor principal por su buena disposición, apoyo y consejos para la elaboración de este trabajo de investigación.

A Néstor Castillo y a mis compañeras Eymmis Jaén y Nicolle González quienes me brindaron su apoyo moral y me acompañaron a lo largo de esta experiencia académica.

RESUMEN

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), en su cuarto informe del 2007, señala la existencia de un incremento en la frecuencia de precipitaciones más fuertes. Asimismo, en Panamá este cambio climático resulta una amenaza por los eventos extremos de sequías y lluvias. Por lo tanto, el objetivo del presente estudio es evaluar la evolución de la precipitación en cuanto a la frecuencia e intensidad como consecuencia del cambio climático en la subcuenca del Lago Gatún, de la cuenca del Canal de Panamá en los últimos 35 años. Teniendo en consideración que los datos históricos de precipitación de las estaciones meteorológicas nos permiten evaluar la variación y evolución de la precipitación asociada al Cambio Climático y al evento climático ENOS (fase cálida o El Niño y la fase fría o La Niña). El estudio se realizó en la región Sur de la subcuenca del Lago Gatún, mediante la información suministrada de datos de precipitación de estaciones meteorológicas por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), específicamente las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces. La metodología de la investigación se basó en el análisis estadístico de series temporales de precipitación. La serie temporal es de 35 años (desde 1984 hasta 2018), esta serie de datos se dividió en dos periodos, el primero de 1984 al 2000 y el segundo desde el 2001 al 2018 para cada una de los parámetros establecidos. Los parámetros que se evaluaron son el comportamiento de la precipitación anual e identificación de los años con eventos climáticos ENOS, la variación de los días con precipitación (>5 mm) para la estación lluviosa, la ocurrencia de eventos largos de días sin lluvias (<5 mm) como un proceso continuo de estación lluviosa, seguidamente el comportamiento de los días con precipitación (>40 mm) en los cuales se encontraron las tormentas para proceder con el cálculo de I_{30} o la intensidad de lluvia en la estación lluviosa, y por último la comparación de las tormentas registradas de acuerdo a la clasificación de la intensidad en los dos periodos. Estos resultados indican un ligero aumento en cuanto a las intensidades fuertes en los últimos años, lo cual va de la mano de un descenso de la cantidad de días con precipitación (>5 mm), y también de un aumento de los eventos de días seguidos sin lluvias (<5 mm) en la estación lluviosa para la región del Lago Gatún Sur, a pesar de que las precipitaciones anuales no demuestran un cambio significativo a través del tiempo.

Palabras claves: precipitación, cambio climático, fenómenos El Niño y La Niña, intensidad de lluvias, frecuencia de lluvias, estación lluviosa, Lago Gatún.

ABSTRACT

The Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC), in its fourth report in 2007, points out the existence of an increase in the frequency of stronger rainfall. Likewise, in Panama this climate change is a threat due to extreme events of droughts and rains. Therefore, the objective of this study is to evaluate the evolution of precipitation in terms of frequency and intensity as a consequence of climate change in the Gatun Lake watershed of the Panama Canal watershed in the last 35 years. Taking into consideration that historical precipitation data from meteorological stations allow us to assess the variation and evolution of precipitation associated with Climate Change and the ENSO climate event (warm phase or “El Niño” and cold phase or “La Niña”). The study was carried out in the southern region of the Gatun Lake watershed, using the information provided from precipitation data from meteorological stations by the Panama Canal Authority (ACP), specifically the Gamboa, Barro Colorado and Las Raices stations. The research methodology was based on the statistical analysis of rainfall time interval. The time series is 35 years (from 1984 to 2018), this data series was divided into two periods, the first from 1984 to 2000 and the second from 2001 to 2018 for each of the established parameters. The parameters that were evaluated are the behavior of annual precipitation and identification of the years with ENSO climatic events, the variation of the days with precipitation (> 5 mm) for the rainy season, the occurrence of long events of days without rain (<5 mm) as a continuous process of the rainy season, followed by the behavior of the days with precipitation (>40 mm) in which the storms were found to proceed with the calculation of I_{30} or the intensity of rain in the rainy season, and finally, the comparison of the storms registered according to the intensity classification in the two periods. These results indicate a slight increase in terms of strong intensities in recent years, which go hand in hand with a decrease in the number of days with precipitation (>5 mm), and also with an increase in the number of consecutive days without rain (<5 mm) in the rainy season for the southern Gatun Lake region, although the annual rainfall does not show a significant change over time.

Keywords: precipitation, climate change, El Niño and La Niña phenomena, intensity of rainfall, frequency of rainfall, rainy season, Gatun Lake.

ÍNDICE DE CONTENIDO

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
RESUMEN	v
ABSTRACT	vi
ÍNDICE DE CONTENIDO	vii
ÍNDICE DE CUADROS.....	xi
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE ANEXOS	xiv
ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS.....	xv
1. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	3
1.2. ANTECEDENTES.....	4
1.3. JUSTIFICACIÓN.....	9
1.4. OBJETIVOS.....	10
1.4.1. Objetivo general.....	10
1.4.2. Objetivos específicos	10
1.5. HIPÓTESIS	11
1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES	12
2. REVISIÓN DE LITERATURA	13
2.1. Descripción de la precipitación	13
2.1.1. Definición y comportamiento de la precipitación en Panamá	13
2.1.2. Distribución de la precipitación en Panamá.....	13
2.1.3. Intensidad de las lluvias	14
2.2. Recursos hídricos de Panamá.....	16
2.3. Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá.....	17
2.3.1. El Lago Gatún.....	18
2.3.2. Red de estaciones hidrometeorológicas de la ACP.....	19
2.4. El cambio climático y la variabilidad climática.....	22
2.4.1. Cambio climático.....	22
2.4.2. Variabilidad climática.....	25

2.4.3.	Variabilidad climática y su impacto en la distribución de las lluvias	25
2.4.4.	El Niño-Oscilación del Sur	26
2.4.5.	Manejo de cuencas hidrográficas y el cambio climático	28
3.	MATERIALES Y MÉTODOS	30
3.1.	Ubicación del área de estudio.....	30
3.2.	Caracterización de la zona de estudio	31
3.2.1.	Clima.....	31
3.2.2.	Geología.....	31
3.2.3.	Geomorfología	32
3.2.4.	Suelos	32
3.2.5.	Cobertura boscosa y uso de la tierra	33
3.2.6.	Hidrología	33
3.2.7.	Hidrogeología	34
3.3.	Caracterización de las estaciones meteorológicas.....	34
3.3.1.	Gamboa	34
3.3.2.	Barro Colorado.....	35
3.3.3.	Las Raíces	35
3.4.	Análisis estadístico de la precipitación	36
3.4.1.	Descripción del análisis de series temporales de precipitación	36
3.4.2.	Parámetros evaluados.....	37
3.4.3.	Descripción de los parámetros evaluados	38
3.4.3.1.	Caracterización de la precipitación diaria, anual, años Niño y Niña... 38	
3.4.3.2.	Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa.....	39
3.4.3.3.	Ocurrencia de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros en la estación lluviosa.....	39
3.4.3.4.	Caracterización de las tormentas en la estación lluviosa.....	40
3.4.4.	Análisis grupal de las estaciones de meteorológicas	41
9.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	43
9.1.	Análisis de los datos de precipitación por estaciones.....	43
9.1.1.	Estación Gamboa	43
9.1.1.1.	Comportamiento de la precipitación anual	43

9.1.1.2.	Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros	44
9.1.1.3.	Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros.....	45
9.1.1.4.	Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas.....	46
9.1.1.5.	Análisis del comportamiento de la intensidad de lluvias (I_{30} mm/h) en la estación lluviosa.....	47
9.1.1.6.	Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia	48
9.1.2.	Estación Barro Colorado.....	50
9.1.2.1.	Comportamiento de la precipitación anual	50
9.1.2.2.	Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros	51
9.1.2.3.	Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros.....	52
9.1.2.4.	Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas.....	54
9.1.2.5.	Análisis del comportamiento de la intensidad de lluvias (I_{30} mm/h) en la estación lluviosa.....	55
9.1.2.6.	Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia	56
9.1.3.	Estación Las Raíces	58
9.1.3.1.	Comportamiento de la precipitación anual	58
9.1.3.2.	Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros	59
9.1.3.3.	Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros.....	60
9.1.3.4.	Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas.....	61
9.1.3.5.	Análisis del comportamiento de la intensidad de lluvias (I_{30} mm/h) en la estación lluviosa.....	62
9.1.3.6.	Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia	64
9.1.4.	Análisis grupal de tres estaciones meteorológicas de la subcuenca del Lago Gatún Sur.....	65
9.1.4.1.	Comportamiento de la precipitación anual	65
9.1.4.2.	Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros.....	67
9.1.4.3.	Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros	69

9.1.4.4. Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas.....	71
9.1.4.5. Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia	72
10. CONCLUSIONES.....	74
11. RECOMENDACIONES	76
12. BIBLIOGRAFÍA	77
13. ANEXOS	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Categorías del nivel de intensidad de eventos El Niño y La Niña, según NOAA. 28	
Cuadro II. Registros de fenómenos de El Niño y La Niña y la precipitación anual según NOAA, Gamboa (1984-2018).....	44
Cuadro III. Cantidad de tormentas de acuerdo a su clasificación de intensidad en dos periodos (1984-2000) y (2001-2018), Gamboa.	48
Cuadro IV. Registros de fenómenos de El Niño y La Niña y la precipitación anual según NOAA, Barro Colorado (1984-2018).	51
Cuadro V. Cantidad de tormentas de acuerdo a su clasificación de intensidad en dos periodos (1984-2018) y (2001-2018), Barro Colorado.	56
Cuadro VI. Registros de fenómenos de El Niño y La Niña y la precipitación anual según NOAA, Las Raíces (1984-2018).....	59
Cuadro VII. Cantidad de tormentas de acuerdo a su clasificación de intensidad en dos periodos (1984-2000) y (2001-2018), Las Raíces.	64

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de estaciones hidrometeorológicas de la Autoridad del Canal de Panamá. 22	
Figura 2. Ubicación de las estaciones meteorológicas para el estudio en la subcuenca del Lago Gatún.....	30
Figura 3. Mapa de subcuencas de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá.	36
Figura 4. Gráfica del comportamiento de la precipitación anual e identificación de años Niño y Niña, Gamboa (1984-2018).	43
Figura 5. Gráfica de la variación de los días con lluvia (>5 mm) en la estación lluviosa, Gamboa (1984-2018).	44
Figura 6. Gráfica de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa, Gamboa (1984-2018).	45
Figura 7. Gráfica del comportamiento de los días con precipitación (>40 mm) y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa, Gamboa (1984-2018).....	46
Figura 8. Gráfica del comportamiento de la I_{30} (mm/h) en las tormentas registradas en los días de precipitación (>40 mm) en la estación lluviosa, Gamboa (1984-2018).	47
Figura 9. Gráfica de la comparación de las tormentas en la estación lluviosa de acuerdo a la clasificación de la intensidad en dos periodos (1984-2000) y (2001-2018), Gamboa..	49
Figura 10. Gráfica del comportamiento de la precipitación anual e identificación de años Niño y Niña, Barro Colorado (1984-2018).	50
Figura 11. Gráfica de la variación de los días con lluvia (>5 mm) en la estación lluviosa, Barro Colorado (1984-2018).	52
Figura 12. Gráfica de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa, Barro Colorado (1984-2018).	53
Figura 13. Gráfica del comportamiento de los días con precipitación (>40 mm) y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa, Barro Colorado (1984-2018).	54
Figura 14. Gráfica del comportamiento de la I_{30} (mm/h) en las tormentas registradas en los días de precipitación (>40 mm) en la estación lluviosa, Barro Colorado (1984-2018). 55	
Figura 15. Gráfica de la comparación de las tormentas en la estación lluviosa de acuerdo a la clasificación de la intensidad en dos periodos (1984-2000) y (2001-2018), Barro Colorado.....	57
Figura 16. Gráfica del comportamiento de la precipitación anual e identificación de años Niño y Niña, Las Raíces (1984-2018).	58
Figura 17. Gráfica de la variación de los días con lluvia (>5 mm) de la estación lluviosa, Las Raíces (1984-2018).	60
Figura 18. Gráfica de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa, Las Raíces (1984-2018).	61

Figura 19. Gráfica del comportamiento de los días con precipitación (>40 mm) y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa, Las Raíces (1984-2018).....	62
Figura 20. Gráfica del comportamiento de la I_{30} (mm/h) en las tormentas registradas en los días de precipitación (>40 mm) en la estación lluviosa, Las Raíces (1984-2018).....	63
Figura 21. Gráfica de la comparación de las tormentas en la estación lluviosa de acuerdo a la clasificación de la intensidad en dos periodos (1984-2000) y (2001-2018), Las Raíces.....	65
Figura 22. Gráfica del comportamiento de la precipitación anual e identificación de años Niño y Niña, en las tres estaciones (1984-2018).	66
Figura 23. Gráfica de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa, en las tres estaciones (1984-2018).	68
Figura 24. Gráfica de la variación de la cantidad de días con precipitación (>5 mm) en la estación lluviosa, en las tres estaciones (1984-2018).	70
Figura 25. Gráfica del comportamiento de los días con precipitación (>40 mm) y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa, en las tres estaciones (1984-2018).....	71
Figura 26. Gráfica de la comparación de las tormentas en la estación lluviosa de acuerdo a la clasificación de la intensidad en dos periodos (1984-2000) y (2001-2018), en las tres estaciones.	72

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Precipitación Mensual (mm) y Promedio anual (mm) de la estación Gamboa.	83
Anexo 2. Precipitación Mensual (mm) y Promedio anual (mm) de la estación Barro Colorado.....	84
Anexo 3. Precipitación Mensual (mm) y Promedio anual (mm) de la estación Las Raíces.	85
Anexo 4. Cantidad de días con precipitación (>5mm) de la estación lluviosa en Gamboa.	87
Anexo 5. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa en la estación de Gamboa.....	87
Anexo 6. Cantidad de días con precipitación (>40 mm) y cantidad de tormentas registradas en la estación lluviosa de la estación de Gamboa.....	89
Anexo 7. Datos de I_{30} (mm/h) para el comportamiento de la intensidad de lluvias de las tormentas registradas en la estación lluviosa en la estación de Gamboa.....	90
Anexo 8. Cantidad de días con precipitación (>5mm) de la estación lluviosa en Barro Colorado.....	92
Anexo 9. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa en la estación de Barro Colorado.	93
Anexo 10. Cantidad de días con precipitación (>40 mm) y cantidad de tormentas registradas en la estación lluviosa de la estación de Barro Colorado.	95
Anexo 11. Datos de I_{30} (mm/h) para el comportamiento de la intensidad de lluvias de las tormentas registradas en la estación lluviosa en la estación de Barro Colorado.....	96
Anexo 12. Cantidad de días con precipitación (>5 mm) de la estación lluviosa en Las Raíces.....	99
Anexo 13. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa en la estación de Las Raíces.....	100
Anexo 14. Cantidad de días con precipitación (>40 mm) y cantidad de tormentas registradas en la estación lluviosa de la estación de Las Raíces.....	102
Anexo 15. Datos de I_{30} (mm/h) para el comportamiento de la intensidad de lluvias de las tormentas registradas en la estación lluviosa en la estación de Las Raíces.....	103

ABREVIATURAS Y ACRÓNIMOS

ACP	Autoridad del Canal de Panamá
ANAM	Autoridad Nacional del Ambiente
bh-T	Bosque Húmedo Tropical
°C	Grados Celsius
CICH	Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica
ENOS	Niño Oscilación del Sur
et al.	Y otros
ETESA	Empresa de Transmisión Eléctrica S.A.
h	Hora
IPCC	Intergovernmental Panel on Climate Change
I_{30}	Intensidad máxima de la lluvia en 30 minutos
km	Kilómetro
km/h	Kilómetro por hora
km ²	Kilómetros cuadrado
l/m ²	Litros por metro cuadrado
m	Metro
m ³	Metros cúbicos
m ³ /h	Metros cúbicos por hora
mm	Milímetro
mm/h	Milímetros por hora
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
PPT	Lluvia
%	Por ciento
<	Menor que
>	Mayor que
≤	Menor e igual que

1. INTRODUCCIÓN

El Canal de Panamá representa un aporte económico significativo para el país, sin embargo, en los últimos años se han presentado bajos niveles en los embalses de Gatún (lugar de estudio) y Alajuela, esto quiere decir que las precipitaciones han disminuido, por eso es de suma importancia estudiar la evolución de esta variable atmosférica la cual está estrechamente enlazada al cambio climático. El actual cambio climático es de origen antropogénico, el cual afecta la vida en la tierra y por ende a toda la humanidad, por sus notables efectos, uno de ellos y de interés en la investigación son los cambios en los patrones de precipitación en el tiempo.

El cambio climático se manifestará como un importante impacto en los recursos hídricos, con efectos notorios y de carácter negativo debido a la inmensa influencia de una mayor frecuencia e intensidad de las inundaciones y sequías. Este impacto provocará un efecto sobre la salud humana, la economía, la sociedad y en general al medio ambiente. Por eso, la adaptación al cambio climático debe ser un enfoque moral, económico y social, en la cual la gestión de los recursos hídricos debe ser caracterizada como punto central en las estrategias de adaptación en una región o país. Los registros de las estaciones hidrometeorológicas de la región son fundamentales para la observación, ya que nos proporcionan numerosas pruebas de la vulnerabilidad de una cuenca hidrográfica y sobre todo de los recursos hídricos que pueden verse afectados por el cambio climático.

Un factor importante en el estudio es la intensidad de las lluvias, es decir, la cantidad de agua acumulada en un periodo de tiempo definido, el cual consiste en un concepto

esencial en la respuesta de las cuencas hidrográficas (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, 2016). En lo que se refiere al patrón de lluvias la Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH) (2007) expresa que es uno de los principales factores que inciden en la erosión en la cuenca del Canal, además del tipo de suelos, las pendientes, la deforestación y las técnicas de producción agropecuaria. A inicios de la década de 1980 hasta mediados de la década de 1990, la erosión tiende a disminuir, aunque el patrón de lluvias presentaba variaciones significativas. Esta disminución resulta de la creación y delimitaciones de áreas protegidas en los bosques ubicados en las cabeceras de los principales ríos.

De acuerdo a la Revista El Faro del Canal de Panamá sobre el Cambio Climático, Herrera (2019) menciona que existe una escasez de lluvia que disminuye los aportes de agua que hacen los ríos a los embalses de Gatún y Alajuela, que para el año 2019 llovió debajo del promedio. Esto es producto del cambio climático, en donde los eventos de tormentas y sequías, van a ser extremos, con sequías prolongadas y tormentas más fuertes. El cambio climático global ha sido un tema de discusión pública durante varios años, sobre el cual se menciona acerca de un incremento de la temperatura superficial de la tierra desde 1900 al presente, registrándose variaciones climáticas, como la modificación de las precipitaciones y la consecuente alteración del régimen hídrico (Barbero, Rössler y Canziani, 2008).

Basándose en lo anterior, la investigación plantea conocer la evolución y determinar el comportamiento de la precipitación, con el fin de observar si el cambio climático ha repercutido en las precipitaciones registradas en las diferentes estaciones meteorológicas de la subcuenca del Lago Gatún Sur.

1.1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

El cambio climático es una realidad global para Panamá, por las afectaciones es una amenaza medioambiental por múltiples eventos climáticos intensos y extremos, como sequías y lluvias, ocasionando mayores retos y problemáticas agravados por el inadecuado uso de la tierra, deforestación y contaminación. El impacto más relevante del cambio climático además del calentamiento global, es la alteración en la precipitación, en su cantidad y/o frecuencia. Por otra parte, la operación del Canal de Panamá se ha estado afectando en la estación seca, por el poco aporte de agua para el embalse de Gatún que se debe a una escasez de lluvia. Por ejemplo, el 18 de mayo de 2016 se dio el nivel más bajo registrado en el Lago Gatún, 78.21 pies, pero ese mismo año, en noviembre ocurrió la tormenta Otto, y se registró el nivel más alto en las aguas del Canal. Es decir que se presentaron dos eventos extremos en el mismo año, con meses de diferencia.

En resumen, el cambio climático está afectando el recurso hídrico de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, puesto que las variaciones en la intensidad de las lluvias, así como los cambios en los patrones de la precipitación perjudican sus principales funciones. Por otro lado el aumento de la población genera una mayor demanda de agua potable, por eso la importancia de cuantificar y valorar el impacto del cambio climático en las precipitaciones y poder establecer políticas, estrategias y planes para la mitigación y adaptación del mismo.

1.2. ANTECEDENTES

De acuerdo a los antecedentes de la Red Hidrometeorológica Nacional de Panamá, los estudios meteorológicos en Panamá se iniciaron en 1861 con la instalación del primer pluviómetro en la Isla de Taboga, la cual funciono hasta 1967. Para la Construcción del Canal de Panamá, la compañía francesa instaló los primeros limnómetros y también se realizaron aforos en el Río Chagres. En 1899 se estableció la estación del río Chagres en Alajuela y fue la única registradora de niveles y estimados de descarga diaria de agua. En 1906 se realizaron mediciones de caudal por medio de flotadores y molinetes en Alajuela, Gamboa, Bohío, Lagartera, y Gatuncillo. A partir del 1 de enero de 1908, las mediciones se realizaron con molinetes luego de finalizar gran parte de la construcción del Canal y el llenado del Lago Gatún. En 1912, se estandariza la recolección de los datos hidrológicos y el río Chagres queda separado en dos tramos; desde la represa de Gatún hasta el Atlántico y la nueva cuenca del Chagres hasta Gamboa.

Villar y Guerra en 1997 presentaron el “*Análisis de los patrones de la precipitación pluvial en diferentes estaciones pluviométricas del Canal de Panamá*”. El objetivo de esta investigación consistió en determinar el comportamiento espacial y temporal de la precipitación pluvial en diferentes estaciones pluviométricas a lo largo del Canal e investigar y evaluar si el ENOS afecta la precipitación pluvial en esta zona. La metodología empleada por los autores se basó en varios métodos de agrupación jerárquica con el fin de obtener grupos o zonas donde las estaciones tienen patrones de precipitación similar. El primer método utilizado fue el promedio, donde obtuvieron cinco zonas o grupos, en las cuales se escogieron estaciones con mayor número de

registros anuales y para continuar con el estudio de la tendencia a largo plazo fue el modelo de regresión lineal y el procedimiento de Lowes. De acuerdo a sus resultados se aceptó la hipótesis de que las tendencias generales a disminuir de la precipitación observadas por el Dr. Windsor no han cambiado. Además, con relación al fenómeno El Niño y con la magnitud en que se presente, la precipitación pluvial anual tiene una reducción para la zona ubicada en el centro del Istmo (zona D, representada por las estaciones de Gamboa y Alajuela). Para finalizar, en los datos diarios de Barro Colorado, se encontró que el ENOS tiene un efecto de reducción sobre la precipitación en la estación lluviosa, y sin un efecto significativo en la estación seca.

En 1998, **Amador y Olmedo** realizaron un artículo científico sobre la “*Temperatura, Precipitación y Caudal en Panamá Parte I: Características generales y distribución estacional*”, en el cual utilizaron valores medios mensuales de temperatura máxima y media, precipitación y caudal para diferentes estaciones, teniendo un total de veinte series temporales (8 de temperatura, 9 de precipitación y 3 de caudal) convenientemente distribuidas con periodos en general mayores de treinta años con el fin de obtener las características generales y de distribución estacional de esos parámetros en la República de Panamá, los cuales sirven de base para la relación que existe entre la temperatura, la precipitación y el caudal con eventos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el cambio climático en esa región. En relación con la investigación de estudio, se destacan las series de la precipitación de Cristóbal y Gamboa, desde finales del siglo XIX. De acuerdo a los resultados encontrados, el comportamiento de los promedios anuales de temperatura máxima y los totales anuales de precipitación, se nota que las estaciones ubicadas a mayor elevación presentan mayor variabilidad que las ubicadas a menor

altura. También, en la mayoría de los casos se observó una relación inversa entre la temperatura (máxima y media) y la precipitación, destacándose temperaturas más altas durante la estación seca y las más bajas en la estación lluviosa. Cabe resaltar, que en las estaciones de la Vertiente del Pacífico se distinguen claramente la estación seca y la lluviosa, la primera se extiende desde diciembre hasta abril y la segunda desde mayo hasta noviembre. Por último, se observó una disminución de las lluvias en la temporada lluviosa, la cual ocurre generalmente en julio y se conoce como veranillo y sobre la distribución estacional del caudal se nota una relación directa con el comportamiento de la precipitación.

Pino y Espinoza (2001) analizaron “*Datos meteorológicos en la Cuenca del Canal de Panamá durante el siglo XIX y su aplicabilidad a la variabilidad climática y al cambio climático*”, el cual tuvo como objetivo estudiar los posibles cambios del clima generados por el fenómeno del calentamiento global a través del comportamiento de la precipitación en la Cuenca del Canal de Panamá. El procedimiento se basó en el rescate de información de datos meteorológicos de carácter histórico de 4 estaciones que operaron en lo que es hoy la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, provenientes de la Sección de Meteorología e Hidrografía de la Autoridad del Canal de Panamá. Con esto se realizó un análisis del comportamiento de la precipitación registrada en dichas estaciones durante la segunda mitad del siglo XIX. Para la estación de Gamboa, también se analizaron los datos de precipitación del siglo XX con el objeto de establecer la ocurrencia de algún tipo de tendencia. Este estudio demostró de acuerdo a sus resultados que las sequías registradas por todas las estaciones analizadas y que estaban ubicadas en lo que sería posteriormente la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, pueden atribuirse a eventos

El Niño que se suscitaron durante tales años. De igual forma, los datos de pluviosidad correspondientes a la estación de Gamboa para el período comprendido entre 1886 y 2000 muestran una leve disminución, del orden del 17 %, en los niveles de precipitación pluvial durante el período estudiado.

La Autoridad del Canal de Panamá (2001) en el informe sobre *“Study of Variations and Trends in the Historical Rainfall and Runoff Data in the Gatun Lake Watershed”*, fueron utilizados datos hidrometeorológicos mensuales de precipitación y caudal de las estaciones como Agua Clara, Alajuela, Balboa Heights, Barro Colorado, Gamboa, Peluca, Las Raíces, Salamanca y otras. El estudio se centró en tres cuencas: Lago Madden, Gatún aguas abajo y Gatún total. La metodología consistió en la estimación de las precipitaciones medias mensuales para un periodo de 90 años (1911-2000) para cada una de las cuencas anteriores y la sequía generada en cada cuenca. Se calcularon series mensuales de precipitación media de la cuenca para un período de 90 años. En el análisis estadístico de series de tiempo, se realizó un análisis de tendencia lineal para las 23 estaciones de lluvia. Se realizaron análisis estadísticos detallados para probar la consistencia y homogeneidad de la serie anual. Las pruebas se realizaron con aleatoriedad (auto correlación y pruebas de Pormanteau modificadas), tendencia (correlación lineal y pruebas de Mann-Kendall & Abelson-Tukey) y una prueba de población utilizando medias y desviaciones estándar de dos subconjuntos de cada serie. Las conclusiones obtenidas en el informe demostraron que el análisis de series de tiempo indicó que todas las series de precipitaciones y escorrentías son consistentes y homogéneas. Las tendencias decrecientes que se muestran son insignificantes a un nivel de confianza del

95 por ciento. Se presenta una tendencia creciente en las temperaturas en cuatro estaciones seleccionadas, esto podría producir una tendencia creciente en las lluvias.

Bethancourt (2008) en su Tesis de graduación sobre la “*Aplicación del Modelo USLE, para la predicción de la erosión potencial, en la subcuenca del río Hules-Tinajones y Caño Quebrado, de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá, utilizando los sistemas de información geográfica*”. En este trabajo de tesis se utilizó la Ecuación Universal de Pérdida de Suelo (USLE), con el apoyo del programa de sistemas de información geográfica (SIG), con el fin de determinar las pérdidas de suelo en una de las subcuencas que constituyen la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. La metodología empleada se realizó mediante el análisis multiplicativo de cuatro factores, estos son: la potencialidad erosiva de la lluvia y el escurrimiento (factor R), la susceptibilidad del suelo a la erosión (factor K), la longitud de la pendiente (factor L) y el efecto del grado (factor S), el uso del suelo (Factor C) y las prácticas mecánicas de conservación utilizadas (factor P). Por último, se define un mapa que establece cuales son las pérdidas de suelo, las cuales oscilan entre los 0.33 a más de 200 toneladas por hectárea por año, las cuales fueron agrupados en cuatro rangos de erosión establecidos por la FAO. Los resultados obtenidos en la tesis demuestran que en el área de estudio la mayor parte del territorio se encuentra dentro del rango de erosión de moderada a alta de riesgo de erosión. Con relación al trabajo en investigación, se puede tomar como referencia el factor de erosividad de la lluvia (R), el cual se obtiene a partir del cálculo de I_{30} , este último parámetro se utilizará para determinar la intensidad que tienen las tormentas registradas en la subcuenca del Lago Gatún.

