



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Facultad de Agronomía

Maestría en Meteorología Agrícola

Agroclimatología de la Región Central de Costa Rica.

Tesis presentada para optar al título de Magister de la Universidad de
Buenos Aires en Meteorología Agrícola

Autor: Ing. Agr. Lic. Santos Johaner Rosales Flores

Directora de tesis: Ing. Agr. Mag. Liliana B. Spescha
Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas
Buenos Aires, Argentina, 2023.
Fecha de defensa: 04 de septiembre de 2023.



UNIVERSIDAD DE BUENOS AIRES
Facultad de Ciencias Exactas y Naturales
Facultad de Agronomía

AGROCLIMATOLOGÍA DE LA REGIÓN CENTRAL DE COSTA RICA

Trabajo final de magíster presentado por Santos Johaner Rosales Flores dentro de la Maestría en Meteorología Agrícola de la Universidad de Buenos Aires. Realizado bajo la dirección de la Ing. Agr., M.Sc. Liliana Beatriz Spescha de la Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas de la Facultad de Agronomía de la Universidad de Buenos Aires, Argentina.

Maestrando
Ing. Agr. Lic. Santos Johaner Rosales Flores

Ing. Agr., M.Sc. Liliana B. Spescha
Cátedra de Climatología y Fenología Agrícolas
Facultad de Agronomía – U.B.A

Agroclimatología de la Región Central de Costa Rica.

Resumen

En este trabajo se realizó una caracterización agroclimática de la Región Central de Costa Rica (RCCR) mediante la estimación de índices, orientado al conocimiento de los elementos que determinan el clima y su potencialidad económica para la producción agropecuaria. Se utilizó la información meteorológica diaria de cinco estaciones: Santa Lucía, Aeropuerto Juan Santamaría, Santa Bárbara, Fabio Baudrit y RECOPE La Garita. El trabajo consta de cinco capítulos, los tres primeros vinculan las variables meteorológicas; el cuarto se refiere a las variables agrometeorológicas y/o agroclimáticas y sus correspondientes índices; y el quinto a conclusiones. Entre las conclusiones se encuentran: los valores de Radiación Global media más bajos se presentaron en las estaciones Santa Lucía (17,63 MJ m⁻²) y Santa Bárbara (18,03 MJ m⁻²), que a su vez presentaron los promedios de precipitaciones anuales más altos, condición que afecta los valores de Radiación Global. También, la Radiación Astronómica en la RCCR presentó dos picos de máxima ubicados en los meses de abril y agosto, y dos valles de mínima durante los meses de junio y diciembre. Durante los equinoccios los rayos solares llegan al ecuador de manera perpendicular alcanzando la zona intertropical con mayor intensidad, presentando valores de Radiación Astronómica mayores por unidad de superficie-tiempo. De igual manera, durante el periodo que transcurre desde el 21 de marzo hasta el 21 de septiembre (equinoccio de primavera y otoño respectivamente), el hemisferio norte está más inclinado hacia el sol, razón por la que la RCCR presenta valores de Radiación Astronómica mayores. Por el contrario, desde septiembre hasta marzo pasando por el solsticio de diciembre (perihelio), el polo terrestre del hemisferio norte se encuentra en su inclinación más alejada respecto al sol, de ahí que la marcha de la Radiación Astronómica en la RCCR presente los valores menores. La calidad de la producción vegetal, así como la cantidad de materia seca acumulada por una planta está determinada por la radiación PAR interceptada; entonces, con los valores de

radiación PAR disponibles para la zona de estudio, siendo el cafeto una planta de media sombra que solo puede utilizar alrededor del 1% de la radiación PAR, el requerimiento de 200 a 280 horas luz durante los meses secos y de 100 a 150 horas luz durante la época lluviosa, estarían cubiertos. Durante el periodo estudiado, se observó en la RCCR un incremento en las precipitaciones anuales; sin embargo, al analizar el trimestre abril-mayo-junio, se encontró una disminución en las lluvias durante el mes de mayo; además, la situación hídrica es negativa de diciembre a abril, y es positiva en los meses de mayo a noviembre, con mínimos leves en el mes de noviembre y abril producto de la transición de la época lluviosa a la época seca, y de la época seca a la época lluviosa, respectivamente; y mínimos más importantes en el mes de marzo por las altas temperaturas de la época seca.

Palabras claves: Caracterización agroclimática, índices agroclimáticos, potencialidad económica, planilla agroclimática, aptitud agroclimática, Región Central, Costa Rica.

Agroclimatology from the Central Region of Costa Rica.

Abstract

In this work, an agroclimatic characterization of the Central Region of Costa Rica (RCCR) was carried out through the estimation of indices, oriented to the knowledge of the elements that determine the climate and its economic potential for agricultural production. Daily meteorological information from five stations was used: Santa Lucía, Juan Santamaría Airport, Santa Bárbara, Fabio Baudrit and RECOPE La Garita. The work consists of five chapters, the first three link the meteorological variables; the fourth refers to the agrometeorological and/or agroclimatic variables and their corresponding indices; and the fifth to conclusions. Among the conclusions are the lowest average Global Radiation values occurred at the Santa Lucía (17.63 MJ m⁻²) and Santa Bárbara (18.03 MJ m⁻²) stations, which in turn presented the averages of higher annual rainfall, a condition that affects the values of Global Radiation. Also, the Astronomical Radiation in the RCCR presented two maximum peaks located in the months of April and August, and two minimum valleys during the months of June and December. During the equinoxes, the sun's rays reach the equator perpendicularly, reaching the intertropical zone with greater intensity, presenting higher values of Astronomical Radiation per unit of surface-time. Similarly, during the period from March 21 to September 21 (spring and autumn equinoxes respectively), the northern hemisphere is more inclined towards the sun, which is why the RCCR presents higher values of Astronomical Radiation. On the contrary, from September to March passing through the December solstice (perihelion), the terrestrial pole of the northern hemisphere is at its furthest inclination with respect to the sun, hence the march of Astronomical Radiation in the RCCR presents the values minors. The quality of plant production, as well as the amount of dry matter accumulated by a plant is determined by the intercepted PAR radiation; then, with the PAR radiation values available for the study area, the coffee tree being a partial shade plant that can only use about 1% of the PAR radiation, the requirement of 200 to 280 light hours during the dry months and

100 to 150 light hours during the rainy season, they would be covered. During the period studied, an increase in annual rainfall was observed in the RCCR; however, when analyzing the April-May-June quarter, a decrease in rainfall was found during the month of May; Furthermore, the water situation is negative from December to April, and is positive in the months of May to November, with slight minimums in the months of November and April as a result of the transition from the rainy season to the dry season, and of the dry to the rainy season, respectively; and more important minimums in the month of March due to the high temperatures of the dry season.

Keywords: Agroclimatic characterization, agroclimatic indices, economic potential, agroclimatic worksheet, agroclimatic aptitude, Central Region, Costa Rica.

Agradecimientos

A Dios por permitirme culminar esta etapa de mi vida profesional.

A mi esposa, compañera y amiga de vida, Isalde Delgado Monge, gracias por su entrega incondicional, por brindarme el soporte y las mejores palabras de ánimo desde el momento que soñé con estudiar fuera de Costa Rica hasta la culminación de esta etapa. Gracias por su inmensa paciencia, por estar siempre presente, por apoyarme de todas las formas posibles a que este sueño se hiciera realidad.

A mi hija, Camila Rosales Delgado, gracias por traer alegría a mi vida y por convertirse en mi fuente de motivación la cual me impulsó a seguir adelante y a buscar una mejor manera de ver las cosas.

A mi madre y hermanos **Flor Flores Barquero, Allan Gabriel Rosales Flores y Heidy Rosales Flores**, por estar siempre pendientes de mi bienestar.

A mi directora de tesis M.Sc. Liliana B. Spescha, por su paciencia, por compartir sus conocimientos y por el tiempo dedicado a mi trabajo. Gracias por la invaluable labor para guiar este trabajo.

Al Instituto Meteorológico Nacional (IMN), quien facilitó los datos climatológicos para poder desarrollar esta investigación.

A mis compañeros de cohorte con los que compartí dos años de mi vida llenos de experiencias incomparables e irrepetibles, en especial a **Francisco Mora, Marcelo Medina, Elmer Orrego, Gustavo Almeira y Jorge Troccoli**, y a todas las personas que de una u otra manera, formaron parte de este proceso, gracias por estar pendientes, por ofrecerme palabras o frases de motivación.

Dedicatoria

A mi hija:

Camila Rosales Delgado

Tu vida, tu inocencia, tus sonrisas y todas las muestras de cariño son los detonantes de mi felicidad, de mi esfuerzo, de mis ganas de buscar lo mejor para ti. Aún a tu infanta edad, me has enseñado y me sigues enseñando día a día tantas cosas.

Gracias por ayudarme a encontrar el lado dulce de la vida. Fuiste, eres y serás la motivación más grande de mi vida, gracias por inspirarme para concluir con éxito este proyecto de tesis.

Gracias bebé de papá.

A mi esposa y compañera de vida:

Islande Delgado Monge

Tu ayuda ha sido fundamental, has estado conmigo incluso en los momentos más turbulentos, cuando creí que no había ninguna salida.

Este proyecto no fue fácil, pero estuviste motivándome y ayudándome hasta donde tus alcances lo permitían, incluso más que eso.

Muchas gracias por todo lo que me has dado para continuar con mi camino profesional, eres invaluable en mi vida, gracias por ser parte de mi existencia, deseo una larga vida a tu lado porque eres una mujer especial y maravillosa.

Índice de contenidos

Resumen.....	1
Abstract.....	3
Agradecimientos	5
Dedicatoria	6
CONSIDERACIONES GENERALES	22
CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA RADIACIÓN.....	25
 1.1. Introducción.....	26
 1.2. Materiales y métodos.....	28
 1.3. Índices de radiación en cada estación	30
 1.3.1. Radiación astronómica diaria	30
1.3.1.1. Estación Santa Lucía (SL).....	31
1.3.1.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría (AJS)	32
1.3.1.3. Estación Santa Bárbara (SB).....	33
1.3.1.4. Estación Fabio Baudrit (FB).....	34
1.3.1.5. Estación RECOPE La Garita (RLG).....	35
 1.3.2. Radiación global.....	36
1.3.2.1. Estación Santa Lucía.....	37
1.3.2.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría.....	38
1.3.2.3. Estación Santa Bárbara	39
1.3.2.4. Estación Fabio Baudrit	40
1.3.2.5. Estación RECOPE La Garita	41
 1.3.3. Heliofanía Astronómica (duración total del día)	42
1.3.3.1. Estación Santa Lucía.....	43
1.3.3.3. Estación Santa Bárbara	45
1.3.3.4. Estación Fabio Baudrit	46
1.3.3.5. Estación RECOPE La Garita	47
 1.3.4. Fotoperiodo	48
1.3.4.1 Estación Santa Lucía.....	48
1.3.4.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría.....	49
1.3.4.3. Estación Santa Bárbara	49
1.3.4.4. Estación Fabio Baudrit	50
1.3.4.5. Estación RECOPE La Garita	50
 1.3.5. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) o PAR	51
1.3.5.1. Estación Santa Lucía.....	51
1.3.5.2. Estación RECOPE La Garita	52
 1.4. Conclusiones Capítulo 1	52
CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE	56
 2.1. Introducción.....	57
 2.2. Caracterización climática de la temperatura del aire.....	58
 2.2.1. Materiales y métodos.....	58
 2.3. Variación interanual de la temperatura máxima.....	59
2.3.1. Temperaturas máximas medias anuales (txma) en la región.....	59
2.3.2. Temperatura máxima absoluta anual (txAa) en la región.....	61
2.3.3. Temperaturas máximas medias anuales (txma) por estación.....	63

2.3.4. Temperatura máxima absoluta anual (txAa) por estación.....	70
2.4. Variación interanual de la temperatura mínima.....	78
2.4.1. Temperaturas mínimas medias anuales (tima) en la región.....	78
2.4.2. Temperatura mínima absoluta anual (tiAa) en la región.	79
2.4.3. Temperaturas mínimas medias anuales (tma) por estación.....	81
2.4.4. Temperatura mínima absoluta anual (tiAa) por estación.	88
2.5. VARIACIÓN INTERANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA	94
2.5.1. Temperaturas medias anuales (tma) en la región.	94
2.5.2. Temperaturas medias anuales (tma) por estación.	96
2.6. Amplitud térmica anual y climadiagramas por estación.....	103
2.7. Conclusiones Capítulo 2	110
CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA PRECIPITACIÓN.....	113
3.1. Introducción.....	114
3.2. Caracterización climática de la precipitación.....	117
3.3. Materiales y métodos.....	118
3.4. Precipitación mensual media por estación.....	119
3.4.1 Estación Santa Lucía.....	119
3.4.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría	120
3.4.3 Estación Santa Bárbara	120
3.4.4 Estación Fabio Baudrit.....	121
3.4.5 Estación RECOPE La Garita.....	121
3.5. Precipitación anual media en la Región Central de Costa Rica (RCC).....	122
3.6. Precipitación anual media por estación.....	124
3.6.1 Estación Santa Lucía.....	124
3.6.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría	126
3.6.3 Estación Santa Bárbara	127
3.6.4 Estación Fabio Baudrit.....	128
3.6.5 Estación RECOPE La Garita.....	129
3.7. Periodo total con precipitación mensual media por año en la Región Central de Costa Rica (1999 - 2011).....	130
3.8. Periodo total con precipitación mensual por año en cada estación	132
3.8.1 Estación Santa Lucía	132
3.8.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría (AJS).....	134
3.8.3. Estación Santa Bárbara (SB)	136
3.8.4. Estación Fabio Baudrit.....	138
3.8.5. Estación RECOPE La Garita	140
3.9. Número medio de días con precipitaciones en la Región Central de Costa Rica (1999 -2011).	142
3.10. Número de días con precipitación en cada estación.....	143
3.10.1 Estación Santa Lucía.....	144

3.10.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría.....	145
3.10.3 Estación Santa Bárbara (SB)	146
3.10.4 Estación Fabio Baudrit.....	147
3.10.5 Estación RECOPE La Garita	148
3.11. Conclusiones Capítulo 3	150
CAPÍTULO 4. ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS PARA LA REGIÓN CENTRAL DE COSTA RICA.	153
4.1 Introducción.....	154
4.2 Materiales y métodos.....	161
4.3 Índices agroclimáticos sobre necesidad hídrica.....	164
 4.3.1 Estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP).....	164
4.3.1.1 Estación Santa Lucía.....	164
4.3.1.2 Estación Aero Juan Santamaría.....	165
4.3.1.3 Estación Santa Bárbara	166
4.3.1.4 Estación Fabio Baudrit	166
4.3.1.5 Estación RECOPE La Garita	167
 4.3.2. Balance de agua del suelo	168
4.3.2.1. Balance Hidrológico Climático (BHC)	168
4.3.2.1.1. Estación Santa Lucía	169
4.3.2.1.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría.....	175
4.3.2.1.3 Estación Santa Bárbara.....	179
4.3.2.1.4. Estación Fabio Baudrit.....	183
4.3.2.1.5. Estación RECOPE La Garita.....	187
 4.3.2.2. Balance Hidrológico Seriado (BHS).....	191
4.3.2.2.1. Estación Santa Lucía	194
4.3.2.2.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría	197
4.3.2.2.3. Estación Santa Bárbara.....	199
4.3.2.2.4. Estación Fabio Baudrit.....	202
4.3.2.2.5. Estación RECOPE La Garita.....	204
 4.3.3. Índice agrometeorológico de sequías.....	207
 4.3.4. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)	213
4.3.3.1 SPI y su relación con el cultivo del café en la Región Central de Costa Rica.	214
4.4. Planilla agroclimática.....	218
 4.4.1. Índices agroclimáticos para la estación Santa Lucía.	219
 4.4.2. Índices agroclimáticos para la estación Aero Juan Santamaría.	220
 4.4.3. Índices agroclimáticos para la estación Santa Bárbara.....	221
 4.4.4. Índices agroclimáticos para la estación Fabio Baudrit.	222
 4.4.5. Índices agroclimáticos para la estación RECOPE La Garita.....	223
4.5. Conclusiones Capítulo 4	225
5. CONCLUSIONES GENERALES.....	230
6. BIBLIOGRAFÍA.....	242

Índice de cuadros

Cuadro 1.1	24
Cuadro 1.2	30
Cuadro 1.3	36
Cuadro 1.4	42
Cuadro 2.1	60
Cuadro 2.2	62
Cuadro 2.3	64
Cuadro 2.4	71
Cuadro 2.5	78
Cuadro 2.6	80
Cuadro 2.7	82
Cuadro 2.8	88
Cuadro 2.9	95
Cuadro 2.10	97
Cuadro 3.1	118
Cuadro 3.2	122
Cuadro 3.3	124
Cuadro 3.4	142
Cuadro 3.5	144
Cuadro 4.1	158
Cuadro 4.2	158
Cuadro 4.3	159
Cuadro 4.4	160
Cuadro 4.5	161
Cuadro 4.6	164
Cuadro 4.7	165
Cuadro 4.8	166
Cuadro 4.9	166
Cuadro 4.10	167
Cuadro 4.11	169
Cuadro 4.12	171
Cuadro 4.13	173

Cuadro 4.14.	174
Cuadro 4.15.	175
Cuadro 4.16.	176
Cuadro 4.17.	177
Cuadro 4.18.	178
Cuadro 4.19.	179
Cuadro 4.20.	180
Cuadro 4.21.	181
Cuadro 4.22.	182
Cuadro 4.23.	183
Cuadro 4.24.	184
Cuadro 4.25.	185
Cuadro 4.26.	186
Cuadro 4.27.	187
Cuadro 4.28.	188
Cuadro 4.29.	189
Cuadro 4.30.	190
Cuadro 4.31.	194
Cuadro 4.32.	195
Cuadro 4.33.	196
Cuadro 4.34.	197
Cuadro 4.35.	197
Cuadro 4.36.	199
Cuadro 4.37.	199
Cuadro 4.38.	200
Cuadro 4.39.	201
Cuadro 4.40.	202
Cuadro 4.41.	202
Cuadro 4.42.	204
Cuadro 4.43.	204
Cuadro 4.44.	205
Cuadro 4.45.	206
Cuadro 4.46.	208
Cuadro 4.47.	208

Cuadro 4.48.	209
Cuadro 4.49.	209
Cuadro 4.50.	210
Cuadro 4.51.	210
Cuadro 4.52.	211
Cuadro 4.53.	211
Cuadro 4.54.	212
Cuadro 4.55.	212
Cuadro 4.56.	213
Cuadro 4.57.	215
Cuadro 4.58.	217
Cuadro 4.59.	219
Cuadro 4.60.	219
Cuadro 4.61.	219
Cuadro 4.62.	219
Cuadro 4.63.	219
Cuadro 4.64.	220
Cuadro 4.65.	220
Cuadro 4.66.	220
Cuadro 4.67.	220
Cuadro 4.68.	220
Cuadro 4.69.	221
Cuadro 4.70.	221
Cuadro 4.71.	221
Cuadro 4.72.	221
Cuadro 4.73.	221
Cuadro 4.74.	222
Cuadro 4.75.	222
Cuadro 4.76.	222
Cuadro 4.77.	222
Cuadro 4.78.	222
Cuadro 4.79.	223
Cuadro 4.80.	223
Cuadro 4.81.	223

Cuadro 4.82.	223
Cuadro 4.83.	223
Cuadro 4.84.	224
Cuadro 4.85.	224
Cuadro 4.86.	224
Cuadro 4.87.	224
Cuadro 4.88.	224

Índice de figuras

Figura 0.1	23
Figura 0.2	24
Figura 1.1	31
Figura 1.2	31
Figura 1.3	32
Figura 1.4	32
Figura 1.5	33
Figura 1.6	33
Figura 1.7	34
Figura 1.8	34
Figura 1.9	35
Figura 1.10	35
Figura 1.11	37
Figura 1.12	37
Figura 1.13	38
Figura 1.14	38
Figura 1.15	39
Figura 1.16	39
Figura 1.17	40
Figura 1.18	40
Figura 1.19	41
Figura 1.20	41
Figura 1.21	43
Figura 1.22	43
Figura 1.23	44
Figura 1.24	44
Figura 1.25	45
Figura 1.26	45
Figura 1.27	46
Figura 1.28	46
Figura 1.29	47
Figura 1.30	47
Figura 1.31	48

Figura 1.32.	49
Figura 1.33.	49
Figura 1.34.	50
Figura 1.35.	50
Figura 1.36.	51
Figura 1.37.	52
Figura 2.1.	60
Figura 2.2.	61
Figura 2.3.	62
Figura 2.4.	63
Figura 2.5.	64
Figura 2.6.	65
Figura 2.7.	66
Figura 2.8.	66
Figura 2.9.	67
Figura 2.10.	67
Figura 2.11.	68
Figura 2.12.	69
Figura 2.13.	69
Figura 2.14.	70
Figura 2.15.	71
Figura 2.16.	72
Figura 2.17.	73
Figura 2.18.	73
Figura 2.19.	74
Figura 2.20.	74
Figura 2.21.	75
Figura 2.22.	75
Figura 2.23.	76
Figura 2.24.	76
Figura 2.25.	78
Figura 2.26.	79
Figura 2.27.	80
Figura 2.28.	81
Figura 2.29.	82

Figura 2.30.	83
Figura 2.31.	84
Figura 2.32.	84
Figura 2.33.	85
Figura 2.34.	85
Figura 2.35.	86
Figura 2.36.	86
Figura 2.37.	87
Figura 2.38.	87
Figura 2.39.	89
Figura 2.40.	90
Figura 2.41.	90
Figura 2.42.	91
Figura 2.43.	91
Figura 2.44.	92
Figura 2.45.	92
Figura 2.46.	93
Figura 2.47.	93
Figura 2.48.	94
Figura 2.49.	95
Figura 2.50.	96
Figura 2.51.	97
Figura 2.52.	98
Figura 2.53.	98
Figura 2.54.	99
Figura 2.55.	100
Figura 2.56.	100
Figura 2.57.	101
Figura 2.58.	101
Figura 2.59.	102
Figura 2.60.	103
Figura 2.61.	104
Figura 2.62.	105
Figura 2.63.	105
Figura 2.64.	106

Figura 2.65.	106
Figura 2.66.	107
Figura 2.67.	107
Figura 2.68.	108
Figura 2.69.	108
Figura 2.70.	109
Figura 3.1.	119
Figura 3.2.	120
Figura 3.3.	120
Figura 3.4.	121
Figura 3.5.	121
Figura 3.6.	123
Figura 3.7.	123
Figura 3.8.	125
Figura 3.9.	125
Figura 3.10.	126
Figura 3.11.	126
Figura 3.12.	127
Figura 3.13.	127
Figura 3.14.	128
Figura 3.15.	128
Figura 3.16.	129
Figura 3.17.	129
Figura 3.18.	131
Figura 3.19.	133
Figura 3.20.	135
Figura 3.21.	137
Figura 3.22.	139
Figura 3.23.	141
Figura 3.24.	142
Figura 3.25.	143
Figura 3.26.	144
Figura 3.27.	145
Figura 3.28.	145
Figura 3.29.	146

Figura 3.30.	146
Figura 3.31.	147
Figura 3.32.	147
Figura 3.33.	148
Figura 3.34.	148
Figura 3.35.	149
Figura 4.1.	165
Figura 4.2.	165
Figura 4.3.	166
Figura 4.4.	167
Figura 4.5.	167
Figura 4.6.	170
Figura 4.7.	171
Figura 4.8.	172
Figura 4.9.	172
Figura 4.10.	173
Figura 4.11.	173
Figura 4.12.	174
Figura 4.13.	174
Figura 4.14.	175
Figura 4.15.	175
Figura 4.16.	176
Figura 4.17.	176
Figura 4.18.	177
Figura 4.19.	177
Figura 4.20.	178
Figura 4.21.	178
Figura 4.22.	179
Figura 4.23.	179
Figura 4.24.	180
Figura 4.25.	180
Figura 4.26.	181
Figura 4.27.	181
Figura 4.28.	182
Figura 4.29.	182

Figura 4.30.	183
Figura 4.31.	183
Figura 4.32.	184
Figura 4.33.	184
Figura 4.34.	185
Figura 4.35.	185
Figura 4.36.	186
Figura 4.37.	186
Figura 4.38.	187
Figura 4.39.	187
Figura 4.40.	188
Figura 4.41.	188
Figura 4.42.	189
Figura 4.43.	189
Figura 4.44.	190
Figura 4.45.	190
Figura 4.46.	195
Figura 4.47.	196
Figura 4.48.	198
Figura 4.49.	198
Figura 4.50.	200
Figura 4.51.	201
Figura 4.52.	203
Figura 4.53.	203
Figura 4.54.	205
Figura 4.55.	206
Figura 4.56.	214
Figura 4.57.	215
Figura 4.58.	216
Figura 4.59.	216
Figura 4.60.	217

Justificación

El estudio de los elementos del tiempo y del clima son claves para planear y desarrollar con éxito la producción agrícola, ya que influyen en las plantas, el suelo, los animales, las plagas, las enfermedades, operaciones agrícolas, maquinaria, cosecha, transporte, almacenamiento, mercadeo, entre otros. La evaluación de la aptitud actual y potencial de la Región Central de Costa Rica es un elemento imprescindible para conocer la posibilidad de expansión de los cultivos, en la región.

En este estudio se evaluaron los índices térmicos, hídricos climáticos y agroclimáticos con el fin de establecer una primera aproximación a la determinación de su aptitud actual y potencial para distintos cultivos, en un contexto signado por el cambio climático. Disponer de información agroclimática, le permitirá a productores y actores agrícolas comprender y responder de mejor manera ante decisiones afectadas por factores climáticos y anticiparse a circunstancias adversas.

Entonces, ante la necesidad de conocer y comprender el clima, surge la interrogante de ¿cómo caracterizar la Región Central de Costa Rica mediante la estimación de índices agroclimáticos orientado al conocimiento de los elementos que determinan el clima y su potencialidad económica para la producción agropecuaria? La Región Central de Costa Rica, es una de las áreas de producción agrícola más diversas del país; además, es una de las siete grandes regiones climáticas y es por su ubicación, una de las ocho zonas productoras de café más importante del país (Alpízar et al. 2015; INEC, 2015). También, alberga las sedes centrales de universidades públicas con sus respectivas fincas experimentales, así como la sede del Instituto del Café de Costa Rica (ICAFE), lo que justifica plenamente su caracterización agroclimática.

Los resultados de la presente investigación proporcionan herramientas técnicas para la gestión agrícola, orientados a los diferentes usuarios y niveles de toma de decisiones. Herramientas que incorporan las limitaciones naturales y el riesgo dentro de la actividad productiva, una contribución al uso ordenado del territorio, desde la perspectiva de la sustentabilidad ecológica, económica, social y ambiental. El conocimiento sobre la compatibilidad entre el

comportamiento de la aptitud agroclimática del Valle Central de Costa Rica y los requerimientos de los cultivos más importantes como parte de los resultados de la caracterización agroclimática, permiten la adopción de alternativas en función de minimizar los factores limitantes del clima sobre la producción.

Objetivos

Objetivo Principal

Caracterizar la Región Central de Costa Rica mediante la estimación de índices agroclimáticos orientado al conocimiento de los elementos que determinan el clima y su potencialidad económica para la producción agropecuaria.

Objetivos secundarios

1. Estimar diferentes variables meteorológicas y/o agrometeorológicas para la Región Central de Costa Rica.
2. Estudiar las características espaciales y temporales que presentan las variables agrometeorológicas en relación con la producción agropecuaria.
3. Valorar la aptitud agrícola de la Región Central de Costa Rica según las disponibilidades climáticas con el objeto de asesorar sobre el tipo de emprendimiento conveniente de cultivos posibles.
4. Generar información agroclimática que facilite la toma de decisiones a la comunidad agrícola costarricense de la Región Central de Costa Rica.

CONSIDERACIONES GENERALES

La República de Costa Rica está ubicada en la Zona Tropical del hemisferio norte, entre las coordenadas geográficas 8° 02' 26" - 11° 13' 12" de latitud al norte del ecuador y, 82° 33' 48" y 85° 57' 57" de longitud al oeste de Greenwich; en la parte central o ístmica del continente americano, entre los paralelos del Trópico de Cáncer y el Trópico de Capricornio (Silva, E.F., 1991). La localización en esta región le confiere a su entorno: bosques, red hidrográfica, suelos y clima, características tropicales según la clasificación climática de Koppén (Arnfield, A., 2020), esto aunado a sistemas orográficos importantes, donde se destaca la presencia de montañas, llanuras, valles y mesetas que cubren toda la extensión del país, contribuye a que las variaciones espaciales de las variables climáticas sean de considerable magnitud (IMN, s.f.). Así mismo, al país lo atraviesa un sistema montañoso de noroeste a sureste que lo divide en dos vertientes: Pacífica y Caribe, cada una con su propio régimen de precipitaciones y temperaturas (Montoya, Y., 2021). La figura 0.1 muestra el mapa de Costa Rica.