1.3. JUSTIFICACIÓN

De acuerdo al reto N°2 del Plan Nacional de Seguridad Hídrica del Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica (2016), las proyecciones al año 2050 para Panamá reflejarán un aumento generalizado de las temperaturas entre 0.5 °C y 2 °C, con un aumento de la variabilidad de los patrones de lluvia. Los principales impactos del cambio climático en Panamá están relacionados con: La ocurrencia de eventos extremos de precipitación y las consiguientes inundaciones y deslizamientos sobre pendientes inestables y los eventos de escasez de agua productos de fenómenos como El Niño.

El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), en su cuarto informe señala la existencia de un incremento en la frecuencia de precipitaciones más fuertes (IPCC, 2007), por lo tanto, el análisis de la frecuencia de días de lluvia, días sin lluvia y días de fuertes lluvias, así como su intensidad, se llevarán a cabo en este estudio para observar el impacto del cambio climático en los eventos de lluvia en la subcuenca del Lago Gatún.

Sin duda, la investigación va a ser de beneficio para los demás estudiantes de la facultad, los docentes, y para cualquier persona interesada en esta materia, por el hecho de que estarían adquiriendo conocimientos científicos importantes de nuestro país.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. Objetivo general

- Evaluar la evolución de la precipitación en cuanto a la frecuencia e intensidad como consecuencia del cambio climático en la subcuenca del Lago Gatún, de la cuenca del Canal de Panamá en los últimos 35 años.

1.4.2. Objetivos específicos

- Identificar ocurrencias, frecuencias y cambios en los patrones de precipitación en el tiempo a través de las estaciones meteorológicas de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces.
- Caracterizar las tormentas para cada una de las estaciones desde 1984 hasta 2018 como un proceso continuo de estación lluviosa.
- Comparar el comportamiento de la frecuencia e intensidad de la lluvia en los meses de la estación lluviosa versus cómo se comportan en la actualidad.
- Analizar los datos de manera individual y conjunta en la región del estudio.

1.5. HIPÓTESIS

H1: Los datos históricos de frecuencia e intensidad de la precipitación en la subcuenca del Lago Gatún nos permiten evaluar la variación y evolución de la precipitación asociada al cambio climático y a eventos climáticos como El Niño y La Niña.

HO: Los datos históricos de frecuencia e intensidad de la precipitación en la subcuenca del Lago Gatún no nos permiten evaluar la variación y evolución de la precipitación asociada al cambio climático y a eventos climáticos como El Niño y La Niña.

1.6. ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance de la investigación desarrollada consistió en evaluar la evolución de la precipitación como consecuencia del cambio climático en la subcuenca del Lago Gatún, de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá en los últimos treinta y cinco años, a través de la base de datos de precipitación de las estaciones meteorológicas de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces.

Los aspectos puntuales que comprende la investigación están relacionados con las principales características de la precipitación, las cuales son la frecuencia e intensidad. Estas están vinculadas al propósito de la investigación en conocer los cambios en los patrones de precipitación. Por lo tanto, el comportamiento de estas variables nos permitió analizar el efecto que tiene el cambio climático en la precipitación de la región.

La principal limitación del estudio se debió a la premura del tiempo asociadas al trabajo de Tesis de Grado. No existen limitaciones relacionadas con la toma de datos en campo, debido a que son datos recogidos por las estaciones meteorológicas mediante la red de estaciones pluviométricas de la Autoridad del Canal de Panamá.

2. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Descripción de la precipitación

2.1.1. Definición y comportamiento de la precipitación en Panamá

La Autoridad Nacional del Ambiente en el Atlas Ambiental de Panamá (2010) define la precipitación como: el agua en la atmósfera que cae sobre la superficie del globo en forma de lluvia, nieve o granizo. También menciona que en Panamá y en la mayoría de los países tropicales, la precipitación atmosférica ocurre en forma de lluvia, debido al movimiento ascendente del aire, enfriado por expansión más allá del nivel de condensación del vapor de agua. En relación al comportamiento, se expresa que existe una migración estacional de las masas de aire del Pacífico tropical y del Atlántico subtropical, que acompañan al Sol en su curso anual, que constituye el control dominante sobre los patrones de precipitación en Panamá. Esta migración establece áreas con diferentes totales de precipitación anual y regímenes de precipitación bien definidos: una en la vertiente del Caribe y otra en la vertiente del Pacífico. En la primera vertiente, las lluvias son permanentes durante todo el año, con variaciones en su intensidad; en la vertiente del Pacífico hay dos períodos: uno seco que va de diciembre a abril y otro lluvioso de mayo a noviembre, como consecuencia de la migración longitudinal desde la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT).

2.1.2. Distribución de la precipitación en Panamá

De acuerdo al I Foro de Medición de Variables Meteorológicas y su Aplicación en la Prevención de Desastres por el CICH (2011), se menciona que la distribución de la precipitación en Panamá se compone en tres regiones principales:

Región Pacífica: en esta región se presentan abundantes lluvias moderadas a fuertes con actividad eléctrica en horas de la tarde. Las lluvias inician en el mes de mayo y finalizan en el mes de noviembre. En esta estación lluviosa se manifiesta un periodo seco conocido como veranillo, entre julio y agosto. La estación seca ocurre desde diciembre hasta el mes de abril. Las precipitaciones en esta región se asocian a sistemas atmosféricos como las ondas y ciclones tropicales y a la ZCIT.

Región Central: Las lluvias son entre moderadas y fuertes, acompañadas de actividad eléctrica y vientos fuertes que se presentan después del mediodía, debido a flujos procedentes del Caribe o del Pacífico.

Región Atlántica: las lluvias se presentan casi todo el año, con abundantes precipitaciones en los meses desde diciembre a febrero, debido a las incursiones de los sistemas frontales del hemisferio norte hacia las latitudes tropicales. En el resto del año las lluvias se asocian a sistemas atmosféricos tropicales que se desplazan sobre la Cuenca del Caribe, al calentamiento diurno de la superficie terrestre y a la brisa marina.

2.1.3. Intensidad de las lluvias

Para entender sobre la intensidad de las lluvias, primero tenemos que conocer el factor principal del origen de la intensidad. Colotti (1999) define el factor de erosividad como: “la agresividad de la lluvia sobre el suelo y, representa la energía con que las gotas de lluvia caen a determinada intensidad, en donde pueden romper los agregados superficiales en partículas de tamaño transportable”. La erosividad o capacidad de las lluvias de erosionar el suelo, expresada por el factor EI30 o factor R de la USLE (Universal Soil Loss Equation), fue definida por Wischmeier y Smith en 1958, luego de relacionar datos de pérdida de suelo y lluvias, a partir de parcelas unitarias en los Estados

Unidos, encontrando que el producto de la energía cinética (E) y la intensidad máxima en un periodo de 30 minutos (I_{30}), expresa la capacidad de las lluvias de causar erosión (Laflen y Moldenhauer, 2003). El valor numérico utilizado para R en la ecuación de pérdida de suelo debe cuantificar el efecto del impacto de la gota de lluvia y también debe proporcionar información relativa sobre la cantidad y la tasa de escorrentía que probablemente esté asociada con la lluvia (Wischmeier y Smith. 1978).

Según el informe técnico del Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza, denominado “El ABC del Cambio Climático en Mesoamérica”, Cifuentes (2010) menciona que la intensidad de la precipitación y el riesgo de lluvias aumentaron en el siglo XX debido a un incremento de aproximadamente 5% en el vapor de agua en la atmósfera. En los últimos 50 años, se han observado precipitaciones más intensas en los climas cálidos, aun cuando el total anual de precipitación disminuya. También expresa que la relación en los patrones históricos del clima, la precipitación y la temperatura en Mesoamérica presentan patrones anuales bien definidos, modificados periódicamente por fluctuaciones en la temperatura de los océanos circundantes y por los ciclos de El Niño/La Niña (la oscilación decenal del Pacífico). Esta creciente intensidad y variabilidad de precipitaciones aumentará los riesgos de inundación y sequía. Es probable que la frecuencia de las fuertes precipitaciones siga aumentando para el siglo XXI. Al mismo tiempo, se prevé que aumente la proporción de la superficie terrestre que sufrirá extremas sequías (UNECE, 2009).

De acuerdo al informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático (IPCC, 2012), se determina la probabilidad que durante el siglo XXI la frecuencia de

precipitaciones intensas o la proporción de lluvias totales derivadas de precipitaciones intensas aumente en diversas regiones del mundo, esta situación se reflejaría en las regiones situadas en latitudes altas y las tropicales, y en el caso de las latitudes medias del hemisferio Norte durante el invierno. Además, se plantea el aumento de las temperaturas, que a su vez generen lluvias intensas asociadas a los ciclones tropicales. Con base en esto, el nivel de confianza es medio para que aumenten las precipitaciones intensas en algunas regiones, a pesar de que en ellas se proyecte una disminución en el total de las precipitaciones de dichas regiones.

2.2. Recursos hídricos de Panamá

Los recursos hídricos en Panamá son abundantes y juegan un papel importante en cuanto a la cantidad de agua acumulada en el país. De acuerdo al Plan Nacional de Seguridad Hídrica (2016), el volumen de precipitación total en el país se estima en 233.8 mil millones de m³/ año, con un promedio anual nacional de 2,924 l/m², con un mínimo de 1,000 l/m² y un máximo de 7,000 l/m².

Las precipitaciones son captadas por la red hídrica integrada por 52 cuencas hidrográficas oficiales y 500 ríos que en su gran mayoría nacen en la divisoria continental y escurren hacia las costas. La vertiente Atlántica ocupa cerca del 30% del territorio nacional, se ubican 18 cuencas hidrográficas con 150 ríos caracterizados por su corto recorrido y alta pendiente, algunos de ellos con gran caudal como el Changuinola, Sixaola y Chagres; las otras 34 cuencas hidrográficas y 350 ríos se localizan en la vertiente Pacífica; estos últimos tienen una longitud media de 106 km y una pendiente media de 2.27% (Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica 2016).

2.3. Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá

En primer lugar, una cuenca hidrográfica se define como el área de drenaje de un río o lago, definido por una divisoria de aguas, que se considera la unidad ideal para la gestión ambiental de los recursos naturales. En ella se encuentran componentes biofísicos como la flora y fauna silvestre, los suelos y recursos hídricos, y componentes antrópicos como los socio-económicos y culturales, los cuales interactúan entre ellos y elementos abióticos como el clima (temperatura, precipitación, vientos, humedad atmosférica). Faustino y Jiménez (2000) mencionan que “la cuenca como unidad geográfica constituye un ámbito biofísico ideal para caracterizar, evaluar y planificar el uso de los recursos”.

Según señalaron expertos en derecho de agua y políticas relacionadas, administradores de recursos hídricos y científicos del agua, reunidos en el Simposio Internacional HELP 2011, la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá utiliza un modelo de gestión del recurso hídrico único en el mundo (Rodríguez, 2011). Así mismo en el IV Foro Mundial del Agua en México, 2006, la ACP expresó en el artículo 316 que: “A la Autoridad del Canal de Panamá corresponde la responsabilidad por la administración, mantenimiento, uso y conservación de los recursos hídricos de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá” (CHCP).

La Ley 44 de 31 de Agosto de 1999, estableció los límites de la cuenca con un área de 552,761 hectáreas, identificadas en dos regiones: la Región Oriental (también conocida como Cuenca Tradicional o Cuenca del Río Chagres) y la Región Occidental (que incluye las cuencas de los ríos Indio, Coclé del Norte entre otros). La Ley 44 fue derogada a través de la Ley 20 de 21 de junio de 2006 (de manera de hacer viable el referéndum nacional para aprobar la ampliación del Canal de Panamá). Al quedar sin efecto la Ley

44, la CHCP quedó definida por la Ley 19 de 11 de junio de 1997 (Ley orgánica de la ACP) como "área geográfica cuyas aguas, superficiales y subterráneas, fluyen hacia el Canal o son vertidas en éste, así como en sus embalses y lagos". Esta área corresponde a 343,421.96 hectáreas (Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, 2017). En cuanto a su importancia "La cuenca del Canal es considerada por muchos como la más importante del país, de la capacidad de embalse de agua de los Lagos Gatún y Alajuela depende el funcionamiento continuo y eficiente del Canal, y el abastecimiento de agua para las ciudades de Panamá y Colón" (Heckadon, Espinoza, Barrow, y Castillo, 1986).

2.3.1. El Lago Gatún

El Lago Gatún se formó en 1912 cuando se represó el Río Chagres próximo de su desembocadura en el Atlántico en el sitio de Gatún (Heckadon et al, 1986). Para la Autoridad del Canal de Panamá (2006): "El lago es utilizado para diversos propósitos que incluyen: fuente de agua cruda para abastecimiento humano, tránsito de barcos, generación de energía eléctrica, recreación, turismo, pesca y otros. Es un ecosistema de agua dulce, que en la actualidad tiene como principales amenazas la contaminación puntual asociada a asentamientos humanos y actividades productivas". El Lago Gatún tiene una superficie del espejo de agua de 436 km² y está situado a 26 m.s.n.m., representa el 68.14 % de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá (Autoridad del Canal de Panamá, 2006).

La Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano (OSPESCA) (2017), afirma que el represamiento tuvo la finalidad de almacenar la suficiente cantidad de agua para que los barcos de alto calado pudieran transitar por esta vía, en la operación

del Canal de Panamá. La presa cubrió los poblados de Gatún y Matachín con más de 80 pies de roca y tierra bajo la represa. El embalse se encuentra en los corregimientos de Ancón distrito de Panamá, Iturralde, Amador y La Represa en el distrito de La Chorrera, provincia de Panamá Oeste y los corregimientos de Cristóbal, Limón, Nueva Providencia, Cativá y Sabanitas en el distrito de Colón, provincia de Colón. El acceso al embalse se puede realizar a través de la comunidad de Gamboa, corregimiento de Cristóbal, distrito de Colón, provincia de Colón o por la comunidad de Arenosa, corregimiento de Iturralde, distrito de La Chorrera, provincia de Panamá Oeste.

2.3.2. Red de estaciones hidrometeorológicas de la ACP

La red de estaciones hidrometeorológicas de la ACP está constituida por el conjunto de estaciones hidrológicas, meteorológicas y de puntos de observación situada en determinada zona (cuena o región administrativa) que permite estudiar el régimen hidrológico y meteorológico, en el espacio y en el tiempo (Autoridad del Canal de Panamá, 2019).

La descripción de las estaciones hidrometeorológicas de los ríos principales de la cuena del Canal de Panamá que están en constante monitoreo son:

Estación Chico en el río Chagres: La estación está a 2.0 km aguas arriba de la comunidad Emberá Drúa, en la provincia de Panamá, distrito de Panamá. Sus coordenadas geográficas son: 9° 15' 45" de latitud Norte y a 79° 30' 35" de longitud Oeste, las coordenadas UTM son 663694E y 1024242N. El área de drenaje es de 407 km². El periodo de registro es desde marzo de 1933 hasta el año en curso.

Estación Candelaria en el río Pequení: La estación está a 600 m aguas arriba de la confluencia del río Pequení con la quebrada Candelaria, en la provincia de Panamá, distrito de Panamá, cerca del poblado de San Juan de Pequení Rural, frente a la escuela San Juan de Pequení Indígena. Sus coordenadas geográficas son: 9° 23' 02" de latitud Norte y 79° 30' 58" de longitud Oeste, Sus coordenadas UTM son 662949E y 1037649N. El área de drenaje es de 145 km² y el periodo de registro es desde septiembre de 1933 hasta el año en curso.

Estación Peluca en el río Boquerón: La estación está a 400 m aguas abajo de su confluencia con la quebrada Peluca, en la provincia de Colón, distrito de Colón, en el poblado de Boquerón Arriba, frente a la escuela del mismo nombre. Sus coordenadas geográficas son: 9° 22' 52" de latitud Norte y 79° 33' 39" de longitud Oeste, las coordenadas UTM son: 658032E Y 1037322N. El área de drenaje es de 90.6 km² y el periodo de registro es desde septiembre de 1933 hasta el año en curso.

Estación Ciento en el río Gatún: La estación está a 6.4 km aguas arriba del puente de la carretera Transistmica, en la provincia de Colón, distrito de Colón. Sus coordenadas geográficas son: 09° 18' 06" de latitud Norte y 79° 43' 45" de longitud Oeste, las coordenadas UTM son: 639580E y 1028455N. El área de drenaje es de 119 km² y el periodo de registro es desde abril de 1943 hasta el año en curso.

Estación El Chorro en el río Trinidad: La estación está a 1.2 km aguas arriba del Puerto de Trinidad, cerca del poblado Los Chorros de Trinidad, en el distrito de Capira, provincia de Panamá Oeste. Sus coordenadas geográficas son: 08° 58' 31" de latitud Norte y 79° 59' 25" de longitud Oeste, las coordenadas UTM son: 610996E y 992291N.

El área de drenaje es de 171 km² y el periodo de registro es desde septiembre de 1947 hasta el año en curso.

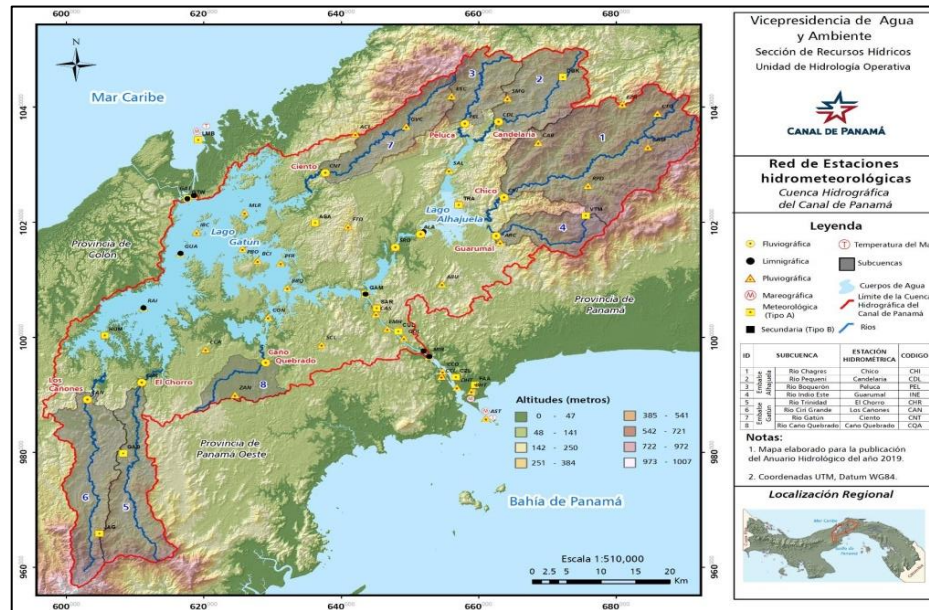
Estación Los Cañones en el río Cirí Grande: La estación está a 3.2 km aguas arriba del poblado Los Chorros de Cirí, en la provincia de Panamá Oeste, distrito de Capira. Sus coordenadas geográficas son: 8° 56' 56" de latitud Norte y 80° 03' 45" de longitud Oeste, sus coordenadas UTM son 603074E y 989339N. El área de drenaje es de 192 km² y el periodo de registro es desde septiembre de 1947 hasta 1959, julio de 1978 hasta el año en curso.

Estación Caño Quebrado Abajo en el río Caño Quebrado: La estación está a aproximadamente 5.0 km aguas arriba de la desembocadura del río en el Lago Gatún, cerca del poblado Caño Quebrado Abajo, en el distrito de Chorrera, provincia de Panamá Oeste. Sus coordenadas geográficas son: 9° 00' 15" de latitud Norte y 79° 49' 36" de longitud Oeste, sus coordenadas UTM son 628984E y 995541N. El área de drenaje es de 68.2 km² y el periodo de registro es desde el 1 de enero del 2003 hasta el año en curso.

Estación Guarumal en el río Indio Este: La estación está a 2.7 km aguas arriba de la desembocadura del río Indio en el Lago Alajuela, en el sector de Guarumal, corregimiento de Chilibre, distrito de Panamá, provincia de Panamá. Sus coordenadas geográficas son: 9° 12' 16" de latitud Norte y 79° 31' 13" de longitud Oeste, sus coordenadas UTM son: 662562E, 1017796N. El área de drenaje es de 80.4 km² y el periodo de registro es desde el 01 de junio del 2007 hasta la fecha.

Además de las estaciones hidrometeorológicas mencionadas anteriormente y que se observan en la Figura 1, tenemos las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces las cuales son utilizadas en el estudio.

FIGURA 1. MAPA DE ESTACIONES HIDROMETEOROLÓGICAS DE LA AUTORIDAD DEL CANAL DE PANAMÁ.



Fuente: Anuario Hidrológico ACP, 2019.

2.4. El cambio climático y la variabilidad climática

2.4.1. Cambio climático

De acuerdo al Panel Intergubernamental para Cambio Climático (IPCC) (2013): “el cambio climático es una variación del estado del clima identificable (por ejemplo, mediante pruebas estadísticas) en las variaciones del valor medio y/o en la variabilidad de sus propiedades, que persiste durante largos períodos de tiempo, generalmente decenios o períodos más largos”. El incremento en las concentraciones de gases de efecto invernadero ha producido lo que se conoce como calentamiento global, un fenómeno por

el cual la temperatura promedio del planeta ha subido de unos 0.85°C (rango 0.65-1.06 °C) en el período 1880-2012. Este calentamiento del planeta genera como consecuencia todas las demás modificaciones climáticas que están siendo observadas desde mediados del siglo XIX, entre las cuales pueden mencionarse: el incremento de la temperatura de los océanos, variación del contenido de humedad de la atmósfera, la modificación de la nubosidad, y del patrón de precipitaciones, con áreas del planeta que están recibiendo más lluvia y otras, como las zonas tropicales, que están más expuestas a la sequía (IICA, 2019).

Con respecto a las sequías, La Organización Meteorológica Mundial (OMM) (1992) define sequía como “un período de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico”. De igual modo, Bonilla (2014) expresa que: “las sequías en Centroamérica pueden deberse al fenómeno de El Niño, pero también a otro tipo de eventos climáticos y anomalías propios de la circulación atmosférica en el hemisferio Norte”.

Como plantea Cifuentes (2010), se espera que la temperatura promedio de la superficie del planeta aumente de forma mundial, sin embargo, las predicciones difieren en la magnitud, dirección (aumento o reducción) y ubicación de los cambios en la precipitación. Pese a esta incertidumbre, en general se espera que aumente el número de días secos, la incidencia de precipitaciones más intensas y de eventos extremos como tormentas e inundaciones.

Los principales impactos del cambio climático en la región climática central de Panamá, de acuerdo a la Estrategia Nacional de Cambio Climático 2050, del Ministerio de Ambiente (2019), se menciona una mayor frecuencia de fenómenos de precipitación extremos, el incremento en la intensidad de la precipitación, el impacto sobre los sistemas de potabilización afectaciones en el sistema pluvial y de aguas servidas, el impacto sobre la operación del Canal de Panamá, el aumento en inundaciones, deslizamientos, la elevación del nivel del mar y la erosión de la línea de costa, con pérdida de terrenos costeros y exposición a la intrusión marina. Según Cifuentes (2010), el cambio climático no sólo ha afectado los patrones normales de precipitación, sino también la periodicidad, intensidad y duración de diversos fenómenos climáticos. Tanto el exceso como el faltante de agua afectan la cantidad y la calidad disponible para los ecosistemas naturales y para el consumo humano, una mayor precipitación produce un aumento de caudales y arrastre de sedimentos y además el riesgo de inundaciones. Por otra parte, una reducción en la precipitación disminuye la cantidad de agua disponible en una cuenca hidrográfica.

La Comisión Económica para América Latina y el Caribe (2012) indica que las tormentas tropicales y huracanes también se encuentran entre los principales efectos del cambio climático, en el cual el riesgo para Centroamérica es alto. También menciona que en los últimos 30 años, la frecuencia de esos eventos ha incrementado; la evidencia de la relación entre la intensidad de los eventos extremos y el cambio climático parece sólida, teniendo en cuenta que los mares han absorbido 20 veces más calor que la atmósfera durante el último medio siglo. A medida que el mar se vuelve más caliente, las tormentas tropicales adquieren mayor potencial de convertirse en fuertes huracanes y a mayor calor del agua, mayor evaporación e intensidad de las tormentas.

2.4.2. Variabilidad climática

En el cuarto informe del Panel Intergubernamental sobre Cambio Climático de las Naciones Unidas (2007) define la variabilidad del clima como: “aquella que se refiere a las variaciones en el estado medio y otros datos estadísticos (como las desviaciones típicas, la ocurrencia de fenómenos extremos, etc.) del clima en todas las escalas temporales y espaciales, más allá de fenómenos meteorológicos determinados. La variabilidad se puede deber a procesos internos naturales dentro del sistema climático (variabilidad interna), o a variaciones en los forzamientos externos antropogénicos (variabilidad externa)”.

2.4.3. Variabilidad climática y su impacto en la distribución de las lluvias

El clima manifiesta ciclos o fluctuaciones de diversa duración a través de los años, los valores de las variables climatológicas (temperatura del aire, precipitación, etc.) fluctúan por encima o por debajo de lo normal (condición generalmente representada por el promedio de una variable climática en un período de por lo menos 30 años); la secuencia de estas oscilaciones alrededor de los valores normales, se conoce como variabilidad climática (IDEAM, 2018). Según Chow (1988) la precipitación varía en el espacio y en el tiempo de acuerdo con el patrón general de circulación atmosférica y con factores locales. También expresa que: “el promedio de una variable climática, a lo largo de algunos años de observación, se conoce como su valor normal”. Bonilla (2014) menciona que la variabilidad climática en Centroamérica es alta, la región está expuesta a fenómenos atmosféricos que causan lluvias intensas y provocan inundaciones, así como a otros que producen el efecto opuesto. Los primeros pueden ser de origen tropical, como los ciclones tropicales (huracanes, tormentas y depresiones), las ondas del este o

conglomerados nubosos que se desprenden de la Zona de Confluencia Intertropical (ZCIT) o de origen extra tropical como los frentes fríos. Esta variabilidad climática denota las variaciones del estado medio y otras características estadísticas (desviación típica, sucesos extremos, etc.) del clima en todas las escalas espaciales y temporales más amplias que las de los fenómenos meteorológicos (IPCC, 2013).

La ubicación geográfica de Panamá la hace susceptible de los impactos relacionados con fenómenos de la variabilidad climática, donde los patrones de lluvia y temperatura se ven modificados con cambios bruscos de un año a otro, provocando las variaciones en el estado promedio y de otras estadísticas del clima. Los patrones de lluvias cambian por presencia de eventos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) tanto en su fase cálida (El Niño) como su fase fría (La Niña). Los impactos al país, a la economía y a la sociedad varían de acuerdo a la intensidad y tipo de evento ENOS (Ministerio de Ambiente, 2018).

2.4.4. El Niño-Oscilación del Sur

El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) es un fenómeno natural, este describe el rango de las temperaturas oceánicas de la Oscilación del Sur que incluye tanto el incremento de las temperaturas superficiales del mar (calentamiento) como el descenso (enfriamiento), comparado con el promedio a largo plazo (Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica, s.f). Se optó por nombrar a todo el fenómeno El Niño-Oscilación del Sur, debido a que las fluctuaciones en las presiones atmosféricas superficiales se encuentran vinculadas al calentamiento oceánico.

El Niño es un fenómeno en el Océano Pacífico Ecuatorial, caracterizado por una temperatura positiva de la superficie del mar que se aleja de lo normal (para el período base 1971-2000) en la región Niño 3.4 mayor o igual en magnitud a 0.5°C (0.9 grados

Fahrenheit), promediado durante tres meses consecutivos. Mientras que, la Niña es un fenómeno en el Océano Pacífico Ecuatorial caracterizado por una temperatura negativa de la superficie del mar que se aleja de lo normal (para el período base 1971-2000) en la región Niño 3.4 mayor o igual en magnitud a $0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$ (0.9 grados Fahrenheit), promediado durante tres meses consecutivos (NOAA, 2005).

Uno de los indicadores que permite diagnosticar y anunciar el inicio de un evento ENOS es el índice oceánico El Niño (ONI, por sus siglas en inglés). Este índice oceánico es el indicador estándar utilizado por la NOAA para identificar el inicio de eventos El Niño (fase cálida) o La Niña (fase fría) en el Océano Pacífico Ecuatorial. Para establecer el inicio de un evento, se toma como referencia la región denominada Niño 3.4, la cual se encuentra comprendida entre las latitudes 5°S a 5°N y entre las longitudes 120°O a 170°O (NOAA, 2016).

Este índice es una medida de las desviaciones o anomalías de la temperatura superficial del mar con respecto al promedio mensual histórico. Cuando la anomalía de temperatura asume un valor mayor o igual a $+0.5\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante tres meses consecutivos, en la región Niño 3.4 se anuncia el inicio de un evento El Niño. Cuando la anomalía de temperatura obtiene un valor menor o igual a -0.5°C , durante tres meses consecutivos se da inicio a un evento La Niña (NOAA, 2017).

Con relación a la intensidad de estos eventos, la Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica (NOAA por sus siglas en inglés) subdividió el umbral de anomalías de temperaturas en las siguientes categorías:

CUADRO I. CATEGORÍAS DEL NIVEL DE INTENSIDAD DE EVENTOS EL NIÑO Y LA NIÑA, SEGÚN NOAA.

Anomalía de temperatura (°C)	Nivel de intensidad
0.5 °C a 0.9 °C	Débil
1.0 °C a 1.4 °C	Moderado
1.5 °C a 1.9 °C	Fuerte
≥ 2.0 °C	Muy Fuerte

Según Amador y Olmedo (1998), los efectos del fenómeno de El Niño en Panamá consisten en la disminución de las lluvias en las regiones ubicadas en la vertiente del Pacífico y aumento en la vertiente del Caribe. Existen variaciones locales (espaciales y temporales) asociadas a la orografía del lugar y a la intensidad del evento.

2.4.5. Manejo de cuencas hidrográficas y el cambio climático

En definitiva el manejo de cuencas es una ciencia para lograr el uso adecuado de los recursos naturales, debido a la actividad antropogénica, en busca de un desarrollo sostenible. Asimismo, su evolución siempre estuvo relacionada con el uso de los recursos naturales, inicialmente el agua, posteriormente el bosque y el suelo (Faustino y Jiménez, 2000). Con respecto al cambio climático y el agua, los impactos se basarán en excesos o déficits que están relacionados con las inundaciones o sequías, generando afectaciones en los sectores como deslizamientos, reducción en la producción agrícola, restricción y control al acceso del agua para uso doméstico y otros usos de importancia económica, social y ambiental (Pezo, Muschler, Tobar y Pulido, 2019).

Como expresa Ríos (2015), al vincular el manejo de cuencas con aspectos de riesgo climático, resulta importante reconocer que cada cuenca por su estructura propia y su relación con su funcionalidad, el manejo y la ubicación geográfica así como los aspectos

climáticos tiene un grado de riesgo que está en función de la amenaza y la vulnerabilidad. Esta última considerada el grado de susceptibilidad o de incapacidad de un sistema para afrontar los efectos adversos del cambio climático y, en particular, la variabilidad del clima y los fenómenos extremos. Esta vulnerabilidad dependerá del carácter, magnitud y rapidez del cambio climático a que esté expuesto un sistema, y de su sensibilidad y capacidad de adaptación (IPCC, 2007).

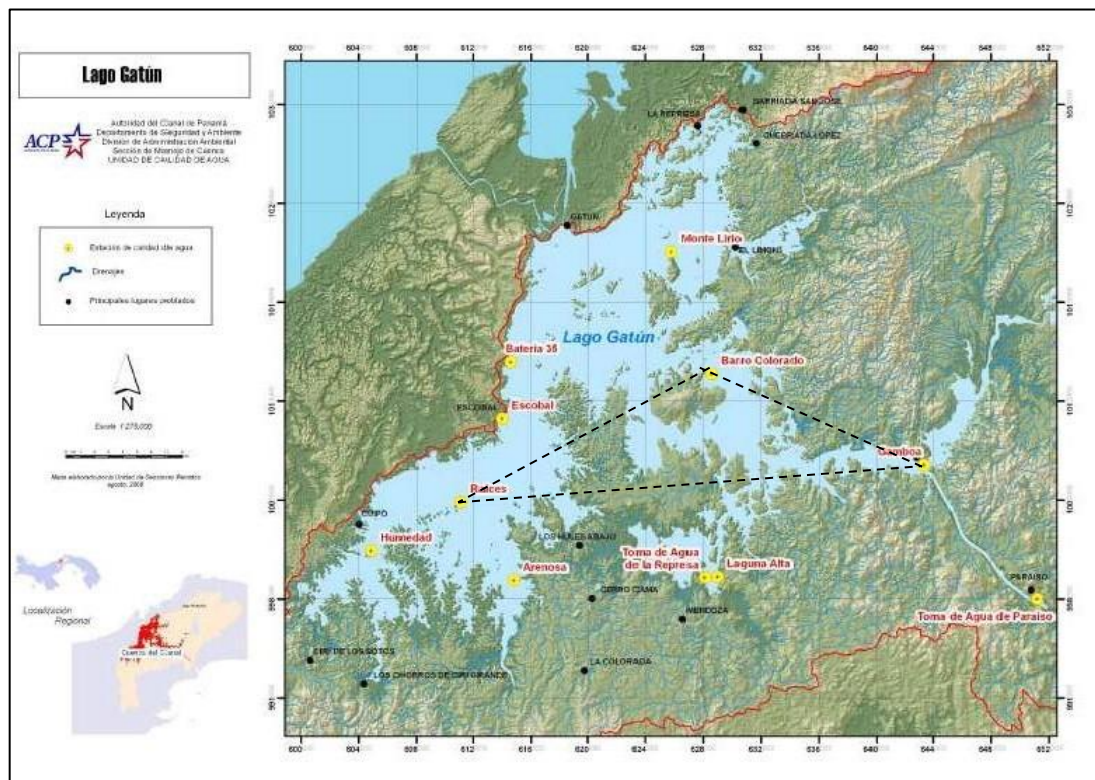
La incorporación de la adaptación al cambio climático en la gestión sostenible de la tierra y el agua es, por lo tanto, de suma importancia para el manejo de cuencas (FAO, 2013). De esta forma, la adaptación se puede definir como el ajuste en sistemas naturales o humanos en respuesta a real o estímulos climáticos esperados o sus efectos, que moderan el daño o explota las oportunidades beneficiosas (IPCC, 2007). Por lo tanto, para Faustino y Jiménez (2000) “la cuenca hidrográfica es la unidad de análisis y planificación, ya que a nivel de cuenca se analizan los impactos y efectos globales, y en ella se plantean las relaciones entre las partes altas y bajas y viceversa”.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ubicación del área de estudio

El estudio se realizó con las tres estaciones meteorológicas que se muestran en la Figura 2, en la región Sur de la subcuenca del Lago Gatún, mediante la información suministrada de datos de precipitación por la Autoridad del Canal de Panamá (ACP), específicamente las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces.

FIGURA 2. UBICACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS PARA EL ESTUDIO EN LA SUBCUENCA DEL LAGO GATÚN.



Fuente: Informe de calidad de agua en la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá 2003-2005 Volumen II, 2006.

3.2. Caracterización de la zona de estudio

3.2.1. Clima

El clima según Kôppen (1948) en el lugar de estudio es Clima Tropical Húmedo, con valores promedio, tales como: 70% de humedad relativa, 2,500 mm de precipitación anual, temperaturas entre 24°C y 26°C, vientos de 6.5 km/h y la evapotranspiración que va desde 1.301-1.325 mm. Se presentan dos estaciones una es la seca y otra la lluviosa, la duración de la primera va de diciembre a abril y la lluviosa de mayo a noviembre. Se encuentra en la zona de vida correspondiente al Bosque Húmedo Tropical (bh-T) (Holdridge, 1967).

3.2.2. Geología

De acuerdo al mapa geológico de Panamá se muestran las formaciones geológicas de Caimito (TO-CAI) para la región aledaña a la estación de Las Raíces, incluyendo las ramas que rodean el Lago Gatún y la formación geológica Bohío (TO-PAb), en las zonas cercanas a las estaciones de Gamboa y Barro Colorado. La primera tiene presencia de rocas sedimentarias como arenisca tobácea, lutita tobácea, caliza, foraminífera, y roca ígnea como la toba. En la segunda los suelos presentan en su mayoría rocas sedimentarias como conglomerados, areniscas, tobas y diques basálticos. En las formaciones sedimentarias se han encontrado fósiles pertenecientes al Cretácico Superior. Existen diferentes formaciones que cuentan con porcentajes variados de este tipo de roca y datan del Periodo Cuaternario hasta el Secundario. La formación de Caimito y Bohío se encuentran en el periodo Terciario (ANAM, 2010).

3.2.3. Geomorfología

Con relación al mapa geomorfológico de Panamá, el lugar se caracteriza de regiones bajas que corresponden a zonas deprimidas, constituidas por rocas sedimentarias marinas. La topografía varía de aplanada a poco ondulada, con declives que oscilan entre muy débil y débil. La formación es de tipo glacis o explanadas, de las rocas sedimentarias se encuentran la caliza, lutita, conglomerado, arenisca, entre otras (ANAM, 2010).

3.2.4. Suelos

Los suelos del área pertenecen al grupo de suelos Ultisoles y Oxisoles que son formados por la acción de los agentes abióticos de formación del suelo y como es principalmente un régimen de precipitación intensa sobre las rocas ígneas a través del tiempo dan origen a suelos arcillosos, ácidos de relativa baja fertilidad y materia orgánica que son más resistentes a la erosión que los desarrollados a partir de los depósitos aluviales. Estos suelos son típicamente rojos, ácidos, de bajo contenido de materia orgánica y alto contenido de arcillas moderadamente profundas y de baja fertilidad. El horizonte diagnóstico se define por las evidencias de lixiviación de la arcilla hacia un horizonte sub-superficial argílico (Bt) o un horizonte óxico (Bo). Ambos horizontes se desarrollan bajo intensos procesos de lixiviación, con enriquecimiento de óxidos de hierro y aluminio en los óxicos y acumulación de arcilla en el caso del horizonte argílico (ACP, 2002).

La capacidad agrológica de los suelos de la zona de estudio son de tipo V y VI, el primero de carácter no arable con poco riesgo de erosión y el segundo no arable con limitaciones severas. La clase de tipo V presenta una aptitud para uso de ganadería, mientras que la clase VI es de carácter forestal o silvicultura (ANAM, 2010).

3.2.5. Cobertura boscosa y uso de la tierra

La cobertura boscosa y uso de la tierra en el área de estudio corresponde a la categoría de bosque secundario maduro, en la cual la vegetación se encuentra en estado de sucesión secundaria producto de la remoción parcial o completa de la vegetación primaria debido a causas antropogénicas o naturales. En otras zonas se presentan la categoría de uso agropecuario, que incluye áreas de cultivos agrícolas anuales, semi anuales, semipermanentes o permanentes y pastoreo, al igual que áreas cubiertas por herbazales, rastrojos e incluso algunos remanentes de boscosos dispersos (ANAM, 2010).

3.2.6. Hidrología

El área de estudio corresponde a la región hídrica de Caribe Occidental, la cual cubre la mayor parte del territorio de la provincia de Colón, la Comarca Kuna Yala y la parte Norte de la provincia de Panamá, delimitada por la cuenca del Canal (ANAM, 2010). La mayor región hídrica de la cuenca del Canal es la del Lago Gatún, que ocupa la parte central y oeste de la cuenca. El lago recibe aportes de unos 39 cuerpos de agua, entre quebradas y ríos. Entre ellos, se pueden mencionar a las quebradas Ancha, El Congal, Harina, Juan Gallegos, Leona, La Puerca, La Tagua, Larga, Las Pavas, Las 3 Hermanas y López, entre otras, y los ríos Agua Clara, Agua Salud, Agua Sucia, La Seda, Culo Seco, Los Hules, Gatún, Canito, Cirí Grande, Baila Monos, Frijoles, Frijolito, Frijolita, Mandinga, Pescado, Paja, Pelón, Trinidad, Caño Quebrado, etc. (CICH, 2008). El Lago Gatún tiene un volumen almacenado estimado de 5.20 mil millones de m³ de agua (183 mil millones de pies cúbicos) en la estación seca y para la estación lluviosa se estima que el almacenamiento de agua alcanza 5.56 mil millones m³ (196 mil millones de pies cúbicos) (Rodríguez, 2006).

3.2.7. Hidrogeología

El estudio sobre la Hidrogeología en Panamá, muestra para el área de estudio de acuerdo a las formaciones geológicas de Caimito (TO-CAI) y Bohío (TO-PAb), áreas con acuíferos locales (intergranulares o fisurados) de productividad limitada o poco significativa, con una permeabilidad baja a muy baja, con caudales desde 1-3 m³/h. En su mayoría la Hidrogeología se caracteriza por pertenecer a acuíferos constituidos por depósitos marinos generalmente de naturaleza clásica con secciones ocasionadas de origen bioquímico (calizas). La granulometría predominante de estos materiales es del orden de limos y arcillas. En estas formaciones se encuentran intercaladores de basaltos y andesitas. Se puede obtener cierta producción en pozos individuales. La calidad química de las aguas es variable. En otras secciones se caracteriza por pertenecer a acuíferos locales constituidos por depósitos volcánicos marinos y lacustres consolidados y no consolidados. Las zonas meteorizadas pueden funcionar como acuitardos. La calidad química de las aguas es variable desde buena hasta aguas salobres (ANAM, 2010).

3.3. Caracterización de las estaciones meteorológicas

Las estaciones meteorológicas fueron seleccionadas por estar en operación desde 1800 a 1900 en adelante, con el fin de establecer un periodo aproximadamente de al menos 35 años para el estudio. De acuerdo al Anuario Hidrológico del 2019 de la Autoridad del Canal de Panamá (2020), la descripción de las estaciones meteorológicas utilizadas son:

3.3.1. Gamboa

La estación de Gamboa se encuentra ubicada en la provincia de Colón, con coordenadas geográficas de 09°06'44" latitud Norte y 79°41'38" longitud Oeste y coordenadas UTM de 643528E y 1007523N. Presenta una elevación de 31.4 m.s.n.m. Esta estación es de

tipo A Automática/Limnigráfica, sus parámetros son de nivel del lago y meteorología. La fecha de inicio fue en junio de 1881.

3.3.2. Barro Colorado

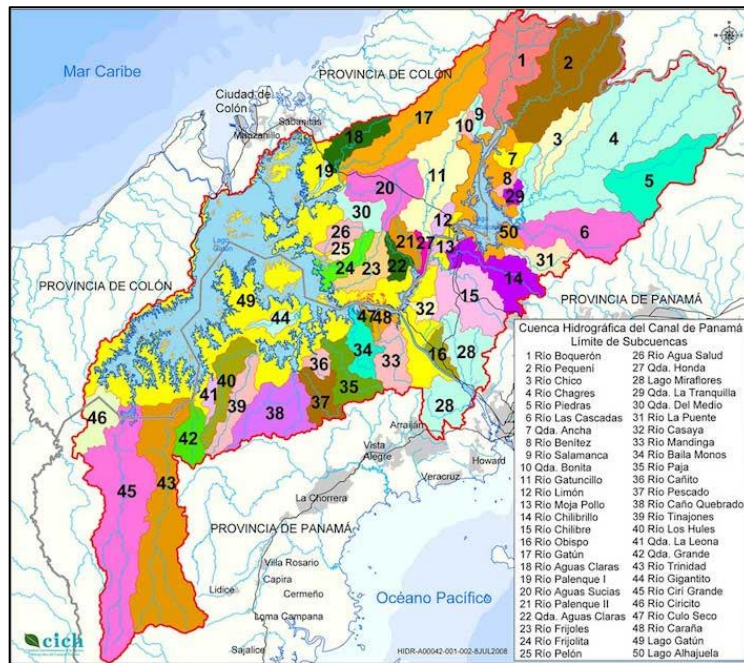
La estación de Barro Colorado está localizada en El Monumento Natural Isla Barro Colorado en el Lago Gatún, dentro del Canal de Panamá. Las coordenadas geográficas son 09° 09' 57" latitud Norte y 79° 50' 12" longitud Oeste y coordenadas UTM de 627834E y 1013394N. Se encuentra en una elevación de 33.5 m.s.n.m. El inicio del registro de precipitación se dio en abril de 1925, esta estación es de tipo C Automática/Pluviográfica, su parámetro es de precipitación.

3.3.3. Las Raíces

Al igual que Gamboa, la estación Las Raíces se encuentra en la provincia de Colón, con una elevación de 34 m.s.n.m., con coordenadas geográficas de 09° 05' 29" latitud Norte y 79° 59' 17" longitud Oeste y coordenadas UTM de 611208E y 1005131N. El tipo de estación es C Automática, pluviográfica, limnigráfica, con parámetros de precipitación y nivel del lago. La fecha de inicio de registro fue en enero de 1912.

En la Figura 3 se puede apreciar la red de subcuencas de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, y se puede observar que el estudio se realizó en el área del Lago Gatún N°49.

FIGURA 3. MAPA DE SUBCUENCAS DE LA CUENCA HIDROGRÁFICA DEL CANAL DE PANAMÁ.



Fuente: Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá, 2008.

3.4. Análisis estadístico de la precipitación

El análisis estadístico de los datos de lluvia de las tres estaciones se llevó a cabo de forma individual para cada estación meteorológica, con distintos parámetros que fortaleció el desenvolvimiento de la investigación. De igual manera, se efectuó el desarrollo de un análisis en conjunto de las tres estaciones, para así obtener un resultado en general del área de estudio.

3.4.1. Descripción del análisis de series temporales de precipitación

La metodología de la investigación se basó en el análisis estadístico de series temporales de precipitación, debido a que esta herramienta de métodos estadísticos permite

cuantificar y estudiar la evolución del cambio climático, con el objetivo de determinar los cambios en los patrones de precipitación relacionada con el cambio climático.

La serie temporal es de 35 años (desde 1984 hasta 2018), correspondientes a estaciones meteorológicas ubicadas en la parte sur de la subcuenca del Lago Gatún de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá. Estas estaciones son Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces, en las cuales se estudió la evolución, el comportamiento de la precipitación y su posible correlación con el cambio climático y con los eventos climáticos como lo son el fenómeno de El Niño y La Niña.

Dentro de esta serie de 35 años se dividió en dos periodos, el primero de 1984 al 2000 y el segundo desde el 2001 al 2018 para cada una de las gráficas en los resultados. Esto se debe a que se asume que en función de la variabilidad climática, esta se manifiesta en el último periodo o en los últimos años en los registros de precipitación. Por lo tanto se establece esta división para evaluar el comportamiento en ambos periodos.

3.4.2. Parámetros evaluados

1. Comportamiento de la precipitación anual e identificación de los años con los fenómenos de La Niña y El Niño.
2. Variación de los días con lluvia, es decir, mayor a cinco milímetros de la estación lluviosa.
3. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias, es decir, menor a cinco milímetros como un proceso continuo de la estación lluviosa para cada año.
4. Comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa para cada año.

5. Comportamiento de la intensidad máxima en 30 minutos (I_{30}) (mm/h) en las tormentas registradas en los días de precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa para cada año.
6. Tormentas registradas en los días de precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa de acuerdo a la clasificación de la intensidad en dos periodos, el primero de 1984-2000 y el segundo de 2001-2018.

3.4.3. Descripción de los parámetros evaluados

3.4.3.1. Caracterización de la precipitación diaria, anual, años Niño y Niña

Para la caracterización de la precipitación diaria, se extrajo de la data suministrada por la Autoridad del Canal de Panamá, los datos de precipitación diaria de las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces, en diferentes documentos de Microsoft Excel 2010. Se procedió a reubicar los datos en libros de Excel para cada estación, ordenando año por año desde 1984 al 2018, incluyendo los meses por separado. Una vez realizado esto, se calculó la sumatoria total, el promedio y la desviación estándar por cada mes de cada año, para todos los años en las tres estaciones.

Al tener este ordenamiento de datos, se realizaron los cuadros de precipitación mensual (mm) y promedio anual (mm) para las estaciones de Gamboa (Anexo 1), Barro Colorado (Anexo 2) y Las Raíces (Anexo 3). Estos cuadros favoreció la elaboración de gráficas de precipitación anual, el cual permitió conocer la variación que tienen estos datos a través del tiempo, incluyendo aquellos años con presencia de fenómenos climáticos como El Niño y La Niña. La información sobre dichos años se encontró en el sitio oficial de La Oficina Nacional de Administración Oceánica y Atmosférica o (National Oceanic and Atmospheric Administration, NOAA).

El promedio anual y la desviación estándar anual, nos permitió calcular los años húmedos y años secos para cada estación, con la siguiente formula:

$$\mu + \sigma = \text{años húmedos.}$$

$$\mu - \sigma = \text{años secos.}$$

En donde, μ en minúscula (μ) se refiere al promedio anual y σ en minúscula (σ) a la desviación estándar anual, ambas pertenecientes al alfabeto griego.

3.4.3.2. Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa

Para determinar la cantidad de días con precipitación mayor a cinco milímetros, se empleó la función de formato condicional en Excel, cuya función es mostrar los datos de acuerdo al formato deseado el cual es, días con precipitación mayor a cinco milímetros. Se contabilizaron estos días por mes, para obtener así el total de la estación lluviosa de cada año para todas las estaciones de estudio. Este parámetro permitió la construcción de una gráfica para cada una de las estaciones.

3.4.3.3. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros en la estación lluviosa

La ocurrencia de los eventos de días sin lluvias, o menor a cinco milímetros se efectuó con el fin de obtener el comportamiento de días prolongados sin precipitación a través del tiempo. Esto se llevó a cabo mediante la selección de eventos extensos de días seguidos sin lluvias como un proceso continuo en los meses de la estación lluviosa, desde mayo a noviembre desde 1984 al 2018 para las tres estaciones meteorológicas.

3.4.3.4. Caracterización de las tormentas en la estación lluviosa

En primer lugar para la caracterización de las tormentas se tomó el parámetro del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa, esta cantidad de días nos permitió obtener fácilmente aquellas tormentas con una mayor intensidad. Sin embargo, las lluvias no se comportan de la misma forma. Debido a esto, hay días que pueden tener la misma cantidad de lluvia diaria, pero su duración es diferente durante el día. Por lo tanto, pueden resultar diferentes intensidades de lluvias, desde 0 hasta más de 100 mm/h. Resulta importante destacar que en algunos días se presentaron de una a dos tormentas en el mismo día, y también se presenciaron tormentas con duración de hasta tres días. Una vez que se tienen los días y las tormentas registradas en esos días, se procede a calcular la intensidad de lluvias de acuerdo a la data de precipitación de cada 15 minutos, mediante la I_{30} (mm/h), cuya ecuación es:

$$I_{30} \text{ (mm/h)} = (60/30) * PPT30$$

Donde I_{30} , es la mayor intensidad de lluvias en un periodo de 30 minutos (mm/h),

60/30, equivale al factor para transformar a horas,

PPT30, equivale a la sumatoria de los dos valores seguidos de mayor precipitación en 30 minutos para cada tormenta.

Con los valores de I_{30} se logra desarrollar un gráfico que muestra el comportamiento de diferentes tipos de intensidades que se registraron en cada estación. Con estos valores de intensidad, se procedió a elaborar un tipo de clasificación para contabilizar las intensidades de las tormentas en dos periodos el primero de 1984-2000 y el segundo de 2001-2018.

Esta clasificación se definió en rangos, tales como:

>0 y ≤ 20 (mm/h)

>20 y ≤ 40 (mm/h)

>40 y ≤ 60 (mm/h)

>60 y ≤ 80 (mm/h)

>80 y ≤ 100 (mm/h)

>100 (mm/h)

Esta clasificación permitió la comparación de las tormentas registradas en los días de precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa para ambos periodos y así poder determinar cambios significativos.

3.4.4. Análisis grupal de las estaciones de meteorológicas

Para el análisis en conjunto de las tres estaciones meteorológicas, se utilizaron cinco parámetros, los cuales son:

4. Comportamiento de la precipitación anual y la identificación de los años con fenómenos de La Niña y El Niño.
5. La variación de la cantidad de días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa para cada año.
6. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros como un proceso continuo de la estación lluviosa.

7. Comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa para cada año.
8. Tormentas registradas en los días de precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa de acuerdo a la clasificación de la intensidad en dos periodos, el primero de 1984-2000 y el segundo de 2001-2018.

Para cada uno de estos parámetros se utilizaron los resultados originados en cada estación, y se unieron para confeccionar las gráficas correspondientes a cada parámetro. Se realizó esta unificación con el fin de obtener un resultado en general de la región Sur de la subcuenca del Lago Gatún.

9. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

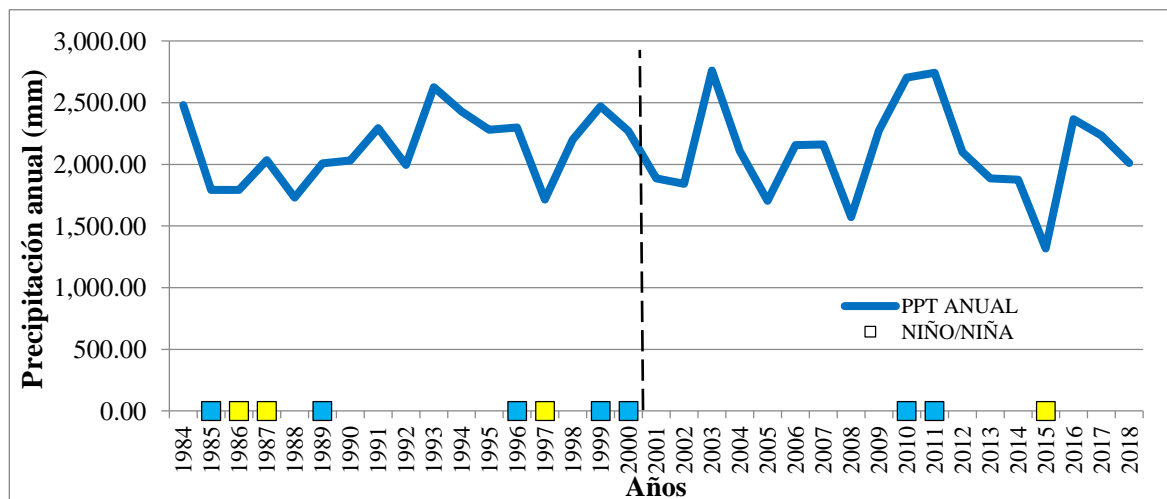
9.1. Análisis de los datos de precipitación por estaciones

9.1.1. Estación Gamboa

9.1.1.1. Comportamiento de la precipitación anual

En el análisis de la precipitación anual en la estación de Gamboa, resulta una precipitación promedio anual de 2,118.76 mm en los 35 años de registro. Se observa una variabilidad anual, que oscila bastante entre el año 2000 y el 2015, como se muestra en la Figura 4. El evento Niño del 2015, siendo el evento más cícrico, en el cual la precipitación resulta menor a los 1,500 mm, hasta los años Niña que sube a más de 2,500 mm en el 2010 en el mes de diciembre (La Purísima ACP) en el cual se observa una meseta en los años 2010 y el 2011.

FIGURA 4. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL E IDENTIFICACIÓN DE AÑOS NIÑO Y NIÑA, GAMBOA (1984-2018).



En el Cuadro II se muestran los registros de la ocurrencia de los años Niño y Niña según NOAA y la precipitación anual correspondientes a la serie de datos de 1984 al 2018.

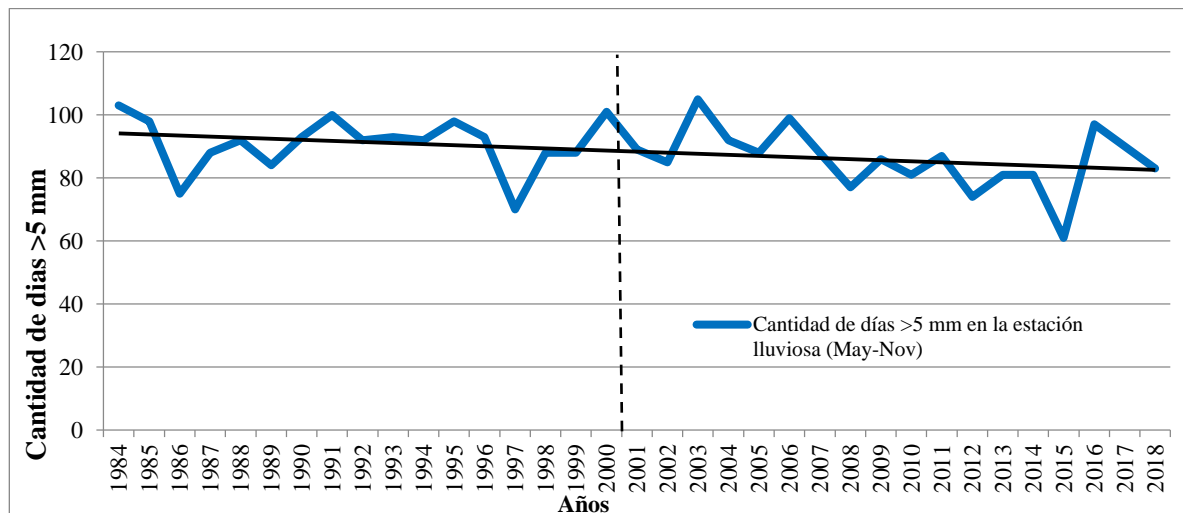
CUADRO II. REGISTROS DE FENÓMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA Y LA PRECIPITACIÓN ANUAL SEGÚN NOAA, GAMBOA (1984-2018).