Administrativamente, Costa Rica no solo está dividida en siete provincias, sino que para efectos de planificación regional se han establecido seis regiones (Montoya, Y., 2021). Específicamente en este estudio se trabajó con la Región Central de Costa Rica, la cual comprende dos valles: el Valle Central Occidental (corresponde a la depresión del río grande de Tárcoles) y el Valle Oriental (comprende la depresión del río Reventazón y sus afluentes); en las partes bajas del Valle Occidental, se puede encontrar un clima seco con marcada influencia Pacífico, mientras en las partes medias se experimenta un clima templado y en las partes altas el clima es más lluvioso y frío, característico de las zonas de montaña (IMN, s.f.).



Figura 0.1. Mapa de Costa Rica

El clima es uno de los factores más importantes y de carácter limitante en la producción agropecuaria y forestal, se manifiesta por la influencia directa o indirecta de sus elementos sobre los seres vivos. Además, determina las actividades económicas de una región y en especial las actividades de producción agrícola. El rendimiento óptimo de las especies está determinado por las bondades de las condiciones agroclimáticas donde crecen y se desarrollan, mientras el éxito del ciclo de cultivo depende del tiempo atmosférico que predomina durante el mismo (Jiménez, 1985).

Para el presente estudio se utilizó información proveniente de cinco estaciones meteorológicas ubicadas en la Región Central de Costa Rica. Del total de estaciones presentes en la zona de estudio, se escogieron las estaciones

con el mayor número de años de registro (cinco estaciones). Además, en la estación Santa Lucía, se cumplió la condición de que su base de datos tuviese registros históricos amplios (más de 30 años de datos). El cuadro 1.1. contiene la información relacionada con la identificación, así como las coordenadas de las estaciones utilizadas. La Figura 0.2 muestra el área de estudio obtenida mediante el sistema de información geográfico de libre acceso Google Earth Pro, también se puede apreciar la distribución de las estaciones simbolizadas mediante un ícono de color verde.

Cuadro 1.1. Ubicación de las estaciones meteorológicas analizadas en la Región Central de Costa Rica. Periodo 1982-2017.

Número	Nombre	Latitud N	Longitud O	Altitud (msnm)
84111	Santa Lucía	10°01'19"	84°06'42'	1200
84169	Aero Juan Santamaría	09°59'26"	84°12'53"	913
84171	Santa Bárbara	10°02'00"	84°09'56"	1060
84187	Fabio Baudrit	10°00'18"	84°15'56"	840
84191	RECOPE La Garita	10°00'19"	84°17'45"	740

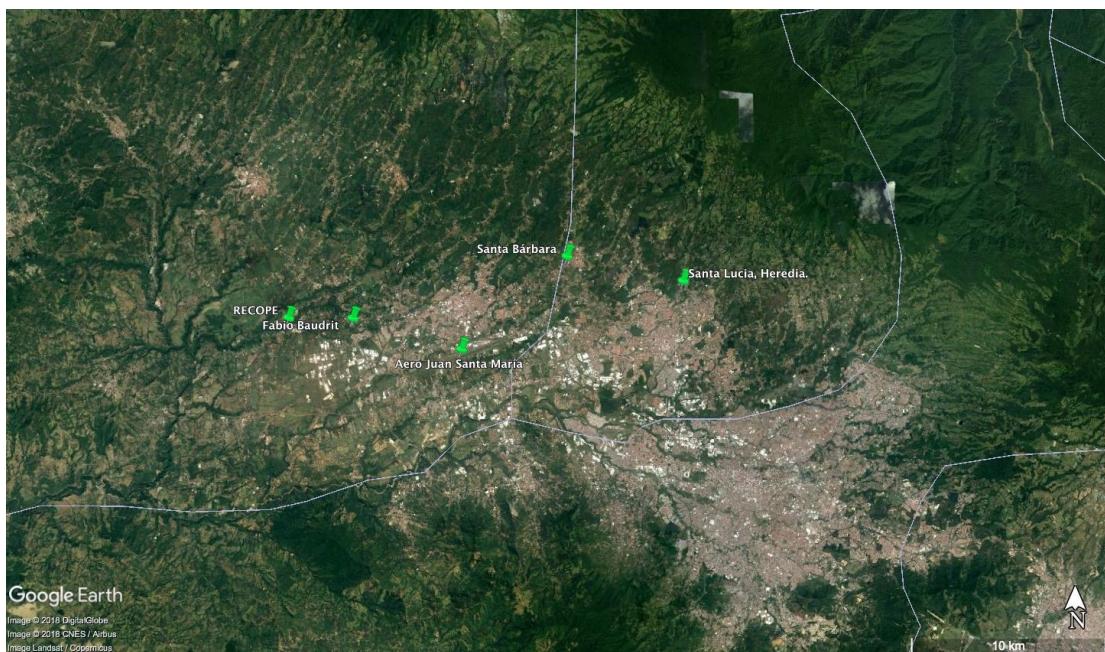
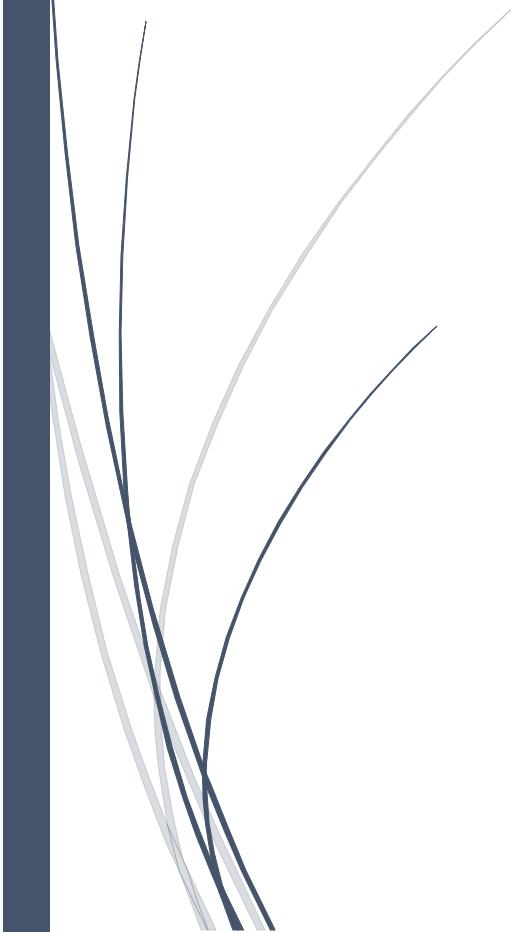


Figura 0.2. Área de estudio mostrando la distribución de las estaciones meteorológicas seleccionadas.



CAPÍTULO 1. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA RADIACIÓN



1.1. Introducción

El Sol es una esfera que emite al espacio una gran cantidad de energía debido a reacciones nucleares en cadena. Una parte de toda esa energía llega a la tierra en forma de una <>mezcla<> de ondas electromagnéticas con diferentes longitudes de onda y frecuencias, las cuales viajan a través del vacío a la velocidad de la luz, $3 \cdot 10^8$ m s⁻¹. El rango de longitudes de ondas es muy amplio (desde 10^{-15} hasta 10^9 nanómetros), sin embargo, es posible dividir el espectro solar en algunas bandas principales donde el porcentaje de energía emitido en cada una de las bandas es muy diferente, sólo tres de ellas (ultravioleta, visible e infrarrojo), suman más del 85% de la energía total irradiada por el Sol.

La radiación que incide sobre la superficie terrestre es una de las variables más importantes de nuestro planeta. Los factores astronómicos como la traslación de la Tierra alrededor del Sol, la inclinación sobre su eje y la actividad solar, afectan la radiación solar, también, se puede ver afectada por factores locales como: la latitud, el día del año (posición de la órbita terrestre), espesor de las nubes y cobertura nubosa, la absorción energética atmosférica (contenido de vapor de agua y de aerosoles) y la elevación sobre el nivel del mar del lugar. Además, la presencia de elementos topográficos como: montañas, lagos o valles, son factores determinantes de la cantidad de radiación que recibe un lugar en cualquier época del año.

La radiación solar es fuente de energía en los procesos biológicos, imprescindible para la vida de animales y plantas. Particularmente, en la agricultura es de suma importancia por la relación que tiene con todos los procesos fisiológicos de la planta tales como: la fotosíntesis, balance de agua y energía, y, el crecimiento y desarrollo de los cultivos. Asimismo, la energía solar podría utilizarse para el suministro de energía eléctrica de equipos que la requieran, por ejemplo, podría aplicarse a sistemas de riego, calentamiento de agua, iluminación, entre otros.

Costa Rica está ubicada en la parte tropical del hemisferio norte, por lo tanto, presenta un clima tropical según la clasificación climática de Koppén (Arnfield, A., 2020). Los trópicos son en general conocidos por ser calientes y húmedos, resultado de una alta intensidad de radiación solar. El país por ser montañoso tiene una gran diversidad climática, especialmente en la nubosidad que está asociada a la precipitación, humedad y temperatura. Los valores medios mensuales de número de horas de sol posibles son mayores durante los meses con mayor nubosidad y precipitación, y menores durante los meses con menor precipitación y mayor transparencia atmosférica.

En este capítulo se realizará una estimación de índices de radiación en la Región Central de Costa Rica, esta región se caracteriza por la presencia de una estación seca bien definida. Adicionalmente, se presenta una segunda estación seca, pero mucho más corta, el “veranillo de San Juan”, entre los meses de julio a agosto. Asimismo, es climatológicamente influenciado por los efectos de ambos océanos; desde el Atlántico por los vientos del noreste y desde el Pacífico por los vientos ecuatoriales del oeste. Se analizaron la radiación astronómica, radiación global, heliofanía astronómica y fotoperíodo en la Región Central de Costa Rica por cada estación meteorológica seleccionada.

1.2. Materiales y métodos

La **Radiación Astronómica diaria** que se define como la radiación recibida en el tope de la atmósfera sobre una superficie horizontal a lo largo de todo un día, se calculó por medio de la ecuación:

$$RA = \frac{24 * 60}{\pi} C_{Sc} (H \operatorname{sen}\varphi \operatorname{sen}\delta + \operatorname{cos}\varphi \operatorname{cos}\delta \operatorname{sen} H)$$

donde:

RA: radiación astronómica diaria

C_{Sc}: constante solar, aproximadamente 2 Cal cm⁻² min⁻¹

H: ángulo horario en el momento de la puesta del sol expresado en radianes

δ: declinación solar

φ: latitud del lugar

La radiación solar en la superficie terrestre (insolación), está constituida por la suma de la radiación directa y la radiación difusa, donde la primera corresponde a los rayos solares que llegan en forma directa a la superficie terrestre luego de atravesar la atmósfera, y segunda es la energía dispersada por la atmósfera que se recibe desde todas las direcciones. La suma de la radiación directa y la radiación difusa se conoce como **Radiación Global** y se mide sobre la superficie terrestre. La estimación de la radiación global se realizó con la ecuación de Angström (1924) y está dada por:

$$RG = RA \left(a + b \frac{HE}{HA} \right)$$

donde:

RG: radiación global

RA: radiación astronómica

HE: heliofanía efectiva

HA: heliofanía astronómica

a + *b* son constantes que dependen del lugar

a = 0.28

b = 0.43 (Wright, J., 1981)

La **Heliofanía Astronómica (HA)** se define como el lapso entre la salida y la puesta del sol. También, a la **duración del día** se le denomina **HA**. La ecuación que permite calcularla fue:

$$HA = \frac{2}{15} \arccos(-\tan\delta * \tan\varphi)$$

donde:

HA : heliofanía astronómica

δ : declinación solar

φ : latitud del lugar

El **fotoperiodo (F)** es la suma de la heliofanía astronómica (HA) más los dos crepúsculos civiles (períodos lumínicos donde el sol se encuentra a 6° por debajo del horizonte antes del amanecer y después de la puesta del sol). El fotoperiodo se calculó a partir de la ecuación:

$$F = \frac{2}{15} \arccos \left(\frac{\sin(-6) - \sin\varphi * \sin\delta}{\cos\varphi * \cos\delta} \right)$$

donde:

F = fotoperiodo

δ : declinación solar

φ : latitud del lugar

1.3. Índices de radiación en cada estación

Los índices de radiación calculados fueron: (a) Radiación Astronómica; (b) Radiación Global; (c) Heliofanía Astronómica; y (d) Fotoperiodo.

1.3.1. Radiación astronómica diaria

Se calcularon los valores diarios de un año de la Radiación Astronómica para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de Radiación Astronómica para cada una de las estaciones en estudio. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 1.2. Se observó un valor promedio de la Radiación Astronómica para la estación: SL (35,45 MJ m⁻²), AJS (35,47 MJ m⁻²), SB (35,46 MJ m⁻²), FB (35,46 MJ m⁻²) y RLG (35,46 MJ m⁻²); con una desviación estándar de 2,39 MJ m⁻² para la estación SL, de 2,38 MJ m⁻² para la estación AJS, de 2,39 MJ m⁻² para la estación SB; de 2,38 MJ m⁻² para la estación FB y de 2,38 MJ m⁻² para estación RLG. La mediana fue de: 36,90 MJ m⁻² (SL), 36,89 MJ m⁻² (AJS), 36,90 MJ m⁻² (SB), 36,90 MJ m⁻² (FB) y 36,90 MJ m⁻² (RLG). Se calcularon los estadísticos descriptivos.

Cuadro 1.2. Estadísticos descriptivos de la Radiación Astronómica diaria para cada estación.

Estación	N	media	máximo	mínimo	mediana	desviación estándar	varianza	asimetría	curtosis
SL	365	35,46	37,93	30,94	36,90	2,38	5,69	-0,76	-1,01
AJS	365	35,47	37,93	30,96	36,89	2,38	5,65	-0,76	-1,01
SB	365	35,46	37,93	30,94	36,90	2,39	5,70	-0,76	-1,01
FB	365	35,46	37,93	30,95	36,90	2,38	5,67	-0,76	-1,01
RLG	365	35,46	37,93	30,95	36,90	2,38	5,67	-0,76	-1,01

1.3.1.1. Estación Santa Lucía (SL)

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la izquierda (-0,76), con un valor de curtosis (-1,01), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.1)

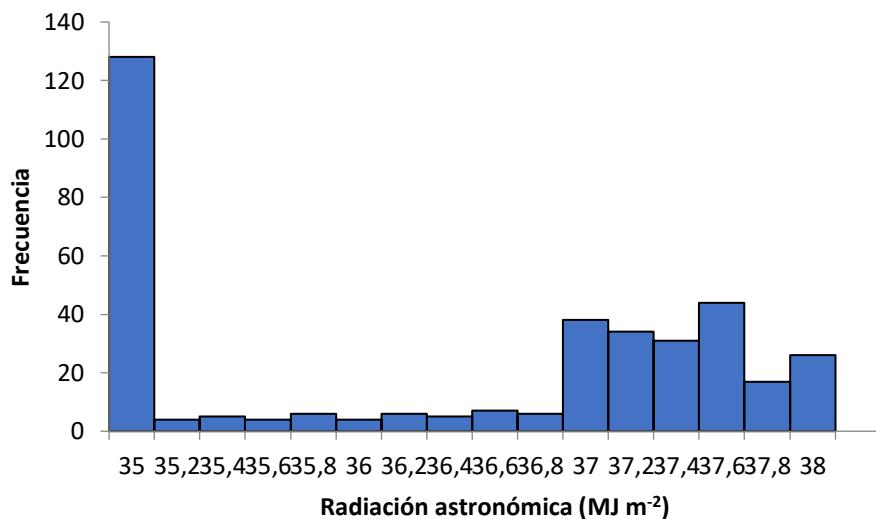


Figura 1.1. Frecuencia de la Radiación astronómica en la estación SL.

En la Figura 1.2. se observa la distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m^{-2} para la estación SL.



Figura 1.2. Distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m^{-2} para la estación SL

1.3.1.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría (AJS)

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la izquierda (-0,76), con un valor de curtosis (-1,01), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.3.).

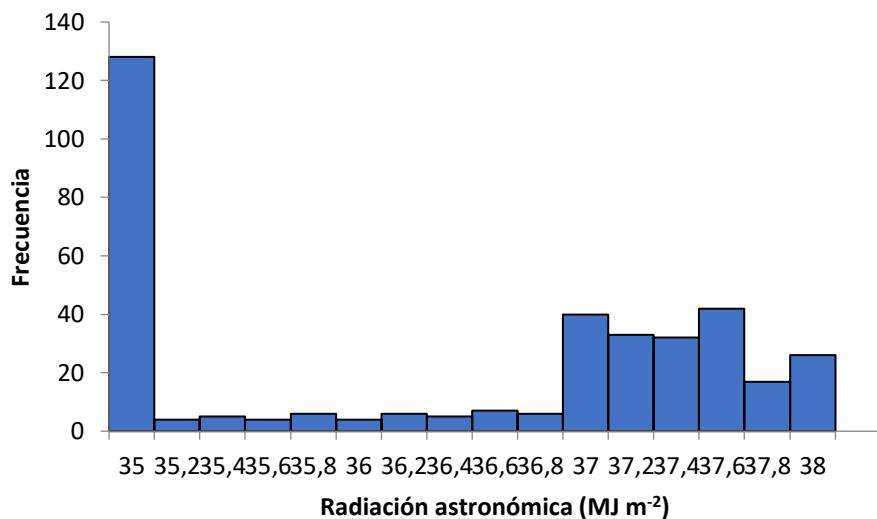


Figura 1.3. Frecuencia de la Radiación Astronómica en la estación AJS

En la Figura 1.4. se observa la distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m^{-2} para la estación AJS

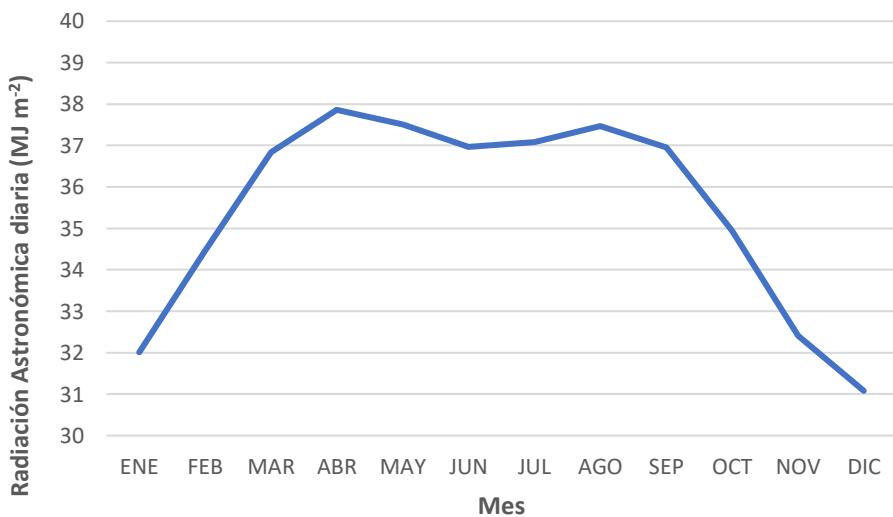


Figura 1.4. Distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m⁻² para la estación AJS.

1.3.1.3. Estación Santa Bárbara (SB)

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la izquierda (-0,76), con un valor de curtosis (-1,01), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.5.).

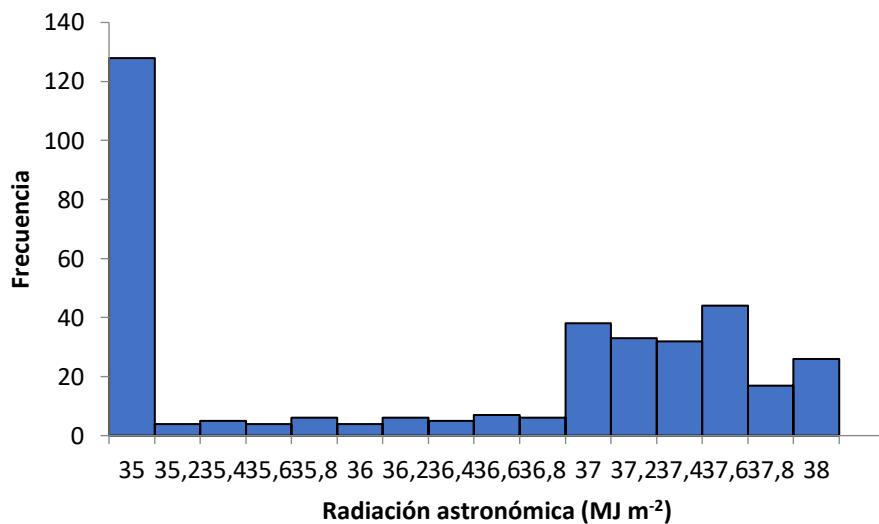


Figura 1.5. Frecuencia de la Radiación Astronómica en la estación SB

En la Figura 1.6. se observa la distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m⁻² para la estación SB.



Figura 1.6. Distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m⁻² para la estación SB.

1.3.1.4. Estación Fabio Baudrit (FB)

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la izquierda (-0,76), con un valor de curtosis (-1,01), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.7.).

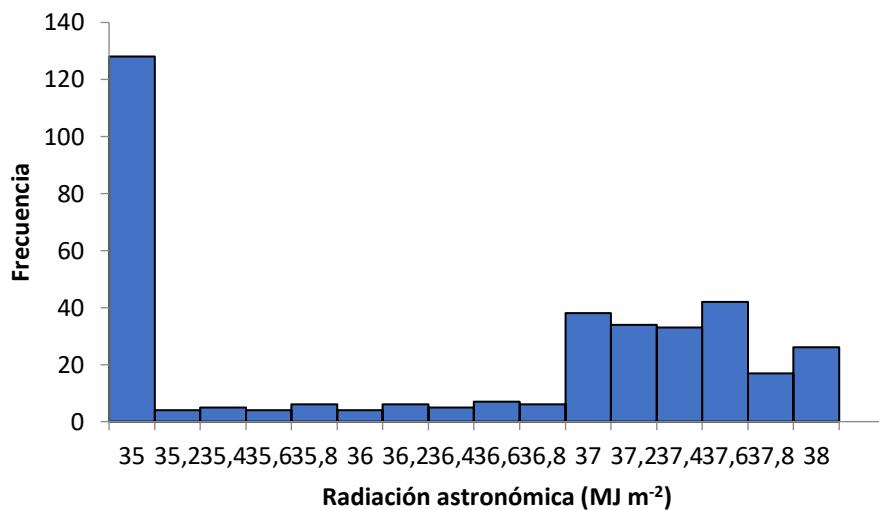


Figura 1.7. Frecuencia de la Radiación Astronómica en la estación FB.

En la Figura 1.8. se observa la distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m⁻² para la estación FB.



Figura 1.8. Distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m⁻² para la estación FB.

1.3.1.5. Estación RECOPE La Garita (RLG)

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la izquierda (-0,76), con un valor de curtosis (-1,01), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.9.).

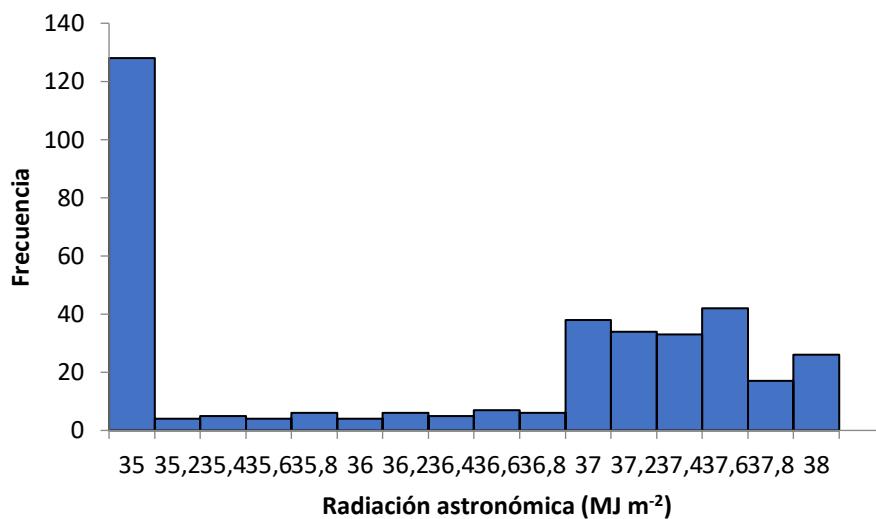


Figura 1.9. Frecuencia de la Radiación Astronómica en la estación RLG

En la Figura 1.10. se observa la distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m^{-2} para la estación RLG.



Figura 1.10. Distribución mensual de la Radiación Astronómica diaria (RA) en MJ m^{-2} para la estación RLG.

1.3.2. Radiación global

Se calcularon los valores diarios de un año de la radiación global para cada una de las estaciones. Con esta información, se elaboró una nueva serie de datos para cada una de las estaciones en estudio. Con el fin de resumir y describir las características claves de este conjunto de datos a continuación, se presentan los estadísticos descriptivos, que son medidas numéricas que ayudan a comprender las características centrales, la dispersión y la forma de distribución de los datos, lo que facilita el análisis y la interpretación de la información; estos estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 1.3. Se observó un valor promedio de la radiación global para la estación: SL (17,63 MJ m⁻²), AJS (18,33 MJ m⁻²), SB (18,08 MJ m⁻²), FB (18,32 MJ m⁻²) y RLG (18,32 MJ m⁻²); con una desviación estándar de 2,29 MJ m⁻² para la estación SL, de 2,20 MJ m⁻² para la estación AJS, de 2,20 MJ m⁻² para la estación SB; de 2,17 MJ m⁻² para la estación FB y de 2,17 MJ m⁻² para estación RLG. La mediana fue de: 16,57 MJ m⁻² (SL), 17,10 MJ m⁻² (AJS), 17,10 MJ m⁻² (SB), 17,23 MJ m⁻² (FB) y 17,23 MJ m⁻² (RLG).

Se presenta a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 1.3. Estadísticos descriptivos de la Radiación Global por estación.

Estación	N	media	máximo	mínimo	mediana	Desviación estándar	varianza	asimetría	curtosis
SL	365	17,63	22,32	14,70	16,57	2,29	5,26	0,70	-1,00
AJS	365	18,33	22,72	15,53	17,10	2,20	4,84	0,71	-1,03
SB	365	18,08	22,58	15,29	17,10	2,20	4,85	0,74	-0,93
FB	365	18,32	22,58	15,53	17,23	2,17	4,71	0,71	-1,02
RLG	365	18,32	22,58	15,53	17,23	2,17	4,71	0,71	-1,02

1.3.2.1. Estación Santa Lucía

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha (0,70), con un valor de curtosis negativo (-1,00), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.11.).

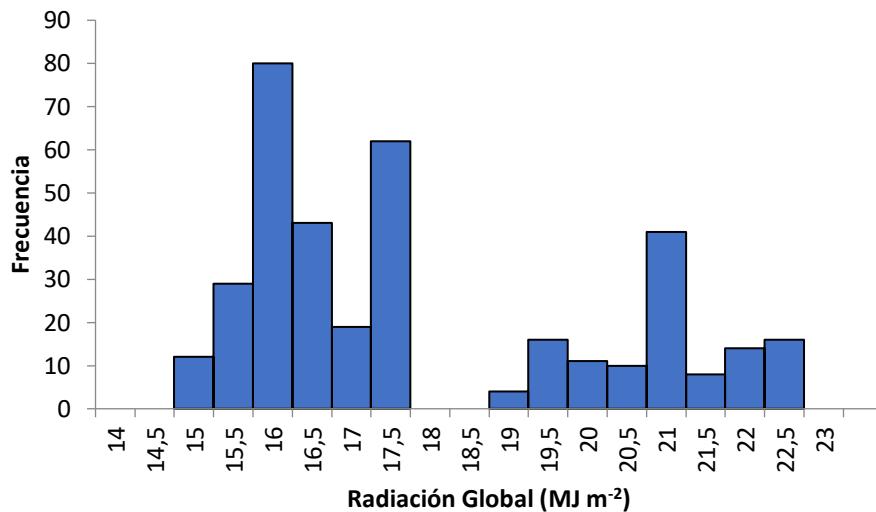


Figura 1.11. Frecuencia de la Radiación Global en la estación SL

En la Figura 1.12. se observa el comportamiento mensual de la Radiación Global de la estación SL.