Registros de fenómenos de Niño y Niña, según NOAA			
Tipo de fenómeno	Año	Precipitación anual (mm)	Intensidad
NIÑA	1985	1,793.24	DÉBIL
NIÑO	1986	1,793.24	MODERADO
NIÑO	1987	2,034.54	MODERADO
NIÑA	1989	2,009.14	FUERTE
NIÑA	1996	2,298.70	DÉBIL
NIÑO	1997	1,714.50	MUY FUERTE
NIÑA	1999	2,468.88	MODERADO
NIÑA	2000	2,270.76	DÉBIL
NIÑA	2010	2,704.00	MODERADO
NIÑA	2011	2,742.00	MODERADO
NIÑO	2015	1,319.00	MUY FUERTE

9.1.1.2. Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros

El segundo aspecto analizado en el estudio es la cantidad de días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa para la serie de años de 1984 al 2018 como se observa en la Figura 5.

FIGURA 5. GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DE LOS DÍAS CON LLUVIA (>5 mm) EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, GAMBOA (1984-2018).



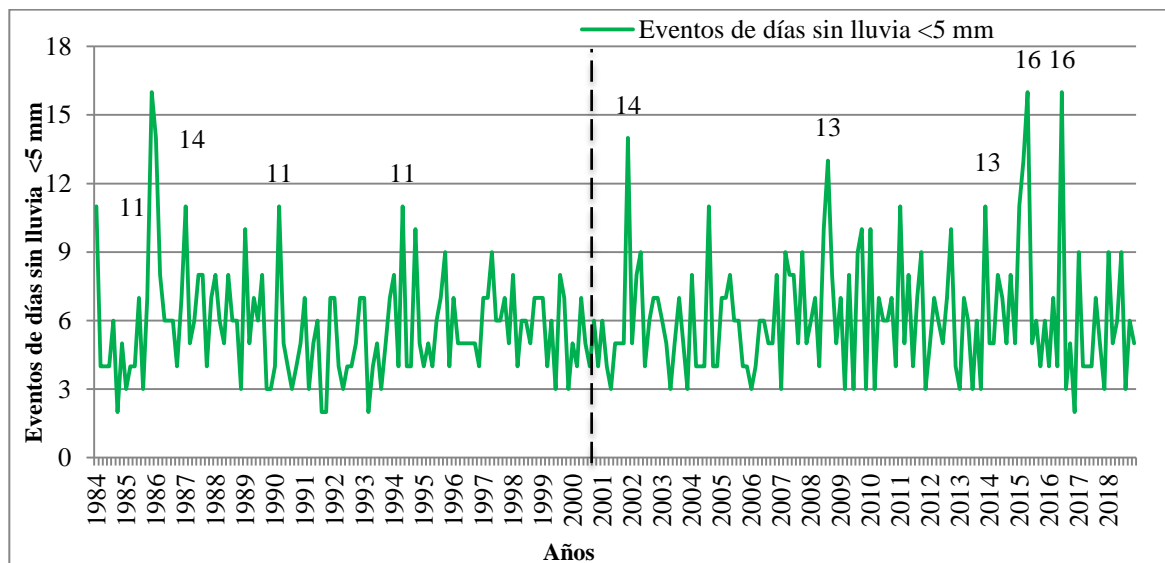
Al inicio de los años de la serie de datos los días con precipitación mayor a cinco milímetros, se puede observar que en el año 1984 los días se encuentran arriba de los 100

días. A partir del año 2001 se observa una tendencia a la disminución de los días con lluvia mayor a los cinco milímetros en la estación lluviosa, al extremo que llegan hasta los 60 días aproximadamente en el caso del año Niño del 2015.

9.1.1.3. Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros

El tercer parámetro evaluado es el análisis de los eventos de días sin lluvias menor a los cinco milímetros como un proceso continuo de la estación lluviosa desde 1984 al 2018, que se presenta a continuación en la Figura 6.

FIGURA 6. GRÁFICA DE EVENTOS DE DÍAS SIN LLUVIAS (<5 mm) COMO PROCESO CONTINUO DE ESTACION LLUVIOSA, GAMBOA (1984-2018).



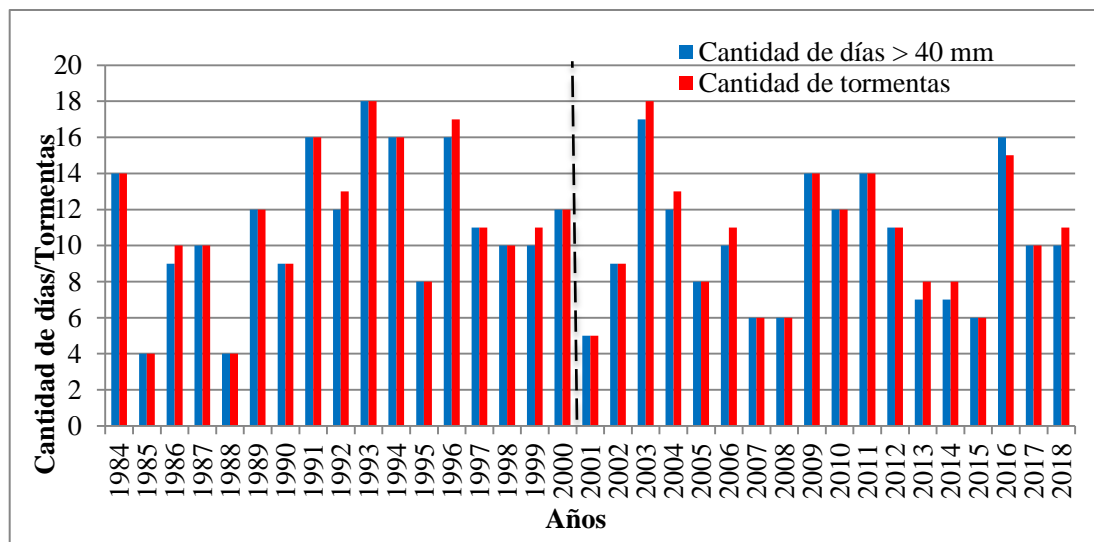
En el análisis de eventos de días sin lluvia menor a los cinco milímetros, se puede observar que se tiene en promedio, eventos de seis días sin lluvias en la estación lluviosa. También podemos observar que en el análisis de los días sin lluvia en la estación lluviosa, los primeros años utilizados para el análisis, solamente sobrepasa los 12 días sin lluvia en los años 1985 y 1986. A partir del año 2001 aumentan los eventos de más de 12 días, como en el año 2001, 2008, 2015 y 2016. En el caso del año 2015, que coincide con un

año Niño muy fuerte, se presentan dos eventos extremos de días sin lluvia, uno de 13 y 16 días, y posteriormente en el año 2016 llega a pasar a más de 15 días. Cuando ocurren eventos de días sin lluvias alternadamente en años con siete u ocho días sin lluvia, estos se empiezan a acrecentar cuando nos acercamos al año 2000. Por lo tanto, aumentaron los días sin lluvia durante la estación lluviosa en la estación de Gamboa, una estación de la zona atlántica del país.

9.1.1.4. Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas

El conteo de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros resultó de gran importancia y apoyo para obtener de forma más sencilla posibles tormentas con una mayor intensidad, como se muestra en la Figura 7.

FIGURA 7. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DÍAS CON PRECIPITACIÓN (>40 mm) Y LA CANTIDAD DE TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, GAMBOA (1984-2018).



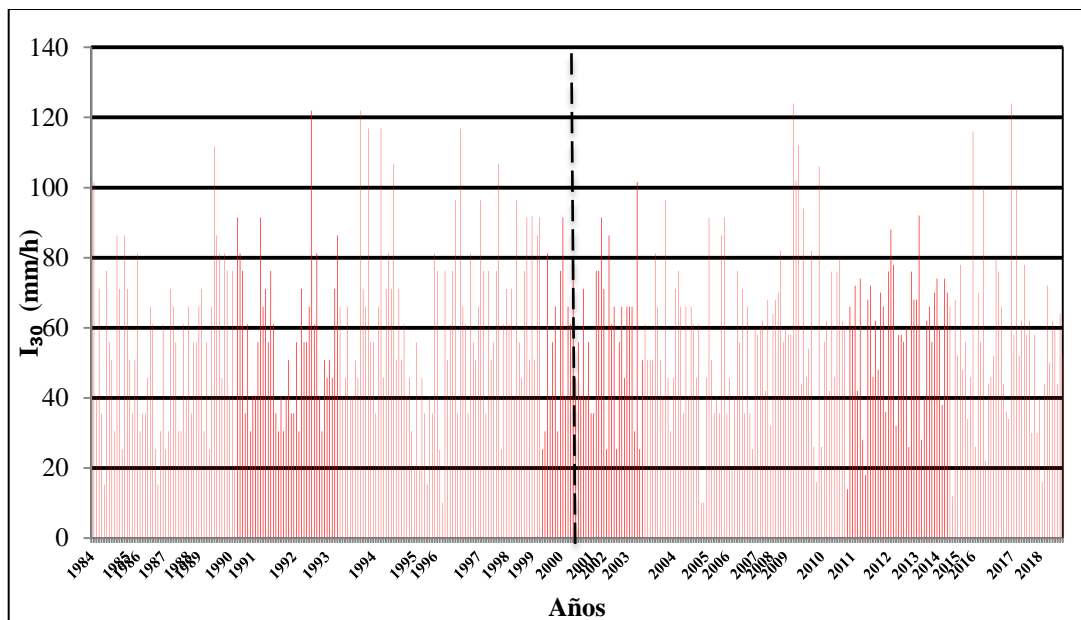
Se logró observar que no se manifiesta gran diferencia en el comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas en el segundo periodo con relación al primero. Se puede decir que existe en promedio 11 días y de 11

tormentas para el periodo de 1984-2000 y desde el año 2001 al 2018 se tiene en promedio de 10 días y 10 tormentas. De la misma manera, podemos observar que en algunos años, el número de días no coincide con el número de tormentas, esto se debe a que en un día pueden ocurrir dos tormentas. En paralelo a la situación, podemos observar el año 2016, en el cual hubo mayor número de días que de tormentas, a causa de que se presentan tormentas extensas que pueden llegar a ocurrir en dos días seguidos, y que en ambos días la precipitación fue mayor a los cuarenta milímetros.

9.1.1.5. Análisis del comportamiento de la intensidad de lluvias (I_{30} mm/h) en la estación lluviosa

La intensidad de las lluvias resulta de gran importancia en el estudio, porque permite la comparación de las intensidades de lluvias de acuerdo a los periodos establecidos, como se logra observar en la Figura 8.

FIGURA 8. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA I_{30} (mm/h) EN LAS TORMENTAS REGISTRADAS EN LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN (>40 mm) EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, GAMBOA (1984-2018).



Podemos observar que ambos periodos de 1984-2000 y de 2001-2018 el comportamiento es similar, teniendo un considerable número de tormentas por encima de los 60 mm/h en ambos periodos. Se hace necesario resaltar que para los años 2009 y 2017 hubo dos tormentas en la cual la I_{30} fue de 124 mm/h, mientras que en el periodo anterior la máxima intensidad en 30 minutos fue de 121.92 mm/h en los años 1992 y 1993, este último registrado como un año húmedo en la estación de Gamboa.

9.1.1.6. Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia

Para la elaboración de una comparación más precisa para ambos períodos, se definió una clasificación en orden ascendente, es decir, de >0 y ≤ 20 mm/h, de >20 y ≤ 40 mm/h, así sucesivamente, hasta llegar a >100 mm/h. A continuación se presentan los resultados obtenidos en el Cuadro III.

CUADRO III. CANTIDAD DE TORMENTAS DE ACUERDO A SU CLASIFICACIÓN DE INTENSIDAD EN DOS PERIODOS (1984-2000) y (2001-2018), GAMBOA.

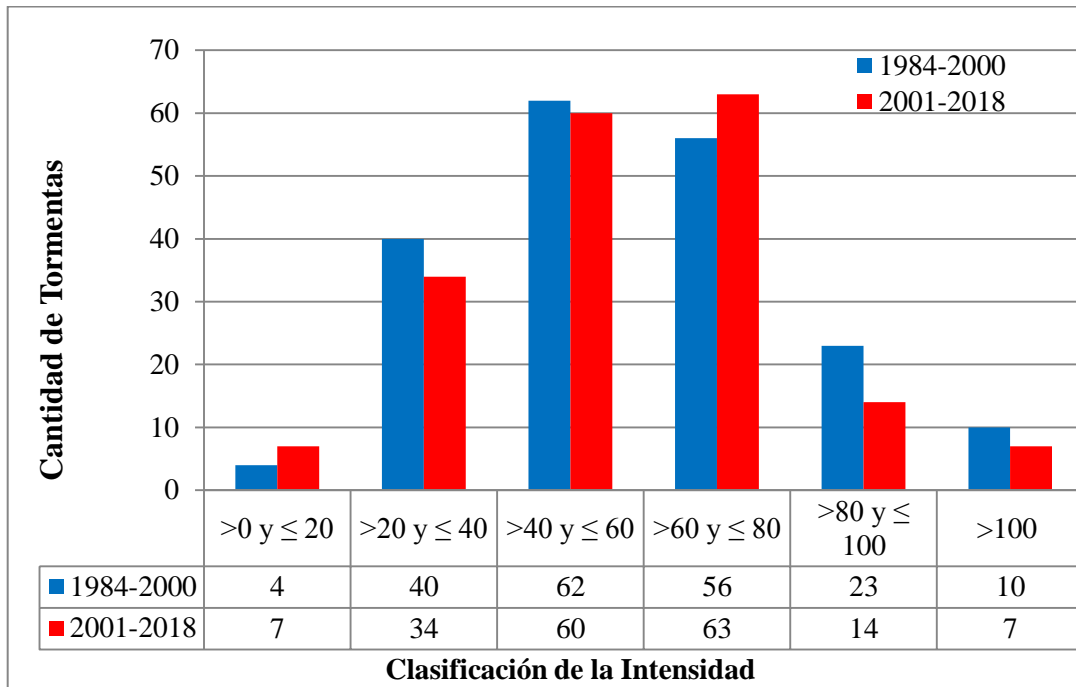
I_{30} (mm/h)	1984-2000	2001-2018
>0 y ≤ 20	4	7
>20 y ≤ 40	40	34
>40 y ≤ 60	62	60
>60 y ≤ 80	56	63
>80 y ≤ 100	23	14
>100	10	7
Total de tormentas en cada período	195	185
Total de tormentas	380	

Fuente: generado por la presente investigación.

En la estación de Gamboa, tenemos en total de 380 tormentas analizadas, de las cuales 195 pertenecen al periodo de 1984-2000 y 185 para el periodo de 2001-2018. Como resultado del cuadro sobre la cantidad de tormentas de acuerdo a su clasificación de

intensidad en dos periodos, se logró realizar la siguiente gráfica, que se muestra en la Figura 9, en la cual se detalla claramente la cantidad de tormentas en los diferentes periodos de acuerdo a su intensidad.

FIGURA 9. GRÁFICA DE LA COMPARACIÓN DE LAS TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD EN DOS PERIODOS (1984-2000) Y (2001-2018), GAMBOA.



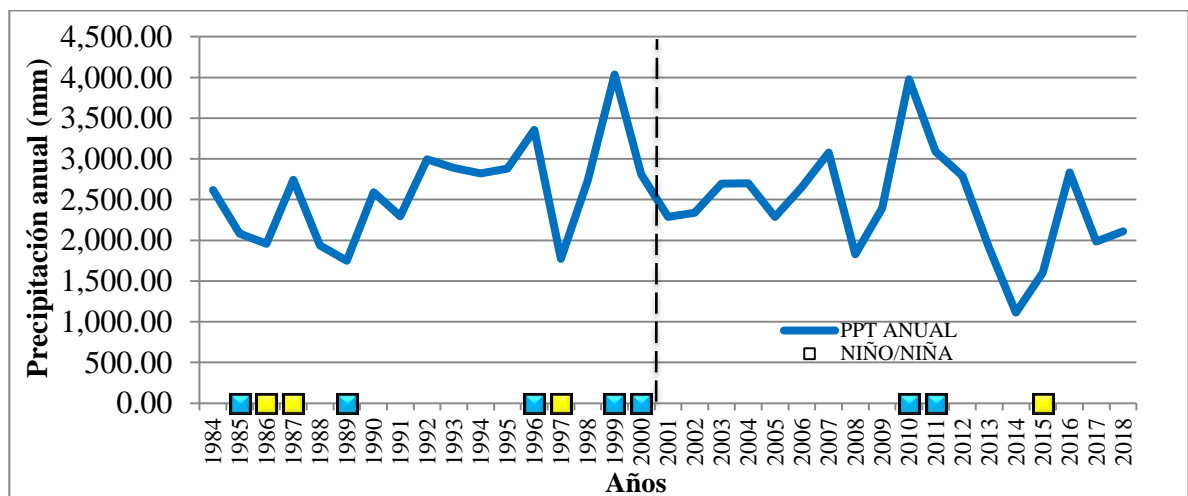
Podemos observar que en el periodo del 2001 al 2018 aumentaron las intensidades mayores de 60 y 80 mm/h, siendo estas intensidades una de las de mayor frecuencia en ambos periodos. Mientras que en el periodo de 1984 al 2000 predominaron las intensidades mayores de 20 y 40 mm/h, y mayores de 80 mm/h hasta más de 100 mm/h. De igual forma es imprescindible mencionar aquellas intensidades de >40 a 60 mm/h, las cuales se mantienen casi iguales en cantidad en ambos periodos.

9.1.2. Estación Barro Colorado

9.1.2.1. Comportamiento de la precipitación anual

En el comportamiento de la precipitación anual en la estación de Barro Colorado podemos observar que no hay una relación exacta, más bien no se refleja una tendencia definida, debido a la presencia de datos extremos como se muestra en la Figura 10.

FIGURA 10. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL E IDENTIFICACIÓN DE AÑOS NIÑO Y NIÑA, BARRO COLORADO (1984-2018).



Empezando por el año 1997, el cual fue afectado por el fenómeno de El Niño, pero que dentro de dos años se presentó el fenómeno opuesto en el año 1999, en donde la precipitación anual superó los 4,000 mm, esto se debe a que en el mes de diciembre las precipitaciones se mantuvieron altas por el efecto del fenómeno de La Niña. Así como el año 2010, el cual fue gravemente afectado por el evento de La Purísima, llegando a los 3,900 mm anuales aproximadamente.

Otro año importante para resaltar es el 2014, el cual resulta el más seco registrado con 1,100 mm anuales, seguido del 2015 en el cual se produjo un efecto muy fuerte de El Niño con 1,600 mm anuales aproximadamente, un valor muy por debajo del promedio

anual en la estación de Barro Colorado. Sin embargo, otros años mantuvieron sus precipitaciones anuales entre los 2,000 y 3,000 mm.

En el Cuadro IV se observan los registros de la ocurrencia de los años Niño y Niña según NOAA y la precipitación anual correspondientes a la serie de datos de 1984 al 2018.

CUADRO IV. REGISTROS DE FENÓMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA Y LA PRECIPITACIÓN ANUAL SEGÚN NOAA, BARRO COLORADO (1984-2018).

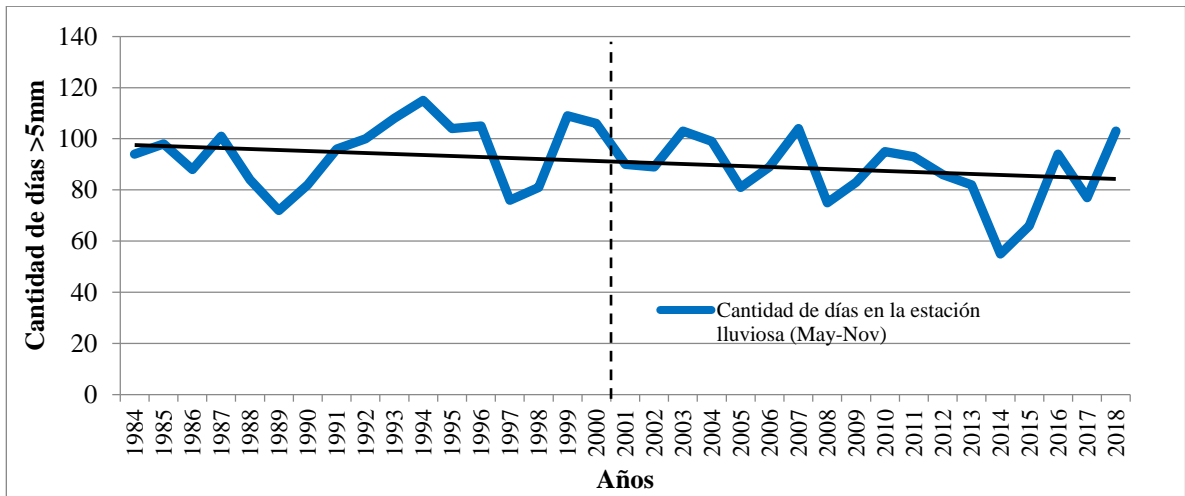
Registros de fenómenos de Niño y Niña, según NOAA			
Tipo de fenómeno	Año	Precipitación anual (mm)	Intensidad
NIÑA	1985	2,082.80	DÉBIL
NIÑO	1986	1,955.80	MODERADO
NIÑO	1987	2,743.20	MODERADO
NIÑA	1989	1,747.52	FUERTE
NIÑA	1996	3,357.88	DÉBIL
NIÑO	1997	1,772.92	MUY FUERTE
NIÑA	1999	4,036.06	MODERADO
NIÑA	2000	2,809.24	DÉBIL
NIÑA	2010	3,978.00	MODERADO
NIÑA	2011	3,088.00	MODERADO
NIÑO	2015	1,605.00	MUY FUERTE

9.1.2.2. Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros

El siguiente parámetro analizado en la estación de Barro Colorado es la cantidad de días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa para la serie de años de 1984 al 2018 como se observa en la Figura 11.

La variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación de Barro Colorado en la estación lluviosa presenta una variación marcada en la cual se tiene un promedio de 90 días.

FIGURA 11. GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DE LOS DÍAS CON LLUVIA (>5 mm) EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, BARRO COLORADO (1984-2018).



A lo largo de la serie de datos los días con precipitación mayor a cinco milímetros se puede observar que desde el año 1993 y el 1996 se encuentran encima de los 100 días. A partir del año 2001 se observa una tendencia a la disminución de los días con lluvia mayor a los cinco milímetros en la estación lluviosa. Se logra observar cómo los años afectados por los fenómenos climáticos presentan un descenso o aumento de días muy marcado. Inclusive al final de la serie de datos podemos ver que a en el año 2015 llega hasta menos de los 60 días.

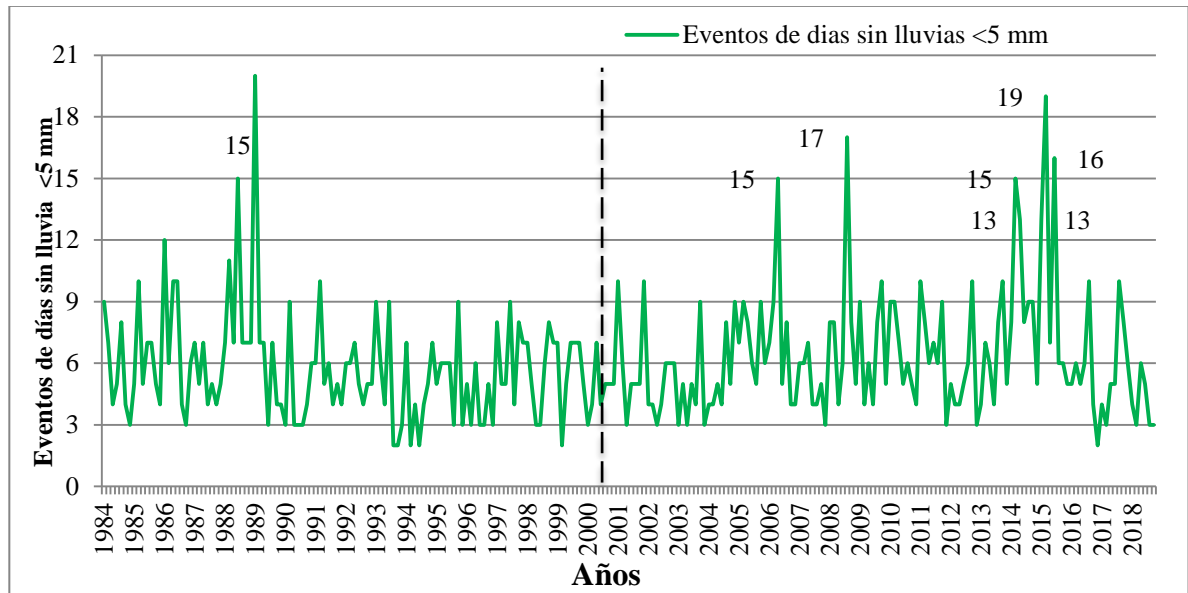
9.1.2.3. Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros

El análisis de los eventos de días sin lluvias menor a los cinco milímetros se presenta como un proceso continuo de la estación lluviosa desde 1984 al 2018, que se logra observar en la Figura 12.

En la estación de Barro Colorado los eventos de días sin lluvia menor de cinco milímetros nos brindan un gráfico con un cambio en el tiempo notorio. Al establecer dos periodos de comparación, podemos ver que en el primero los eventos no sobrepasan los 12 días sin

precipitación, a excepción de los años 1988 y 1989, en los cuales durante la estación lluviosa hubo 15 y 20 días sin lluvia respectivamente.

FIGURA 12. GRÁFICA DE EVENTOS DE DÍAS SIN LLUVIAS (<5 mm) COMO PROCESO CONTINUO DE ESTACIÓN LLUVIOSA, BARRO COLORADO (1984-2018).

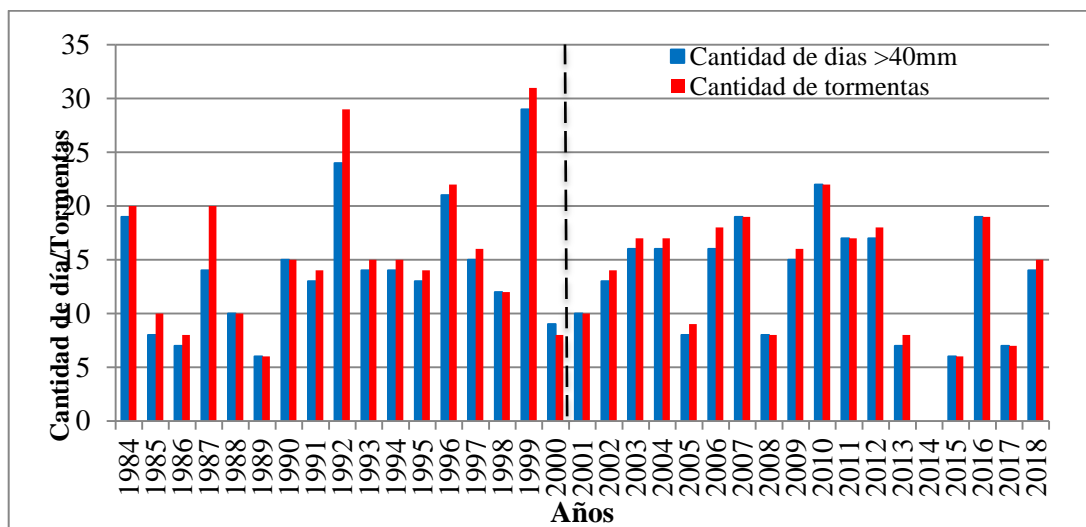


Podemos observar como a partir del año 1991 hasta el 2000 los eventos se mantuvieron hasta los nueve días seguidos sin lluvia en algunos casos. El promedio de días sin lluvia para ambos periodos es de seis días. A partir del año 2001 existe un aumento de la cantidad de eventos por encima de los 12 días con un total de siete eventos con precipitación menor a los cinco milímetros y desde los 15 días tenemos cinco eventos. Si comparamos el comportamiento del primer periodo con el segundo efectivamente los eventos de días sin lluvia aumentan para el segundo periodo, un ejemplo de esto es la ligera separación de la cantidad de tres días a los seis días, a diferencia del primer periodo en donde algunos eventos oscilaban entre los tres y seis días sin lluvias. Además, se observa que para el periodo de 2001-2018, algunos eventos tienden a sobrepasar la línea de los nueve días seguidos sin precipitación.

9.1.2.4. Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas

En la Figura 13 podemos observar el análisis de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas encontradas en esos días en la estación lluviosa de la serie de datos de 1984 al 2018.

FIGURA 13. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DÍAS CON PRECIPITACIÓN (>40 mm) Y LA CANTIDAD DE TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, BARRO COLORADO (1984-2018).



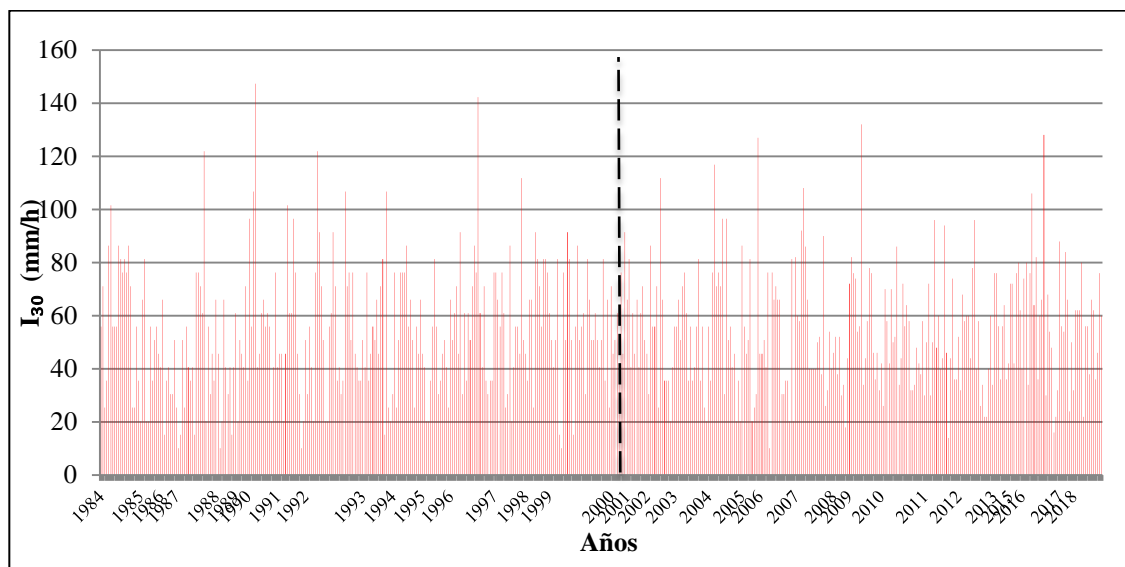
En el comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa, podemos observar un comportamiento diferente para cada periodo. El promedio para el primero es de 14 días y 16 tormentas, mientras que el segundo presenta 13 días y 13 tormentas como media. Desde 1984-2000 tenemos años que sobrepasan los 20 días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y de igual forma el número de tormentas, tal es el caso del año 1992, 1996 y 1999, este último coincidiendo con un año Niña. Al contrario para el siguiente periodo de 2001-2018 solo se registra el 2010 con cantidad de días y de tormentas por encima de 20. Exceptuando estos años, podemos observar que en el primer periodo los años 1984, 1987 y el 1997, llegan a sobrepasar la

línea de 15 en cuanto a la cantidad de tormentas, y en relación con la cantidad de días, solamente el año 1984 y el 1997. Para el periodo siguiente de 2001-2018, el comportamiento refleja un aumento en la cantidad de días y de tormentas por encima de la línea de 15 para nueve años. A diferencia del periodo anterior con seis años. Cabe destacar, que en la estación de Barro Colorado se presentaron tres años secos seguidos, que van desde el año 2013 al 2015, este último año Niño. Por lo tanto, se muestra como la cantidad de días y de tormentas se encuentran por debajo de la línea de 10, y que en el año 2014 no se registró ningún día con precipitación mayor a cuarenta milímetros, y por eso no se logró tomar en cuenta alguna tormenta en ese año.

9.1.2.5. Análisis del comportamiento de la intensidad de lluvias (I_{30} mm/h) en la estación lluviosa

El análisis de la intensidad de las lluvias en días con precipitación mayor a cuarenta milímetros de la estación lluviosa se muestra en la Figura 14.

FIGURA 14. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA I_{30} (mm/h) EN LAS TORMENTAS REGISTRADAS EN LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN (>40 mm) EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, BARRO COLORADO (1984-2018).



En la comparación de ambos periodos de 1984-2000 y de 2001-2018, podemos decir que se mantiene, sin existencia de alguna tendencia hacia una mayor intensidad en el último periodo. De igual forma, se puede observar cómo se comporta las intensidades mayores para ambos periodos, tenemos que desde 1984 al 2000 se presentaron cuatro tormentas por encima de los 120 mm/h y dos tormentas que sobrepasaron los 140 mm/h. A diferencia del segundo periodo en el cual se presentaron solamente tres tormentas por encima de los 120 mm/h, pero sin llegar a los 140 mm/h.

9.1.2.6. Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia

Para una comparación más explícita, se contabilizaron las tormentas dependiendo de la clasificación de intensidades como se muestra en el Cuadro V, y se expresó en una gráfica en la Figura 15, de tal forma en que podemos observar un cambio, ya sea un aumento o descenso de la intensidad para los últimos años.

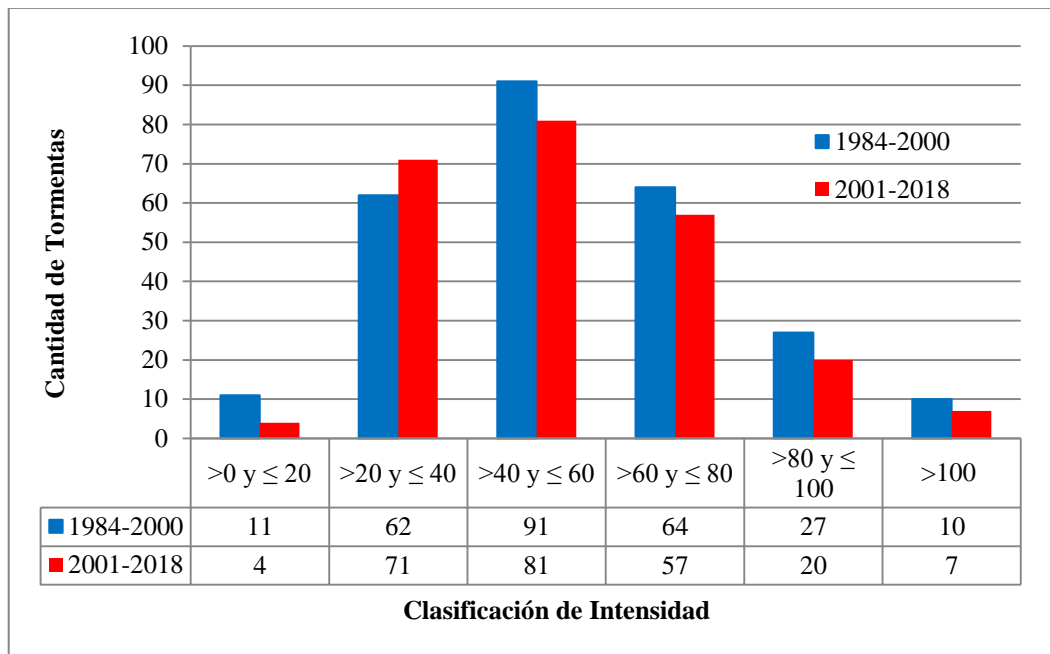
CUADRO V. CANTIDAD DE TORMENTAS DE ACUERDO A SU CLASIFICACIÓN DE INTENSIDAD EN DOS PERIODOS (1984-2018) Y (2001-2018), BARRO COLORADO.

I₃₀ (mm/h)	1984-2000	2001-2018
>0 y ≤ 20	11	4
>20 y ≤ 40	62	71
>40 y ≤ 60	91	81
>60 y ≤ 80	64	57
>80 y ≤ 100	27	20
>100	10	7
Total de tormentas en cada período	265	240
Total de tormentas	505	

Fuente: generado por la presente investigación.

De acuerdo al Cuadro V, tenemos un total de 265 tormentas para el periodo de 1984-2000 y 240 tormentas para el siguiente periodo de 2001-2018 para un total de 505 tormentas registradas en días de precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa para Barro Colorado.

FIGURA 15. GRÁFICA DE LA COMPARACIÓN DE LAS TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD EN DOS PERIODOS (1984-2000) Y (2001-2018), BARRO COLORADO.



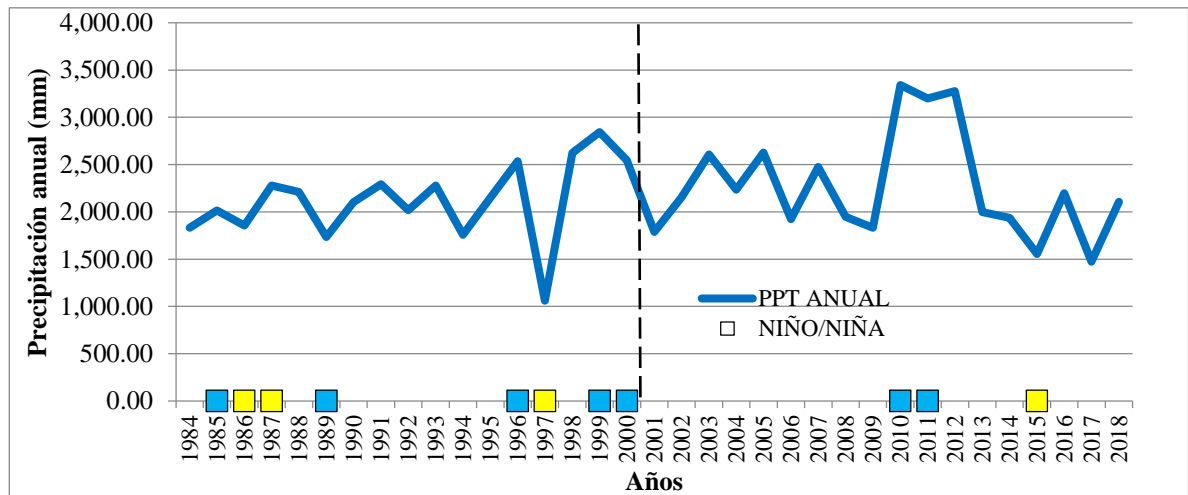
Se observa como en los primeros años de la serie de datos, las tormentas tienen una mayor cantidad para toda la clasificación, con excepción de las tormentas registradas en la clasificación de >20 a 40 mm/h en la cual en el segundo periodo presenta mayor cantidad, con nueve tormentas más. En todo caso, no se logra observar una diferencia en relación con la cantidad de tormentas para cada clasificación en cada periodo.

9.1.3. Estación Las Raíces

9.1.3.1. Comportamiento de la precipitación anual

En la Figura 16 se muestra el análisis del comportamiento de la precipitación anual para la estación de Las Raíces.

FIGURA 16. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL E IDENTIFICACIÓN DE AÑOS NIÑO Y NIÑA, LAS RAÍCES (1984-2018).



En la precipitación anual en la estación Las Raíces se logra observar que en los primeros años de la serie de datos, se presenta una oscilación que va desde los 1,500 a 2,500 mm anuales, que después tiene una caída en el año 1997, el cual fue un año Niño, y en los próximos años la precipitación anual superó los 2,500 mm desde el año 1999 al 2000. Por otra parte, tenemos el segmento desde 2001 al 2018, en el cual las precipitaciones anuales se mantienen entre rangos iguales al periodo anterior, y se puede observar cómo los años 2010, 2011 y 2012 sobrepasaron los 3,000 mm anuales. El comportamiento de la precipitación anual en la estación Las Raíces es similar para antes y después de la serie de datos, y que se ve alterado de una cierta forma por los eventos climáticos de la Niña y el Niño.

En el Cuadro VI se observan los registros de la ocurrencia de los años Niño y Niña según NOAA y la precipitación anual correspondientes a la serie de datos de 1984 al 2018.

CUADRO VI. REGISTROS DE FENÓMENOS DE EL NIÑO Y LA NIÑA Y LA PRECIPITACIÓN ANUAL SEGÚN NOAA, LAS RAÍCES (1984-2018).

Registros de fenómenos de Niño y Niña, según NOAA			
Tipo de fenómeno	Año	Precipitación anual (mm)	Intensidad
NIÑA	1985	2,014.22	DÉBIL
NIÑO	1986	1,856.74	MODERADO
NIÑO	1987	2,278.38	MODERADO
NIÑA	1989	1,732.28	FUERTE
NIÑA	1996	2,534.92	DÉBIL
NIÑO	1997	1,061.72	MUY FUERTE
NIÑA	1999	2,844.80	MODERADO
NIÑA	2000	2,545.08	DÉBIL
NIÑA	2010	3,341.00	MODERADO
NIÑA	2011	3,198.00	MODERADO
NIÑO	2015	1,553.00	MUY FUERTE

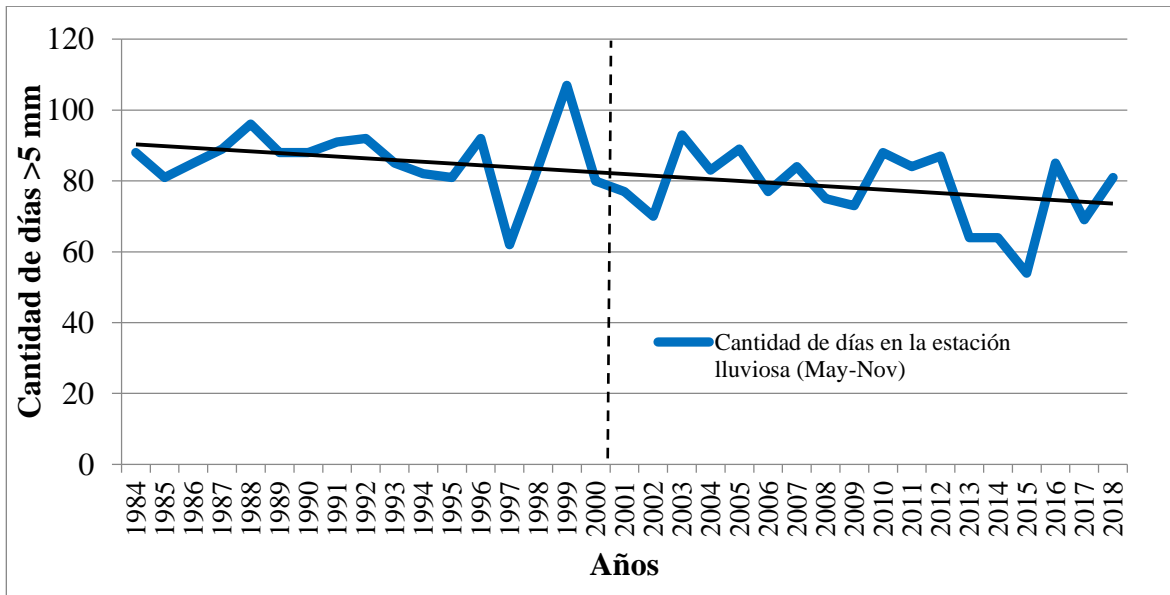
El ordenamiento de los datos de precipitación anual y el tipo de fenómeno climático registrado, nos permite evaluar qué tanto afectó a la región de la estación Las Raíces en cuanto al acumulado de precipitación anual.

Podemos observar que la mayoría de los años Niño, la precipitación anual fue inferior a los 2,000 mm y que en el caso de la Niña tiende a aumentar considerablemente desde los 2,500 mm, a excepción del año 1985 y el 1989, en los cuales la precipitación anual se mantuvo desde los 1,700 a 1,900 mm.

9.1.3.2. Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros

El segundo parámetro analizado en la estación de Las Raíces es la variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa para la serie de años de 1984 al 2018 como se observa en la Figura 17.

FIGURA 17. GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DE LOS DÍAS CON LLUVIA (>5 mm) DE LA ESTACIÓN LLUVIOSA, LAS RAÍCES (1984-2018).



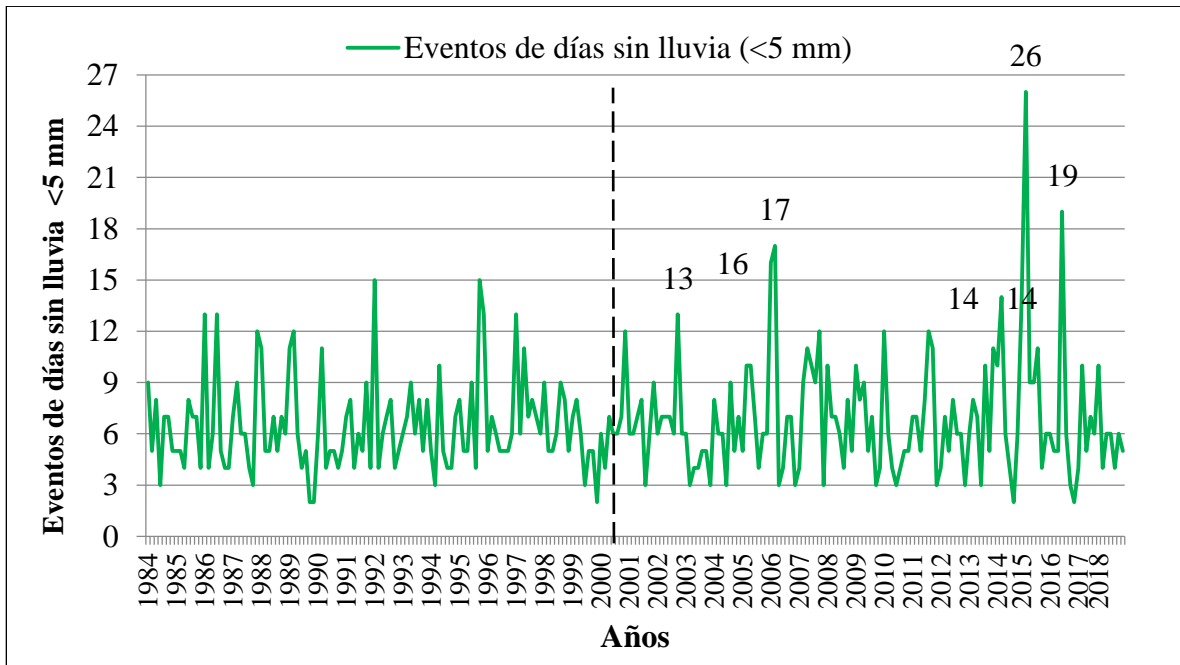
En la variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa, se observa que en los primeros años de la serie de datos se mantenía por encima de los 80 días, con excepción del año Niño fuerte en 1997. Desde el año 2000 se manifiesta una disminución de los días con precipitación mayor a cinco milímetros, que cae incluso a más de 60 días en el año Niño extremo del 2015.

9.1.3.3. Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros

El análisis de los eventos de días sin lluvias menores a los cinco milímetros en la estación Las Raíces, se presenta como un proceso continuo de la estación lluviosa desde 1984 al 2018, que se logra observar en la Figura 18.

En la estación Las Raíces, la gráfica de los eventos de días sin lluvia nos muestra para el primer periodo una cantidad de seis eventos mayores de 12 días y arriba de los 15 días no se presentan eventos.

FIGURA 18. GRÁFICA DE EVENTOS DE DÍAS SIN LLUVIAS (<5 mm) COMO PROCESO CONTINUO DE ESTACIÓN LLUVIOSA, LAS RAÍCES (1984-2018).



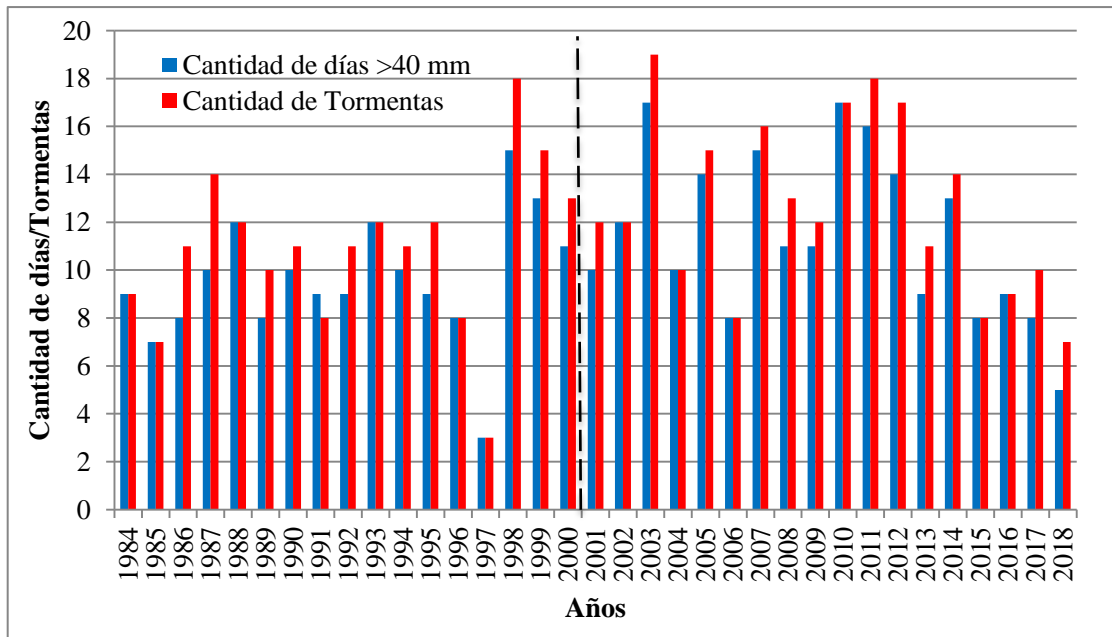
Podemos observar que para el periodo de 2001 al 2018 se presentan siete eventos por encima de los 12 días, cuatro eventos por encima de los 15 días y se presenta por primera vez en la serie de datos dos eventos por encima de los 18 días sin lluvia, en el 2015 y el 2016. En efecto, es notorio el aumento de los días sin lluvia en el transcurso del tiempo.

9.1.3.4. Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas

En la Figura 19 se puede observar el análisis de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa para la serie de datos de 1984 al 2018.

El comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa, así como la cantidad de tormentas, podemos observar un importante aumento para el periodo de 2001-2018. Cabe destacar, que el promedio para el primero es de 10 días y 11 tormentas, mientras que el segundo presenta 12 días y 13 tormentas.

FIGURA 19. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DÍAS CON PRECIPITACIÓN (>40 mm) Y LA CANTIDAD DE TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, LAS RAÍCES (1984-2018).

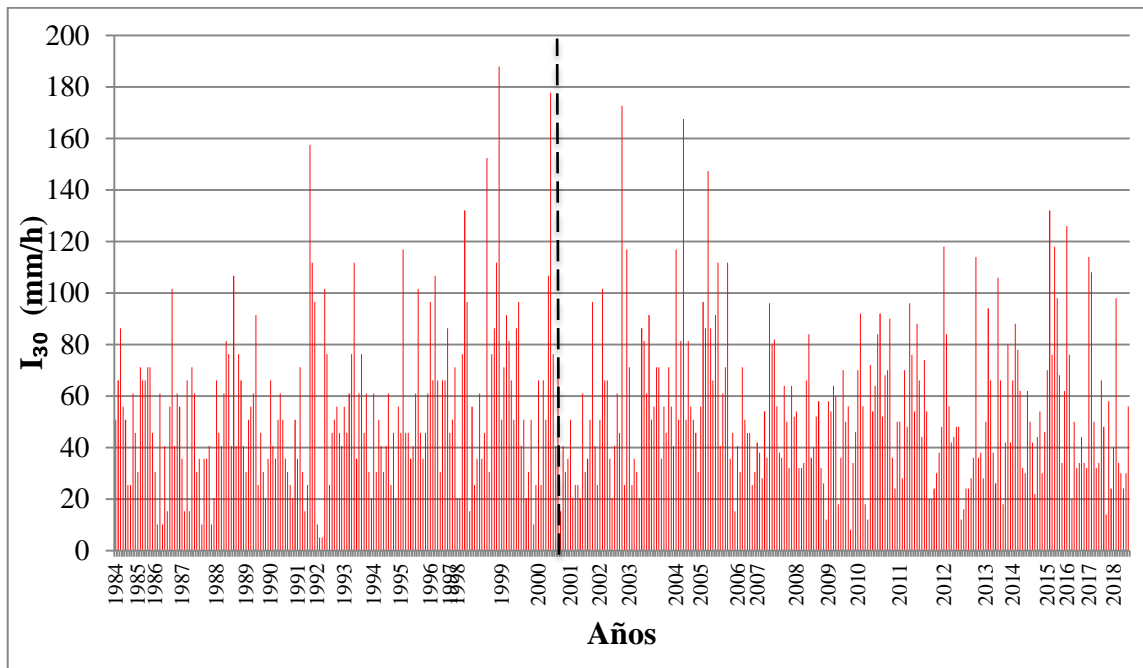


Desde 1984-2000, solamente el año 1998 demuestra una cantidad superior a los 14 días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y en el caso de la cantidad de tormentas tenemos el año 1998 y el 1999 son una cantidad superior a los 14 días. Al contrario para el siguiente periodo de 2001-2018, podemos observar que la cantidad de días con precipitación mayor a cuarenta milímetros supera los 16 días, para el año 2003 y el 2010. En relación con las tormentas del segundo periodo se obtiene un aumento considerable, teniendo así cuatro años que superan la cantidad de 16 y se presenta por primera vez en toda la serie una cantidad por encima de los 18 días en el año 2003.

9.1.3.5. Análisis del comportamiento de la intensidad de lluvias (I_{30} mm/h) en la estación lluviosa

El análisis de la intensidad de las lluvias en días con precipitación mayor a cuarenta milímetros de la estación lluviosa para la estación Las Raíces se muestra en la Figura 20.

FIGURA 20. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA I_{30} (mm/h) EN LAS TORMENTAS REGISTRADAS EN LOS DÍAS DE PRECIPITACIÓN (>40 mm) EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, LAS RAÍCES (1984-2018).



En la comparación de ambos periodos de 1984-2000 y de 2001-2018, podemos decir que se observa un aumento en la cantidad de tormentas para el segundo. Tomando como referencia los 100 mm/h, tenemos una cantidad de 15 tormentas con esa intensidad para el primer periodo, mientras que para el segundo asciende a 16 tormentas. De igual forma, se puede observar cómo se comporta las intensidades mayores para ambos periodos, tenemos que desde 1984 al 2000 se presentaron dos tormentas por encima de los 160 mm/h y por primera vez se registra una tormenta superior a los 180 mm/h. A diferencia del segundo periodo en el cual se presentaron solamente dos tormentas por encima de los 160 mm/h, y ninguna por encima de los 180 mm/h.

9.1.3.6. Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia

En el análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de intensidad, podemos observar que en el Cuadro VII agregamos la cantidad en números para cada periodo.

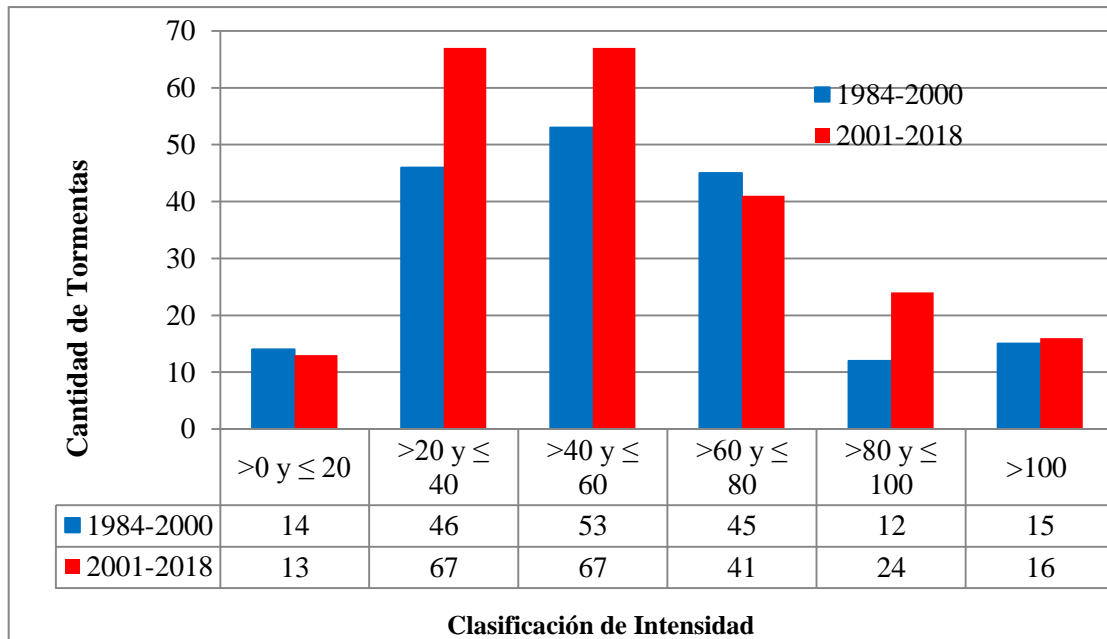
CUADRO VII. CANTIDAD DE TORMENTAS DE ACUERDO A SU CLASIFICACIÓN DE INTENSIDAD EN DOS PERIODOS (1984-2000) Y (2001-2018), LAS RAÍCES.

I₃₀ (mm/h)	1984-2000	2001-2018
>0 y ≤ 20	14	13
>20 y ≤ 40	46	67
>40 y ≤ 60	53	67
>60 y ≤ 80	45	41
>80 y ≤ 100	12	24
>100	15	16
Total de tormentas en cada período	185	228
Total de tormentas	413	

Fuente: generado por la presente investigación.