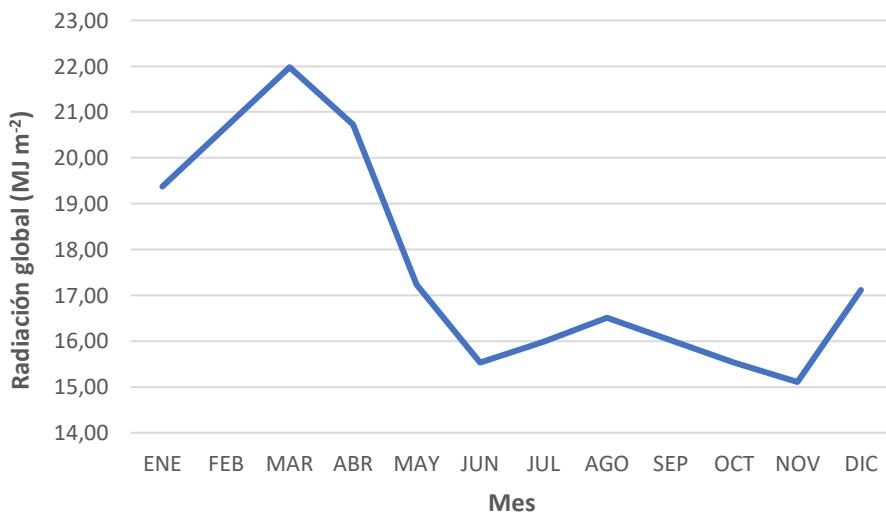


Figura 1.12. Distribución mensual de la Radiación Global en la estación SL.

1.3.2.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie presentó el mayor valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha (0,71), con un valor de curtosis negativo (-1,03), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.13.)

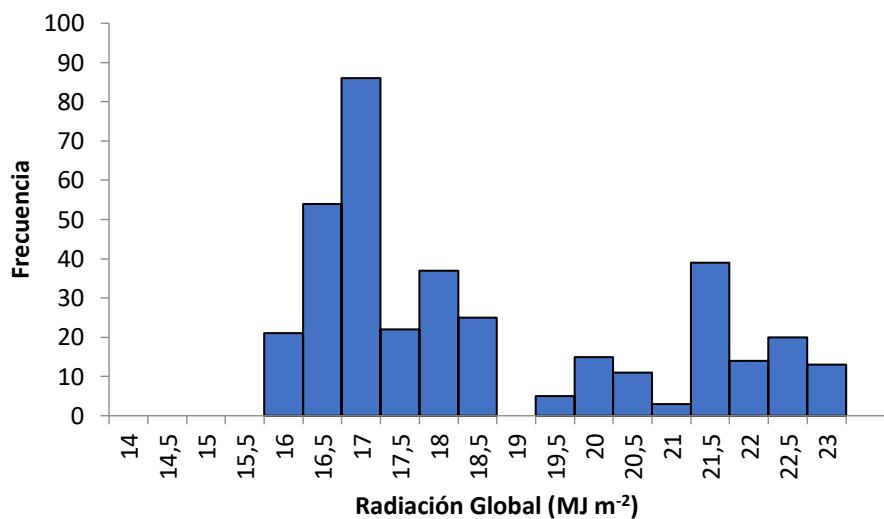


Figura 1.13. Frecuencia de la Radiación Global en la estación AJS

En la Figura 1.14. se observa el comportamiento mensual de la Radiación Global de la estación AJS.



Figura 1.14. Distribución mensual de la Radiación Global en la estación AJS.

1.3.2.3. Estación Santa Bárbara

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgada a la derecha (0,74), con un valor de curtosis negativo (-0,93), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.15.).

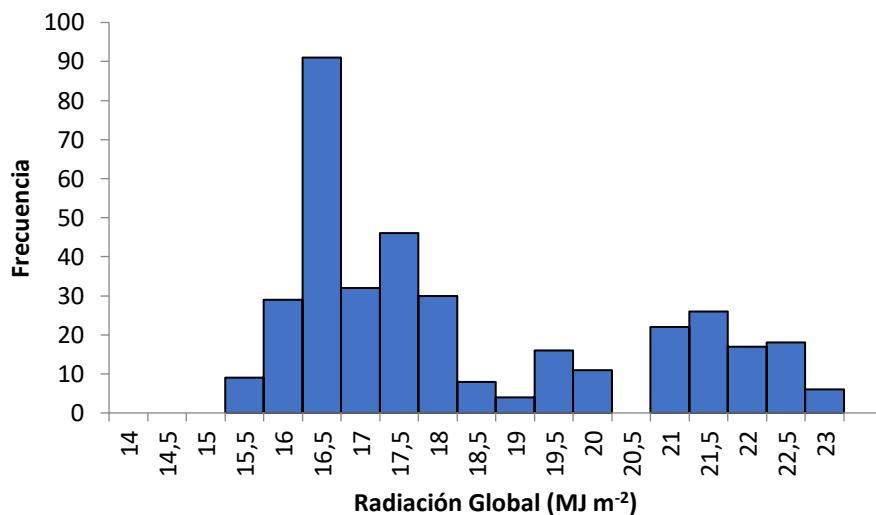


Figura 1.15. Frecuencia de la Radiación Global en la estación SB

En la Figura 1.16. se observa el comportamiento mensual de la Radiación Global de la estación SB.



Figura 1.16. Distribución mensual de la Radiación Global en la estación SB.

1.3.2.4. Estación Fabio Baudrit

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha (0,71), con un valor de curtosis negativo (-1,02), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.17.).

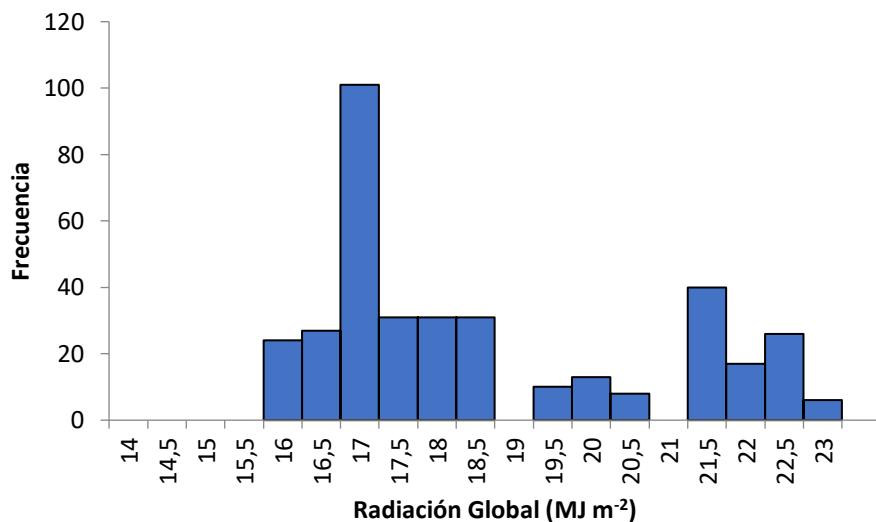


Figura 1.17. Frecuencia de la Radiación Global en la estación FB

En la Figura 1.18. se observa el comportamiento mensual de la Radiación Global de la estación FB



Figura 1.18. Distribución mensual de la Radiación Global en la estación FB.

1.3.2.5. Estación RECOPE La Garita

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha (0,71), con un valor de curtosis negativo (-1,02), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.19.).

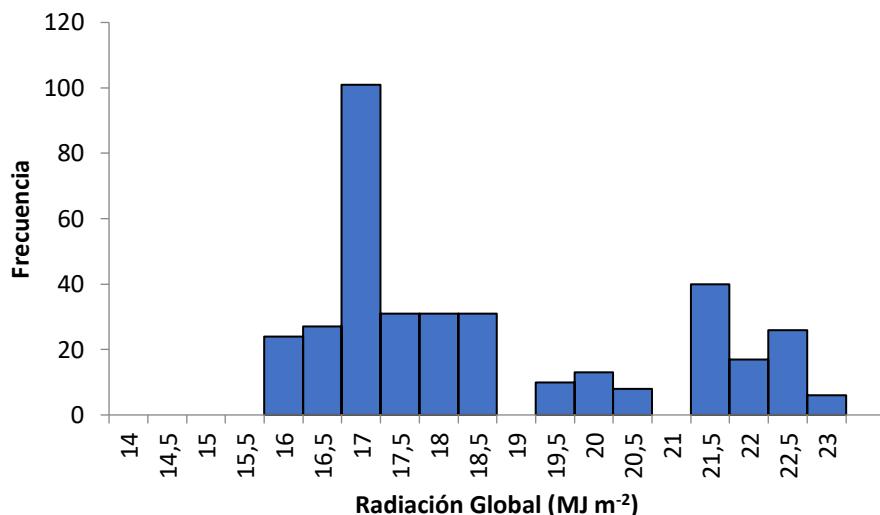


Figura 1.19. Frecuencia de la Radiación Global en la estación RLG

En la Figura 1.20. se observa el comportamiento mensual de la Radiación Global de la estación RLG.



Figura 1.20. Distribución mensual de la Radiación Global en la estación RLG.

1.3.3. Heliofanía Astronómica (duración total del día)

Se calculó los valores diarios de un año de la Heliofanía Astronómica para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de Heliofanía Astronómica para cada una de las estaciones en estudio. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 1.4. Se observó un valor promedio de 12 horas (hrs) para la Heliofanía Astronómica en cada una de las estaciones; con una desviación estándar de 0,41 hrs y una mediana de 12 hrs también igual en todas las estaciones. Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 1.4. Estadísticos descriptivos de la Heliofanía Astronómica por estación.

Estación	N	media	máximo	mínimo	mediana	desviación estándar	varianza	asimetría	curtosis
SL	365	12,00	12,59	11,41	12,00	0,41	0,17	0,00	-1,47
AJS	365	12,00	12,58	11,42	12,00	0,41	0,17	0,00	-1,47
SB	365	12,00	12,59	11,41	12,00	0,41	0,17	0,00	-1,47
FB	365	12,00	12,59	11,41	12,00	0,41	0,17	0,00	-1,47
RLG	365	12,00	12,59	11,41	12,00	0,41	0,17	0,00	-1,47

1.3.3.1. Estación Santa Lucía

La serie presentó un valor de asimetría de 0,00, lo que indicó que la serie es simétrica, con un valor de curtosis negativo (-1,47), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.21.)

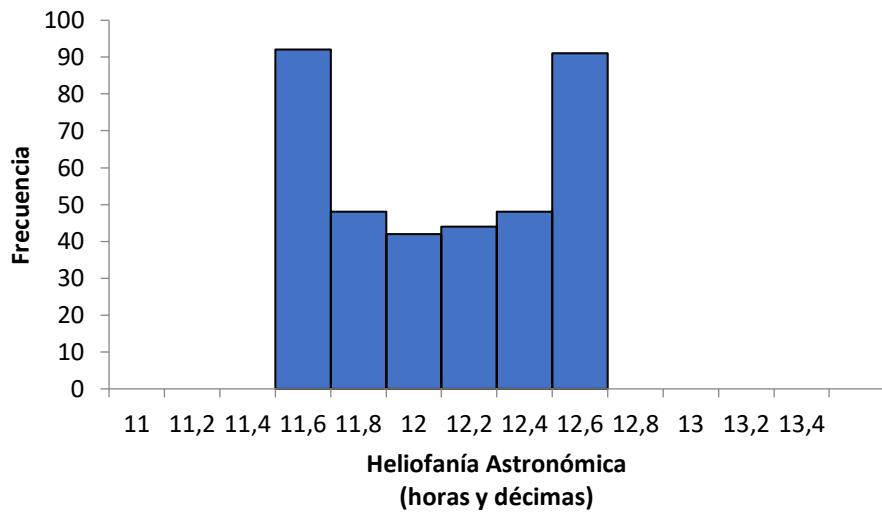


Figura 1.21. Frecuencia de la Heliofanía Astronómica en la estación SL.

En la Figura 1.22. se observa el comportamiento mensual de la Heliofanía teórica Astronómica en la estación SL.

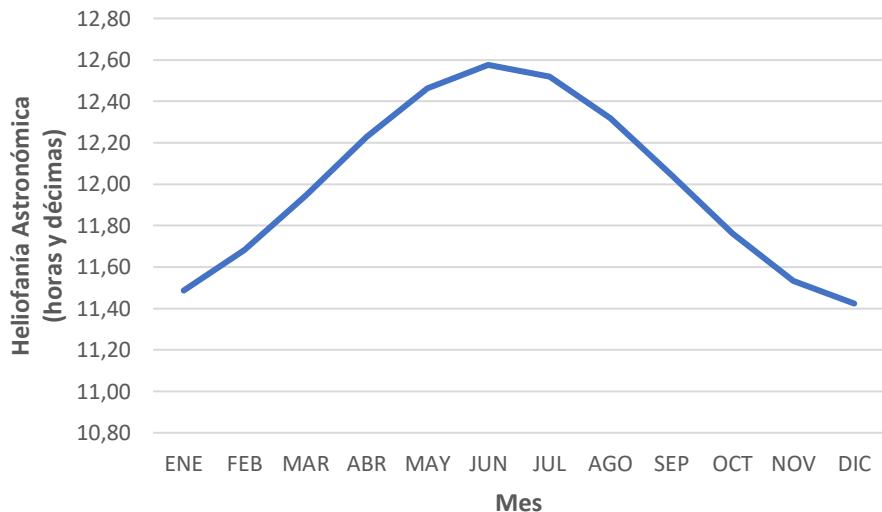


Figura 1.22. Distribución mensual de Heliofanía teórica Astronómica en la estación SL.

1.3.3.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie presentó un valor de asimetría de 0,00, lo que indicó que la serie es simétrica, con un valor de curtosis negativo (-1,47), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.23.).

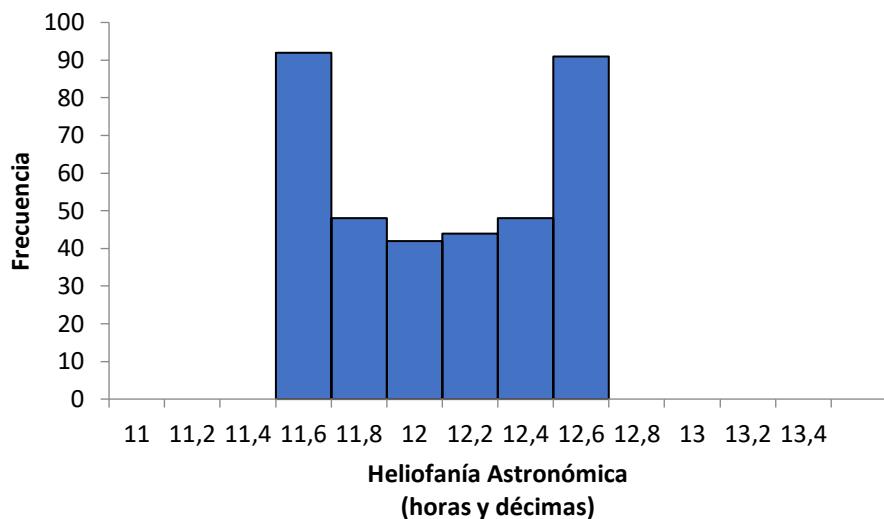


Figura 1.23. Frecuencia de la Heliofanía Astronómica en la estación AJS

En la Figura 1.24. se observa el comportamiento mensual de la Heliofanía teórica Astronómica en la estación AJS.

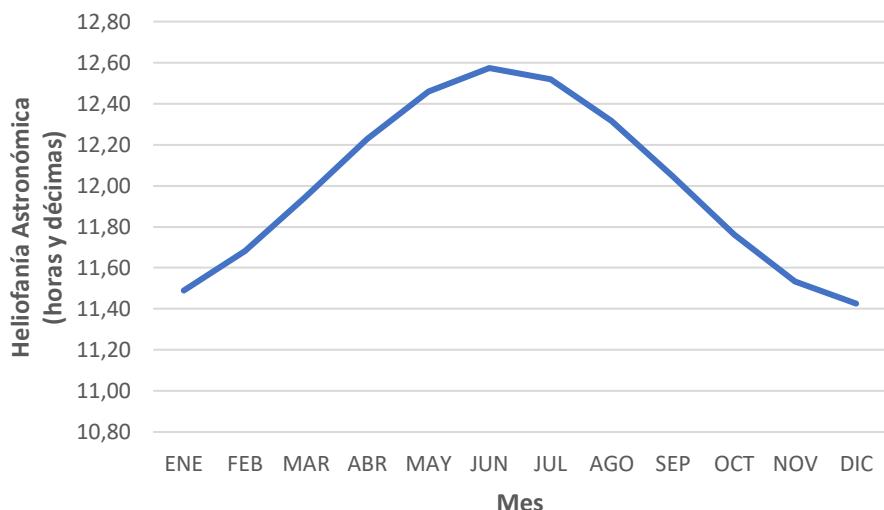


Figura 1.24. Distribución mensual de Heliofanía teórica Astronómica en la estación AJS.

1.3.3.3. Estación Santa Bárbara

La serie presentó un valor de asimetría de 0,00, lo que indicó que la serie es simétrica, con un valor de curtosis negativo (-1,47), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.25.).

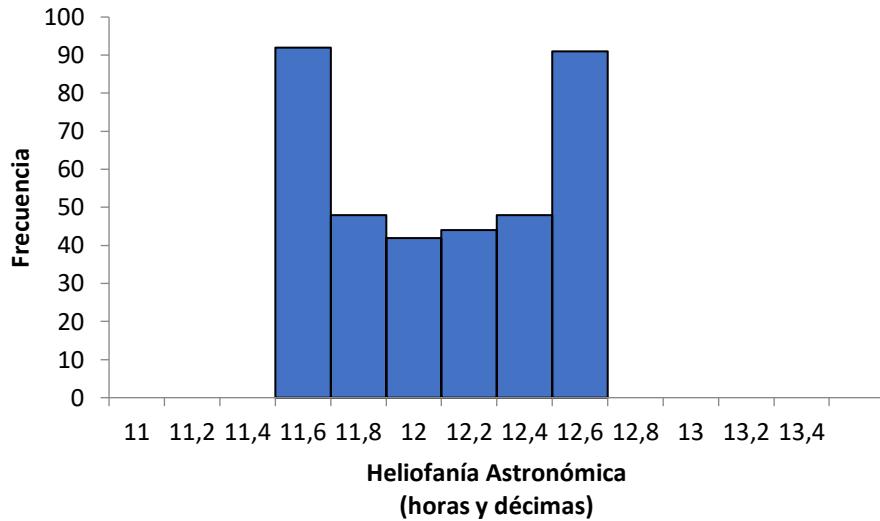


Figura 1.25. Frecuencia de la Heliofanía Astronómica en la estación SB

En la Figura 1.26. se observa el comportamiento mensual de la Heliofanía teórica Astronómica en la estación SB.

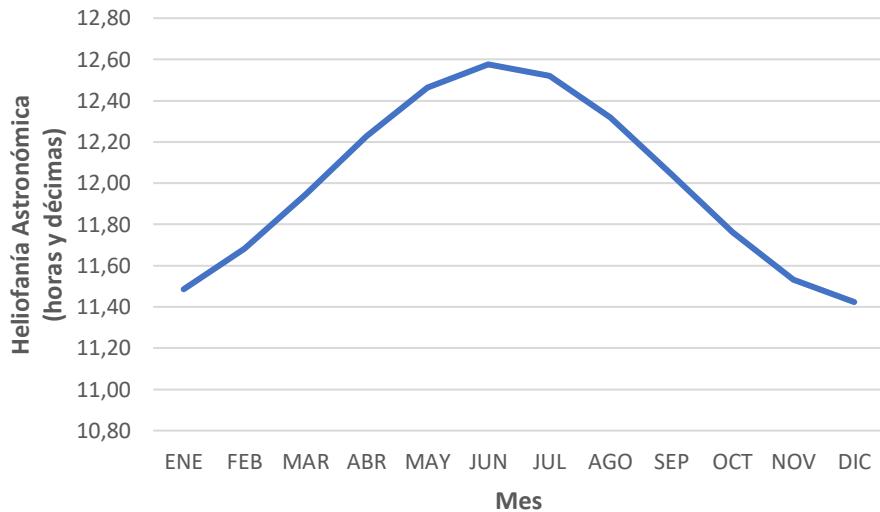


Figura 1.26. Distribución mensual de Heliofanía teórica Astronómica en la estación SB.

1.3.3.4. Estación Fabio Baudrit

La serie presentó un valor de asimetría de 0,00, lo que indicó que la serie es simétrica, con un valor de curtosis negativo (-1,47), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.27.).

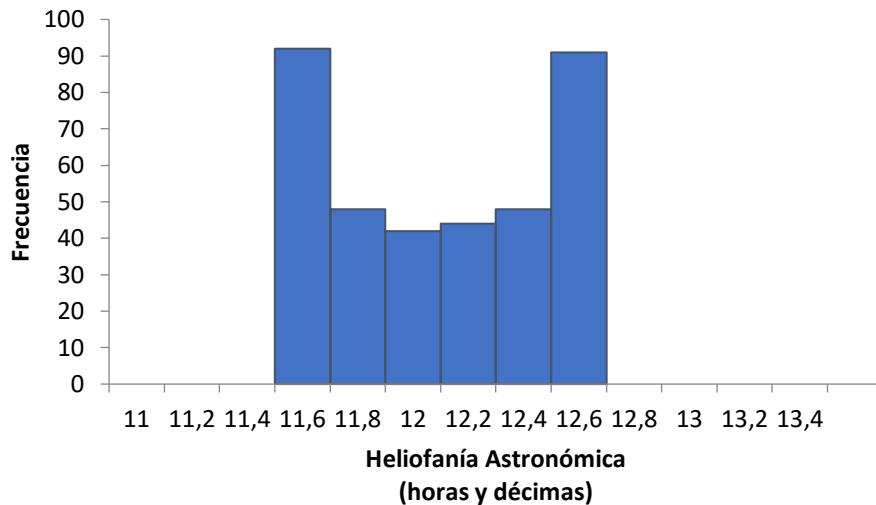


Figura 1.27. Frecuencia de la Heliofanía Astronómica en la estación FB

En la Figura 1.28. se observa el comportamiento mensual de la Heliofanía teórica Astronómica en la estación FB

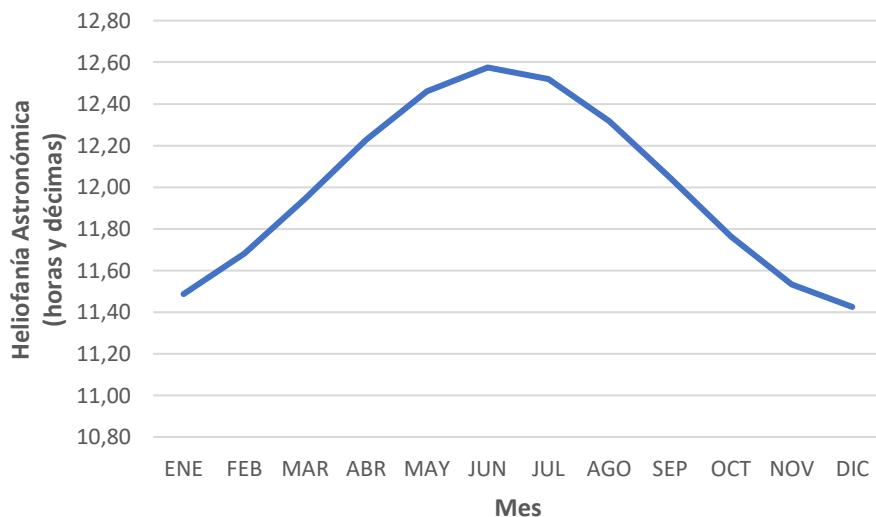


Figura 1.28. Distribución mensual de Heliofanía teórica Astronómica en la estación FB.

1.3.3.5. Estación RECOPE La Garita

La serie presentó un valor de asimetría de 0,00, lo que indicó que la serie es simétrica, con un valor de curtosis negativo (-1,47), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 1.29.).

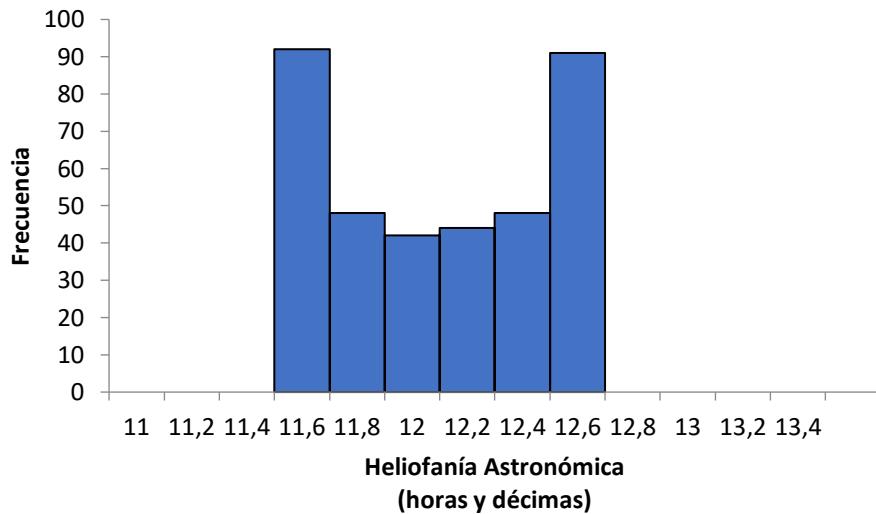


Figura 1.29. Frecuencia de la Heliofanía Astronómica en la estación RLG.

En la Figura 1.30. se observa el comportamiento mensual de la Heliofanía teórica Astronómica en la estación RLG.

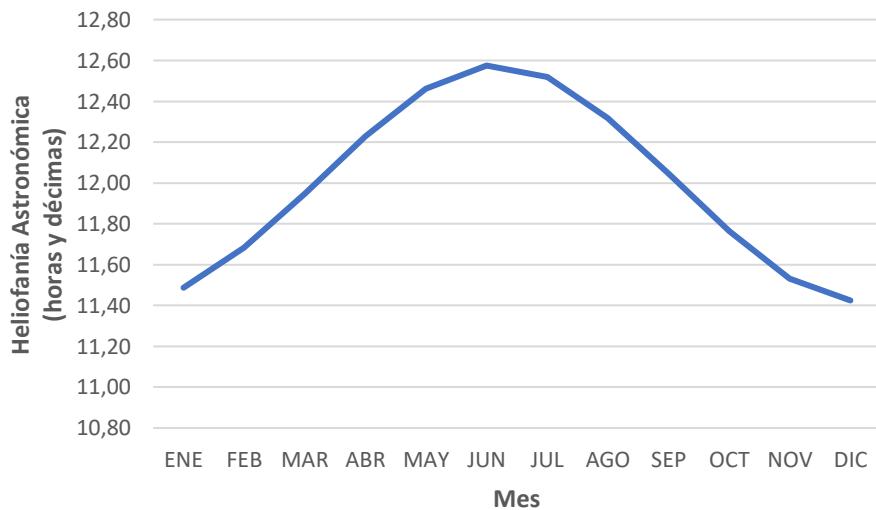


Figura 1.30. Distribución mensual de Heliofanía teórica Astronómica en la estación RLG.

1.3.4. Fotoperiodo

Se calcularon los valores diarios durante un año del fotoperíodo para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de fotoperíodo para cada una de las estaciones en estudio.

1.3.4.1 Estación Santa Lucía

En la Figura 1.31. se observa el comportamiento del Fotoperíodo en la estación SL.

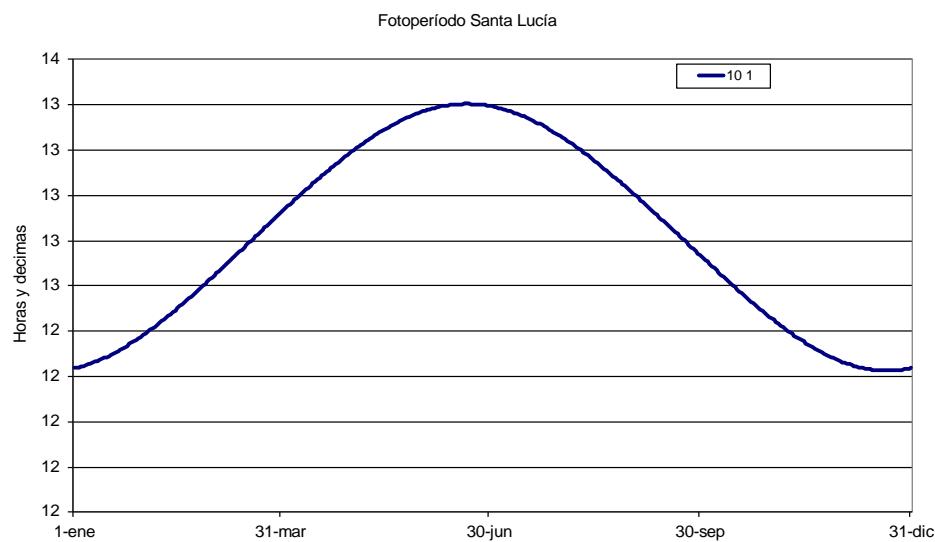


Figura 1.31. Serie de Fotoperíodo en la estación SL.

1.3.4.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

En la Figura 1.32. se observa el comportamiento del Fotoperíodo en la estación AJS.