El total de tormentas registradas en los días de precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa de la estación Las Raíces se logró contabilizar 413 tormentas, distribuidas en dos periodos, el primero que va desde 1984 al 2000 con un total de 185 tormentas y para el segundo periodo de 2001 al 2018 un total de 228 tormentas. La representación gráfica de estos datos se puede observar en la Figura 21.

FIGURA 21. GRÁFICA DE LA COMPARACIÓN DE LAS TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD EN DOS PERIODOS (1984-2000) Y (2001-2018), LAS RAÍCES.



En la comparación de las tormentas registradas en la estación Las Raíces, podemos observar que para el periodo del 2001 al 2018 aumentaron las intensidades mayores de 20 hasta los 40 mm/h, y mayores de 40 hasta las de 60 mm/h, siendo estas intensidades una de las de mayor frecuencia en ambos periodos. Además se logra ver un aumento en las intensidades mayores a los 80 mm/h hasta más de 100 mm/h. Mientras que en el periodo de 1984 al 2000 predominaron las intensidades mayores de 0 hasta los 20 mm/h, y mayores de 60 mm/h hasta los 80 mm/h.

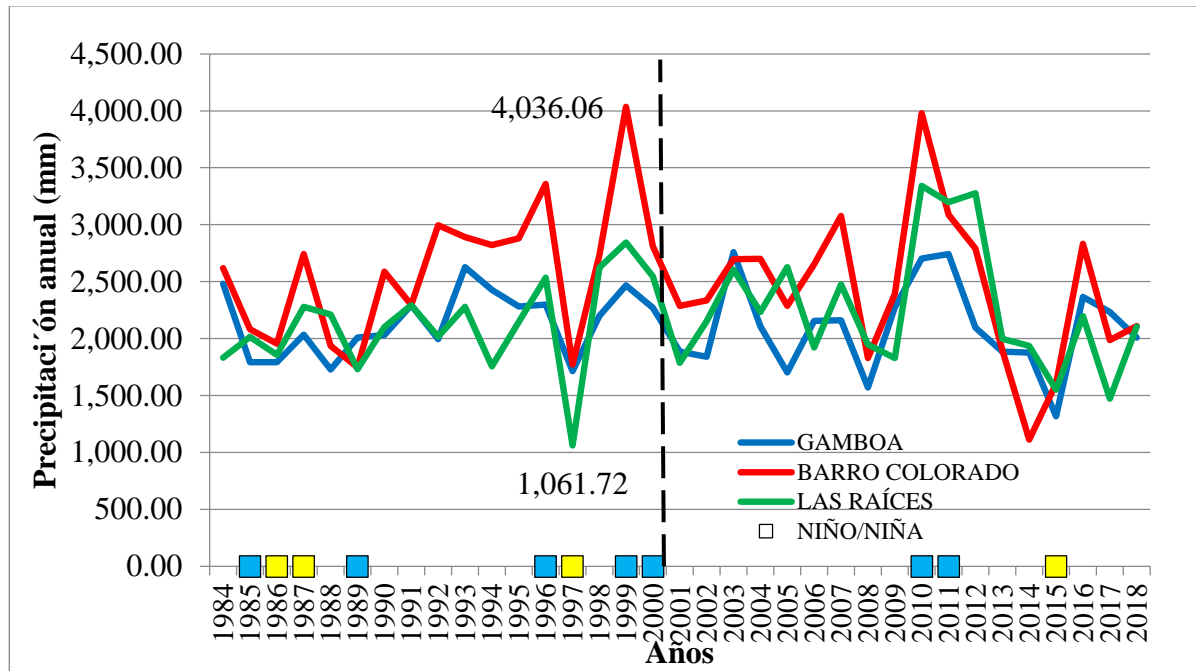
9.1.4. Análisis grupal de tres estaciones meteorológicas de la subcuenca del Lago Gatún Sur

9.1.4.1. Comportamiento de la precipitación anual

Como se mencionó en la metodología de la investigación, se realizó un análisis en conjunto de las estaciones, para así obtener un resultado en general del área de estudio.

Por lo tanto, en la Figura 22 se demuestra el comportamiento de la precipitación anual para las tres estaciones.

FIGURA 22. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LA PRECIPITACIÓN ANUAL E IDENTIFICACIÓN DE AÑOS NIÑO Y NIÑA, EN LAS TRES ESTACIONES (1984-2018).



En la gráfica del comportamiento se analizaron los datos de precipitación anual registrados en las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces para el período comprendido de 1984 a 2018. Durante este período, las precipitaciones promedio en las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces ascendieron 2,118.76 mm, 2,512.64 mm y 2,194.33 mm, respectivamente. Las desviaciones estándar correspondientes a las precipitaciones registradas en las estaciones antes mencionadas ascendieron a 338.93 mm, 621.31 mm y 493.72 mm, respectivamente.

Al comparar los datos de precipitación de las estaciones, nos encontramos con episodios de precipitaciones muy por debajo del promedio en los años 1988, 1997, 2005, 2008 y

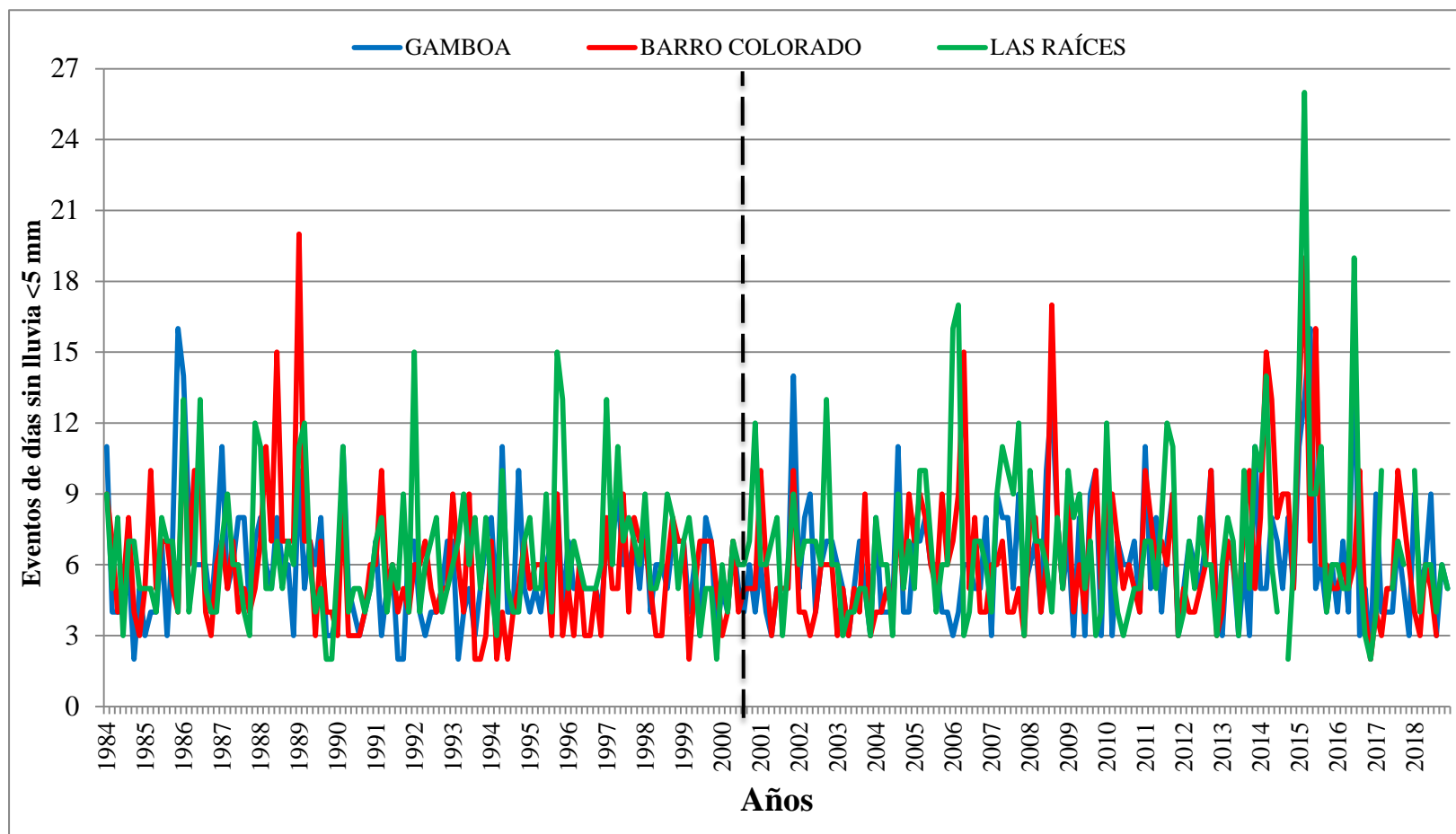
2015 para la estación de Gamboa, mientras que para la estación de Barro Colorado se observan los años 1986, 1989, 1997, 2008, 2014 y 2015. Para la estación Las Raíces obtenemos los siguientes años: 1994, 1997, 2015, 2017. Aunado a esto, podemos observar que algunos de estos años se han visto afectados por la presencia del fenómeno del Niño, los cuales son el 1986 con un año Niño moderado y los años 1997 y el 2015 con un evento del Niño muy fuerte. La precipitación anual más baja de toda la serie fue registrada en la estación de Las Raíces durante el año 1997. Dicha precipitación es de 1,061.72 mm, mientras que la precipitación anual más alta ocurrió en la estación de Barro Colorado alcanzando los 4,036.06 mm en el año 1999.

En cuanto a la precipitación media anual para los periodos comprendidos de 1984 al 2000 y para el 2001 al 2018, tenemos 2,291.23 mm y 2,260.15 mm, respectivamente. Podemos notar que no existe una gran diferencia en cuanto a la cantidad de precipitación anual que se registra para las tres estaciones meteorológicas en la subcuenca del Lago Gatún Sur.

9.1.4.2. Análisis de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros

De acuerdo a la Figura 23 sobre los eventos de días sin lluvias, menores a los cinco milímetros en la estación lluviosa, que para las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces, podemos ver una mayor oscilación en la cantidad de días desde los tres a los nueve días, que es prácticamente una semana entera sin lluvias, desde el inicio de la serie en 1984 hasta el final en el 2018. Durante este periodo, la ocurrencia de eventos de días sin lluvia para las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces tienen un promedio de seis, seis y siete días, respectivamente. Se observa que existe diferencias en el comportamiento de las estaciones, pero claramente la estación de Las Raíces es la que está siendo más afectada por el cambio climático.

FIGURA 23. GRÁFICA DE EVENTOS DE DÍAS SIN LLUVIAS (<5 mm) COMO PROCESO CONTINUO DE ESTACION LLUVIOSA, EN LAS TRES ESTACIONES (1984-2018).



Al establecer dos periodos de comparación, podemos ver que en el primero de 1984 a 2000, tenemos una cantidad de 30 eventos por encima de los nueve días sin lluvias. Desde los 12 días sin precipitación tenemos 10 eventos, y mayores a los 15 días tenemos un total de dos eventos. En relación con el segundo periodo de 2001 al 2018, tenemos desde los nueve días una cantidad de 51 eventos, para los 12 días sin precipitación una cantidad de 19 eventos, mayores a los 15 días son nueve eventos. Como resultado de esto, es notorio el aumento de la cantidad de eventos sin lluvias, menores a los cinco milímetros para el segundo periodo, o más bien, en los últimos años, con respecto a los años que van desde 1984 al 2000.

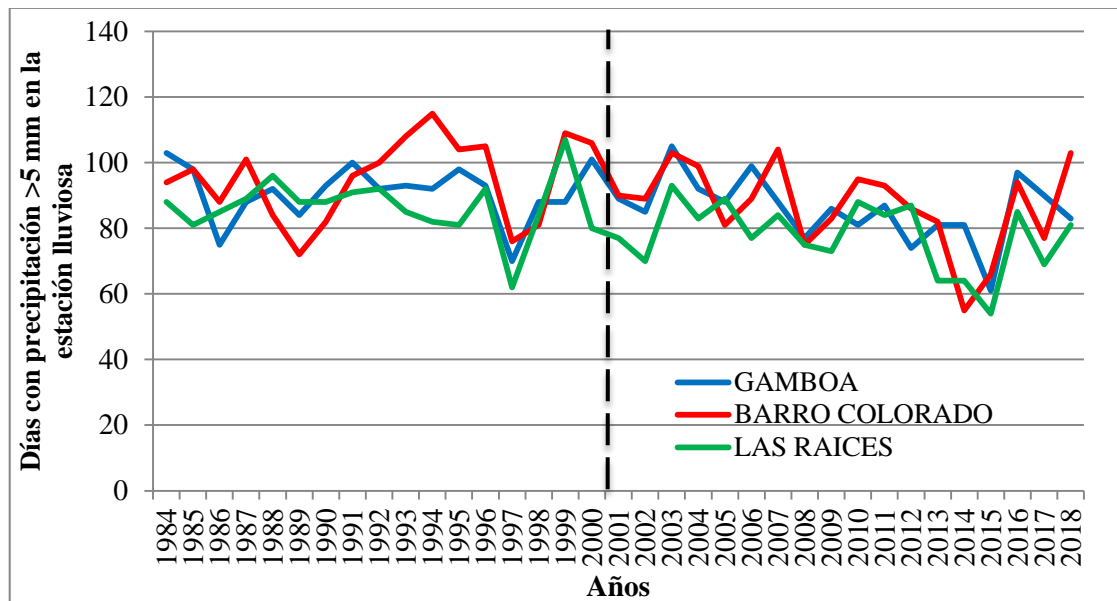
Es importante mencionar, que debido a la ausencia de algunos datos en la estación lluviosa, en los meses de octubre del 2018 en la estación de Barro Colorado, en septiembre del 2014, y julio y noviembre del 2017 en la estación Las Raíces, se tomó la decisión de no ser consideradas en el estudio, debido a que esta ausencia no permitía un resultado definido para esos meses, pero de igual forma no afectan la trayectoria en general de la gráfica.

9.1.4.3. Variación de los días con precipitación mayor a cinco milímetros

En el análisis en conjunto de las tres estaciones con relación a los días con precipitación mayor a cinco milímetros, observamos en la Figura 24 el posible descenso de la cantidad de lluvias. En la variación de los días con lluvia mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa en las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces, tenemos un promedio de 88, 91 y 82 días con precipitación mayor a cinco milímetros, respectivamente. En cuanto al promedio de los periodos establecidos, tenemos que para el

primero de 1984 al 2000, tenemos un valor de 91 días, y para el siguiente de 2001 al 2018 se presentan 83 días.

FIGURA 24. GRÁFICA DE LA VARIACIÓN DE LA CANTIDAD DE DÍAS CON PRECIPITACIÓN (>5 mm) EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, EN LAS TRES ESTACIONES (1984-2018).



Sin embargo, si comparamos los resultados obtenidos en la gráfica anterior de la ocurrencia de eventos sin lluvias en la estación lluviosa, en el que hay un aumento de los eventos mayores desde los nueve días, hasta más de 15 días desde el año 2001 hasta el 2018, obtenemos un comportamiento diferente cuando se trata de días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa con una disminución de estos días en la estación lluviosa.

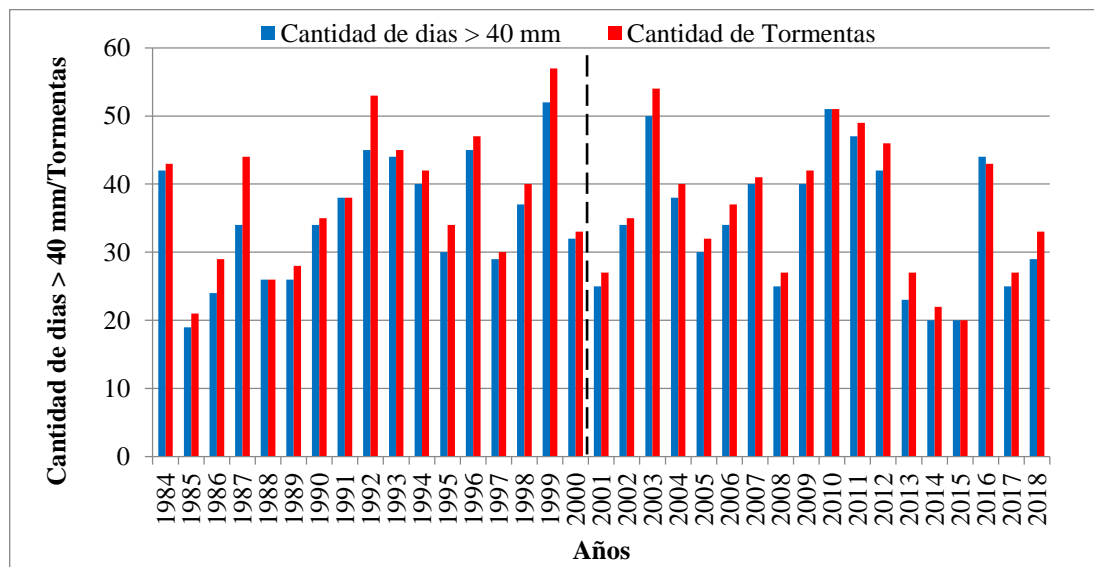
A causa de esto, podemos decir que se está manifestando un aumento de los eventos de días sin lluvias desde el año 2000 en adelante, asimismo, la cantidad de precipitación mayor a cinco milímetros está disminuyendo en la estación lluviosa, es decir se presentan

eventos prolongados sin precipitación y que a la vez disminuye la cantidad de lluvia ligeramente.

9.1.4.4. Análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas

En la Figura 25 se muestra el análisis del comportamiento de los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa para las tres estaciones meteorológicas.

FIGURA 25. GRÁFICA DEL COMPORTAMIENTO DE LOS DÍAS CON PRECIPITACIÓN (>40 mm) Y LA CANTIDAD DE TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA, EN LAS TRES ESTACIONES (1984-2018).



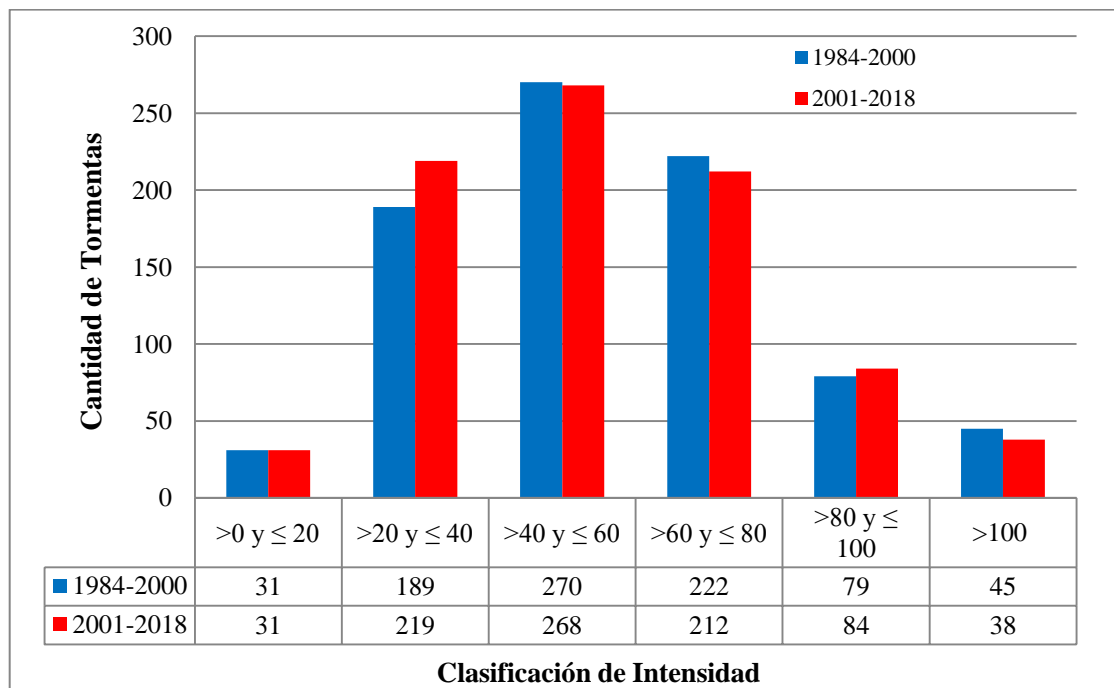
Se logra observar un comportamiento similar para ambos periodos con relación a los días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y la cantidad de tormentas en la estación lluviosa. El promedio para el primero es de 35 días y 38 tormentas, mientras que el segundo presenta 34 días y 35 tormentas como media. Desde 1984-2000 tenemos años que sobrepasan los 40 días con precipitación mayor a cuarenta milímetros y de igual forma el número de tormentas, estos son 1984, 1992, 1993, 1996 y 1999. Al contrario

para el siguiente periodo de 2001-2018 se registran los años 2003, 2010, 2011, 2012 y 2016.

9.1.4.5. Análisis comparativo de la cantidad de tormentas de acuerdo a la clasificación de la intensidad de lluvia

En la Figura 26, podemos observar la gráfica de la cantidad de tormentas y la clasificación de la intensidad, con el fin de observar si a pesar de que la lluvia está descendiendo y los eventos de días sin lluvias aumentan, verificar de una forma detallada como se están presentando las lluvias que ocurren, con base a la comparación en dos periodos.

FIGURA 26. GRÁFICA DE LA COMPARACIÓN DE LAS TORMENTAS EN LA ESTACIÓN LLUVIOSA DE ACUERDO A LA CLASIFICACIÓN DE LA INTENSIDAD EN DOS PERIODOS (1984-2000) Y (2001-2018), EN LAS TRES ESTACIONES.



En la comparación de las tormentas registradas en las estaciones de Gamboa, Barro Colorado y Las Raíces, tenemos un total de 836 tormentas en el periodo de 1984-2000 y

para el periodo de 2001-2018 se contabilizan 852 tormentas, con un total de 1,688 tormentas registradas en días de precipitación mayor a cuarenta milímetros en la estación lluviosa. Se observa que para el periodo del 2001 al 2018 aumentaron las intensidades >20 y hasta de 40 mm/h, sobrepasando en cantidad de 30 tormentas con respecto al periodo anterior. De igual forma, ascendieron las tormentas mayores a 80 mm/h hasta los 100 mm/h desde el año 2001, con una diferencia de cinco tormentas en relación con el periodo de 1984 al 2000.

En cuanto a las intensidades de 0 a 20 mm/h se obtiene una cantidad igual para ambos periodos. Sin embargo, en el caso de las tormentas más frecuentes y de mayor cantidad registradas obtienen una intensidad de >40 hasta los 60 mm/h, las cuales se mantienen similares, con una diferencia de dos tormentas menos para el periodo de 2001 a 2018. Igualmente ocurre con las intensidades desde los 60 a 80 mm/h con una diferencia de 10 tormentas, y con las intensidades mayores a los 100 mm/h con una diferencia de siete tormentas más para el inicio de la serie de datos.

Resumiendo lo planteado, se observa una mayor cantidad de tormentas, con intensidades superiores en el segundo periodo de 2001 al 2018. Aunque, estas tormentas en dicho periodo se encuentran muy a la par de las demás intensidades. Por lo tanto, podemos decir que se está generando un aumento ligero en cuanto a las intensidades fuertes en los últimos años, lo cual va de la mano de un descenso de la cantidad de días con precipitación mayor a cinco milímetros, y también de un aumento de los eventos de días seguidos sin lluvias menos a cinco milímetros en la estación lluviosa para la región del Lago Gatún Sur.

10. CONCLUSIONES

1. Se logró confirmar que el área de estudio pertenece a una zona de vida de Bosque Húmedo Tropical (bh-T) según Holdridge, en el cual las precipitaciones anuales oscilan entre 1,850 a 3,400 mm en las estaciones meteorológicas utilizadas, dentro de la serie de 35 años.
2. En cuanto a la cantidad de días con precipitación mayor a cinco milímetros en la estación lluviosa, el área de estudio presenta una disminución en la cantidad de días con lluvia a partir del año 2001. Adicionalmente, en los años Niño y Niña, estos provocan un cambio radical. Para El Niño se presentan hasta menos de 60 días y para La Niña hasta más de 100 días con precipitación mayor a cinco milímetros, mientras que la media es de 80 a 90 días.
3. En relación con la ocurrencia de eventos de días sin lluvias menor a cinco milímetros en las tres estaciones meteorológicas se tiene un aumento de los eventos largos sin lluvias a partir del año 2001, desde los nueve días seguidos en adelante, aproximadamente una semana, incluso un aumento significativo desde los 12 y 15 días seguidos sin lluvias. Al tener esto en cuenta, resulta evidente el aumento de los eventos de días sin lluvias en los últimos años de la serie de datos.
4. En la comparación de las tormentas de acuerdo a la clasificación de intensidades, a partir de datos de la I_{30} . En toda la serie de datos analizada no se observaron diferencias significativas. Se registra un aumento de intensidades >20 y hasta de 40 mm/h, y >80 mm/h hasta los 100 mm/h en los últimos años.

5. De acuerdo a los resultados obtenidos, existe un ligero aumento en cuanto a las intensidades fuertes en los últimos años, lo cual va de la mano de un descenso de la cantidad de días con precipitación mayor a cinco milímetros. También observamos un aumento de los eventos de días seguidos sin lluvias menor a cinco milímetros en la estación lluviosa para la región del Lago Gatún Sur, a pesar de que las precipitaciones anuales no demuestran un cambio significativo a través del tiempo.
6. Es de esperarse que con las predicciones de El Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), sobre el aumento de la variabilidad climática podemos prever que este comportamiento sea más grave y cada vez más marcado en toda la región. La variabilidad climática en la región se incrementa a medida que interfiere con los eventos climáticos de El Niño y La Niña, los cuales generan valores extremos en la serie de datos. Esta variabilidad provoca una mayor frecuencia de lluvias intensas, ya sean en un periodo de tiempo corto determinado, que a su vez genere sequías prolongadas después de lluvias intensas. Por lo tanto, la adaptación al cambio climático debe ser un enfoque central en la gestión de cuencas hidrográficas, ante los eventos extremos y riesgos que se puedan presentar.

11. RECOMENDACIONES

1. Se recomienda continuar con estudios sobre datos históricos de la precipitación para otras cuencas hidrográficas de Panamá, a través de los datos de precipitación de las estaciones meteorológicas con la finalidad de obtener variaciones y cambios de la precipitación relacionadas a la variabilidad climática y al cambio climático en diferentes regiones del país.
2. El uso del análisis estadístico para series temporales de precipitación resulta imprescindible para llegar a conclusiones con bases científicas.

12. BIBLIOGRAFÍA

ACP. (2006). IV Foro Mundial del Agua México: La Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá: Marco jurídico y gestión socio ambiental. Recuperado de: <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/download.php?f=artpma/cuencahidrografica.pdf>

Amador, J., y Olmedo, Berta. (1998). Temperatura, Precipitación y Caudal en Panamá. Parte I: Características generales y distribución estacional. *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 5(2), pp.120-135

Amador, J., y Olmedo, Berta. (1998). Temperatura, Precipitación y Caudal en Panamá. Parte II: ENOS y Cambio climático. *Revista Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, vol. 5(2), pp.136-148

ANAM (Autoridad Nacional del Medio Ambiente, PA). (2010). Atlas Ambiental de la República de Panamá. Panamá, PA. Novo Art, S.A. 187 p.

Autoridad del Canal de Panamá. (2001). Study of Variations and Trends in the Historical Rainfall and Runoff Data in the Gatun Lake Watershed. Work order No. 7.

Autoridad del Canal de Panamá. (2002). Informe Final – Análisis de Escenarios de Desarrollo y Plan Indicativo de Ordenamiento Territorial Ambiental para la Región Occidental de la Cuenca del Canal de Panamá.

Autoridad del Canal de Panamá. (2006). Departamento de Seguridad y Ambiente. Sección de Manejo de Cuencas. Unidad de Calidad de Agua. Informe de calidad de agua en la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá 2003-2005 Volumen II. Recuperado de: <http://www.pancanal.com/esp/cuenca/calidad-de-agua/2003-2005-vol-ii.pdf>

Autoridad del Canal de Panamá. (2019). Vicepresidencia de Agua y Ambiente. Sección de Recursos Hídricos. Unidad de Hidrología Operativa. Anuario Hidrológico 2018. Disponible en: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2019/11/Anuario-Hidrologico-2018.pdf>

Autoridad del Canal de Panamá. (2020). Vicepresidencia de Agua y Ambiente. Sección de Recursos Hídricos. Unidad de Hidrología Operativa. Anuario Hidrológico 2019. Disponible en: <https://micanaldepanama.com/wp-content/uploads/2020/09/Anuario-Hidrologico-2019.pdf>

Barbero, Nidia; Rössler, Cristina y Canziani, Pablo (2008). “Cambio climático y viticultura: variabilidad climática presente y futura y aptitud vitícola en 3 localidades de

la Patagonia” en *Revista Enológica V (2)*. 1-8. Recuperado de https://www.researchgate.net/profile/Pablo_Canziani/publication/238780200.pdf

Bethancourt, V. (2008). Aplicación del modelo USLE, para la predicción de la erosión potencial, en la subcuenca del río Hules Tinajones y Caño Quebrado de la cuenca hidrográfica del Canal de Panamá utilizando los sistemas de información geográfica (tesis de pregrado). Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad de Panamá, Panamá.