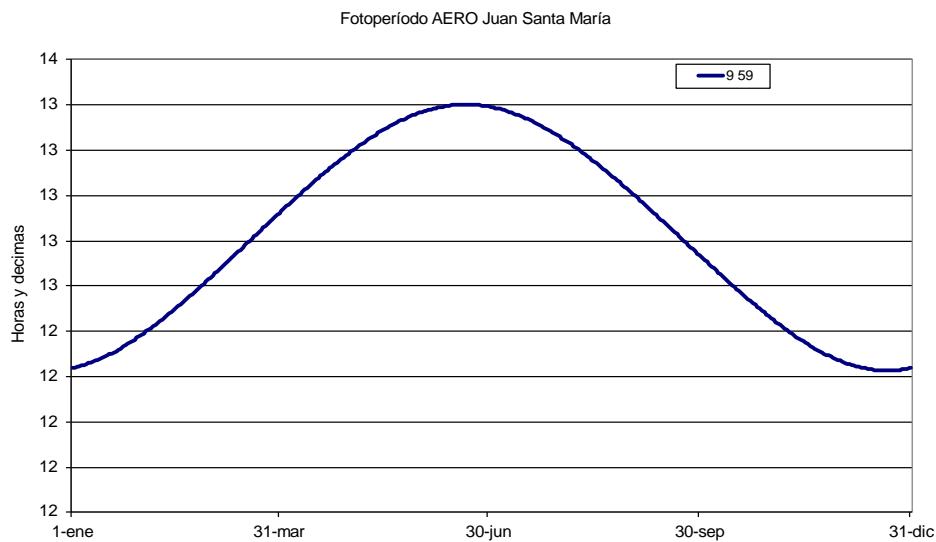


Figura 1.32. Serie de Fotoperíodo en la estación AJS.

1.3.4.3. Estación Santa Bárbara

En la Figura 1.33. se observa el comportamiento del Fotoperíodo en la estación SB.

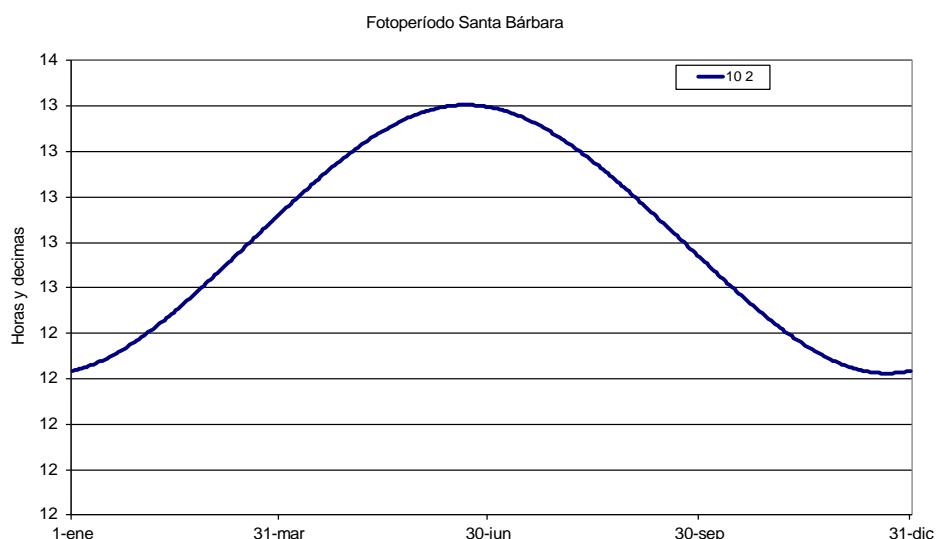


Figura 1.33. Serie de Fotoperíodo en la estación SB.

1.3.4.4. Estación Fabio Baudrit|-*

En la Figura 1.34. se observa el comportamiento del Fotoperíodo en la estación FB.

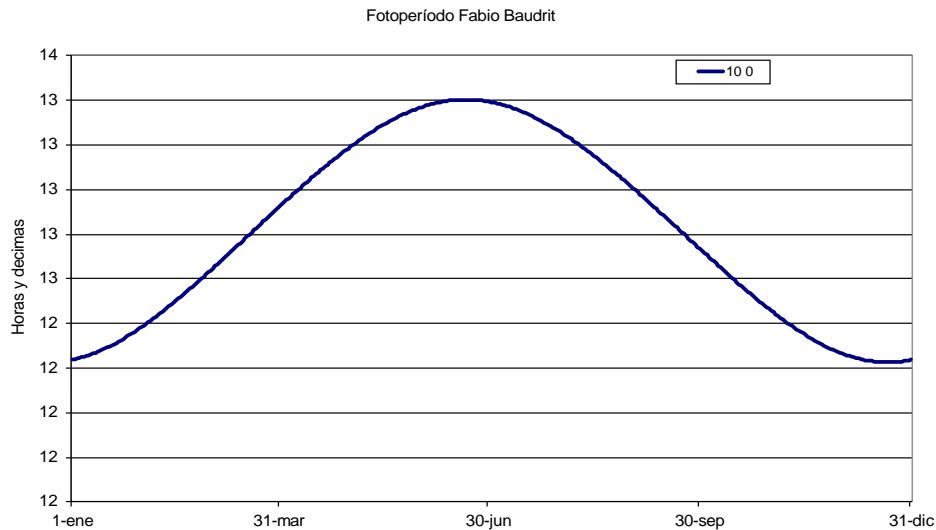


Figura 1.34. Serie de Fotoperíodo en la estación FB

1.3.4.5. Estación RECOPE La Garita

En la Figura 1.35. se observa el comportamiento del Fotoperíodo en la estación RLG.

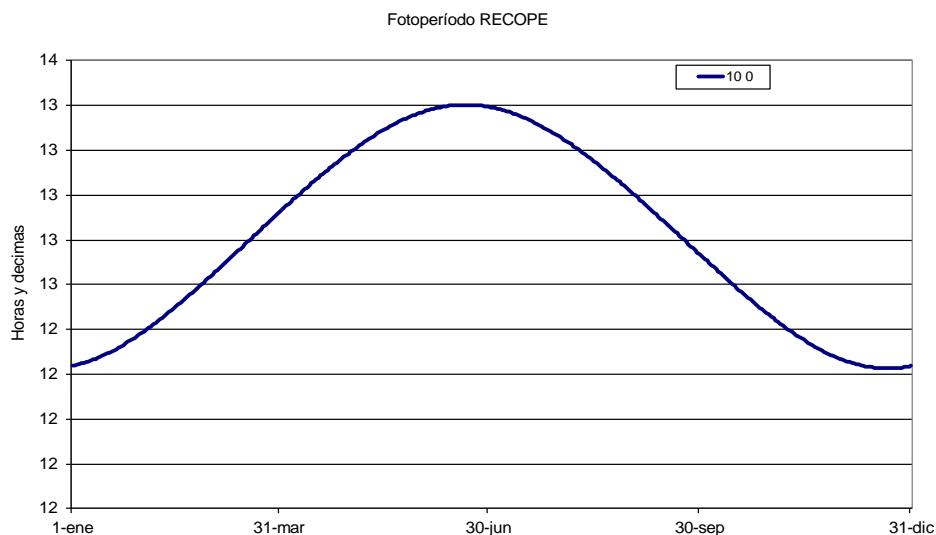


Figura 1.35. Serie de Fotoperíodo en la estación RLG.

1.3.5. Radiación Fotosintéticamente Activa (RFA) o PAR

La radiación PAR (por sus siglas en inglés), se define como el flujo radiativo contenido en las regiones espectrales entre 400 y 700 nanómetros (nm), esta radiación es absorbida, almacenada y transformada por las plantas, a través de los procesos de fotosíntesis para crecimiento y desarrollo (Durán, 2015; Sun *et al.*, 2017). A diferencia de la RG diaria o el brillo solar, que son variables estándar que normalmente se miden en las estaciones meteorológicas del IMN, la radiación PAR no se mide de forma rutinaria; por lo tanto, debe ser estimada. Estudios realizados por diferentes científicos alrededor del mundo mencionan que en promedio, el 0,5% de la RG corresponde a la radiación PAR, ya que no toda la radiación procedente del sol es aprovechada por la planta para fotosíntesis; razón por la cual y debido a que en la zona de estudio no existe un registro histórico, se calcularon los valores diarios de la radiación PAR durante un año para dos de las estaciones en estudio (estación Santa Lucía y estación Recope La Garita), ubicadas en sentido este a oeste y en los extremos opuestos de la Región Central de Costa Rica. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de radiación PAR. En las figuras 1.36. y 1.37. respectivamente, se puede observar el comportamiento de la radiación PAR en las estaciones mencionadas.

1.3.5.1. Estación Santa Lucía

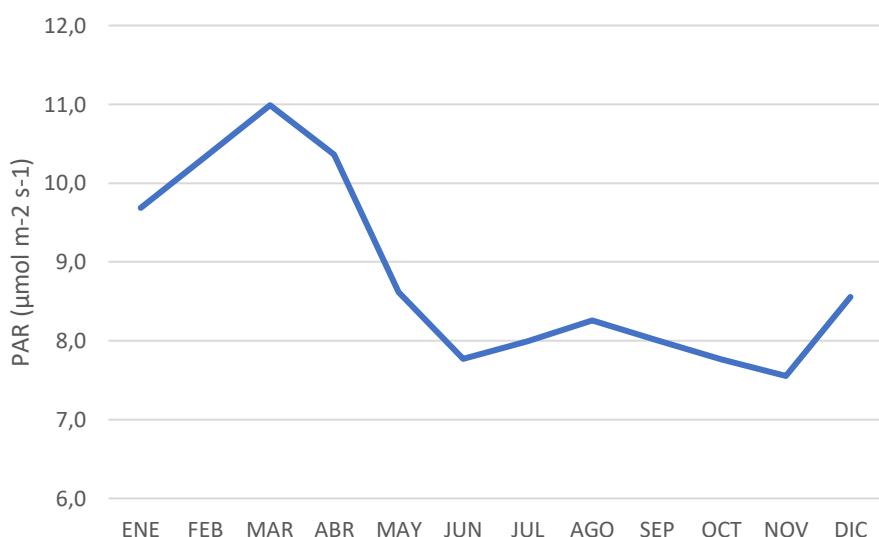


Figura. 1. 36. Radiación fotosintéticamente activa, estación SL.

1.3.5.2. Estación RECOPE La Garita

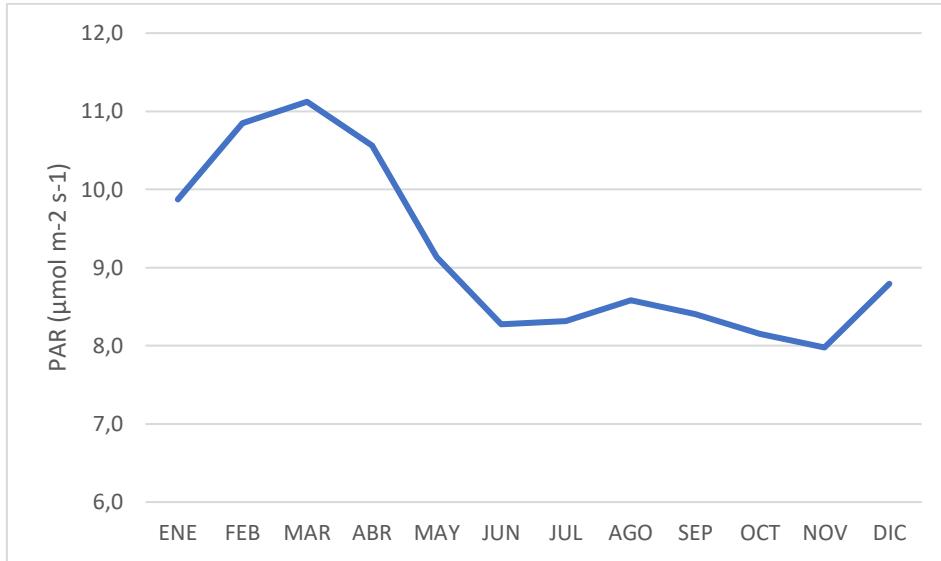


Figura. 1.37. Radiación fotosintéticamente activa, estación RLG.

1.4. Conclusiones Capítulo 1

- La Radiación Astronómica en la Región Central de Costa Rica presentó dos picos de máxima correspondientes al equinoccio de primavera (marzo) y al equinoccio otoño (septiembre), y dos valles de mínima correspondiente al solsticio de verano (junio) y al solsticio de invierno (diciembre). Durante los equinoccios los rayos solares llegan al ecuador de manera perpendicular alcanzando la zona intertropical con mayor intensidad, presentando valores de Radiación Astronómica mayores por unidad de superficie-tiempo. De igual manera, durante el periodo que transcurre desde el 21 de marzo hasta el 21 de septiembre (equinoccio de primavera y otoño respectivamente), el hemisferio norte está más inclinado hacia el sol, razón por la que la Región Central de Costa Rica presenta valores de Radiación Astronómica mayores. Por el contrario, desde septiembre hasta marzo pasando por el solsticio de diciembre (perihelio), el polo terrestre del hemisferio norte se encuentra en su inclinación más alejada respecto al sol, de ahí que la marcha de la Radiación Astronómica en la Región Central presente los valores menores.

- La marcha anual de la Radiación Astronómica presentó una distribución similar en las cinco estaciones de la Región Central de Costa Rica, esto se debe a que la Radiación Astronómica depende de la latitud del lugar y por estar las cinco estaciones en estudio a latitudes bajas muy similares, la respuesta es muy equivalente, teniéndose una respuesta ligeramente distinta solo por la época del año.
- La Radiación Solar Global en un lugar dado es producto de factores astronómicos, meteorológicos y geográficos (Wright, J., 1997), en otras palabras varía con la latitud (altura del sol), el día del año, la cantidad de cielo cubierto (nubosidad), la transparencia de la atmósfera (contenido de agua, aerosoles, partículas sólidas y líquidas en suspensión, etc.) y la elevación del lugar (espesor de la atmósfera); entonces, en la Región Central de Costa Rica los valores más altos de Radiación Global media ocurrieron en la época seca, específicamente se presentaron dos picos de máxima, durante el mes de abril, después del equinoccio de primavera y a finales del mes de agosto, antes del equinoccio de otoño, ya que son los momentos en que por la latitud a la que está ubicada la zona de estudio, los rayos caen de manera perpendicular sobre Costa Rica. Sin embargo, el máximo teórico del mes de agosto se vio atenuado como consecuencia de la acentuación de la época lluviosa, asociada a una mayor cobertura nubosa típica de ese mes, esta condición resulta en poca radiación directa y mucha radiación difusa.
- A mediados de año, se presenta un máximo relativo de Radiación Solar Global durante los cielos despejados en el “veranillo de San Juan” y la “canícula”, entre los meses de julio a agosto.
- Los valores de Radiación Global media más bajos se presentaron en las estaciones Santa Lucía ($17,63 \text{ MJ m}^{-2}$) y Santa Bárbara ($18,03 \text{ MJ m}^{-2}$) respectivamente, en ambas estaciones se presentan los promedios de precipitaciones anuales más altos (es donde llueve más dentro de la zona de estudio), condición que afecta los valores de Radiación Global.

- En la Región Central de Costa Rica, la Heliofanía Astronómica o duración total del día va aumentando desde el equinoccio de primavera (marzo) hasta el solsticio de verano (junio), donde alcanza su valor máximo, superando las 12 horas de luz (noches cortas). Posteriormente, las horas de luz se van reduciendo hasta igualarse con las horas de oscuridad durante el equinoccio de otoño (septiembre), en otras palabras, durante los equinoccios la duración del día y de la noche es la misma para todas las latitudes. En diciembre o durante el solsticio de invierno para el hemisferio norte, al estar el sol más alejado del ecuador se tiene el valor de heliofanía astronómica mínimo (máximo de horas de oscuridad, noches largas). Sin embargo, el amanecer y el atardecer no difieren significativamente a lo largo del año en la Región Central de Costa Rica, esto se debe a la proximidad al ecuador.
- La duración de la luz entre el inicio del crepúsculo matutino y la finalización del crepúsculo vespertino (fotoperiodo), en la Región Central de Costa Rica, aumentan ligeramente desde el equinoccio de primavera (21 de marzo) hasta el solsticio de verano (21 de junio). Ahora bien, dado que la zona de estudio se ubica a una latitud baja o próxima respecto al ecuador, los crepúsculos tienen muy corta duración, incidiendo esto en diferencias imperceptibles. Por otro lado, al ubicarse las estaciones meteorológicas a diferencias altitudinales de baja montaña (menos de 1500 msnm) y no haber grandes diferencias altitudinales entre ellas, la salida y puesta del sol al igual que los crepúsculos se mantienen con valores muy similares a lo largo del año.
- El crecimiento y desarrollo de las plantas depende de muchos factores y uno de los más relevantes es la longitud del día o fotoperiodo; particularmente, la inducción de la formación de botones o diferenciación floral depende de este. El fotoperiodo afecta la floración cuando el brote es inducido a producir botones florales en lugar de hojas y brotes laterales. Para la floración del café se requieren días cortos con un fotoperiodo crítico de 13.0 horas, por lo cual dentro del rango latitudinal a la cual se ubica Costa Rica, este factor no es limitante por presentar

durante todo el año una notable consistencia en la duración del día, con una cantidad de 12,8 horas de luz en promedio.

- Además del café (*Coffea arabica*) que es el cultivo más importante en la RCCR; también, algunas plantas de día corto son: maíz (*Zea mays*; solamente los cultivares tropicales), cáñamo (*Cannabis sp.*), algodón (*Gossypium hirsutum*), Arroz (*Oriza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*).
- La Radiación Fotosintéticamente Activa o PAR, es la parte de la radiación solar comprendida entre las longitudes de onda de los 400 a 700 nm, esta “luz de crecimiento” como la llaman algunos autores, es útil ya que interviene en el proceso de fotosíntesis. También, es uno de los factores más importantes, que, junto con el oxígeno, el dióxido de carbono y los minerales intervienen en el crecimiento y desarrollo de las plantas. Por otro lado, se observa una dependencia estacional en la proporción de radiación PAR con respecto a la Radiación Global, presentando en la Región Central de Costa Rica los valores más altos y variables durante la época seca, mientras que en la época lluviosa estos valores son menores.
- La calidad de la producción vegetal, así como la cantidad de metería seca acumulada por una planta está determinada por la radiación PAR interceptada. Entonces, con los valores de radiación PAR disponibles para la zona de estudio, siendo el cafeto una planta de media sombra que solo puede utilizar alrededor del 1% de la radiación PAR, el requerimiento de 200 a 280 horas luz durante los meses secos y de 100 a 150 horas luz durante la época lluviosa (Morfín *et al.*, 2006), estarían cubiertos.



CAPÍTULO 2. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA TEMPERATURA DEL AIRE

2.1. Introducción

El clima es el estado medio de la atmósfera y su proceso habitual de evolución en un lugar y para una época determinados. Normalmente, incluye los valores medios de las variables que describen el estado de la atmósfera y la variabilidad de estos (Murphy y Hurtado, 2016).

En Costa Rica la temperatura varía debido a la altitud. Por ejemplo, en planicies que son secas como la región Pacífico Norte, las temperaturas del día van desde los 20 a 35°C, en altitudes medias el rango es 20 a 25°C y tiende a bajar hasta los 5 a 10°C en la cumbre de las montañas.

Se procederá a la caracterización climática de la temperatura del aire en cada una de las localidades seleccionadas. Se analizará la variación interanual de la temperatura máxima tomando en cuenta las temperaturas máximas medias anuales (txma) en la Región, la temperatura máxima absoluta anual (txAa) en la Región, las temperaturas máximas medias anuales (txma) por estación, y la temperatura máxima absoluta anual (txAa) por estación. Se trabajará también la variación interanual de la temperatura mínima tomando en cuenta las temperaturas mínimas medias anuales (tima) en la Región, las temperaturas mínimas absolutas anuales (tiAa) en la Región, las temperaturas mínimas medias anuales (tima) por estación, la temperatura mínima absoluta anual (tiAa) por estación. Además, se trabajó la variación interanual de la temperatura media, analizando las temperaturas medias anuales (tma) en la Región y las temperaturas medias anuales (tma) por estación.

Finalmente, se elaboraron gráficos donde se muestra la amplitud térmica y climadiagramas por estación para mostrar el comportamiento de los elementos del clima en la zona de estudio.

2.2. Caracterización climática de la temperatura del aire

2.2.1. Materiales y métodos

La temperatura estadísticamente es una variable continua cuya distribución de frecuencias se ajusta generalmente a una distribución normal, por lo tanto, los parámetros climáticos utilizados para su caracterización son la media aritmética y el desvío estándar.

Los **Índices climáticos** son medidas de tendencia central que indican el estado medio o valor más probable de la temperatura en un periodo de años determinado, pueden ser:

- a) **Climatológico:** es el valor medio correspondiente a una serie de 10 o 20 años.
 - b) **Normal climatológico:** es el valor medio de una serie homogénea que corresponde a un periodo de 30 o más años. Estos valores figuran en las estadísticas climatológicas.
-
- **Temperatura anual media o temperatura anual:** promedio de las temperaturas medias anuales de una serie de años.
 - **Temperatura mensual media o temperatura mensual:** promedio de las temperaturas medias mensuales de una serie de años para cada uno de los meses. Existen, por lo tanto, doce temperaturas mensuales medias.
 - **Temperatura máxima mensual media o temperatura máxima mensual:** promedio de las temperaturas máximas medias mensuales de una serie de años para cada uno de los meses. Existen, por lo tanto, doce temperaturas máximas mensuales medias.
 - **Temperatura mínima mensual media o temperatura mínima mensual:** promedio de las temperaturas mínimas medias mensuales de una serie de años para cada uno de los meses. Existen, por lo tanto, doce temperaturas mínimas mensuales medias.
 - **Amplitud térmica anual:** es la diferencia entre la temperatura mensual media del más cálido menos la temperatura mensual media del mes más frío; no es la diferencia entre las temperaturas extremas.

Se realizó el análisis de consistencia sobre la base de los datos utilizados mediante los siguientes procesos: a) lectura de datos y control de formatos (registros inexistentes, registros repetidos, registros con códigos inexistentes, errores en los registros de dato faltante), b) detección de errores indiscutibles (temperatura máxima inferior a la mínima), y c) detección de “outliers”, para este último punto se realizó un análisis visual gráfico para verificar la existencia de valores fuera de rango (Abbott, 1986).

Los datos meteorológicos diarios se agruparon en forma mensual y anual, los mismos se caracterizaron mediante estadísticos descriptivos (Wilks, 1995). Se estudió la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (50 datos o más) (Montgomery y Rung, 1994) o la prueba Shapiro-Wilk (menos de 50 datos); además se calculó el coeficiente de asimetría y curtosis (Gorgas, Cardiel y zamorano, 2011). Para determinar la significancia del comportamiento de las series se aplicó la prueba estadística ANOVA o Kruskal-Wallis, según el cumplimiento o no de los supuestos paramétricos; el nivel de confianza fue del 95% y se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS). Una vez realizado este análisis se procedió al cálculo de índices necesarios para efectuar la caracterización climática de la temperatura del aire.

2.3. Variación interanual de la temperatura máxima

2.3.1. Temperaturas máximas medias anuales (txma) en la región.

Se calcularon los promedios anuales de las temperaturas máximas registradas diariamente y se confeccionó una serie de txma, integrando la información de las cinco estaciones de la RCC; los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.1. Se observó un valor promedio de la temperatura máxima media anual de 27,6°C con una desviación estándar de 2,5°C y una mediana de 27,8°C.

Cuadro 2.1. Estadísticos descriptivos de la temperatura máxima media anual en la Región Central de Costa Rica (periodo 1985-2017).

Estadísticos descriptivos	txma
Número de datos	40607
Promedio	27,6
Máximo	35,6
Mínimo	17
Mediana	27,8
Moda	27,0
Desviación estándar	2,5
Varianza	6,3
Coeficiente de asimetría	-0,17
Coeficiente de curtosis	-0,23

Esta serie presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado hacia la izquierda y cercano a cero (-0,17) con un valor de curtosis negativo (-0,23), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución ligeramente achatada (Figura 2.1.).

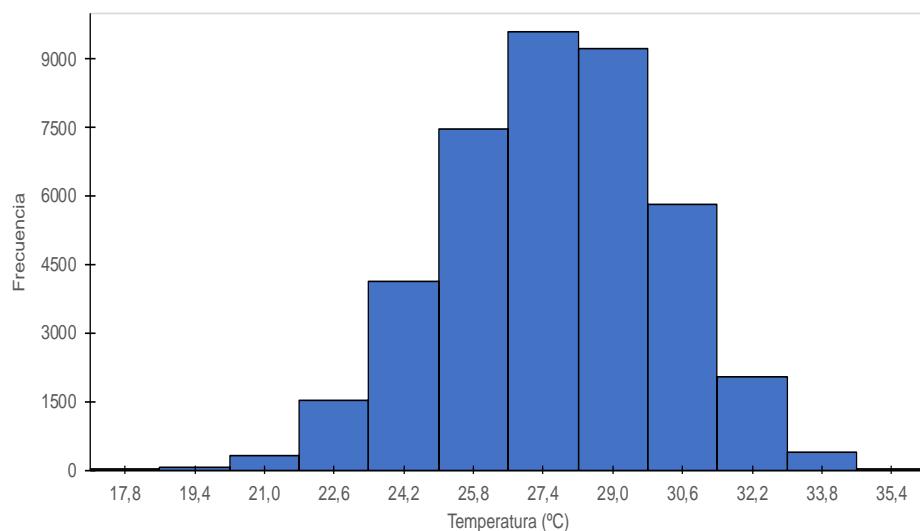


Figura 2.1. Frecuencias de la temperatura máxima media anual en la Región Central de Costa Rica.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las temperaturas máximas medias regionales. En la Figura 2.2. se graficaron las temperaturas máximas medias anuales en función de los años.

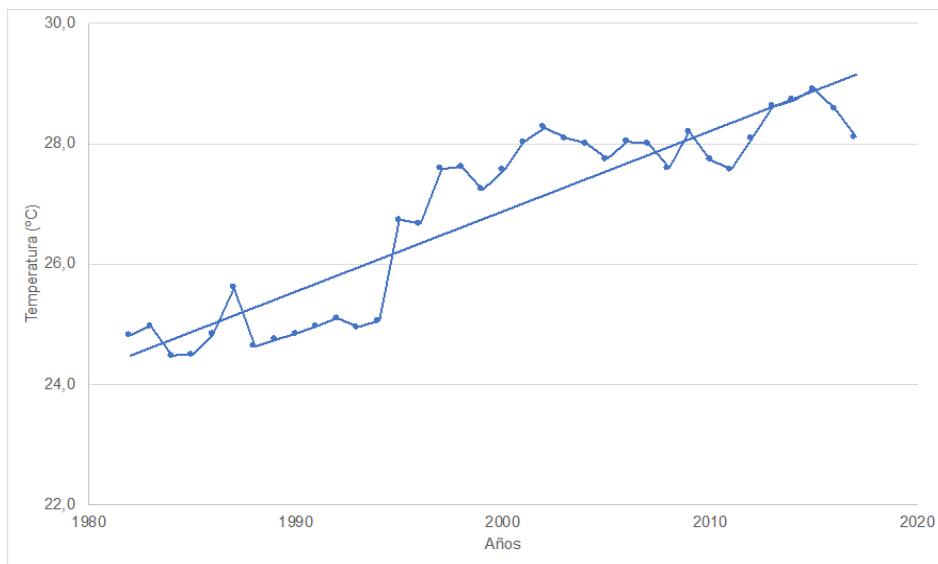


Figura 2.2. Variación interanual de las temperaturas máximas medias para el periodo 1985-2017.

Se observó que las txma en la región han aumentado a medida que han transcurrido los años. A partir de estos valores, para determinar la significancia estadística de esta tendencia se aplicó la prueba de contraste donde se determinó que sí son estadísticamente significativas $p<.001$, lo que indicó que desde el inicio de la serie hasta el año 2017, las txma han aumentado significativamente

2.3.2. Temperatura máxima absoluta anual (txAa) en la región.

Se elaboró otra serie con los valores de txAa en la región tomando en cuenta solamente la temperatura máxima absoluta presentada en cada año. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.2. Se observó que el valor promedio de la txAa fue $32,6^{\circ}\text{C}$, con una mediana de $33,1^{\circ}\text{C}$ y una desviación estándar de $2,2^{\circ}\text{C}$. El valor máximo ($35,6^{\circ}\text{C}$) se registró en febrero de 2010 en la estación Fabio Baudrit; en cambio, el valor mínimo ($28,5^{\circ}\text{C}$) se registró en febrero de 1988 en la estación Santa Lucía.

Cuadro 2.2. Estadísticos descriptivos de la temperatura máxima absoluta anual en la Región Central de Costa Rica (periodo 1985-2017).

Estadísticos descriptivos	txAa
Número de datos	35
Promedio	32,6
Máximo	35,6
Mínimo	28,5
Mediana	33,1
Moda	30,5
Desviación estándar	2,2
Varianza	4,8
Coeficiente de asimetría	-0,42
Coeficiente de curtosis	-1,14

Esta serie mostró un valor de asimetría marcadamente sesgada a la izquierda, así como un valor de curtosis negativo, aproximándose a una distribución platicúrtica, mayor a la serie de txma, efectos que pueden visualizarse en la Figura 2.3.