Bonilla, A. (2014). Patrones de sequía en Centroamérica: Su impacto en la producción de maíz y frijol y uso del Índice Normalizado de Precipitación para los Sistemas de Alerta Temprana. GWP Centroamérica y la Cooperación Suiza con el aporte técnico del Comité Regional de Recursos Hidráulicos (CRRH). Disponible en: https://www.droughtmanagement.info/documents/Patrones_de_sequ%c3%ada_en_CAM_Nov_2014.pdf

Chow, V. T., Maidment, D. R., & Mays, L. W. (1988). *Applied hydrology*. New York: McGraw-Hill.

Cifuentes Jara, M. (2010). *ABC del cambio climático en Mesoamérica*. TURRIALBA, Costa Rica: Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza (CATIE). Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/8371>

Colotti, E (1999). La erosividad: cualidad de la lluvia poco conocida. *Terra*. Nueva Etapa, XV (24),99-116. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=721/72102406>

Comisión Económica de las Naciones Unidas para Europa (UNECE). (2009). *Guía Sobre Agua y Adaptación al Cambio Climático*. Suiza. Disponible en: <https://www.unece.org/es/environmental-policy/conventions/water/envwaterpublicationspub/envwaterpublicationspub74/2009/guidance-on-water-and-adaptation-to-climate-change/guia-sobre-agua-y-adaptacion-al-cambio-climatico.html>

Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL). (2012). *Cambio Climático en Centroamérica. Guía de Navegación*. Disponible en: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/26122/1/M20120031_es.pdf

Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH). (2007). *Informe del Estado Ambiental de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá*. Disponible en: <http://www.cich.org/publicaciones/05/informe-estado-ambiental-cuenca-2007.pdf>

Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH). (2008). *Plan de Acción Inmediata II para el desarrollo humano, apoyo a la producción y*

manejo ambiental en la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. Disponible en: <http://www.cich.org/Publicaciones/05/pai-ii-marzo-2008.pdf>

Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá (CICH). (2011). Conceptos básicos de meteorología y prevención de desastres. I FORO DEL PROYECTO “MEDICION DE VARIABLES METEOROLOGICAS Y SU APLICACIÓN EN LA PREVENCION DE DESASTRES: EXPERIENCIA MOTIVADORA PARA EL ESTUDIO DE LAS CIENCAS EN ESCUELAS DE NIVEL MEDIO”. Disponible en: https://utp.ac.pa/APR08-005/pdf/conceptos_basicos.pdf

Comisión Interinstitucional de la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. (2017). La Cuenca. Disponible en: <http://www.cich.org/LaCuenca.html>

Comité de Alto Nivel de Seguridad Hídrica (2016). Plan Nacional de Seguridad Hídrica 2015-2050: Agua para Todos. Panamá, República de Panamá.

EMPRESA DE TRANSMISIÓN ELÉCTRICA, S.A. (ETESA). Hidrometeorología de ETESA. Antecedentes de la red hidrometeorológica nacional de Panamá. Disponible en: <https://www.hidromet.com.pa/es/antecedentesla-red-hidrometeorologica-nacionalpanama>

FAO. (2013). ASISTENCIA A LOS PAÍSES ANDINOS EN LA REDUCCIÓN DE RIESGOS Y DESASTRES EN EL SECTOR AGROPECUARIO INFORME DE POLÍTICA 4. ENFOQUE DE CUENCAS. Disponible en: <http://www.fao.org/climatechange/55804/es/>

Faustino, J., & Jiménez, F. (2000). Manejo de cuencas hidrográficas. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (CATIE). Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/2946>

Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. (2012). Informe especial sobre la gestión de los riesgos de fenómenos meteorológicos extremos y desastres para mejorar la adaptación al cambio climático. Resumen para responsables de políticas Informe de los Grupos de trabajo I y II del IPCC. Disponible en: https://www.ipcc.ch/site/assets/uploads/2018/03/IPCC_SREX_ES_web-1.pdf

Heckadon M., Stanley., Espinoza, J., Barrow, L., y Castillo, E. (1986). La Cuenca del Canal de Panamá: actas de los seminarios talleres. Grupo de Trabajo sobre la Cuenca del canal de Panamá. IMPRETEX, S.A. Panamá. Disponible en: <http://bdigital.binal.ac.pa/bdp/download.php?f=lacuencadelcanal1.pdf>

Herrera, M. (Noviembre 2019). Conciencia y ahorro, la gran diferencia en el tema agua. *El faro*. (137), 10-11.

Holdridge, L. R. 1967. «Life Zone Ecology». Tropical Science Center. San José, Costa Rica. (Traducción del inglés por Humberto Jiménez Saa: «Ecología Basada en Zonas de Vida», 1a. ed. San José, Costa Rica: IICA, 1982).

IDEAM – UNAL (2018). Variabilidad Climática y Cambio Climático en Colombia, Bogotá, D.C. Disponible en: <http://documentacion.ideam.gov.co/openbiblio/bvirtual/023778/variabilidad.pdf>

IICA. (2019). Guía de facilitadores para la sensibilización a estudiantes sobre cambio climático y bosques cafetalero. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. República Dominicana. Disponible en: <https://repositorio.iica.int/handle/11324/8725>

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (2016). Huracán Otto. Informe técnico. Costa Rica. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/publicaciones>

Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. (s.f). El Niño Oscilación Sur (ENOS). Costa Rica. Recuperado de: <https://www.imn.ac.cr/publicaciones>

IPCC, 2007: Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático [Equipo de redacción principal: Pachauri, R.K. y Reisinger, A. (directores de la publicación)]. IPCC, Ginebra, Suiza, 104 págs.

IPCC, 2007: Resumen para Responsables de Políticas. En, Cambio Climático 2007: Impactos y Vulnerabilidad. Contribución del Grupo de Trabajo II al Cuarto Informe de Evaluación del IPCC, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden y C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido.

IPCC, 2013: Glosario [Planton, S. (ed.)]. En: *Cambio Climático 2013. Bases físicas. Contribución del Grupo de trabajo I al Quinto Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex y P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, Reino Unido y Nueva York, NY, Estados Unidos de América.

Köppen, W. (1948). Climatología con un estudio de los climas de la tierra. En Fondo de cultura Económica (Sección de obra de Geografía) (pág. 58).

Laflen, J.M. and W.C. Moldenhauer. (2003). Pioneering Soil Erosion Prediction. The USLE Story. World Association of Soil and Water Conservation. Bangkok. 54 p. Disponible en: <http://www.waswac.org/waswac/rootfiles/2017/08/17/1499910848089833-1499910848091119.pdf>

Ministerio de Ambiente. (2018). TERCERA COMUNICACIÓN NACIONAL SOBRE CAMBIO CLIMÁTICO Panamá. Disponible en: <https://unfccc.int/sites/default/files/resource/Tercera%20Comunicacion%20Nacional%20Panama.pdf>

Ministerio de Ambiente. (2019). ESTRATEGIA NACIONAL DE CAMBIO CLIMÁTICO, 2050.

National Oceanic and Atmospheric Administration. (NOAA). (2005). NORTH AMERICAN COUNTRIES REACH CONSENSUS ON EL NIÑO DEFINITION. Recuperado de: <https://www.nws.noaa.gov/ost/climate/STIP/ElNinoDef.htm>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (NOAA). (2016). Variabilidad climática: Índice de Niño Oceánico. Recuperado de: <https://www.climate.gov/news-features/understanding-climate/climate-variability-oceanic-ni%C3%B1o-index>

National Oceanic and Atmospheric Administration. (NOAA). (2017). Episodios fríos y cálidos por temporada. Recuperado de: https://origin.cpc.ncep.noaa.gov/products/analysis_monitoring/ensostuff/ONI_v5.php

Organización Meteorológica Mundial (OMM). (1992). La Conferencia Mundial sobre el Clima. En Boletín de la OMM, XXVIII. N° 3. Ginebra: Suiza.

Organización del Sector Pesquero y Acuícola del Istmo Centroamericano (OSPESCA). (2017). Lago Gatún. Sistema de Integración Centroamericana. Disponible en: <https://climapesca.org/2017/05/10/lago-gatun/>

Pezo, D., Muschler, R., Tobar, D., y Pulido, A. (2019). Intervenciones y tecnologías ambientalmente racionales (TAR) para la adaptación al cambio climático del sector agropecuario de América Latina y el Caribe. Centro Agronómico Tropical de Investigación y Enseñanza. (CATIE). Disponible en: <http://repositorio.bibliotecaorton.catie.ac.cr/handle/11554/9454>

Pino, A., & Espinosa, J. (2001). DATOS METEOROLÓGICOS EN LA CUENCA DEL CANAL DE PANAMÁ DURANTE EL SIGLO XIX Y SU APLICABILIDAD A LA VARIABILIDAD CLIMÁTICA Y AL CAMBIO CLIMÁTICO. *Tecnociencia*, 3(2), 21-45. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/547>

Ríos, E. (2015). Manejo de Cuencas y Adaptación al Cambio Climático. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/281374585_MANEJO_DE_CUENCAS_Y_ADAPTACION_AL_CAMBIO_CLIMATICO

Rodríguez, A. (2006). Impacto de la ampliación del canal en los lagos Gatún y Miraflores. *Revista Tareas*. Número 124. pp. 103-126.

Rodríguez, O. (Diciembre 2011). CUENCA DEL CANAL, MODELO EN LA GESTIÓN DEL AGUA. *El Faro*. (44), 8-9.

Villar Uribe, B., & Guerra Umanzor., r. (1997). ANÁLISIS DE LOS PATRONES DE LA PRECIPITACIÓN PLUVIAL EN DIFERENTES ESTACIONES PLUVIOMÉTRICAS DEL CANAL DE PANAMÁ. *Tecnociencia*, 1(1), 37-49. Recuperado a partir de <https://revistas.up.ac.pa/index.php/tecnociencia/article/view/515>

Wischmeier, W. H. y D. W. Smith. (1978). *Predicting rainfall erosion losses. A guide to conservation planning*. USDA. Agric. Handbook No. 537. Disponible en: <https://naldc.nal.usda.gov/download/CAT79706928/PDF>

13. ANEXOS

Anexo 1. Precipitación Mensual (mm) y Promedio anual (mm) de la estación Gamboa.

AÑOS	MESES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1984	20.32	63.50	0.00	38.10	251.46	320.04	218.44	411.48	414.02	406.40	332.74	5.08	2481.58
1985	12.70	7.62	17.78	7.62	292.10	259.08	233.68	193.04	350.52	149.86	111.76	157.48	1793.24
1986	0.00	12.70	63.50	109.22	63.50	355.60	121.92	236.22	175.26	508.00	129.54	17.78	1793.24
1987	0.00	12.70	2.54	185.42	205.74	287.02	287.02	261.62	274.32	271.78	172.72	73.66	2034.54
1988	0.00	5.08	5.08	22.86	172.72	223.52	137.16	238.76	238.76	340.36	276.86	68.58	1729.74
1989	2.54	7.62	0.00	0.00	106.68	208.28	241.30	287.02	233.68	401.32	429.26	91.44	2009.14
1990	35.56	0.00	7.62	22.86	314.96	83.82	203.20	203.20	302.26	381.00	269.24	208.28	2032
1991	27.94	0.00	20.32	68.58	360.68	284.48	279.40	274.32	381.00	365.76	185.42	45.72	2293.62
1992	10.16	5.08	0.00	99.06	187.96	373.38	378.46	187.96	284.48	274.32	144.78	50.80	1996.44
1993	109.22	5.08	66.04	127.00	162.56	365.76	231.14	223.52	523.24	388.62	340.36	83.82	2626.36
1994	22.86	15.24	53.34	15.24	363.22	238.76	190.50	266.70	330.20	368.30	482.60	81.28	2428.24
1995	17.78	2.54	30.48	121.92	302.26	297.18	259.08	226.06	332.74	264.16	294.64	132.08	2280.92
1996	233.68	17.78	40.64	60.96	256.54	238.76	215.90	309.88	256.54	320.04	309.88	38.10	2298.7
1997	12.70	5.08	2.54	12.70	317.50	152.40	241.30	182.88	134.62	383.54	254.00	15.24	1714.5
1998	0.00	2.54	2.54	218.44	190.50	223.52	261.62	322.58	289.56	210.82	289.56	187.96	2199.64
1999	33.02	101.60	35.56	96.52	274.32	276.86	96.52	284.48	373.38	218.44	304.80	373.38	2468.88
2000	35.56	7.62	2.54	91.44	330.20	314.96	160.02	274.32	304.80	317.50	215.90	215.90	2270.76
2001	25.40	2.54	25.40	35.56	119.38	190.50	236.22	236.22	238.76	193.04	304.80	279.40	1887.22
2002	27.94	2.54	50.80	76.20	160.02	215.90	347.98	292.10	160.02	213.36	238.76	55.88	1841.5
2003	5.08	27.94	0.00	190.50	215.90	284.48	266.70	322.58	403.86	373.38	396.24	274.32	2760.98
2004	38.10	0.00	0.00	83.82	292.10	312.42	154.94	340.36	287.02	294.64	238.76	66.04	2108.2
2005	20.32	0.00	38.10	60.96	312.42	121.92	175.26	187.96	314.96	182.88	246.38	43.18	1704.34
2006	10.16	12.70	81.28	73.66	289.56	322.58	271.78	223.52	160.02	180.34	381.00	149.86	2156.46
2007	7.62	2.54	5.08	264.00	368.00	258.00	191.00	221.00	316.00	178.00	217.00	133.00	2161.24
2008	16.00	28.00	8.00	70.00	138.00	132.00	346.00	129.00	73.00	134.00	455.00	43.00	1572
2009	29.00	13.00	37.00	22.00	241.00	369.00	214.00	379.00	148.00	405.00	381.00	37.00	2275
2010	4.00	20.00	3.00	128.00	176.00	302.00	287.00	306.00	211.00	389.00	348.00	530.00	2704
2011	73.00	15.00	3.00	77.00	241.00	283.00	244.00	205.00	286.00	145.00	762.00	408.00	2742

2012	17.00	3.00	3.00	163.00	207.00	222.00	317.00	215.00	161.00	265.00	324.00	201.00	2098
2013	1.00	11.00	3.00	58.00	198.00	198.00	209.00	237.00	342.00	390.00	99.00	141.00	1887
2014	8.00	1.00	3.00	36.00	293.00	334.00	159.00	198.00	242.00	184.00	243.00	176.00	1877
2015	8.00	4.00	3.00	40.00	130.00	242.00	106.00	147.00	290.00	137.00	188.00	24.00	1319
2016	2.00	4.00	3.00	25.00	316.00	236.00	262.00	154.00	410.00	232.00	625.00	98.00	2367
2017	8.00	15.00	3.00	182.00	296.00	166.00	241.00	325.00	195.00	265.00	381.00	156.00	2233
2018	58.00	0.00	3.00	74.00	188.00	379.00	329.00	162.00	331.00	323.00	157.00	7.00	2011
TOTAL	932.6 6	434.0 4	623.1 8	2,957.6 4	8,334.2 8	9,072.2 2	8,114.5 4	8,664.7 8	9,769.0 2	10,054.8 6	10,530.0 0	4,669.2 6	74,156.4 8
PROM.	26.65	12.40	17.81	84.50	238.12	259.21	231.84	247.57	279.11	287.28	300.86	133.41	2118.76
DES. EST.	42.54	19.60	22.78	64.83	79.62	74.75	68.40	66.15	94.53	97.82	138.31	121.52	338.93
												$\mu+\sigma$	2,457.68
												$\mu-\sigma$	1,779.83

Anexo 2. Precipitación Mensual (mm) y Promedio anual (mm) de la estación Barro Colorado.

AÑOS	MESES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1984	104.14	68.58	22.86	58.42	236.22	271.78	236.22	342.90	279.40	538.48	439.42	20.32	2618.74
1985	25.40	25.40	22.86	5.08	287.02	203.20	251.46	236.22	162.56	358.14	195.58	309.88	2082.8
1986	60.96	7.62	45.72	96.52	109.22	226.06	86.36	297.18	256.54	452.12	185.42	132.08	1955.8
1987	5.08	53.34	0.00	231.14	391.16	162.56	309.88	441.96	340.36	337.82	287.02	182.88	2743.2
1988	10.16	27.94	7.62	22.86	246.38	195.58	137.16	137.16	297.18	373.38	251.46	231.14	1,938.02
1989	5.08	53.34	22.86	7.62	53.34	132.08	228.60	236.22	109.22	381.00	330.20	187.96	1,747.52
1990	15.24	7.62	50.80	157.48	457.20	129.54	327.66	223.52	375.92	421.64	261.62	160.02	2,588.26
1991	15.24	25.40	162.56	17.78	314.96	203.20	274.32	233.68	302.26	284.48	393.70	68.58	2,296.16
1992	33.02	5.08	0.00	152.40	467.36	358.14	243.84	320.04	457.20	426.72	363.22	167.64	2,994.66
1993	109.22	25.40	55.88	134.62	165.10	220.98	309.88	226.06	510.54	414.02	474.98	243.84	2,890.52
1994	78.74	0.00	60.96	43.18	335.28	345.44	416.56	403.86	294.64	327.66	472.44	43.18	2,821.94
1995	175.26	33.02	10.16	144.78	403.86	444.50	304.80	220.98	223.52	322.58	297.18	299.72	2,880.36
1996	381.00	106.6 8	86.36	25.40	447.04	480.06	231.14	299.72	307.34	365.76	515.62	111.76	3,357.88
1997	20.32	43.18	2.54	20.32	327.66	287.02	170.18	205.74	182.88	231.14	279.40	2.54	1,772.92
1998	15.24	30.48	40.64	215.90	241.30	335.28	363.22	358.14	248.92	365.76	114.30	406.40	2,735.58
1999	33.02	40.64	116.84	223.52	287.02	581.66	353.06	589.28	330.20	271.78	543.56	665.48	4,036.06
2000	154.94	10.16	2.54	170.18	187.96	271.78	213.36	312.42	175.26	594.36	264.16	452.12	2,809.24

2001	96.52	0.00	7.62	20.32	210.82	180.34	160.02	287.02	248.92	236.22	464.82	375.92	2,288.54
2002	152.40	10.16	40.64	177.80	205.74	307.34	381.00	378.46	182.88	129.54	317.50	53.34	2,336.80
2003	15.24	12.70	2.54	91.44	281.94	332.74	241.30	271.78	353.06	281.94	345.44	467.36	2,697.48
2004	10.16	2.54	43.18	121.92	441.96	299.72	279.40	406.40	269.24	312.42	320.04	193.04	2,700.02
2005	116.84	45.72	38.10	144.78	218.44	205.74	132.08	297.18	289.56	109.22	447.04	243.84	2,288.54
2006	27.94	40.64	99.06	43.18	477.52	101.60	378.46	264.16	162.56	327.66	515.62	215.90	2,654.30
2007	0.00	10.16	73.66	259.00	639.00	275.00	165.00	270.00	330.00	402.00	501.00	151.00	3,075.82
2008	46.00	51.00	5.00	36.00	127.00	162.00	317.00	213.00	114.00	128.00	564.00	66.00	1,829.00
2009	40.00	33.00	32.00	48.00	136.00	335.00	278.00	539.00	97.00	312.00	448.00	95.00	2,393.00
2010	17.00	57.00	69.00	142.00	156.00	343.00	422.00	438.00	257.00	400.00	627.00	1050.00	3,978.00
2011	107.00	33.00	41.00	104.00	253.00	323.00	308.00	189.00	211.00	329.00	693.00	497.00	3,088.00
2012	9.00	2.00	14.00	142.00	253.00	274.00	349.00	159.00	150.00	268.00	773.00	399.00	2,792.00
2013	12.00	47.00	39.00	67.00	190.00	174.00	370.00	275.00	207.00	226.00	158.00	135.00	1,900.00
2014	19.00	9.00	18.00	38.00	160.00	128.00	78.00	143.33	77.00	132.00	169.00	143.00	1,114.33
2015	34.00	36.00	12.00	58.00	204.00	102.00	87.50	169.00	278.00	377.00	154.50	93.00	1,605.00
2016	16.00	23.00	4.00	86.00	160.00	376.00	402.00	148.00	271.00	394.00	815.00	139.00	2,834.00
2017	8.00	6.00	45.00	94.00	227.00	188.00	191.00	241.00	153.00	153.00	413.00	268.00	1,987.00
2018	270.00	3.00	107.00	25.00	395.00	445.00	352.00	239.00	248.00			27.00	2,111.00
TOTAL	2,239.16	985.80	1,402.00	3,425.64	9,694.50	9,401.34	9,349.46	10,013.41	8,753.16	10,984.84	13,395.24	8,297.94	87,942.49
PROM	63.98	28.17	40.06	97.88	276.99	268.61	267.13	286.10	250.09	323.08	393.98	237.08	2,512.64
DES. EST	82.45	23.52	38.24	71.42	128.69	113.21	97.80	106.87	96.66	112.51	175.37	209.57	621.31
												$\mu+\sigma$	3,133.95
												$\mu-\sigma$	1,891.34

Anexo 3. Precipitación Mensual (mm) y Promedio anual (mm) de la estación Las Raíces.

AÑOS	MESES												ANUAL
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	
1984	73.66	45.72	7.62	35.56	299.72	160.02	101.6	355.6	129.54	248.92	320.04	53.34	1,831.34
1985	96.52	40.64	5.08	5.08	238.76	294.64	160.02	205.74	226.06	185.42	228.6	327.66	2,014.22
1986	27.94	10.16	10.16	284.48	180.34	175.26	177.8	157.48	274.32	335.28	149.86	73.66	1,856.74
1987	33.02	50.8	0	175.26	406.4	129.54	218.44	266.7	314.96	378.46	182.88	121.92	2,278.38

1988	7.62	25.4	2.54	63.5	203.2	370.84	165.1	317.5	411.48	210.82	320.04	114.3	2,212.34
1989	7.62	0	2.54	15.24	109.22	116.84	119.38	213.36	302.26	378.46	355.6	111.76	1,732.28
1990	12.7	2.54	35.56	71.12	279.4	144.78	248.92	152.4	279.4	406.4	213.36	256.54	2,103.12
1991	35.56	17.78	121.92	48.26	477.52	170.18	226.06	116.84	330.2	332.74	345.44	71.12	2,293.62
1992	10.16	22.86	5.08	162.56	160.02	254	243.84	236.22	264.16	203.2	297.18	157.48	2,016.76
1993	66.04	5.08	78.74	182.88	205.74	276.86	129.54	200.66	360.68	363.22	264.16	144.78	2,278.38
1994	60.96	15.24	48.26	76.2	307.34	195.58	101.6	187.96	215.9	152.4	340.36	55.88	1,757.68
1995	152.4	2.54	27.94	88.9	195.58	304.8	347.98	134.62	172.72	231.14	299.72	187.96	2,146.30
1996	370.84	142.24	68.58	88.9	452.12	210.82	175.26	195.58	281.94	182.88	246.38	119.38	2,534.92
1997	20.32	33.02	0	33.02	142.24	127	157.48	190.5	137.16	121.92	86.36	12.7	1,061.72
1998	7.62	22.86	22.86	218.44	353.06	269.24	264.16	289.56	160.02	477.52	139.7	398.78	2,623.82
1999	78.74	40.64	93.98	71.12	167.64	345.44	185.42	401.32	386.08	256.54	411.48	406.4	2,844.80
2000	99.06	20.32	2.54	60.96	215.9	495.3	198.12	205.74	129.54	375.92	203.2	538.48	2,545.08
2001	50.8	0	81.28	27.94	114.3	177.8	144.78	205.74	236.22	251.46	266.7	231.14	1,788.16
2002	218.44	5.08	27.94	134.62	187.96	139.7	210.82	208.28	180.34	147.32	624.84	68.58	2,153.92
2003	25.4	10.16	5.08	109.22	266.7	251.46	238.76	233.68	281.94	429.26	398.78	355.6	2,606.04
2004	50.8	10.16	35.56	119.38	505.46	195.58	193.04	309.88	165.1	264.16	264.16	121.92	2,235.20
2005	116.84	17.78	25.4	213.36	259.08	147.32	274.32	383.54	358.14	312.42	350.52	167.64	2,626.36
2006	38.1	33.02	58.42	91.44	294.64	101.6	203.2	218.44	139.7	205.74	391.16	147.32	1,922.78
2007	7.62	30.48	30.48	163	534	183	106	153	330	325	518	95	2,475.58
2008	137	49	17	41	211	136	315	154	152	258	408	70	1,948.00
2009	72	25	27	78	122	73	170	208	160	265	532	99	1,831.00
2010	18	20	59	60	170	363	245	465	312	277	484	868	3,341.00
2011	86	94	61	67	288	380	422	129	226	217	634	594	3,198.00
2012	8	4	80	203	523	145	196	132	175	241	1143	428	3,278.00
2013	2	31	48	170	400	200	214	299	265	156	85	129	1,999.00
2014	13	11	25	136	152	240		191.67		521	418	229	1,936.67
2015	36	19	3	32	82	233	86	264	272	271	183	72	1,553.00
2016	18	6	0	64	255	219	296	49	245	216	697	133	2,198.00
2017	10	8	43		490.5	87		269	150	159		257	1,473.50
2018	417	0	53	92	153	236	245	170	281	230	208	21	2,106.00
TOTAL	2,485.78	871.52	1,213.56	3,483.44	9,402.84	7,549.60	6,780.64	7,871.01	8,305.86	9,587.60	12,010.52	7,239.34	76,801.71
PROM	71.02	24.90	34.67	102.45	268.65	215.70	205.47	224.89	244.29	273.93	353.25	206.84	2,194.33

DES.EST	94.44	28.06	31.40	67.50	130.62	94.69	74.18	87.52	80.21	96.99	205.59	184.96	493.72
												$\mu+\sigma$	2,688.06
												$\mu-\sigma$	1,700.61

Anexo 4. Cantidad de días con precipitación >5mm de la estación lluviosa en Gamboa.

AÑO	ESTACIÓN LLUVIOSA (MAY-NOV)	AÑO	ESTACIÓN LLUVIOSA (MAY-NOV)
1984	103	2001	89
1985	98	2002	85
1986	75	2003	105
1987	88	2004	92
1988	92	2005	88
1989	84	2006	99
1990	93	2007	88
1991	100	2008	77
1992	92	2009	86
1993	93	2010	81
1994	92	2011	87
1995	98	2012	74
1996	93	2013	81
1997	70	2014	81
1998	88	2015	61
1999	88	2016	97
2000	101	2017	90
		2018	83

Anexo 5. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa en la estación de Gamboa.

AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR
1984	MAY	11	1989	MAYO	10	1994	MAYO	8	1999	MAYO	7
	JUNIO	4		JUNIO	5		JUNIO	4		JUNIO	4
	JULIO	4		JULIO	7		JULIO	11		JULIO	6
	AGOSTO	4		AGOSTO	6		AGOSTO	4		AGOSTO	3
	SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	8		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	8
	OCTUBRE	2		OCTUBRE	3		OCTUBRE	10		OCTUBRE	7
	NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	3
1985	MAYO	3	1990	MAYO	4	1995	MAYO	4	2000	MAYO	5
	JUNIO	4		JUNIO	11		JUNIO	5		JUNIO	4

	JULIO	4		JULIO	5		JULIO	4		JULIO	7
	AGOSTO	7		AGOSTO	4		AGOSTO	6		AGOSTO	5
	SEPTIEMBRE	3		SEPTIEMBRE	3		SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	4
	OCTUBRE	7		OCTUBRE	4		OCTUBRE	9		OCTUBRE	6
	NOVIEMBRE	16		NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	4
1986	MAYO	14	1991	MAYO	7	1996	MAYO	7	2001	MAYO	6
	JUNIO	8		JUNIO	3		JUNIO	5		JUNIO	4
	JULIO	6		JULIO	5		JULIO	5		JULIO	3
	AGOSTO	6		AGOSTO	6		AGOSTO	5		AGOSTO	5
	SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	2		SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	5
	OCTUBRE	4		OCTUBRE	2		OCTUBRE	5		OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	14
1987	MAYO	11	1992	MAYO	7	1997	MAYO	7	2002	MAYO	5
	JUNIO	5		JUNIO	4		JUNIO	7		JUNIO	8
	JULIO	6		JULIO	3		JULIO	9		JULIO	9
	AGOSTO	8		AGOSTO	4		AGOSTO	6		AGOSTO	4
	SEPTIEMBRE	8		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	6
	OCTUBRE	4		OCTUBRE	5		OCTUBRE	7		OCTUBRE	7
	NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	7
1988	MAYO	8	1993	MAYO	7	1998	MAYO	8	2003	MAYO	6
	JUNIO	6		JUNIO	2		JUNIO	4		JUNIO	5
	JULIO	5		JULIO	4		JULIO	6		JULIO	3
	AGOSTO	8		AGOSTO	5		AGOSTO	6		AGOSTO	5
	SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	3		SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	7
	OCTUBRE	6		OCTUBRE	5		OCTUBRE	7		OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	3

AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR
2004	MAYO	8	2009	MAYO	7	2014	MAYO	5
	JUNIO	4		JUNIO	3		JUNIO	5
	JULIO	4		JULIO	8		JULIO	8
	AGOSTO	4		AGOSTO	3		AGOSTO	7
	SEPTIEMBRE	11		SEPTIEMBRE	9		SEPTIEMBRE	5
	OCTUBRE	4		OCTUBRE	10		OCTUBRE	8
	NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	5
2005	MAYO	7	2010	MAYO	10	2015	MAYO	11
	JUNIO	7		JUNIO	3		JUNIO	13
	JULIO	8		JULIO	7		JULIO	16
	AGOSTO	6		AGOSTO	6		AGOSTO	5
	SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	6

	OCTUBRE	4		OCTUBRE	7		OCTUBRE	4
	NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	6
2006	MAYO	3	2011	MAYO	11	2016	MAYO	4
	JUNIO	4		JUNIO	5		JUNIO	7
	JULIO	6		JULIO	8		JULIO	4
	AGOSTO	6		AGOSTO	4		AGOSTO	16
	SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	3
	OCTUBRE	5		OCTUBRE	9		OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	8		NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	2
2007	MAYO	3	2012	MAYO	5	2017	MAYO	9
	JUNIO	9		JUNIO	7		JUNIO	4
	JULIO	8		JULIO	6		JULIO	4
	AGOSTO	8		AGOSTO	5		AGOSTO	4
	SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	7
	OCTUBRE	9		OCTUBRE	10		OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	3
2008	MAYO	6	2013	MAYO	3	2018	MAYO	9
	JUNIO	7		JUNIO	7		JUNIO	5
	JULIO	4		JULIO	6		JULIO	6
	AGOSTO	10		AGOSTO	3		AGOSTO	9
	SEPTIEMBRE	13		SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	3
	OCTUBRE	8		OCTUBRE	3		OCTUBRE	6
	NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	11		NOVIEMBRE	5

Anexo 6. Cantidad de días con precipitación > 40 mm y cantidad de tormentas registradas en la estación lluviosa de la estación de Gamboa.

AÑO	Cantidad de días > 40 mm	Cantidad de tormentas
1984	14	14
1985	4	4
1986	9	10
1987	10	10
1988	4	4
1989	12	12
1990	9	9
1991	16	16
1992	12	13
1993	18	18
1994	16	16
1995	8	8
1996	16	17
1997	11	11
1998	10	10
1999	10	11
2000	12	12

2001	5	5
2002	9	9
2003	17	18
2004	12	13
2005	8	8
2006	10	11
2007	6	6
2008	6	6
2009	14	14
2010	12	12
2011	14	14
2012	11	11
2013	7	8
2014	7	8
2015	6	6
2016	16	15
2017	10	10
2018	10	11

Anexo 7. Datos de I_{30} (mm/h) para el comportamiento de la intensidad de lluvias de las tormentas registradas en la estación lluviosa en la estación de Gamboa.

Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}					
1984	101.6	1985	71.12	1986	81.28	1987	60.96	1988	66.04					
	101.6									50.8	45.72	66.04	35.56	55.88
	40.64									35.56	66.04	55.88	30.48	55.88
	71.12									50.8	60.96	30.48	30.48	30.48
	35.56									30.48	25.4	30.48	60.96	40.64
	15.24									86.36	15.24	60.96	40.64	
	76.2									71.12	30.48	40.64		
	55.88									25.4	86.36			
	50.8									86.36	71.12			
	30.48									25.4	25.4			
	86.36									86.36	86.36			
	71.12													
	25.4													
86.36														
1989	66.04	1990	40.64	1991	40.64	1992	35.56	1993	45.72					
	71.12									55.88	55.88	55.88	50.8	
	30.48									40.64	91.44	30.48	45.72	
	55.88									76.2	66.04	71.12	71.12	
	25.4									20.32	71.12	55.88	86.36	
	66.04									91.44	55.88	55.88	66.04	
	111.76									81.28	76.2	66.04	40.64	
	86.36									76.2	60.96	121.92	45.72	
	81.28									35.56	35.56	60.96	66.04	
	45.72									60.96	30.48	81.28	40.64	
	81.28									30.48	40.64	40.64	50.8	
	76.29									40.64	30.48	30.48	45.72	
										50.8	40.64	50.8	121.92	
		50.8		71.12										

					35.56				66.04 116.84 55.88
1994	55.88 35.56 66.04 116.84 45.72 71.12 81.28 71.12 106.68 50.8 71.12 50.8 60.96 40.64 45.72 30.48	1995	20.32 55.88 20.32 45.72 35.56 15.24 40.64 35.56	1996	81.28 76.2 25.2 10.16 76.2 50.8 60.96 76.2 96.52 35.56 116.84 66.04 60.96 35.56 81.28 55.88 50.8	1997	66.04 96.52 76.2 35.56 76.2 50.8 55.88 76.2 106.68 25.4 60.96	1998	71.12 60.96 71.12 40.64 96.52 55.88 45.72 76.2 91.44 50.8
1999	91.94 50.8 86.36 91.44 25.4 30.48 81.28 40.64 55.88 66.04 30.48	2000	76.2 91.44 40.64 66.04 60.96 76.2 45.72 55.88 40.64 71.12 40.64 55.88	2001	35.56 35.56 76.2 76.2 91.44	2002	71.12 25.4 86.36 60.96 66.04 25.4 55.88 66.04 45.72	2003	66.04 66.04 66.04 30.48 101.6 25.4 50.8 60.96 50.8 50.8 81.28 66.04 50.8 40.64 96.52 45.72 30.48
2004	45.72 71.12 76.2 66.04 35.56 66.04 40.64 66.04 60.96 45.72 60.96 10.16 10.16	2005	45.72 91.44 50.8 35.56 40.64 35.56 86.36 91.44	2006	35.56 45.72 20.32 40.64 76.2 55.88 71.12 35.56 66.04 35.56 25.4	2007	60 58 60 62 42 68	2008	32 64 68 70 82 56
2009	60 58 58 124 102 112 44 94 46 54 82	2010	26 56 62 42 76 46 76 80 62 60 14	2011	60 72 42 74 28 18 68 72 46 62 48	2012	76 88 78 32 58 58 56 60 26 76 68	2013	68 92 28 40 62 66 56 70

	26 16 106		66		70 66 36				
2014	74 60 38 74 70 66 12 68	2015	52 78 48 56 34 46	2016	116 26 70 56 100 22 44 46 52 80 76 66 44 36 34	2017	124 58 100 52 62 78 58 62 30 58 30	2018	40 16 44 72 50 62 60 44 64 52

Anexo 8. Cantidad de días con precipitación >5mm de la estación lluviosa en Barro Colorado.

AÑO	ESTACIÓN LLUVIOSA (MAY-NOV)	AÑO	ESTACIÓN LLUVIOSA (MAY-NOV)
1984	94	2001	90
1985	98	2002	89
1986	88	2003	103
1987	101	2004	99
1988	84	2005	81
1989	72	2006	89
1990	82	2007	104
1991	96	2008	75
1992	100	2009	83
1993	108	2010	95
1994	115	2011	93
1995	104	2012	86
1996	105	2013	82
1997	76	2014	55
1998	81	2015	66
1999	109	2016	94
2000	106	2017	77
		2018	103

Anexo 9. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa en la estación de Barro Colorado.

AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR
1984	MAYO	9	1989	MAYO	20	1994	MAYO	7	1999	MAYO	7
	JUNIO	7		JUNIO	7		JUNIO	2		JUNIO	2
	JULIO	4		JULIO	7		JULIO	4		JULIO	5
	AGOSTO	5		AGOSTO	3		AGOSTO	2		AGOSTO	7
	SEPTIEMBRE	8		SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	7
	OCTUBRE	4		OCTUBRE	4		OCTUBRE	5		OCTUBRE	7
	NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	5
1985	MAYO	5	1990	MAYO	3	1995	MAYO	5	2000	MAYO	3
	JUNIO	10		JUNIO	9		JUNIO	6		JUNIO	4
	JULIO	5		JULIO	3		JULIO	6		JULIO	7
	AGOSTO	7		AGOSTO	3		AGOSTO	6		AGOSTO	4
	SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	3		SEPTIEMBRE	3		SEPTIEMBRE	5
	OCTUBRE	5		OCTUBRE	4		OCTUBRE	9		OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	6		NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	5
1986	MAYO	12	1991	MAYO	6	1996	MAYO	5	2001	MAYO	10
	JUNIO	6		JUNIO	10		JUNIO	3		JUNIO	6
	JULIO	10		JULIO	5		JULIO	6		JULIO	3
	AGOSTO	10		AGOSTO	6		AGOSTO	3		AGOSTO	5
	SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	3		SEPTIEMBRE	5
	OCTUBRE	3		OCTUBRE	5		OCTUBRE	5		OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	6		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	10
1987	MAYO	7	1992	MAYO	6	1997	MAYO	8	2002	MAYO	4
	JUNIO	5		JUNIO	6		JUNIO	5		JUNIO	4
	JULIO	7		JULIO	7		JULIO	5		JULIO	3
	AGOSTO	4		AGOSTO	5		AGOSTO	9		AGOSTO	4
	SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	6
	OCTUBRE	4		OCTUBRE	5		OCTUBRE	8		OCTUBRE	6
	NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	6

1988	MAYO	7	1993	MAYO	9	1998	MAYO	7	2003	MAYO	3
	JUNIO	11		JUNIO	6		JUNIO	5		JUNIO	5
	JULIO	7		JULIO	4		JULIO	3		JULIO	3
	AGOSTO	15		AGOSTO	9		AGOSTO	3		AGOSTO	5
	SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	2		SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	4
	OCTUBRE	7		OCTUBRE	2		OCTUBRE	8		OCTUBRE	9
	NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	3
2004	MAYO	4	2009	MAYO	9	2014	MAYO	8			
	JUNIO	4		JUNIO	4		JUNIO	15			
	JULIO	5		JULIO	6		JULIO	13			
	AGOSTO	4		AGOSTO	4		AGOSTO	8			
	SEPTIEMBRE	8		SEPTIEMBRE	8		SEPTIEMBRE	9			
	OCTUBRE	5		OCTUBRE	10		OCTUBRE	9			
	NOVIEMBRE	9		NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	5			
2005	MAYO	7	2010	MAYO	9	2015	MAYO	13			
	JUNIO	9		JUNIO	9		JUNIO	19			
	JULIO	8		JULIO	7		JULIO	7			
	AGOSTO	6		AGOSTO	5		AGOSTO	16			
	SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	6			
	OCTUBRE	9		OCTUBRE	5		OCTUBRE	6			
	NOVIEMBRE	6		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	5			
2006	MAYO	7	2011	MAYO	10	2016	MAYO	5			
	JUNIO	9		JUNIO	8		JUNIO	6			
	JULIO	15		JULIO	6		JULIO	5			
	AGOSTO	5		AGOSTO	7		AGOSTO	6			
	SEPTIEMBRE	8		SEPTIEMBRE	6		SEPTIEMBRE	10			
	OCTUBRE	4		OCTUBRE	9		OCTUBRE	4			
	NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	2			
2007	MAYO	6	2012	MAYO	5	2017	MAYO	4			
	JUNIO	6		JUNIO	4		JUNIO	3			
	JULIO	7		JULIO	4		JULIO	5			
	AGOSTO	4		AGOSTO	5		AGOSTO	5			

	SEPTIE MBRE	4		SEPTI EMBR E	6		SEPTIE MBRE	10
	OCTUB RE	5		OCTU BRE	10		OCTUB RE	8
	NOVIE MBRE	3		NOVIE MBRE	3		NOVIE MBRE	6
2008	MAYO	8	2013	MAYO	4	2018	MAYO	4
	JUNIO	8		JUNIO	7		JUNIO	3
	JULIO	4		JULIO	6		JULIO	6
	AGOST O	6		AGOS TO	4		AGOST O	5
	SEPTIE MBRE	17		SEPTI EMBR E	8		SEPTIE MBRE	3
	OCTUB RE	8		OCTU BRE	10		NOVIE MBRE	3
	NOVIE MBRE	5		NOVIE MBRE	5			

Anexo 10. Cantidad de días con precipitación > 40 mm y cantidad de tormentas registradas en la estación lluviosa de la estación de Barro Colorado.

AÑO	Cantidad de días >40mm	Cantidad de tormentas
1984	19	20
1985	8	10
1986	7	8
1987	14	20
1988	10	10
1989	6	6
1990	15	15
1991	13	14
1992	24	29
1993	14	15
1994	14	15
1995	13	14
1996	21	22
1997	15	16
1998	12	12
1999	29	31
2000	9	8
2001	10	10
2002	13	14
2003	16	17

2004	16	17
2005	8	9
2006	16	18
2007	19	19
2008	8	8
2009	15	16
2010	22	22
2011	17	17
2012	17	18
2013	7	8
2014	0	0
2015	6	6
2016	19	19
2017	7	7
2018	14	15

Anexo 11. Datos de I_{30} (mm/h) para el comportamiento de la intensidad de lluvias de las tormentas registradas en la estación lluviosa en la estación de Barro Colorado.

Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}	
1984	55.88	1985	20.32	1986	40.64	1987	25.4	1988	66.04	
	71.12						66.04			45.72
	25.4						81.28			10.16
	35.56						20.32			15.24
	86.36						20.32			50.8
	101.6						20.32			25.4
	55.88						55.88			55.88
	55.88						35.56			40.64
	55.88						20.32			35.56
	86.36						20.32			40.64
	81.28						55.88			15.24
	76.2						35.56			35.56
	81.28						50.8			15.24
	76.2						55.88			76.2
	86.36						45.72			76.2
	71.12									71.12
25.4		60.96								
25.4		121.92								
55.88		20.32								
35.56		55.88								
1989	60.96	1990	35.56	1991	40.64	1992	50.8	1993	50.8	
	20.32		96.52		45.72		30.48		40.64	
	50.8		55.88		45.72		55.88		76.2	
	45.72		106.68		20.32		40.64		35.56	

	40.64 71.12		147.32 40.64 45.72 60.96 66.04 55.88 60.96 55.88 20.32 40.64 76.2		45.72 101.6 60.96 60.96 96.52 76.2 45.72 30.48 10.16 20.32		20.32 76.2 121.92 91.44 71.12 50.8 20.32 20.32 55.88 60.96 91.44 71.12 35.56 40.64 30.48 35.56 106.68 71.12 76.2 50.8 76.2 45.72 40.64 35.56 35.56		45.72 55.88 50.8 66.04 45.72 71.12 81.28 15.24 106.68 25.4 20.32
1994	30.48 76.2 25.4 50.8 76.2 76.2 76.2 86.36 55.88 66.04 50.8 25.4 55.88 45.72 66.04	1995	45.72 40.64 20.32 20.32 35.56 55.88 81.28 55.88 30.48 35.56 45.72 50.8 40.64 25.4	1996	66.04 50.8 60.96 71.12 45.72 91.44 30.48 60.96 35.56 60.96 50.8 71.12 86.36 76.2 142.24 60.96 40.64 71.12 35.56 30.48 35.56 35.56	1997	76.2 76.2 66.04 55.88 76.2 60.96 25.4 30.48 86.36 20.32 40.64 55.88 55.88 45.72 111.76 50.8	1998	45.72 35.56 66.04 66.04 25.4 91.44 81.28 71.12 55.88 81.28 81.28 76.2
1999	60.96 50.8 40.64 50.8	2000	71.12 45.72 50.8 60.96	2001	66.04 81.28 40.64 60.96	2002	45.72 30.48 86.36 55.88	2003	55.88 55.88 66.04 50.8

	81.28 15.24 10.16 76.2 50.8 91.44 81.28 50.8 15.24 55.88 86.36 50.8 55.88 60.96 30.48 81.28 66.04 50.8 50.8 60.96 50.8 40.64 50.8 81.28 35.56 66.04 25.4		35.56 76.2 45.72 91.44		45.72 66.04 40.64 60.96 71.12 50.8		55.88 71.12 25.4 111.76 66.04 35.56 35.56 35.56 20.32 40.64		71.12 76.2 60.96 35.56 55.88 35.56 40.64 55.88 35.56 81.28 35.56 55.88 25.4 20.32
2004	55.88 35.56 76.2 116.84 71.12 76.2 71.12 96.52 30.48 96.52 50.8 55.88 40.64 45.72 20.32 35.56 20.32	2005	86.36 55.88 45.72 50.8 81.28 20.32 25.4 30.48 127	2006	45.72 45.72 50.8 40.64 76.2 10.16 76.2 66.04 71.12 66.04 66.04 30.48 30.48 35.56 35.56 20.32 81.28 20.32	2007	82 60 58 92 108 86 66 40 40 40 40 50 52 38 90 26 32 54 40	2008	46 52 38 52 30 34 18 44
2009	72 82 76 74 54	2010	42 26 70 58 42	2011	30 50 72 30 50	2012	52 32 68 58 60	2013	76 76 56 36 56

	56 132 34 44 58 78 76 46 36 46 32		70 50 52 86 34 44 72 56 64 58 32 32 34 48 42 38 58		96 48 60 40 44 94 46 14 44 74 36 36		60 44 78 96 40 58 26 34 22 22 40 60 34		64 36 42
2015	72 72 42 76 80 62	2016	40 74 80 34 76 106 64 82 36 60 66 128 30 68 54 48 16 22 32	2017	88 56 54 84 66 24 50	2018	32 62 62 62 80 22 56 56 38 66 62 36 46 76 60		

Anexo 12. Cantidad de días con precipitación >5mm de la estación lluviosa en Las Raíces.

AÑO	ESTACIÓN LLUVIOSA (MAY-NOV)	AÑO	ESTACIÓN LLUVIOSA (MAY-NOV)
1984	88	2001	77
1985	81	2002	70
1986	85	2003	93
1987	89	2004	83
1988	96	2005	89
1989	88	2006	77

1990	88	2007	84
1991	91	2008	75
1992	92	2009	73
1993	85	2010	88
1994	82	2011	84
1995	81	2012	87
1996	92	2013	64
1997	62	2014	64
1998	84	2015	54
1999	107	2016	85
2000	80	2017	69
		2018	81

Anexo 13. Ocurrencia de eventos de días sin lluvias (<5 mm) como proceso continuo de estación lluviosa en la estación de Las Raíces.

AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR	AÑO	MES	VALOR
1984	MAYO	9	1989	MAYO	11	1994	MAYO	5	1999	MAYO	7
	JUNIO	5		JUNIO	12		JUNIO	3		JUNIO	8
	JULIO	8		JULIO	6		JULIO	10		JULIO	6
	AGOSTO	3		AGOSTO	4		AGOSTO	5		AGOSTO	3
	SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	5
	OCTUBRE	7		OCTUBRE	2		OCTUBRE	4		OCTUBRE	5
	NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	2		NOVIEMBRE	7		NOVIEMBRE	2
1985	MAYO	5	1990	MAYO	6	1995	MAYO	8	2000	MAYO	6
	JUNIO	5		JUNIO	11		JUNIO	5		JUNIO	4
	JULIO	4		JULIO	4		JULIO	5		JULIO	7
	AGOSTO	8		AGOSTO	5		AGOSTO	9		AGOSTO	6
	SEPTIEMBRE	7		SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	6
	OCTUBRE	7		OCTUBRE	4		OCTUBRE	15		OCTUBRE	7
	NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	13		NOVIEMBRE	12
1986	MAYO	13	1991	MAYO	7	1996	MAYO	5	2001	MAYO	6
	JUNIO	4		JUNIO	8		JUNIO	7		JUNIO	6
	JULIO	6		JULIO	4		JULIO	6		JULIO	7
	AGOSTO	13		AGOSTO	6		AGOSTO	5		AGOSTO	8
	SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	5		SEPTIEMBRE	3
	OCTUBRE	4		OCTUBRE	9		OCTUBRE	5		OCTUBRE	6
	NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	4		NOVIEMBRE	6		NOVIEMBRE	9

1987	MAYO	7	1992	MAYO	15	1997	MAYO	13	2002	MAYO	6
	JUNIO	9		JUNIO	4		JUNIO	6		JUNIO	7
	JULIO	6		JULIO	6		JULIO	11		JULIO	7
	AGOSTO	6		AGOSTO	7		AGOSTO	7		AGOSTO	7
	SEPTIE MBRE	4		SEPTIE BRE	8		SEPTIE MBRE	8		SEPTIE BRE	6
	OCTUBR E	3		OCTUBR E	4		OCTUBR E	7		OCTUBR E	13
NOVIEM BRE	12	NOVIEM BRE	5	NOVIEM BRE	6	NOVIEM BRE	6				
1988	MAYO	11	1993	MAYO	6	1998	MAYO	9	2003	MAYO	6
	JUNIO	5		JUNIO	7		JUNIO	5		JUNIO	3
	JULIO	5		JULIO	9		JULIO	5		JULIO	4
	AGOSTO	7		AGOSTO	6		AGOSTO	6		AGOSTO	4
	SEPTIE MBRE	5		SEPTIE BRE	8		SEPTIE MBRE	9		SEPTIE BRE	5
	OCTUBR E	7		OCTUBR E	5		OCTUBR E	8		OCTUBR E	5
NOVIEM BRE	6	NOVIEM BRE	8	NOVIEM BRE	5	NOVIEM BRE	3				
2004	MAYO	8	2009	MAYO	10	2014	MAYO	10	2015	MAYO	14
	JUNIO	6		JUNIO	8		JUNIO	14		JUNIO	26
	JULIO	6		JULIO	9		JULIO	6		JULIO	9
	AGOSTO	3		AGOSTO	5		AGOSTO	4		AGOSTO	9
	SEPTIE MBRE	9		SEPTIE BRE	7		OCTUBR E	2		SEPTIE MBRE	11
	OCTUBR E	5		OCTUBR E	3		NOVIEM BRE	6		OCTUBR E	4
NOVIEM BRE	7	NOVIEM BRE	4	NOVIEM BRE	6	NOVIEM BRE	6				
2005	MAYO	5	2010	MAYO	12	2015	MAYO	14	2016	MAYO	6
	JUNIO	10		JUNIO	6		JUNIO	26		JUNIO	5
	JULIO	10		JULIO	4		JULIO	9		JULIO	5
	AGOSTO	7		AGOSTO	3		AGOSTO	9		AGOSTO	19
	SEPTIE MBRE	4		SEPTIE BRE	4		SEPTIE MBRE	11		SEPTIE MBRE	6
	OCTUBR E	6		OCTUBR E	5		OCTUBR E	4		OCTUBR E	3
NOVIEM BRE	6	NOVIEM BRE	5	NOVIEM BRE	6	NOVIEM BRE	3				
2006	MAYO	16	2011	MAYO	7	2016	MAYO	6	2016	MAYO	6
	JUNIO	17		JUNIO	7		JUNIO	5		JUNIO	5
	JULIO	3		JULIO	5		JULIO	5		JULIO	5
	AGOSTO	4		AGOSTO	8		AGOSTO	19		AGOSTO	19
	SEPTIE MBRE	7		SEPTIE BRE	12		SEPTIE MBRE	6		SEPTIE MBRE	6
	OCTUBR E	7		OCTUBR E	11		OCTUBR E	3		OCTUBR E	3
						NOVIEM BRE	2				

	NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	3		MAYO	4
2007	MAYO	4	2012	MAYO	4	2017	JUNIO	10
	JUNIO	9		JUNIO	7		AGOSTO	5
	JULIO	11		JULIO	5		SEPTIEMBRE	7
	AGOSTO	10		AGOSTO	8		OCTUBRE	6
	SEPTIEMBRE	9		SEPTIEMBRE	6	2018	MAYO	10
	OCTUBRE	12		OCTUBRE	6		JUNIO	4
	NOVIEMBRE	3		NOVIEMBRE	3		JULIO	6
2008	MAYO	10	2013	MAYO	6	2018	AGOSTO	6
	JUNIO	7		JUNIO	8		SEPTIEMBRE	4
	JULIO	7		JULIO	7		OCTUBRE	6
	AGOSTO	6		AGOSTO	3		NOVIEMBRE	5
	SEPTIEMBRE	4		SEPTIEMBRE	10			
	OCTUBRE	8		OCTUBRE	5			
	NOVIEMBRE	5		NOVIEMBRE	11			

Anexo 14. Cantidad de días con precipitación > 40 mm y cantidad de tormentas registradas en la estación lluviosa de la estación de Las Raíces.

AÑO	Cantidad de días >40 mm	Cantidad de Tormentas
1984	9	9
1985	7	7
1986	8	11
1987	10	14
1988	12	12
1989	8	10
1990	10	11
1991	9	8
1992	9	11
1993	12	12
1994	10	11
1995	9	12
1996	8	8

1997	3	3
1998	15	18
1999	13	15
2000	11	13
2001	10	12
2002	12	12
2003	17	19
2004	10	10
2005	14	15
2006	8	8
2007	15	16
2008	11	13
2009	11	12
2010	17	17
2011	16	18
2012	14	17
2013	9	11
2014	13	14
2015	8	8
2016	9	9
2017	8	10
2018	5	7

Anexo 15. Datos de I_{30} (mm/h) para el comportamiento de la intensidad de lluvias de las tormentas registradas en la estación lluviosa en la estación de Las Raíces.

Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}	Año	I_{30}
1984	50.8	1985	30.48	1986	30.48	1987	35.56	1988	66.04
	66.04		71.12		10.16		15.24		45.72
	86.36		60.96		10.16		71.12		40.64
	55.88		66.04		40.64		60.96		81.28
	50.8		66.04		15.24		30.48		76.2
	25.4		71.12		55.88		35.56		40.64
	25.4		71.12		101.6		10.16		106.68
	60.96		45.72		40.64		35.56		40.64
	45.72				60.96		35.56		76.2
					55.88		40.64		66.04
			10.16	40.64					
			20.32						
1989	30.48	1990	66.04	1991	35.56	1992	10.16	1993	55.88
	50.8		40.64		71.12		5.08		45.72
	55.88		35.56		30.48		5.08		60.96
	60.96		50.8		15.24		101.6		76.2
	91.44		60.96		25.4		76.2		111.76
25.4	50.8	157.48	25.4	35.56					

	45.72 30.48 20.32 35.56		35.56 30.48 25.4 20.32 50.8		111.76 96.52		45.72 50.8 55.88 45.72 40.64		60.96 76.2 45.72 60.96 30.48 20.32
1994	60.96 30.48 50.8 40.64 30.48 40.64 60.96 25.4 45.72 20.32 55.88	1995	45.72 116.84 45.72 45.72 35.56 40.64 60.96 101.6 45.72 35.56 45.72 60.96	1996	96.52 66.04 106.68 66.04 30.48 66.04 66.04 86.36	1997	45.72 50.8 71.12	1998	20.32 20.32 76.2 132.08 96.52 15.24 55.88 25.4 35.56 60.96 35.56 45.72 152.4 30.48 76.2 86.36 111.76 187.96
1999	50.8 71.12 91.44 81.28 66.04 50.8 86.36 96.52 40.64 50.8 20.32 30.48 50.8 10.16 25.4	2000	66.04 25.4 66.04 50.8 106.68 177.8 76.2 40.64 71.12 15.24 40.64 30.48 35.56	2001	50.8 20.32 25.4 25.4 20.32 60.96 30.48 35.56 50.8 96.52 40.64 25.4	2002	50.8 101.6 66.04 66.04 35.56 20.32 40.64 60.96 45.72 172.72 25.4 116.84	2003	71.12 25.4 35.56 30.48 20.32 86.36 81.28 60.96 91.44 50.8 55.88 71.12 71.12 35.56 55.88 45.72 71.12 55.88 40.64
2004	116.84 50.8 81.28 167.64 50.8 81.28 55.88 50.8 45.72 30.48	2005	55.88 96.52 86.36 147.32 86.36 66.04 91.44 111.76 40.64 60.96 71.12 111.76 35.56 45.72 15.24	2006	40.64 30.48 71.12 50.8 45.72 45.72 25.4 30.48	2007	42 38 28 54 36 96 80 82 56 38 36 64 50 32 64 52	2008	54 32 32 34 66 84 36 40 52 58 32 26 12
2009	58 54 64	2010	70 92 56	2011	50 28 70	2012	118 84 56	2013	50 94 66

	60 18 36 70 50 56 8 34 46		18 12 72 54 64 84 92 52 68 70 90 36 24 50		48 96 76 54 88 66 44 74 54 20 20 24 30 38 48		42 44 48 48 12 16 24 24 28 36 114 36 38 28		38 26 106 66 18 42 80 42
2014	66 88 78 62 32 30 62 50 42 22 44 54 30 46	2015	70 132 76 118 98 68 34 62	2016	126 76 20 50 32 34 44 34 32	2017	114 108 50 32 34 66 48 14 58 24	2018	40 98 34 30 24 30 56