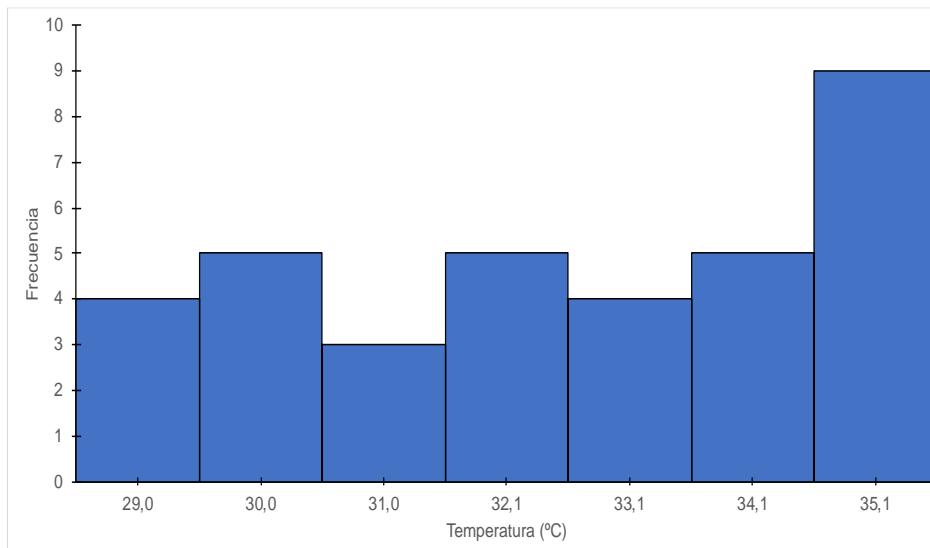


Figura 2.3. Frecuencias de la temperatura máxima absoluta anual en la Región Central de Costa Rica.

Se determinó la variación anual de la txa a del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las temperaturas máximas absolutas regionales. En la Figura 2.4 se graficaron las txa a en función de los años.

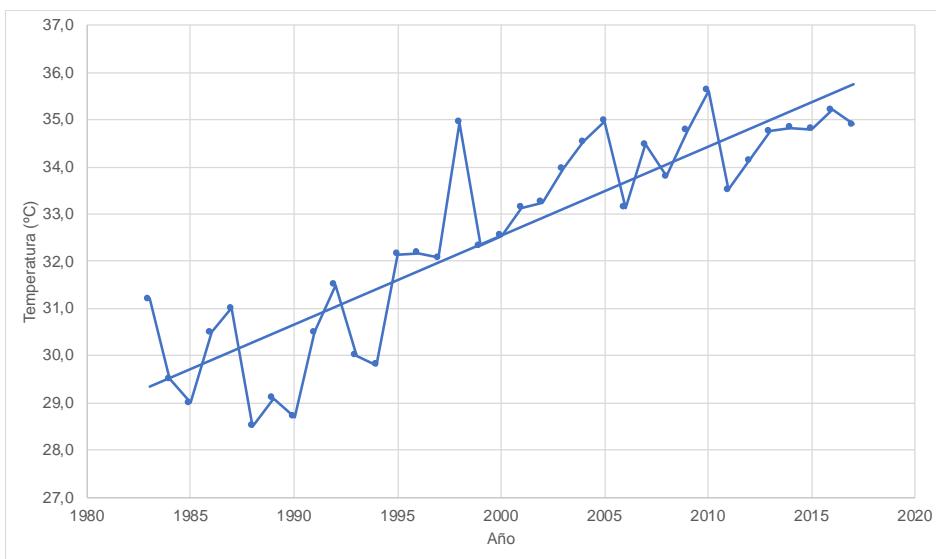


Figura 2.4. Variación interanual de las temperaturas máximas absolutas anuales para el periodo 1985-2017.

Se observó que las txAa en la región también han aumentado a medida que han transcurrido los años. A partir de estos valores, se determinó si las diferencias encontradas son significativas, para ello se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, lo que indica que desde el inicio de la serie hasta el año 2017, las txAa han aumentado significativamente al igual que las txma.

2.3.3. Temperaturas máximas medias anuales (txma) por estación.

Se calcularon los promedios de las txma para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de txma para cada una de las estaciones. Los estadísticos descriptivos se encuentran resumidos en el cuadro 2.3. Se observó un valor promedio de la txma para la estación: SL ($25,2^{\circ}\text{C}$), AJS ($28,3^{\circ}\text{C}$), SB ($27,7^{\circ}\text{C}$), FB ($29,3^{\circ}\text{C}$) y RLG ($29,1^{\circ}\text{C}$); con una desviación estándar de $1,8^{\circ}\text{C}$ para las estaciones SL, AJS y SB; mientras que la desviación estándar fue de $2,0^{\circ}\text{C}$ para la estación FB y de $1,9^{\circ}\text{C}$ para estación RLG. La mediana fue de: $25,1^{\circ}\text{C}$ (SL), $28,4^{\circ}\text{C}$ (AJS), $28,0^{\circ}\text{C}$ (SB), $29,3^{\circ}\text{C}$ (FB) y $29,1^{\circ}\text{C}$ (RLG). Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 2.3. Estadísticos descriptivos de la temperatura máxima media anual por estación.

Estación	núm. dat.	prom.	max.	min.	med.	mod.	desv.	var	asim.	Curt.
SL	13059	25,2	33,2	17,0	25,1	25,0	1,8	3,1	0,02	0,93
AJS	7001	28,3	34,5	19,2	28,4	27,9	1,8	3,3	-0,38	0,76
SB	5175	27,7	34,0	19,0	28,0	28,0	1,8	3,1	-0,67	1,70
FB	8401	29,3	35,6	20,0	29,3	28,5	2,0	3,9	-0,19	0,59
RLG	6971	29,1	35,0	20,7	29,1	28,2	1,9	3,5	-0,23	0,57

Para determinar si las diferencias encontradas son significativas, se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, a continuación, se muestran cuáles fueron estas diferencias para cada una de las estaciones.

2.3.3.1. Estación Santa Lucía

La estación SL presentó un valor de asimetría ligeramente sesgado a la derecha y muy próximo a cero, lo que indicó que la distribución es prácticamente simétrica, es decir, existe aproximadamente la misma cantidad de valores a los dos lados de la media. En relación con el valor de curtosis de la serie, este fue positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, dicho de otra manera, esto es una distribución puntiaguda (Figura 2.5).

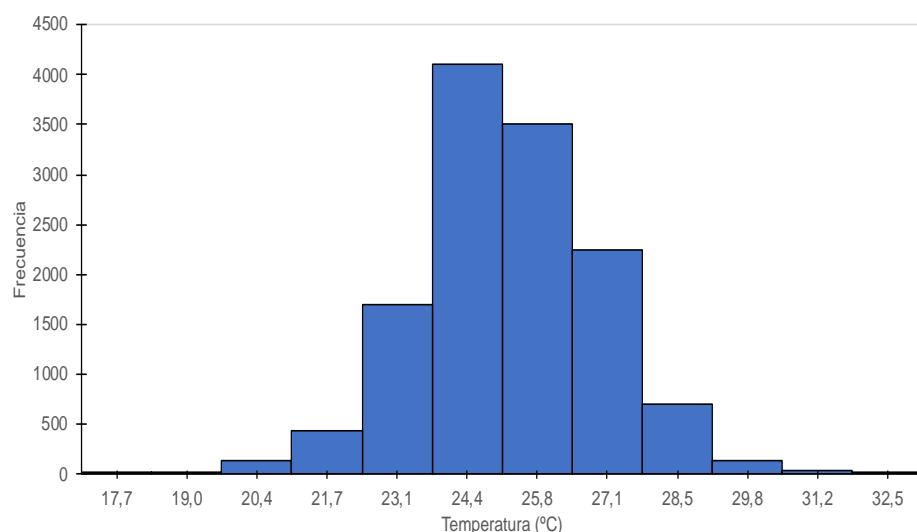


Figura 2.5. Frecuencias de la temperatura máxima media anual en la estación Santa Lucía

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txma. En la Figura 2.6. se graficaron las txma en función de los años.

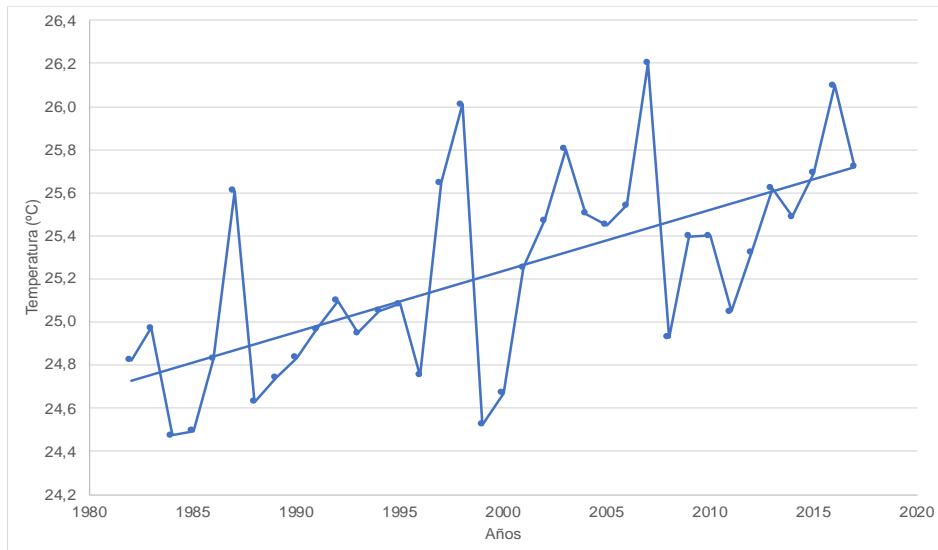


Figura 2.6. Variación interanual de la temperatura máxima media anual en la estación Santa Lucía y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txma de la estación Santa Lucía, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.3.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie de la estación AJS presentó asimetría marcadamente sesgada a la izquierda y, además un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.7.).

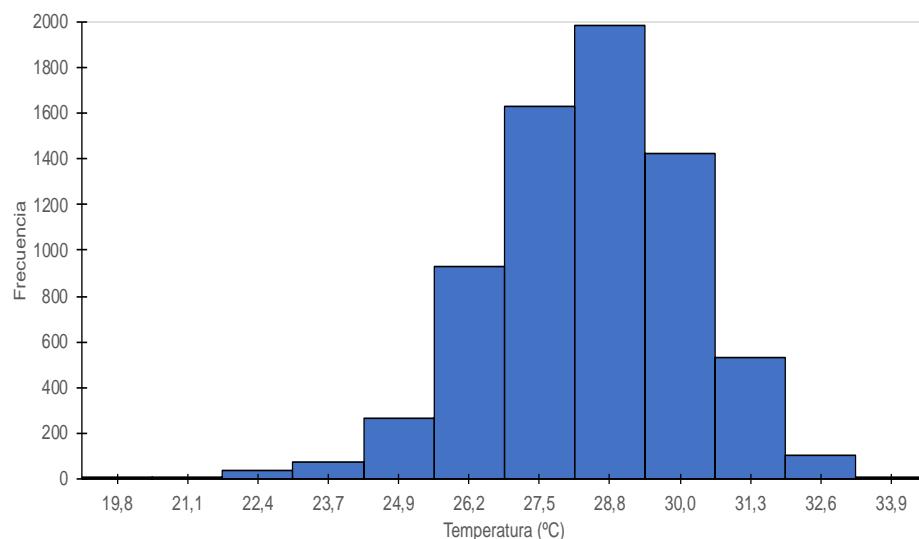


Figura 2.7. Frecuencias de la temperatura máxima media anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txma en la estación AJS.

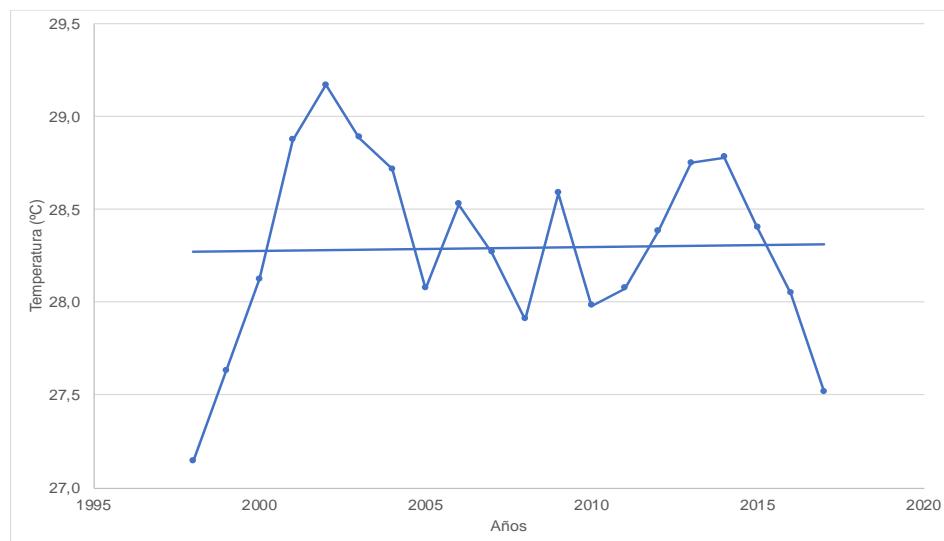


Figura 2.8. Variación interanual de la temperatura máxima media anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txma de la estación AJS, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.3.3. Estación Santa Bárbara

La serie estudiada presentó el mayor valor de asimetría, la cual fue marcadamente sesgada a la izquierda. Respecto al valor de curtosis, este fue positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, en otras palabras, es una distribución puntiaguda (Figura 2.9.).

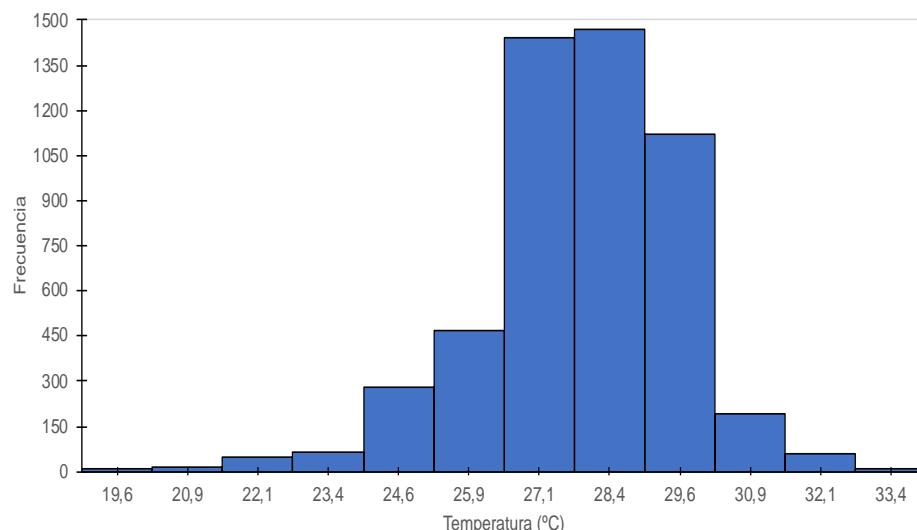


Figura 2.9. Frecuencias de la temperatura máxima media anual en la estación Santa Bárbara.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txma en la estación SB.

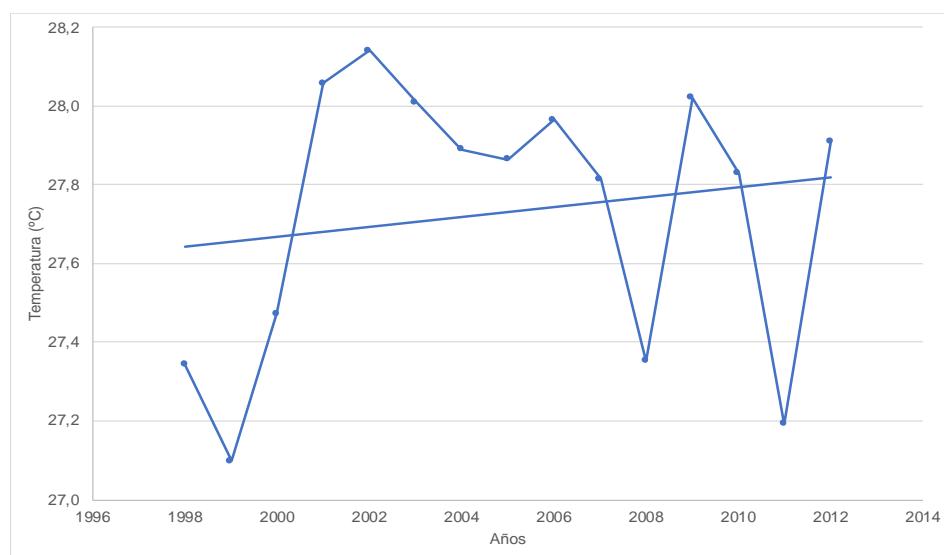


Figura 2.10. Variación interanual de la temperatura máxima media anual en la estación Santa Bárbara y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txma de la estación SB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.3.4. Estación Fabio Baudrit

La serie presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la izquierda y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, dicho de otra manera, es una distribución puntiaguda (Figura 2.11.).

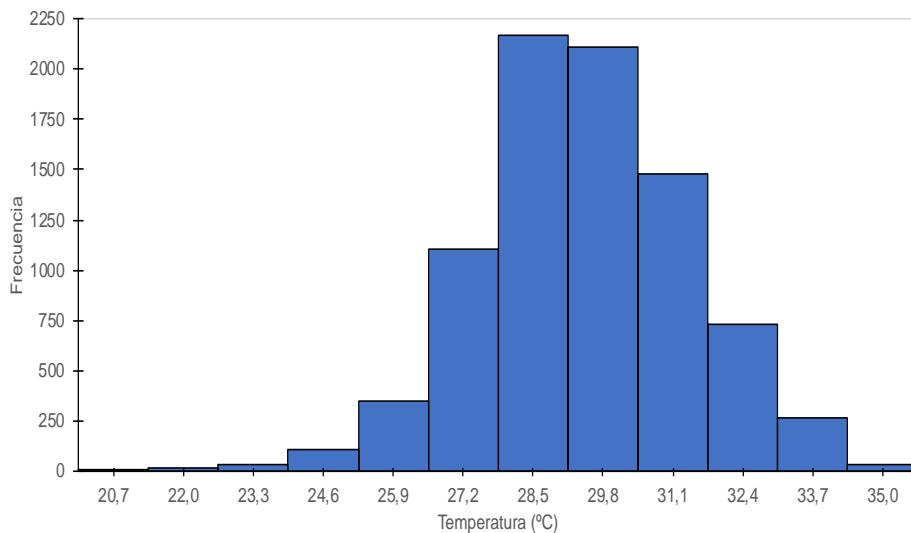


Figura 2.11. Frecuencias de la temperatura máxima media anual en la estación Fabio Baudrit.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txma en la estación FB.

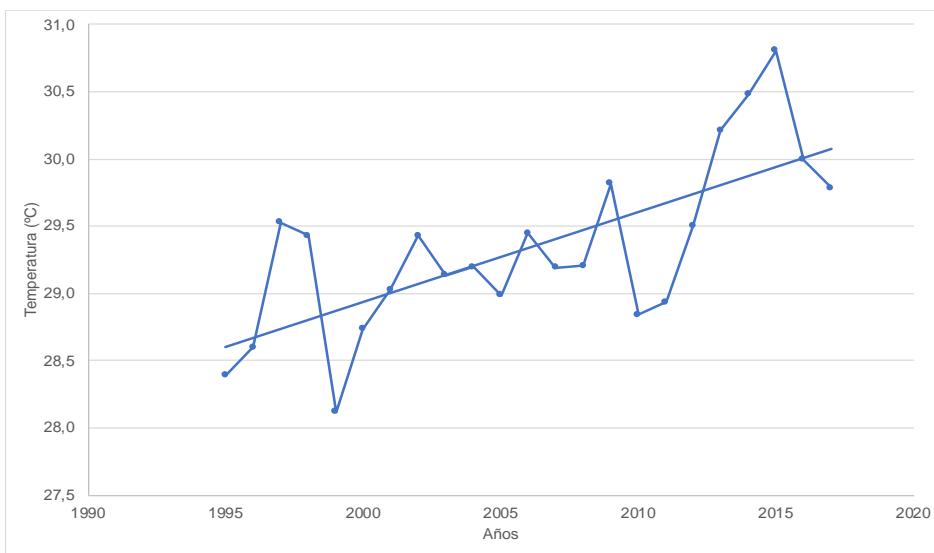


Figura 2.12. Variación interanual de la temperatura máxima media anual en la estación Fabio Baudrit y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txma de la estación FB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.3.5. Estación RECOPE La Garita

La serie presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la izquierda y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, en otros términos, es una distribución puntiaguda (Figura 2.13.).

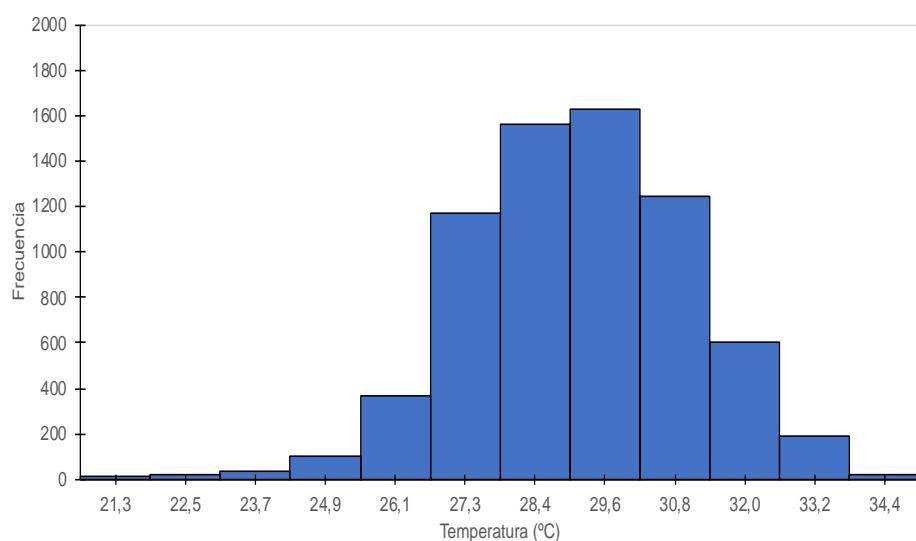


Figura 2.13. Frecuencias de la temperatura máxima media anual en la estación RECOPE La Garita.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txma en la estación RLG.

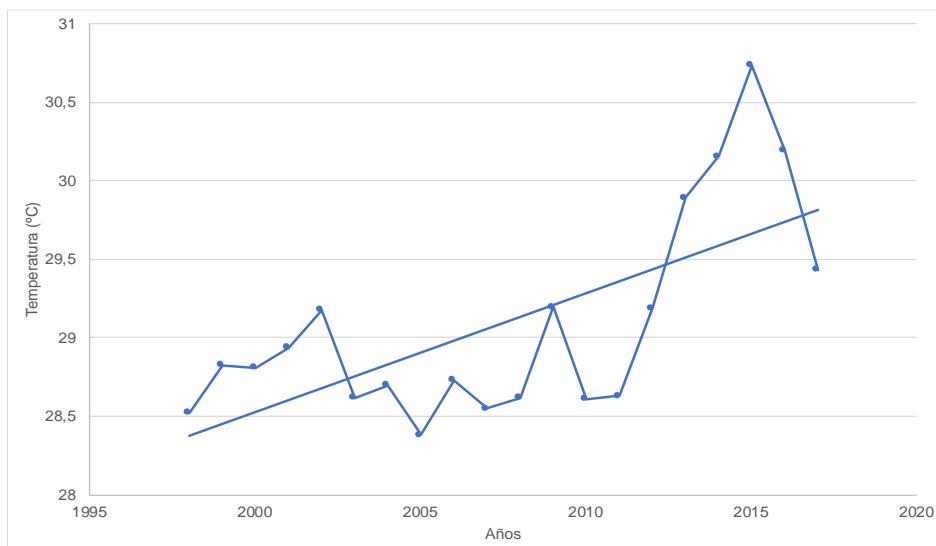


Figura 2.14. Variación interanual de la temperatura máxima media anual en la estación RECOPE La Garita y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txma de la estación RLG, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.4. Temperatura máxima absoluta anual (txAa) por estación

Se elaboró otra serie con los valores de txa a por estación, tomando en cuenta solamente la temperatura máxima absoluta presentada en cada año. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.4. Se observó un valor de la txa a para la estación: SL (33,2°C), AJS (34,5°C), SB (34,0°C), FB (35,6°C) y RLG (35,0°C); con una desviación estándar de 1,0°C para la estación SL y para la estación SB, una desviación estándar de 0,8°C para la estación AJS, una desviación estándar de 1,1°C para la estación FB y una desviación estándar de 0,9°C para estación RLG. La mediana fue de: 29,9°C (SL), 32,8°C (AJS), 32,0°C (SB), 34,0°C (FB) y 33,2°C (RLG). Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 2.4. Estadísticos descriptivos de la temperatura máxima absoluta anual por estación.

Estación	núm. dat.	prom.	max.	min.	med.	mod.	desv.	var	asim.	Curt.
SL	35	30,0	33,2	28,5	29,9	30,5	1,0	1,1	0,9	1,2
AJS	19	32,7	34,5	31,5	32,8	31,5	0,8	0,6	0,5	0,5
SB	13	32,1	34,0	30,6	32,0	32,0	1,0	0,9	0,7	0,3
FB	23	33,9	35,6	31,9	34,0	33,1	1,1	1,3	-0,4	-1,1
RLG	19	33,2	35,0	31,9	33,2	32,3	0,9	0,8	0,6	-0,2

Para determinar si las diferencias encontradas son significativas, se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, a continuación, se muestran cuáles fueron estas diferencias para cada una de las estaciones.

2.3.4.1. *Estación Santa Lucía*

La serie presentó el mayor valor de asimetría, el cual fue marcadamente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda (Figura 2.15.).

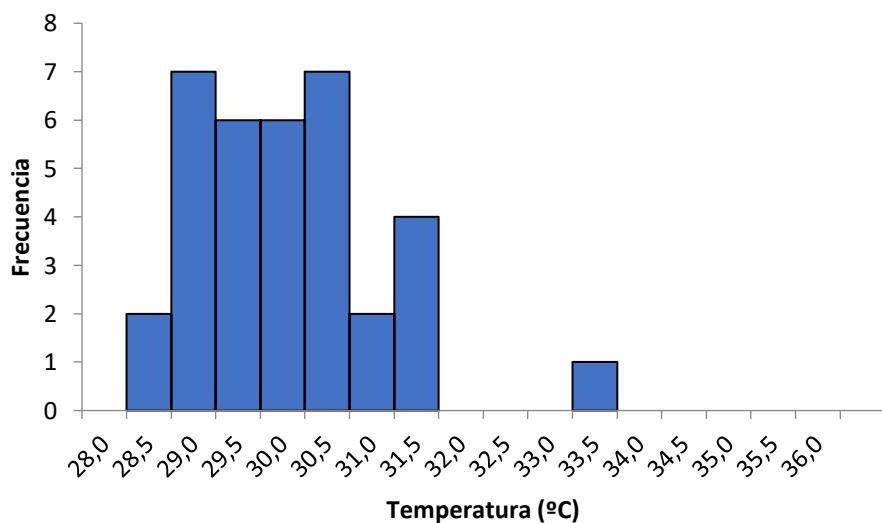


Figura 2.15. Frecuencias de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Santa Lucía.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txAa en la estación SL.

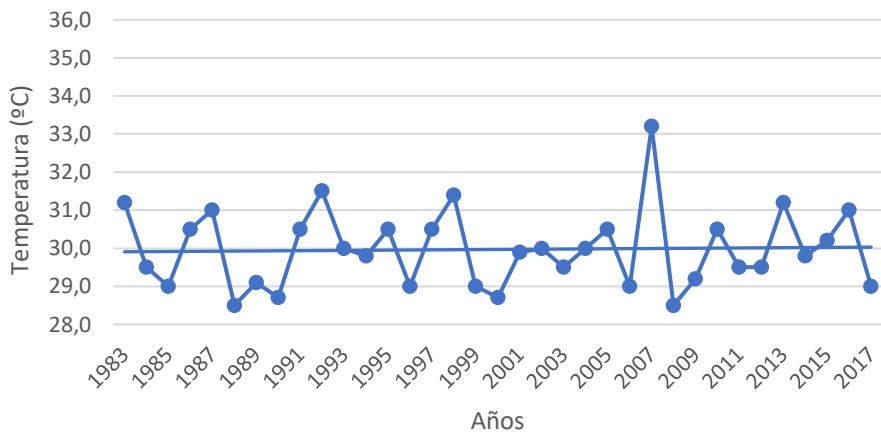


Figura 2.16. Variación interanual de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Santa Lucía y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txAa de la estación SL, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.4.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie presentó asimetría marcadamente sesgada a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica o, lo que es lo mismo, una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.17.).

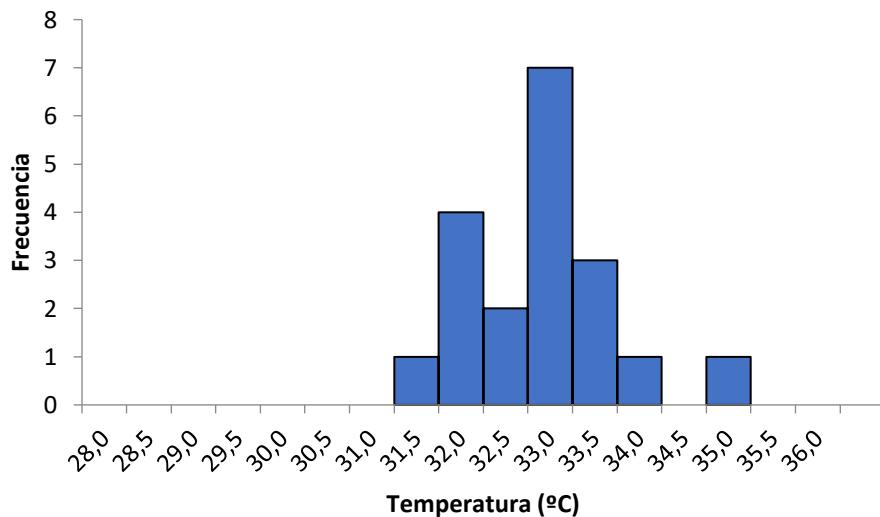


Figura 2.17. Frecuencias de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txAA en la estación AJS.

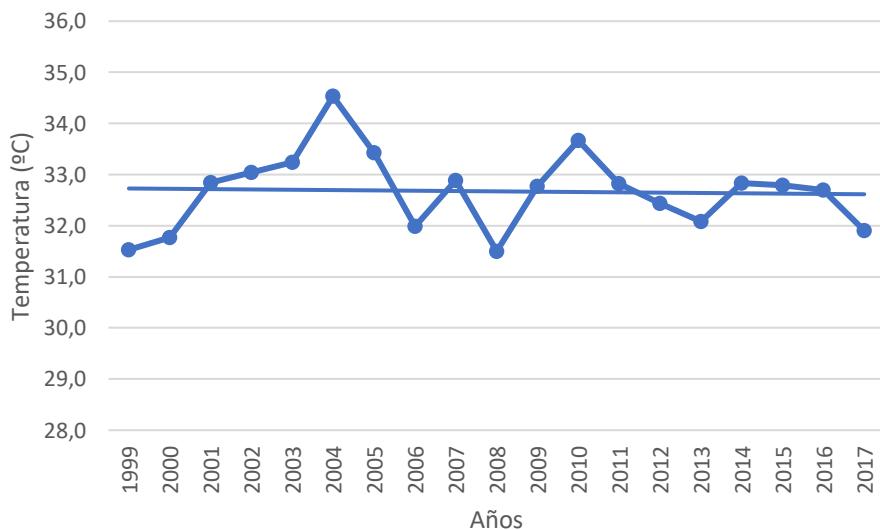


Figura 2.18. Variación interanual de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría y su tendencia lineal.

El ser negativa la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txAA de la estación AJS, tienden a disminuir a medida que han transcurrido los años.

2.3.4.3. Estación Santa Bárbara

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, esto quiere decir una distribución puntiaguda (Figura 2.19.).

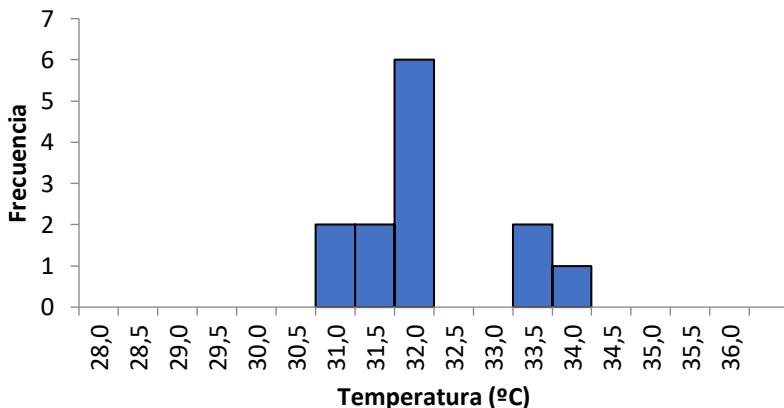


Figura 2.19. Frecuencias de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Santa Bárbara.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txAa en la estación SB.

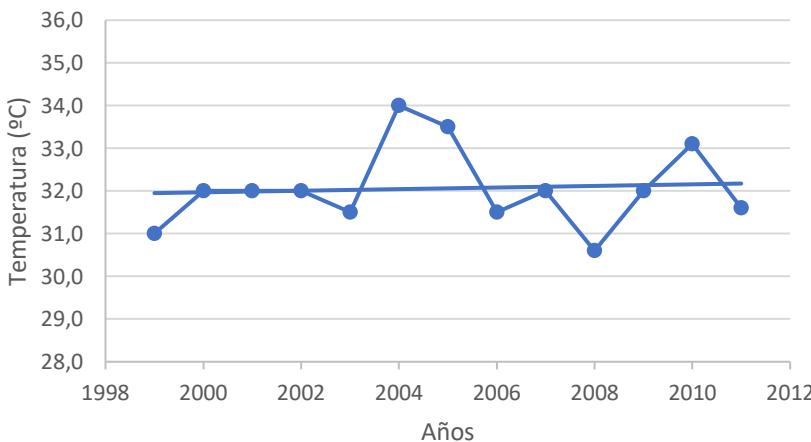


Figura 2.20. Variación interanual de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Santa Bárbara y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txAa de la estación SB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.4.4. Estación Fabio Baudrit

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la izquierda y, además, un valor de curtosis negativo, aproximándose a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 2.21.).

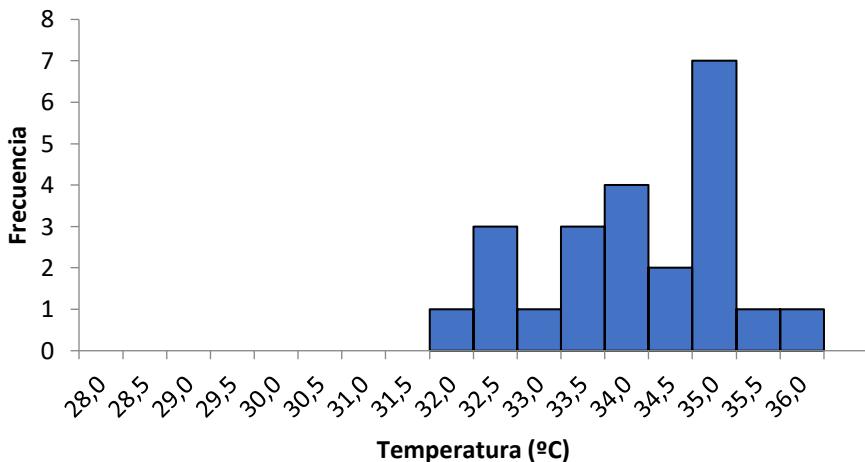


Figura 2.21. Frecuencias de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Fabio Baudrit.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txAa en la estación FB.

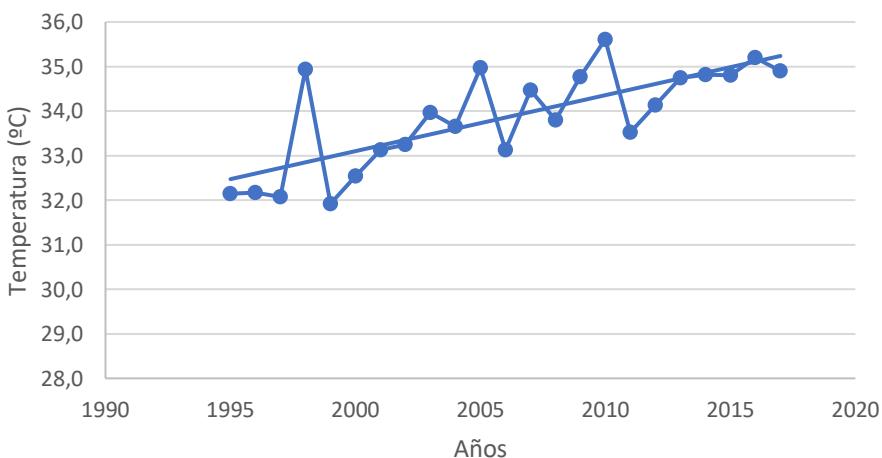


Figura 2.22. Variación interanual de la temperatura máxima absoluta anual en la estación Fabio Baudrit y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txAa de la estación FB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.3.4.5. Estación RECOPE La Garita

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis negativo, aproximándose a una distribución platicúrtica o achatada (Figura 2.23.).

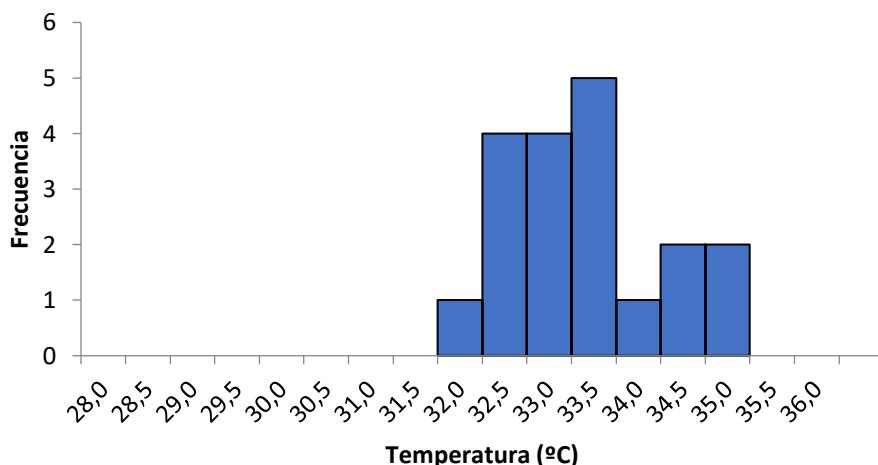


Figura 2.23. Frecuencias de la temperatura máxima absoluta anual en la estación RECOPE La Garita.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las txAa en la estación RLG.

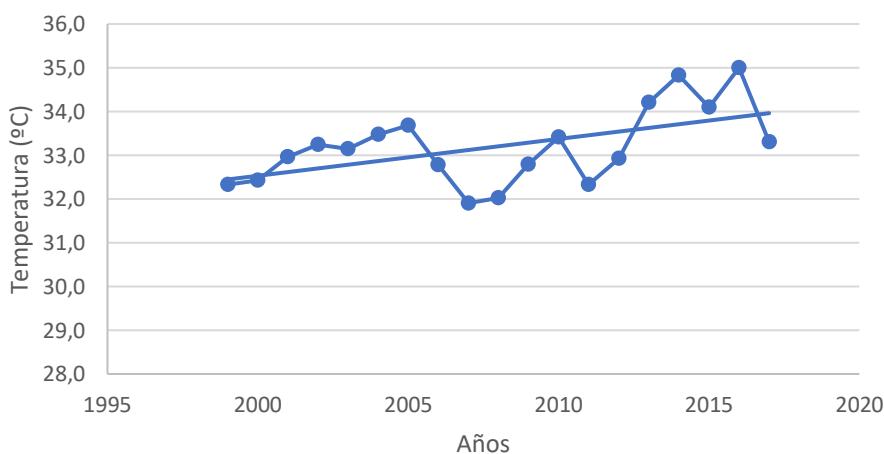


Figura 2.24. Variación interanual de la temperatura máxima absoluta anual en la estación RECOPE La Garita y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las txAa de la estación RLG, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

Por otra parte, teniendo en cuenta que la variable estación en relación con la txAa cumple los supuestos de normalidad y homocedasticidad, aunado al hecho que está compuesta por cinco estaciones y que las diferencias son estadísticamente significativas, se aplicó la prueba de contrastes múltiples a posteriori mediante el método Scheffe para determinar entre cuales estaciones se daban diferencias significativas. Las diferencias encontradas entre la estación SL y AJS ($p<0.001$), entre SL y SB ($p<0.001$), entre SL y FB ($p<0.001$), entre SL y RLG ($p<0.001$), entre AJS y FB ($p=0.006$), entre SB y FB ($p<0.001$), entre SB y RLG ($p=0.039$), fueron estadísticamente significativas.

2.4. Variación interanual de la temperatura mínima

2.4.1. Temperaturas mínimas medias anuales (*tíma*) en la región.

Se calcularon los promedios de las temperaturas mínimas diarias para cada año y se confeccionó una serie de *tíma*, integrando la información de las cinco estaciones de la RCC; los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.5. Se observó un valor promedio de la *tíma* de 17,4°C con una desviación estándar de 2,2°C y una mediana de 17,7°C.

Cuadro 2.5. Estadísticos descriptivos de la temperatura mínima media anual de la Región Central de Costa Rica.

Estadísticos descriptivos	<i>tíma</i>
Número de datos	40607
Promedio	17,4
Máximo	24,2
Fecha del evento mínimo	2015 (RLG)
Fecha del evento máximo	1995 (SL)
Mediana	17,7
Moda	17,0
Desviación estándar	2,2
Varianza	4,8
Coeficiente de asimetría	-0,60
Coeficiente de curtosis	0,45

Esta serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgada a la izquierda y, además, un valor de curtosis positivo lo cual indicó que se aproxima a una distribución leptocúrtica (Figura 2.25.).

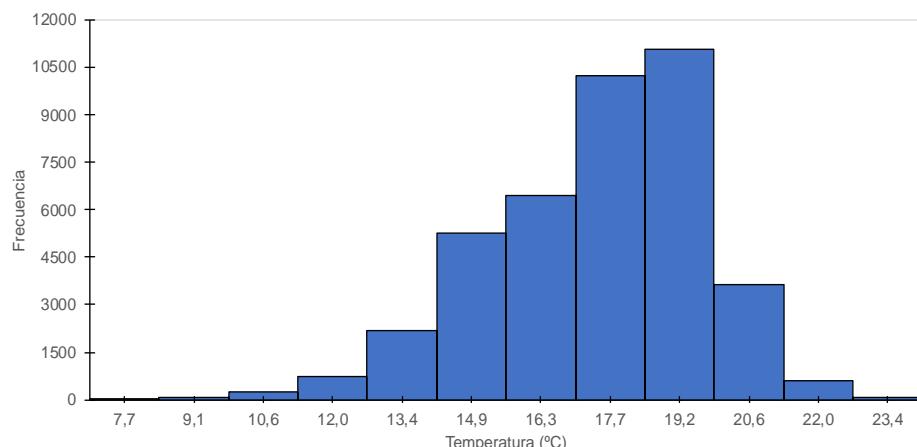


Figura 2.25. Frecuencias de la temperatura mínima media anual en la Región Central de Costa Rica.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1985-2017. También se analizó la tendencia de las t_ima en la Región Central de Costa Rica.

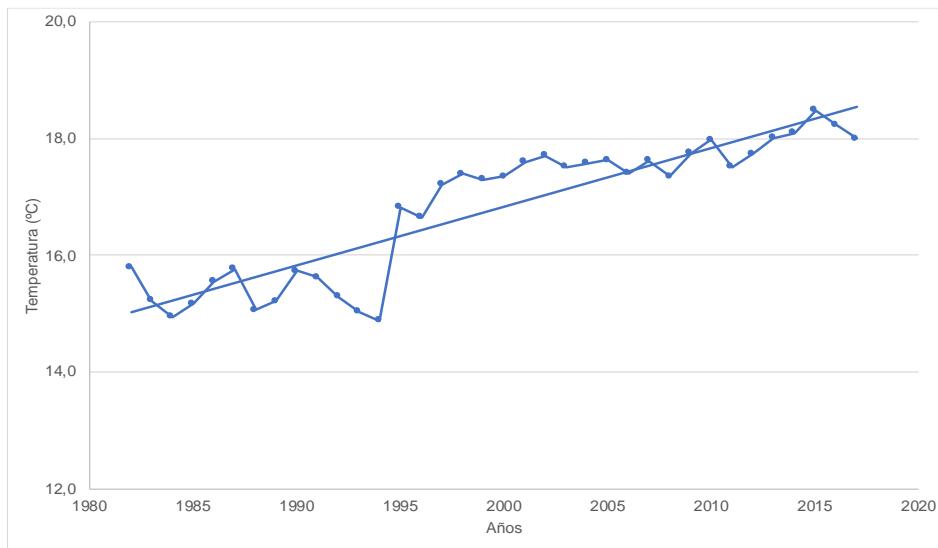


Figura 2.26. Variación interanual de la temperatura mínima media anual en la Región Central de Costa Rica y su tendencia lineal.

Se observó que las t_ima en la RCC han aumentado a medida que han transcurrido los años. Para determinar la significatividad de este comportamiento, se aplicó la prueba correspondiente y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, lo que indicó que desde el inicio de la serie hasta el año 2017, las t_ima han aumentado significativamente.

2.4.2. Temperatura mínima absoluta anual (t_iAa) en la región.

Por separado, se elaboró otra serie con los valores de t_iAa para cada año completo. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.6. La serie presentó un valor promedio de 9,2°C, con una mediana de 9,0°C y una desviación estándar de 1,1°C. El valor mínimo (7,0°C) se registró en febrero de 1995 en la estación Santa Lucía; en contraste, el valor máximo (11,2°C) se registró en febrero y abril de 2013 igualmente en Santa Lucía.

Cuadro 2.6. Estadísticos descriptivos de la temperatura mínima absoluta anual de la Región Central de Costa Rica.

Estadísticos descriptivos	tiAa
Número de datos	35
Promedio	9,2
Máximo	11,2
Fecha del evento mínimo	2013 (SL)
Fecha del evento	1995 (SL)
Mediana	9,0
Moda	9,0
Desviación estándar	1,1
Varianza	1,2
Coeficiente de asimetría	-0,04
Coeficiente de curtosis	-0,62

Esta serie mostró un valor de asimetría ligeramente sesgado a la izquierda y, además, un valor de curtosis negativo lo que se aproxima a una distribución platicúrtica (Figura 2.27.).

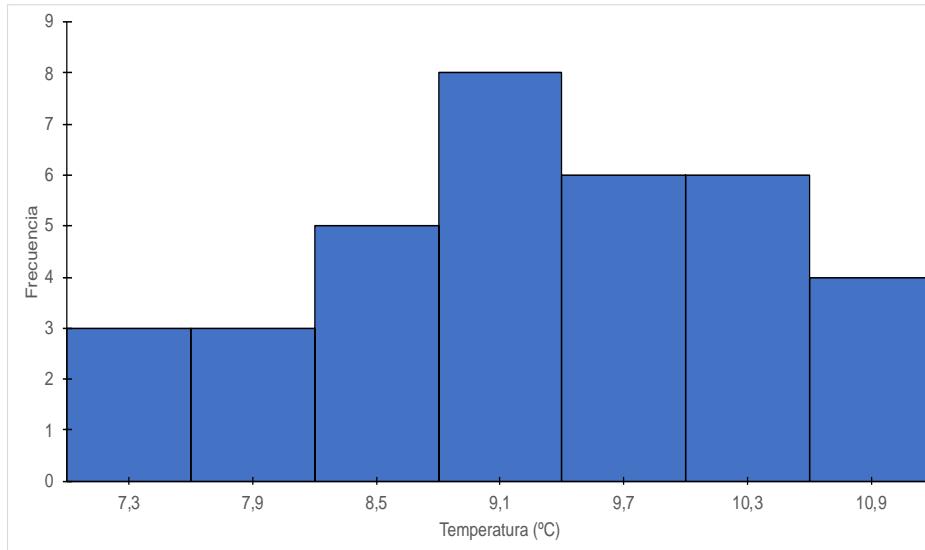


Figura 2.27. Frecuencias de la temperatura mínima absoluta anual.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tiAa en la Región Central de Costa Rica.

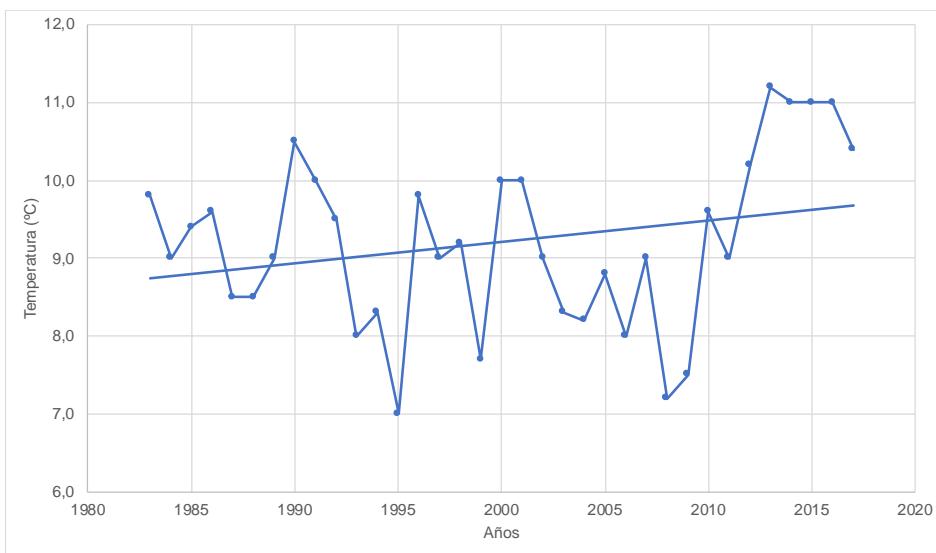


Figura 2.28. Variación interanual de la temperatura mínima absoluta anual en la Región Central de Costa Rica y su tendencia lineal.

Se observó que las tiAa presentaron una tendencia positiva. Para determinar la significatividad de este comportamiento, se aplicó la prueba estadística respectiva y se determinó que dicho comportamiento sí es significativo $p<0.001$, así, las tiAa han aumentado significativamente desde 1983 hasta 2017.

2.4.3. Temperaturas mínimas medias anuales (tima) por estación.

Se calcularon los promedios de las tima para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de tima para cada una de las estaciones en estudio. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.7. Se observó un valor promedio de la tima para la estación: SL (15,4°C), AJS (18,6°C), SB (16,4°C), FB (18,7°C) y RLG (19,0°C); con una desviación estándar de 1,8°C para la estación SL, 1,3°C para AJS, 1,7°C para SB; 1,2°C para la estación FB y 1,4°C para la estación RLG. La mediana fue de: 15,5°C (SL), 18,7°C (AJS), 16,5°C (SB), 18,7°C (FB) y 19,0°C (RLG). Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 2.7. Estadísticos descriptivos de la temperatura mínima media anual por estación.

Estación	núm. dat.	prom.	max.	min.	med.	mod.	desv.	var	asim.	Curt.
SL	13059	15,4	21,8	7,0	15,5	15,0	1,8	3,3	-0,6	1,2
AJS	7001	18,6	23,2	11,8	18,7	18,3	1,3	1,7	-0,2	0,4
SB	5175	16,4	21,5	9,0	16,5	17,0	1,7	2,9	-0,5	0,6
FB	8401	18,7	23,2	12,1	18,7	18,5	1,2	1,4	-0,2	0,7
RLG	6971	19,0	24,2	12,7	19,0	19,4	1,4	2,0	-0,1	0,6

Para determinar si las diferencias encontradas son significativas, se aplicó aplicado la prueba estadística respectiva y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<0.001$, a continuación, se muestran cuáles fueron estas diferencias para cada una de las estaciones.

2.4.3.1. Estación Santa Lucía

La serie estudiada de la estación SL presentó el mayor valor de asimetría, el cual fue marcadamente sesgado a la izquierda y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda (Figura 2.29.).

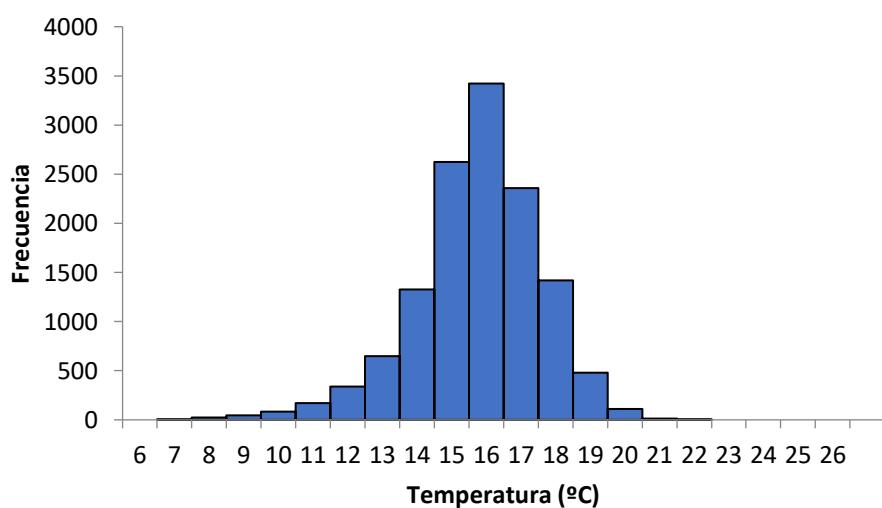


Figura 2.29. Frecuencias de la temperatura mínima media anual en la estación Santa Lucía

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las t^íma en la estación SL.

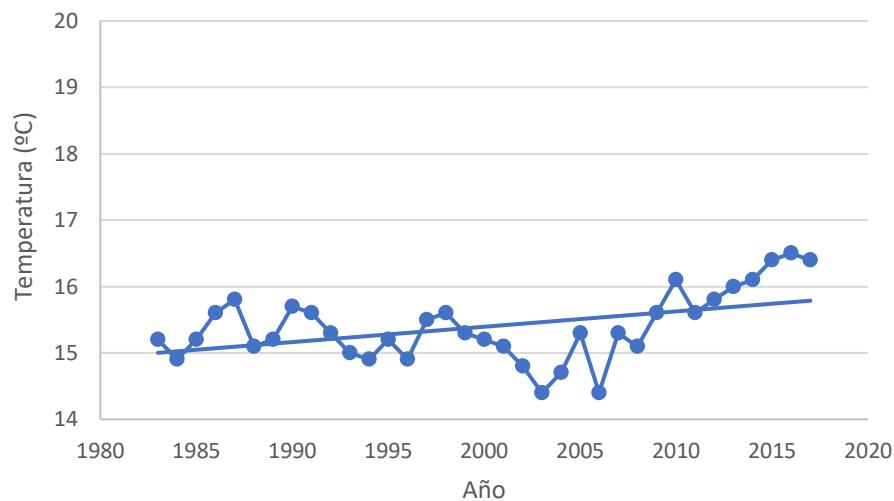


Figura 2.30. Variación interanual de la temperatura mínima media anual en la estación Santa Lucía y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las t^íma de la estación SL, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.4.3.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie de la estación AJS presentó asimetría moderadamente sesgada a la izquierda y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.31.).

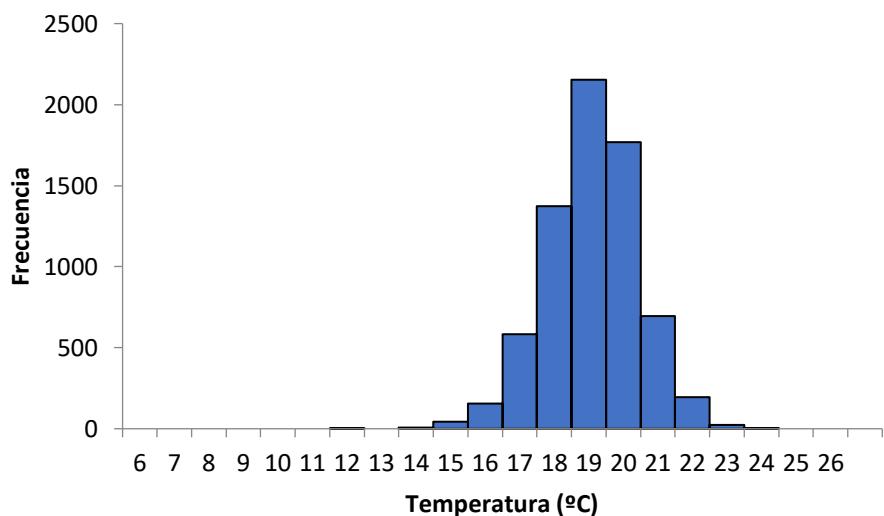


Figura 2.31. Frecuencias de la temperatura mínima media anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de t_íma en la estación AJS.

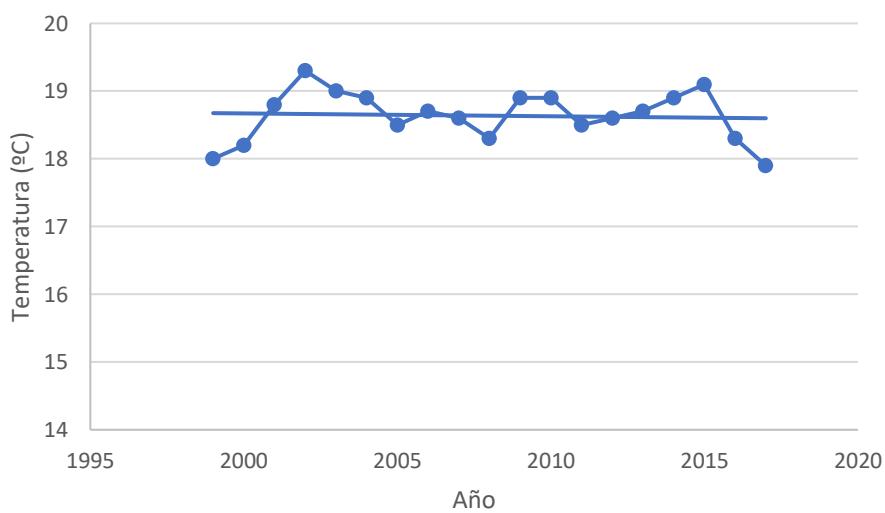


Figura 2.32. Variación interanual de la temperatura mínima media anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría y su tendencia lineal.

El ser negativa la pendiente de la línea de tendencia, indica que las t_íma de la estación AJS, tienden a disminuir a medida que han transcurrido los años.

2.4.3.3. Estación Santa Bárbara

La serie estudiada presentó un valor de asimetría marcadamente sesgada a la izquierda y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.33.).

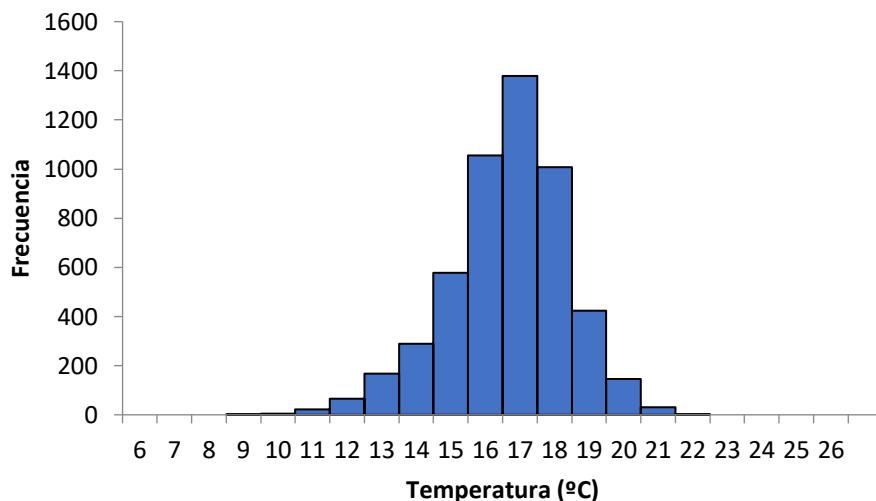


Figura 2.33. Frecuencias de la temperatura mínima media anual en la estación Santa Bárbara.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de t_{ma} en la estación SB.

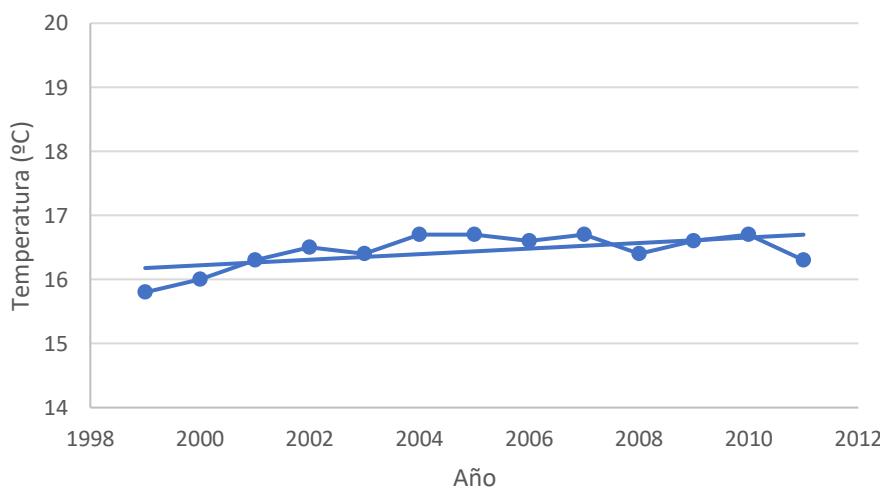


Figura 2.34. Variación interanual de la temperatura mínima media anual en la estación Santa Bárbara y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las t^íma de la estación SB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.4.3.4. Estación Fabio Baudrit

La serie estudiada presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la izquierda y, además un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.35).

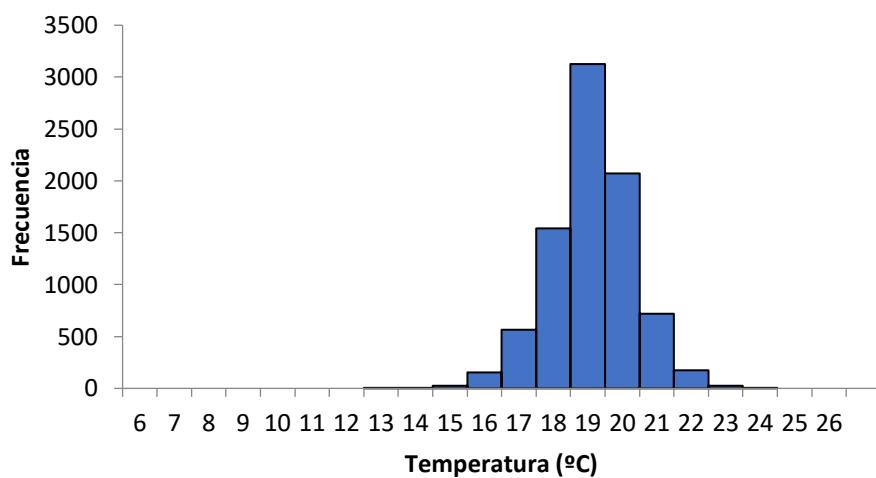


Figura 2.35. Frecuencias de la temperatura mínima media anual en la estación Fabio Baudrit.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las t^íma en la estación FB.

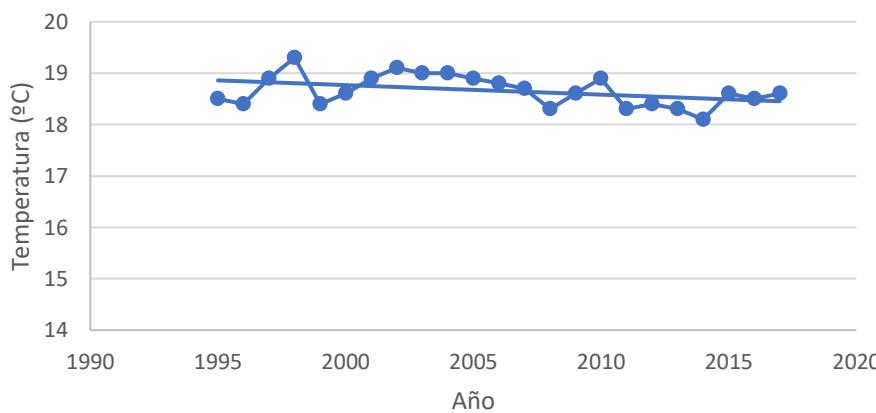


Figura 2.36. Variación interanual de la temperatura mínima media anual en la estación Fabio Baudrit y su tendencia lineal

El ser negativa la pendiente de la línea de tendencia, indica que las t^íma de la estación FB, tienden a disminuir a medida que han transcurrido los años.

2.4.3.5. Estación RECOPE La Garita

La serie estudiada presentó un valor de asimetría ligeramente sesgado a la izquierda; además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.37.).

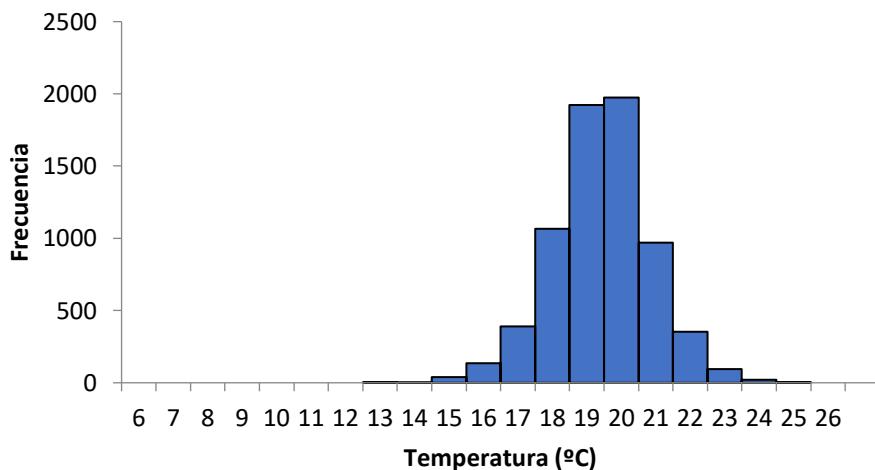


Figura 2.37. Frecuencias de la temperatura mínima media anual en la estación RECOPE La Garita.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las t^íma en la estación RLG.

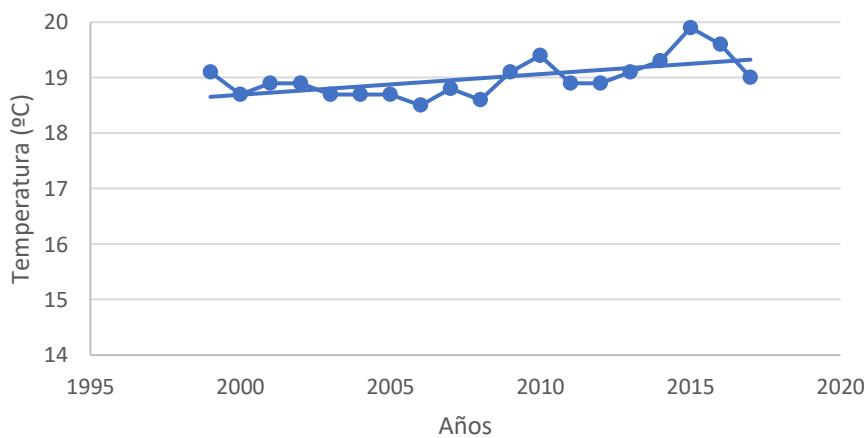


Figura 2.38. Variación interanual de la temperatura mínima media anual en la estación RECOPE La Garita y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las *tíma* de la estación RLG, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

Teniendo en cuenta que la variable estación en relación con la *tíma* cumple los supuestos de normalidad y homocedasticidad, aunado al hecho que está compuesta por cinco estaciones y que las diferencias son estadísticamente significativas, se aplicó los contrastes múltiples a posteriori mediante el método Scheffe para determinar entre cuales estaciones se daban diferencias significativas.

Las diferencias encontradas entre la estación SL y AJS ($p<0.001$), entre SL y SB ($p<0.001$), entre SL y FB ($p<0.001$), entre SL y RLG ($p<0.001$), entre AJS y SB ($p<0.001$), entre AJS y RLG ($p<0.001$), entre SB y FB ($p<0.001$), entre SB y RLG ($p<0.001$), entre FB y RLG ($p<0.001$).

2.4.4. Temperatura mínima absoluta anual (*tiAa*) por estación.

Se calcularon los promedios de las *tiAa* para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de *tiAa* para cada una de las estaciones en estudio. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.8. Se observó un valor promedio de la *tiAa* para la estación: SL (15,4°C), AJS (18,6°C), SB (16,4°C), FB (18,7°C) y RLG (19,0°C); con una desviación estándar de 1,8°C para la estación SL, una de 1,3°C para AJS, una de 1,7°C para SB, una de 1,2°C para FB y una de 1,4°C para la estación RLG. La mediana fue de: 15,5°C (SL), 18,7°C (AJS), 16,5°C (SB), 18,7°C (FB) y 19,0°C (RLG). Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 2.8. Estadísticos descriptivos de la temperatura mínima absoluta anual por estación.

Estación	núm. dat.	prom.	max.	min.	med.	mod.	desv.	var	asim.	Curt.
SL	35	15,4	21,8	7,0	15,5	15,0	1,8	3,3	-0,04	-0,6
AJS	19	18,6	23,2	11,8	18,7	18,3	1,3	1,7	-0,96	2,0
SB	13	16,4	21,5	9,0	16,5	17,0	1,7	2,9	1,1	2,3
FB	23	18,7	23,2	12,1	18,7	18,5	1,2	1,4	-1,1	3,1
RLG	19	19,0	24,2	12,7	19,0	19,4	1,4	2,0	0,3	2,4

Para determinar si las diferencias encontradas son significativas, se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, a continuación, se muestra cuáles fueron estas diferencias para cada una de las estaciones.

2.4.4.1. Estación Santa Lucía

La serie estudiada presentó un valor de asimetría ligeramente sesgado a la izquierda y muy próximo a cero, lo que indicó que la distribución es prácticamente simétrica, es decir, existe aproximadamente la misma cantidad de valores a los dos lados de la media. En relación con el valor de curtosis, este fue negativo, aproximándose a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achataada con baja concentración de datos entorno a la media (Figura 2.39).

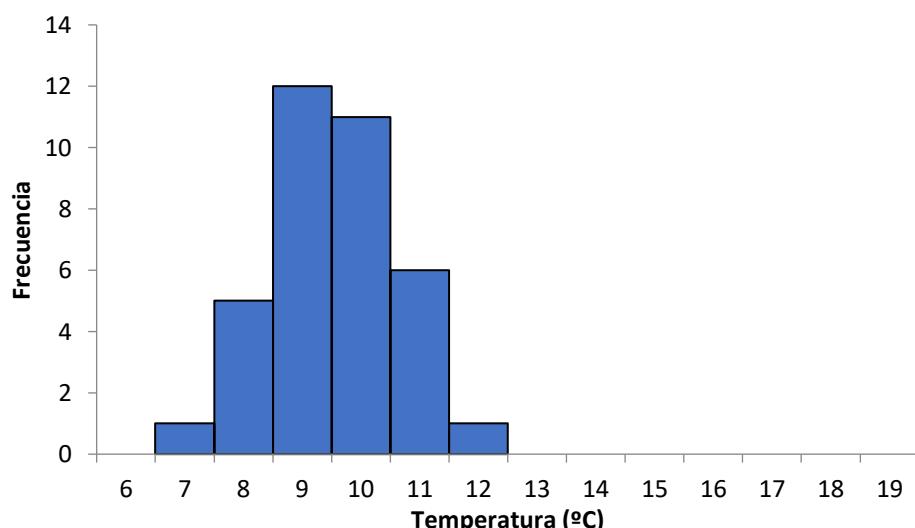


Figura 2.39. Frecuencias de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Santa Lucía.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tAA en la estación SL.

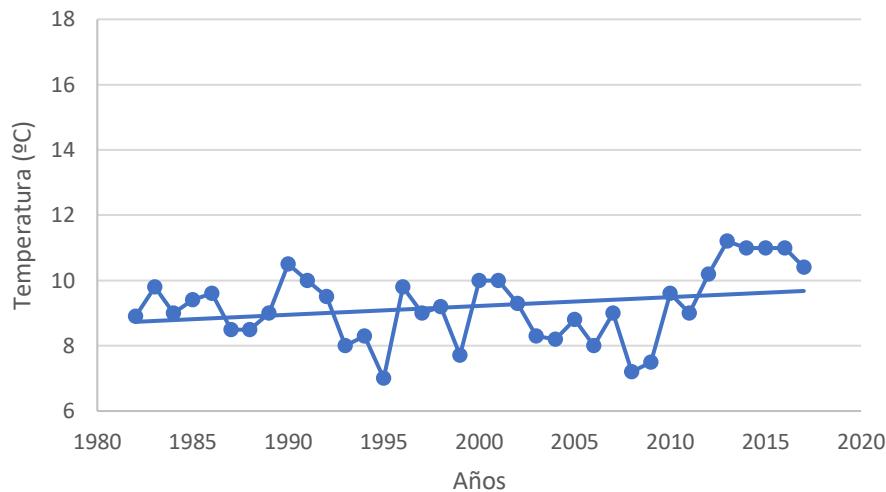


Figura 2.40. Variación interanual de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Santa Lucía y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tiAa de la estación SL, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.4.4.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie estudiada presentó un valor de asimetría marcadamente sesgada a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.41).

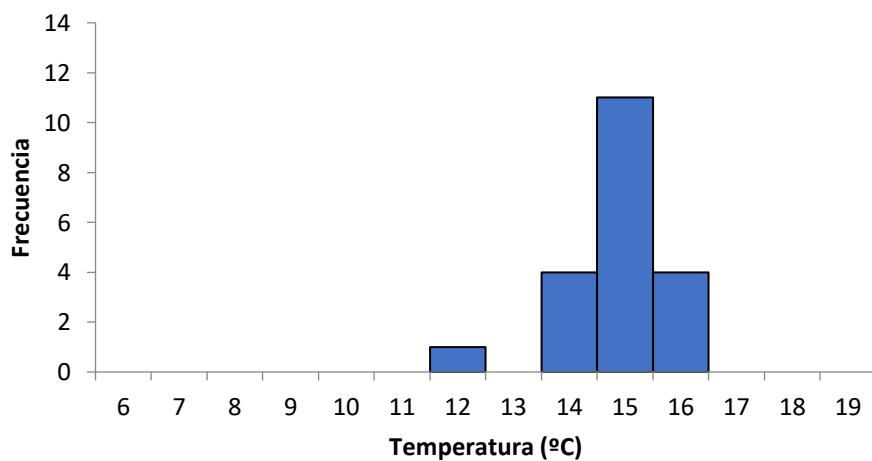


Figura 2.41. Frecuencias de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tiAa en la estación AJS.

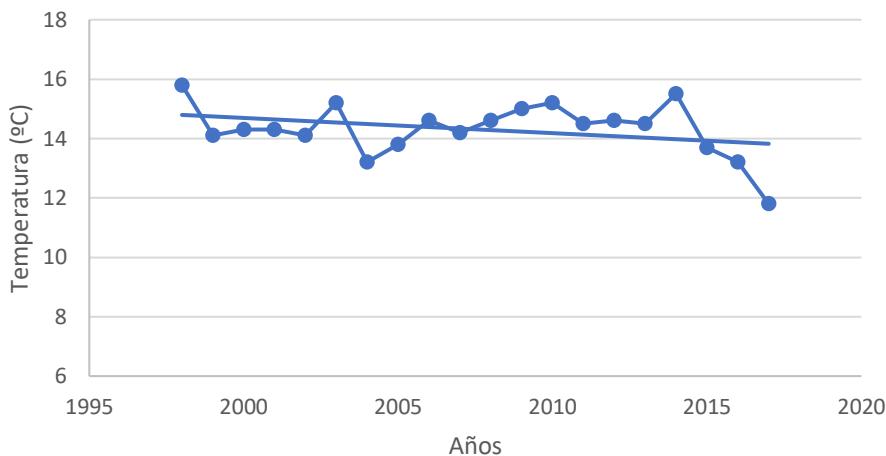


Figura 2.42. Variación interanual de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría y su tendencia lineal.

El ser negativa la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tiAa de la estación AJS, tienden a disminuir a medida que han transcurrido los años.

2.4.4.3. Estación Santa Bárbara

La serie estudiada presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.43).

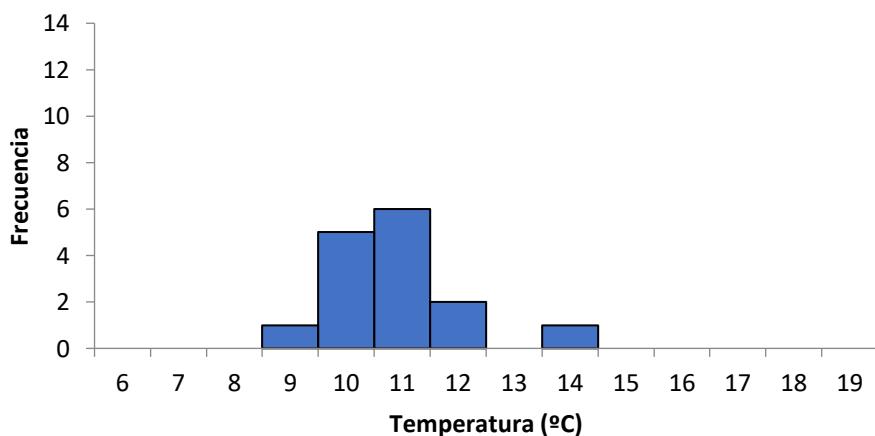


Figura 2.43. Frecuencias de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Santa Bárbara.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las t_iAa en la estación SB.

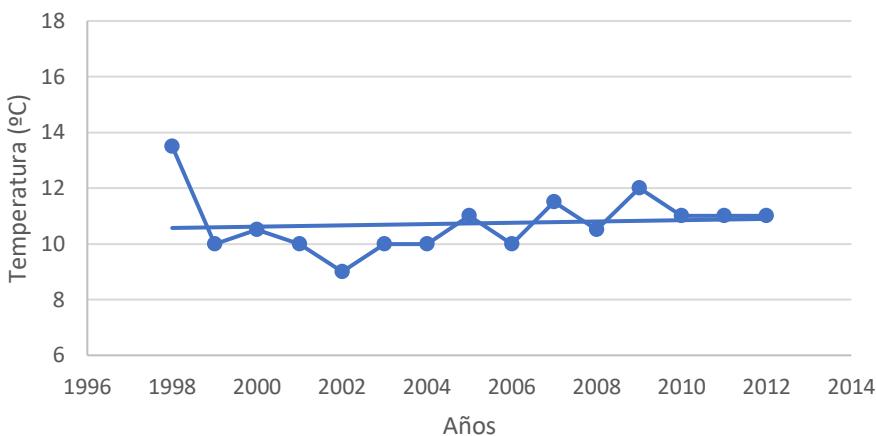


Figura 2.44. Variación interanual de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Santa Bárbara y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las t_iAa de la estación SB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.4.4.4. Estación Fabio Baudrit

La serie estudiada presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la izquierda y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.45).

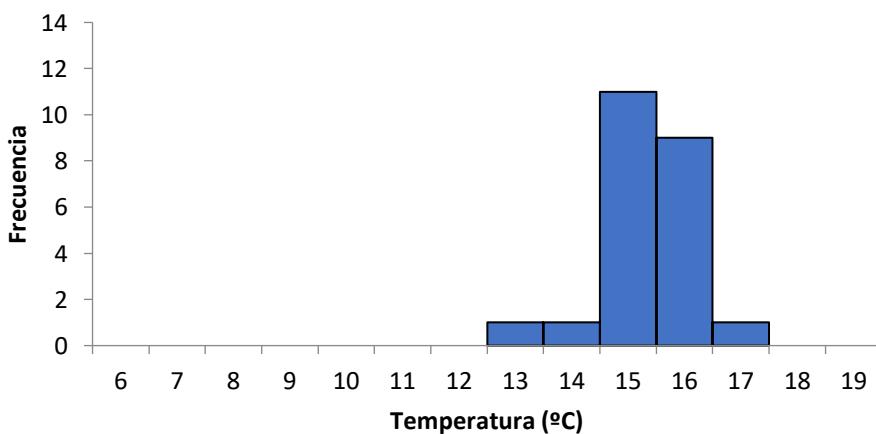


Figura 2.45. Frecuencias de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Fabio Baudrit.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tiAa en la estación FB.

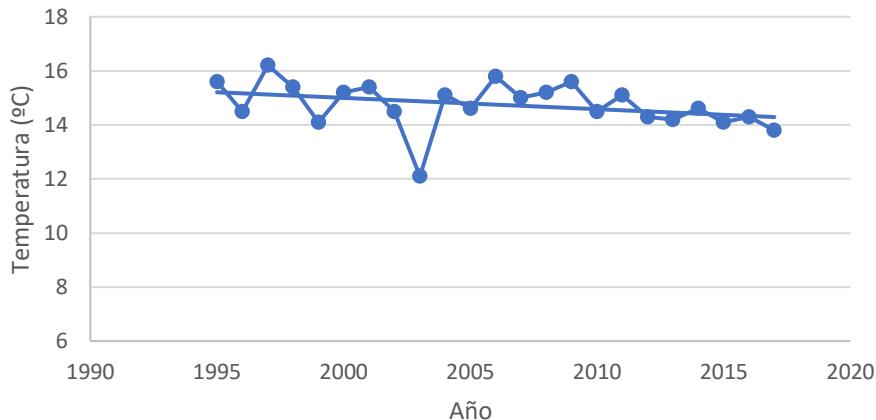


Figura 2.46. Variación interanual de la temperatura mínima absoluta anual en la estación Fabio Baudrit y su tendencia lineal.

El ser negativa la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tiAa de la estación FB, tienden a disminuir a medida que han transcurrido los años.

2.4.4.5. Estación RECOPE La Garita

La serie estudiada presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.47).

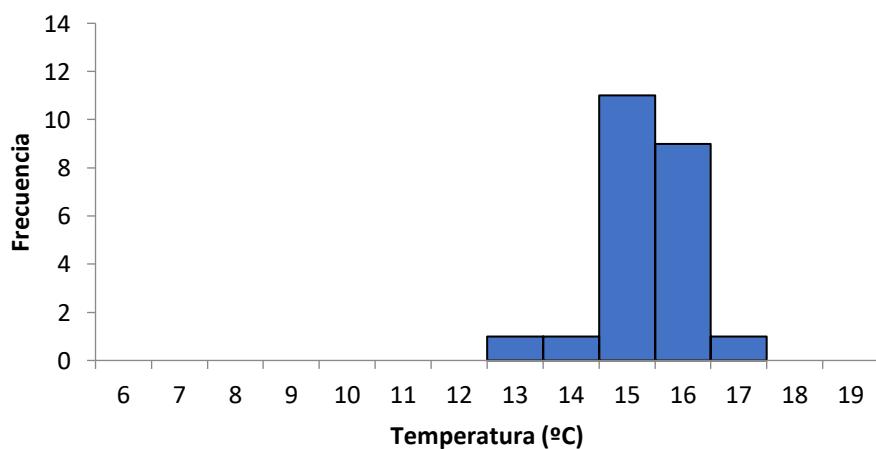


Figura 2.47 Frecuencias de la temperatura mínima absoluta anual en la estación RECOPE La Garita.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las t_iAa en la estación RLG.

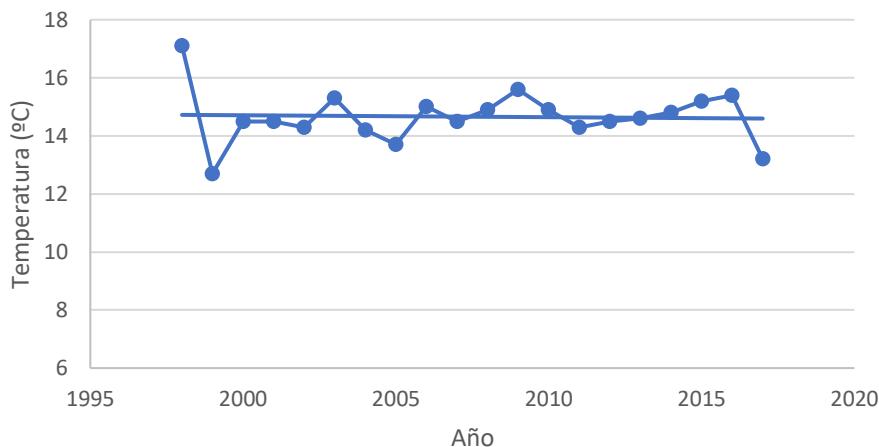


Figura 2.48. Variación interanual de la temperatura mínima absoluta anual en la estación RECOPE La Garita y su tendencia lineal.

El ser negativa la pendiente de la línea de tendencia, indica que las t_iAa de la estación RLG, tienden a disminuir a medida que han transcurrido los años.

2.5. VARIACIÓN INTERANUAL DE LA TEMPERATURA MEDIA

2.5.1. Temperaturas medias anuales (tma) en la región.

Se calcularon los promedios de las temperaturas medias diarias para cada año y se confeccionó una serie de tma, integrando la información de las cinco estaciones de la RCC; los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.9. Se observó un valor promedio de la tma de 21,6°C con una desviación estándar de 1,8°C y una mediana de 21,7°C.

Cuadro 2.9. Estadísticos descriptivos de la temperatura media anual de la Región Central de Costa Rica.

Estadísticos descriptivos	tma
Número de datos	40607
Promedio	21,6
Máximo	27,5
Fecha del evento	2015 (RLG)
mínimo	14,3
Fecha del evento	1989 (SL)
Mediana	21,7
Moda	22,5
Desviación estándar	1,8
Varianza	3,1
Coeficiente de asimetría	-0,06
Coeficiente de curtosis	-0,51

Esta serie presentó un valor de asimetría ligeramente sesgado a la izquierda y cercano a cero y, además, un valor de curtosis negativo, lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución ligeramente achatada con baja concentración de datos entorno a la media (Figura 2.49).

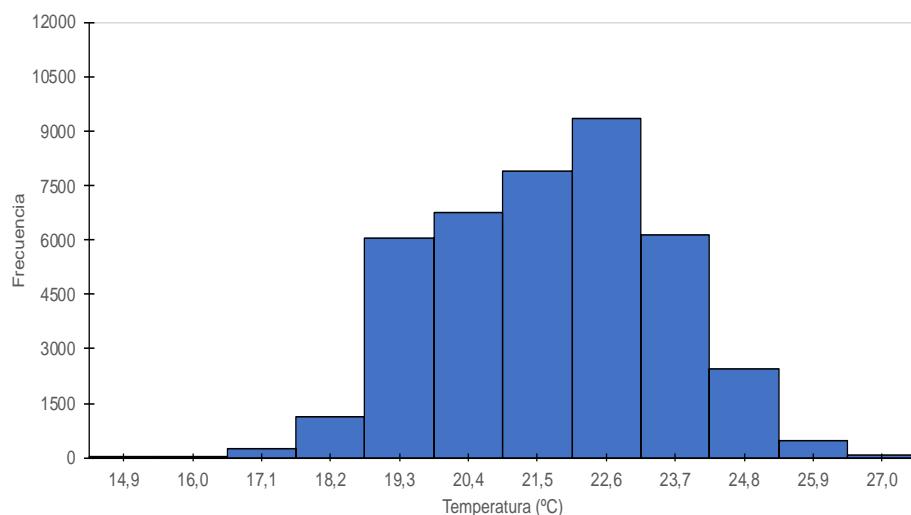


Figura 2. 49. Frecuencias de la temperatura media anual en la Región Central de Costa Rica.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tma en la RCC.

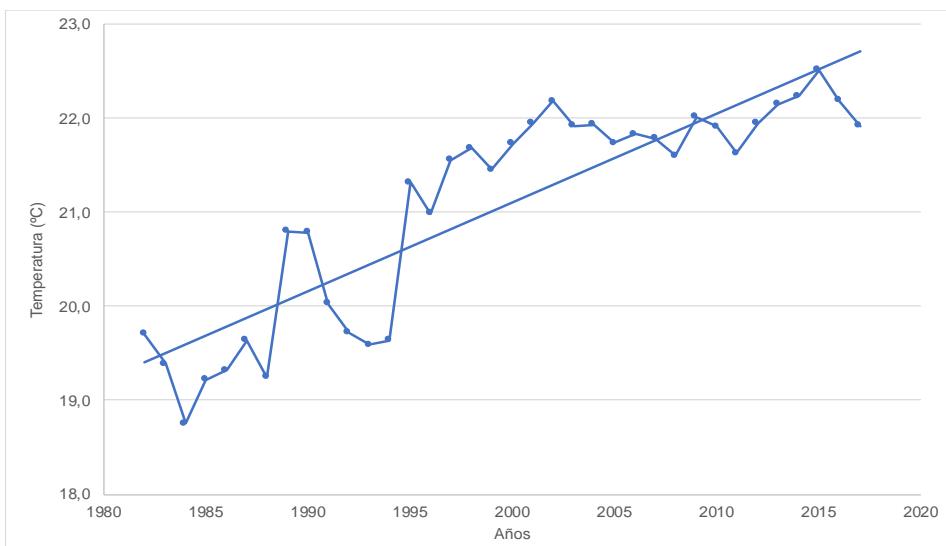


Figura 2.50. Variación interanual de la temperatura media anual en la Región Central de Costa Rica y su tendencia lineal.

Se observó que las *tma* han aumentado a medida que han transcurrido los años. Para determinar la significatividad de este comportamiento, se aplicó la prueba estadística correspondiente y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, lo que indicó que desde el inicio de la serie hasta el año 2017, las *tma* han ido aumentando significativamente.

2.5.2. Temperaturas medias anuales (*tma*) por estación.

Se calcularon los promedios de las *tma* para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de *tma* para cada una de las estaciones en estudio. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 2.10. Se observó un valor promedio de la *tma* para la estación: SL (19,8°C), AJS (22,4°C), SB (21,2°C), FB (22,8°C) y RLG (23,2°C); con una desviación estándar de 1,0°C para la estación SL, 1,1°C para AJS, 1,1°C para SB; 1,1°C para la estación FB y 1,2°C para la estación RLG. La mediana fue de: 19,7°C (SL), 22,4°C (AJS), 21,1°C (SB), 22,7°C (FB) y 23,1°C (RLG).

Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 2.10. Estadísticos descriptivos de la temperatura media anual por estación.

Estación	núm. dat.	prom.	max.	min.	med.	mod.	desv.	var	asim.	Curt.
SL	13059	19,8	27,3	14,3	19,7	19,3	1,0	1,1	0,1	2,0
AJS	7001	22,4	26,1	17,9	22,4	22,5	1,1	1,2	0,1	-0,03
SB	5175	21,2	25,1	17,0	21,1	21,1	1,1	1,3	0,2	0,4
FB	8401	22,8	26,9	18,4	22,7	22,1	1,1	1,2	0,2	-0,1
RLG	6971	23,2	27,5	18,4	23,1	22,4	1,2	1,4	0,3	2,0

Para determinar si las diferencias encontradas son significativas, se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, a continuación, se muestra cuáles fueron estas diferencias para cada una de las estaciones.

2.5.2.1 Estación Santa Lucía

La serie estudiada presentó un valor de asimetría ligeramente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda (Figura 2.51.).

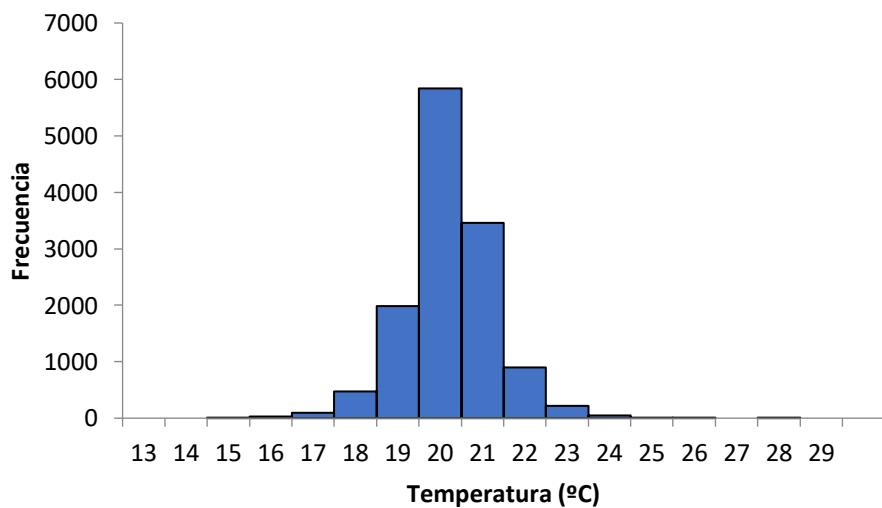


Figura 2.51. Frecuencias de la temperatura media anual en la estación Santa Lucía

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tma en la estación SL.

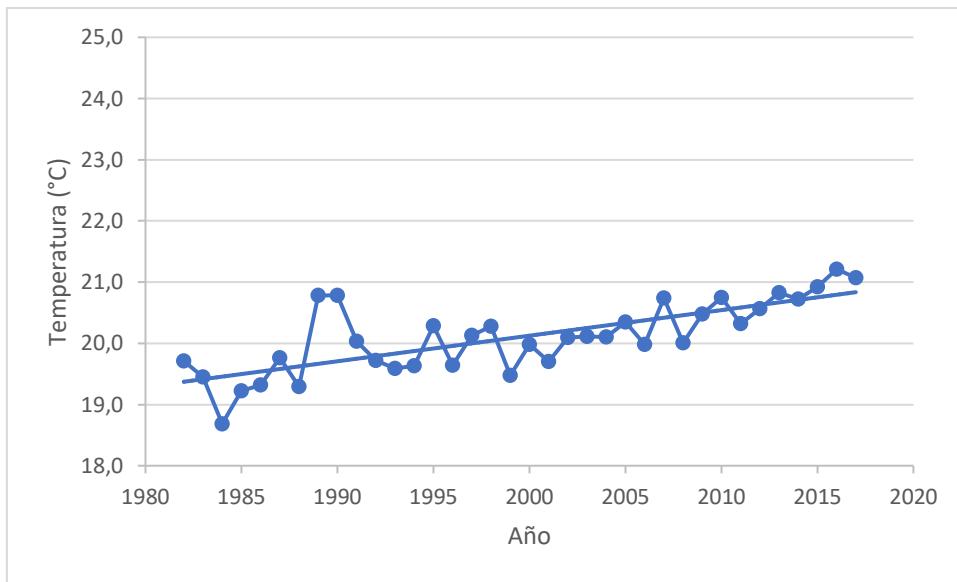


Figura 2.52. Variación interanual de la temperatura media anual en la estación Santa Lucía y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tma de la estación SL, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.5.2.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie estudiada presentó asimetría ligeramente sesgada a la derecha y, además, un valor de curtosis negativo, aproximándose a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada con baja concentración de datos entorno a la media (Figura 2.53.).

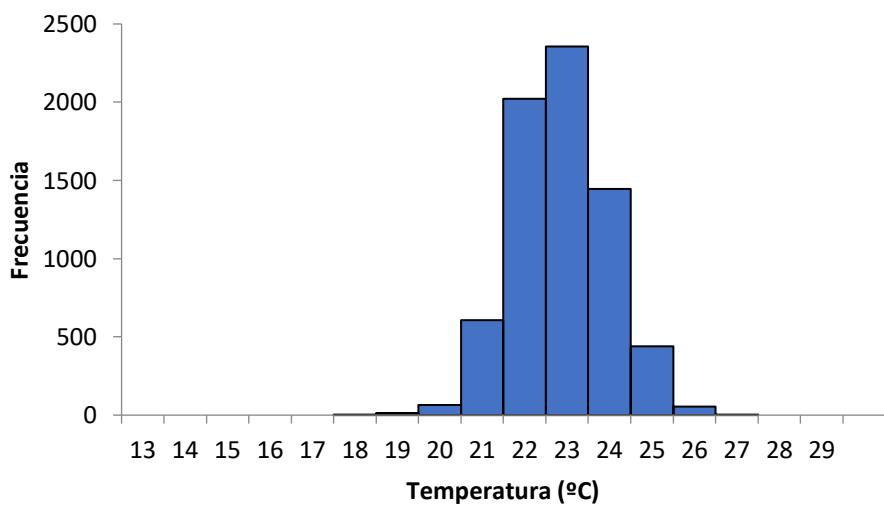


Figura 2.53. Frecuencias de la temperatura media anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tma en la estación AJS.

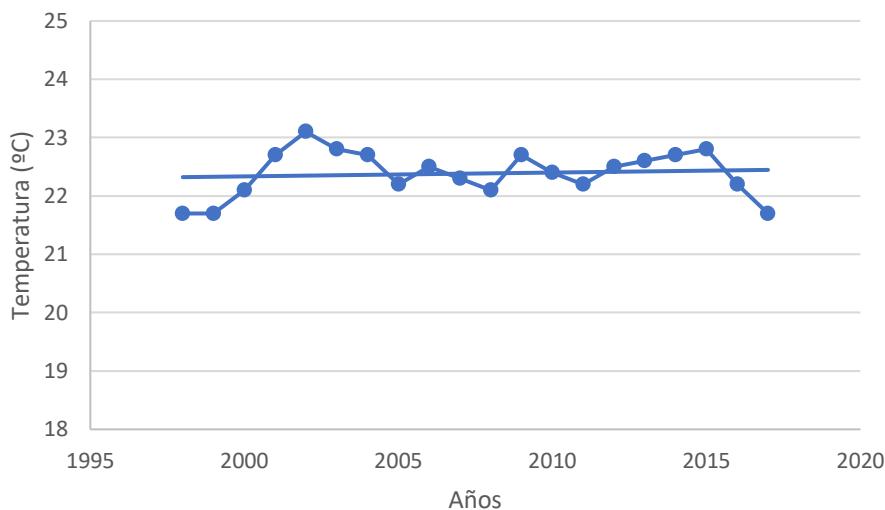


Figura 2.54. Variación interanual de la temperatura media anual en la estación Aeropuerto Juan Santamaría y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tma de la estación AJS, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.5.2.3. Estación Santa Bárbara

La serie estudiada presentó un valor de asimetría moderadamente sesgada a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.55.).

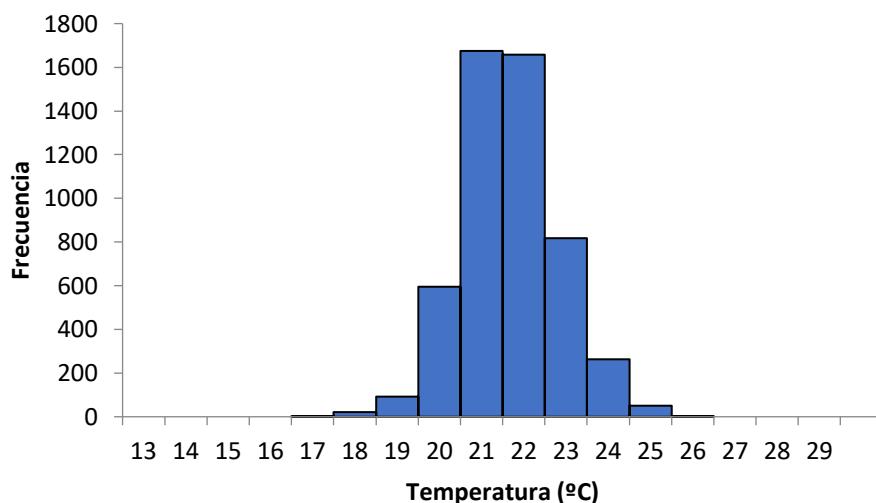


Figura 2.55. Frecuencias de la temperatura media anual en la estación Santa Bárbara.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tma en la estación SB.

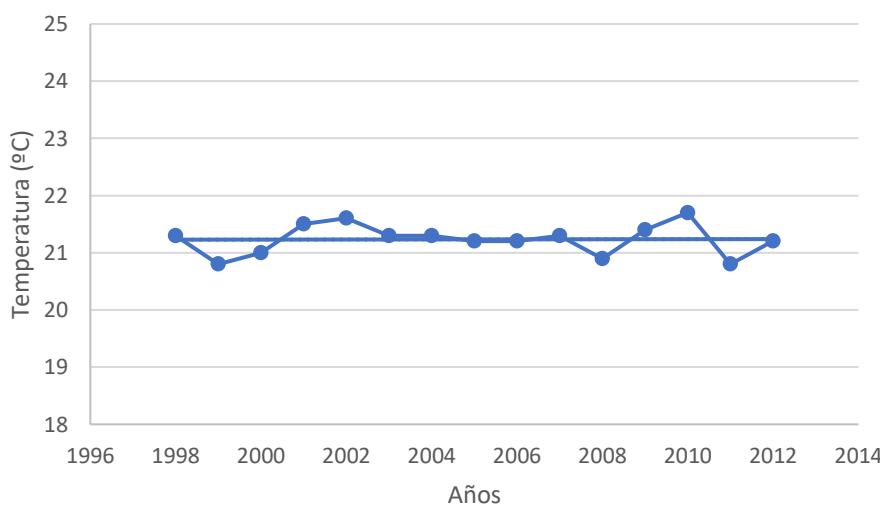


Figura 2.56. Variación interanual de la temperatura mínima media anual en la estación Santa Bárbara y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tma de la estación SB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.5.2.4. Estación Fabio Baudrit

La serie estudiada presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis negativo, aproximándose a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 2.57.).

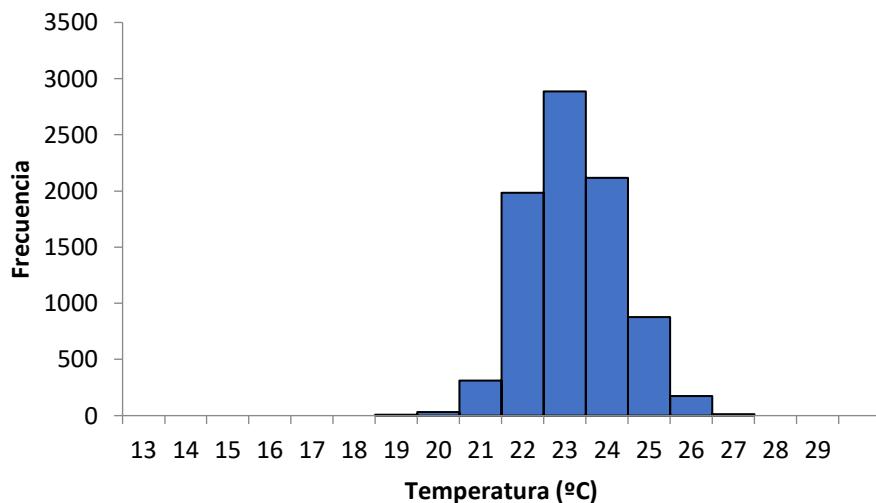


Figura 2.57. Frecuencias de la temperatura media anual en la estación Fabio Baudrit.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de *tma* en la estación FB.

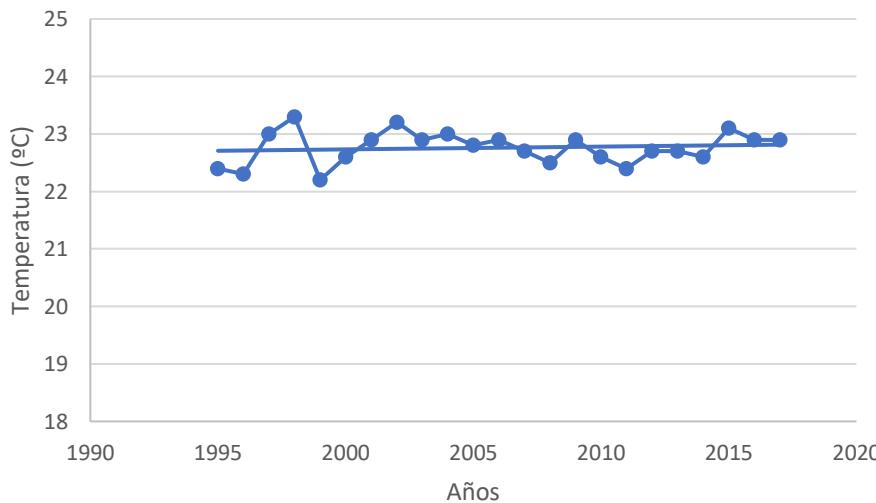


Figura 2.58. Variación interanual de la temperatura media anual en la estación Fabio Baudrit y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tma de la estación FB, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.5.2.5. Estación RECOPE La Garita

La serie estudiada presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la derecha y, además, un valor de curtosis positivo, aproximándose a una distribución leptocúrtica, es decir una distribución puntiaguda con mayor concentración de datos entorno a la media (Figura 2.59.).

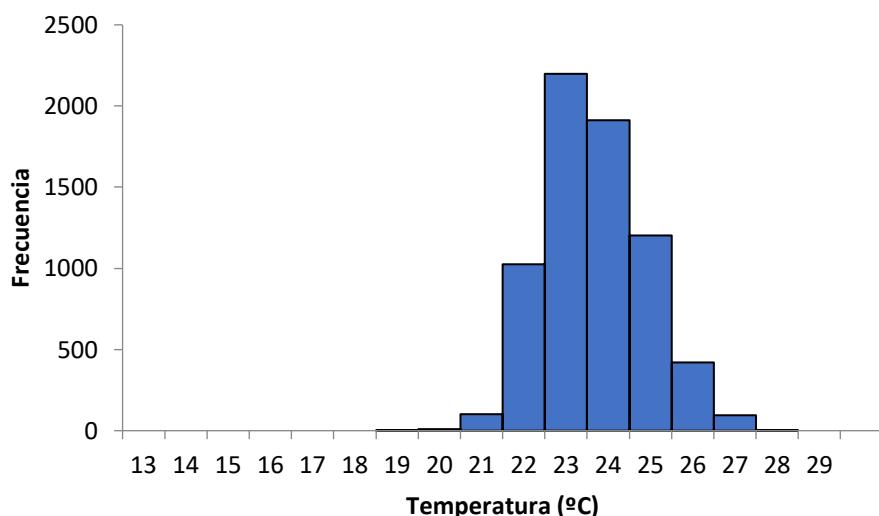


Figura 2.59. Frecuencias de la temperatura media anual en la estación RECOPE La Garita.

Se determinó la variación anual de la temperatura del aire para el periodo 1983-2017. También se analizó la tendencia de las tma en la estación FB.

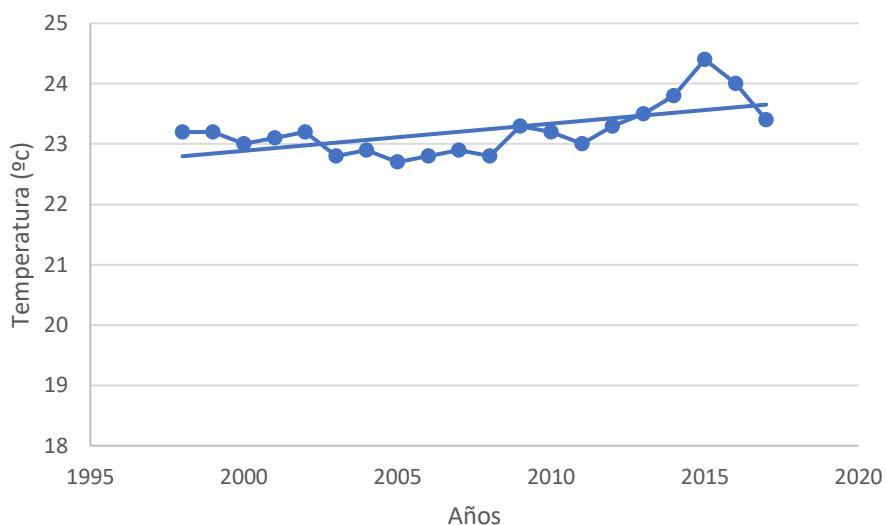


Figura 2.60. Variación interanual de la temperatura media anual en la estación RECOPE La Garita y su tendencia lineal.

El ser positiva la pendiente de la línea de tendencia, indica que las tma de la estación RLG, tienden a aumentar a medida que han transcurrido los años.

2.6. Amplitud térmica anual y climadiagramas por estación

Las características de la temperatura del aire, la radiación solar, la humedad del aire, la presión atmosférica, la precipitación y el viento, determinan el tipo de clima de una región. Estas medidas se pueden representar, de forma individual, mediante mapas; así mismo, existen gráficos estadísticos para mostrar el comportamiento mensual de los elementos durante un periodo. A partir de estas representaciones, se ejecuta el análisis de los datos cuantitativos.

Para los datos climáticos, se realizó un climadiagrama, también conocido como diagrama ombrotérmico o climograma. Son gráficos de doble entrada en los que se representan los valores promedios mensuales de temperatura y precipitación; permiten determinar los periodos secos, húmedos y muy húmedos (perhúmedos) de una zona o región.

Periodos secos o áridos

Se refiere a los meses cuyo valor de precipitación queda por debajo de la curva de temperatura. Los períodos secos son tiempos en que las lluvias disminuyen hasta el punto de que se registran al menos 30 días sin precipitaciones. Esa disminución es parte del comportamiento normal y característico del clima para una región.

Periodo húmedo

Este periodo corresponde al tiempo en el que los valores de precipitación sobrepasan la curva de los valores de la temperatura.

Periodo muy húmedo

Este periodo también es conocido como perhúmedo, y se refiere al tiempo en que la precipitación supera los 100mm.

2.6.1. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación SL

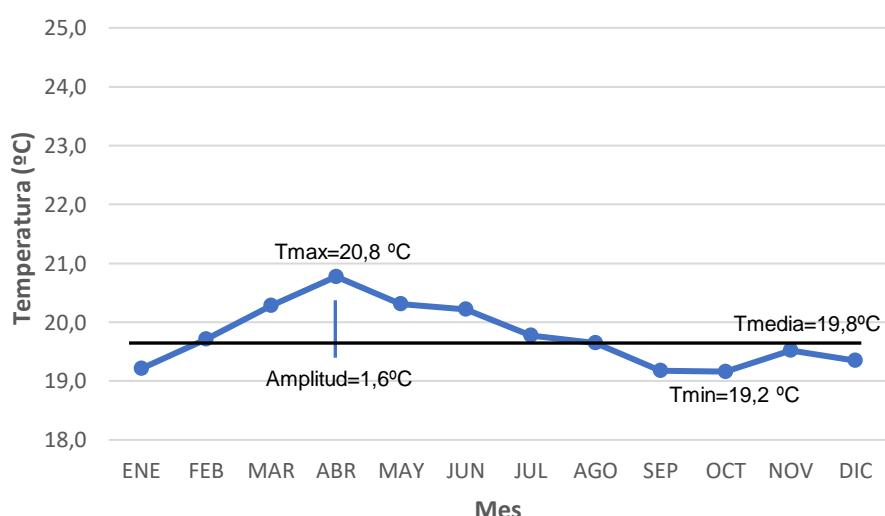


Figura 2.61. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación Santa Lucía.

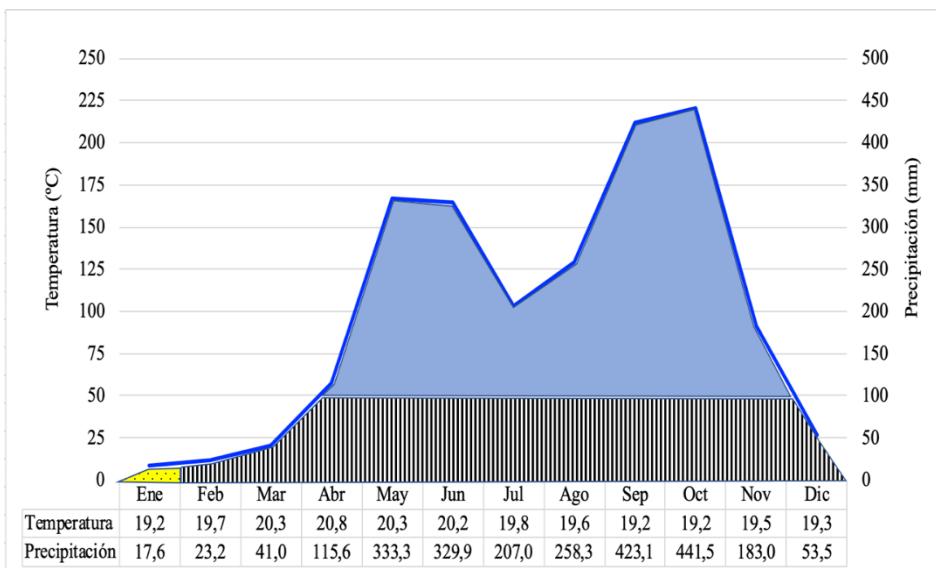


Figura 2.62. Climadiagrama de la estación Santa Lucía.

En la estación SL, el periodo seco corresponde al mes de enero (Figura 2.62.). Mientras que el periodo húmedo, se extiende casi todo el año, desde febrero hasta diciembre. Así mismo, el periodo perhúmedo abarca ocho meses del año, desde abril hasta noviembre.

2.6.2. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación AJS

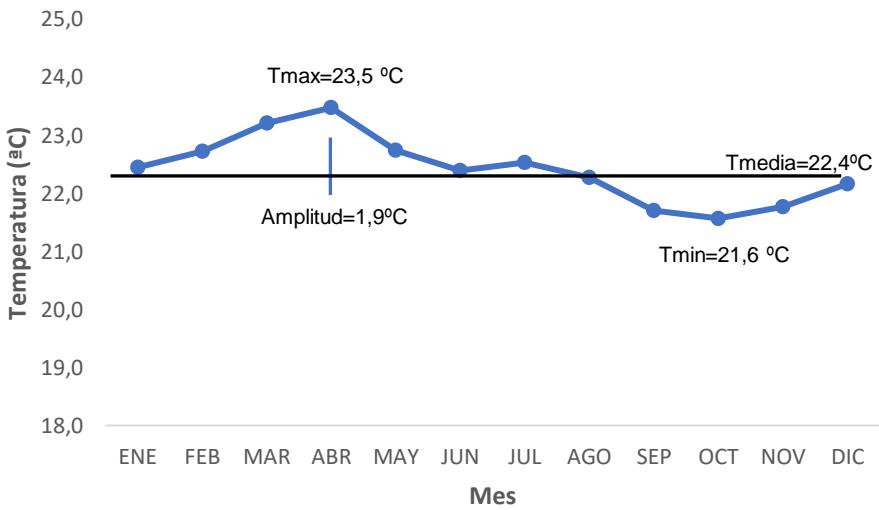


Figura 2.63. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

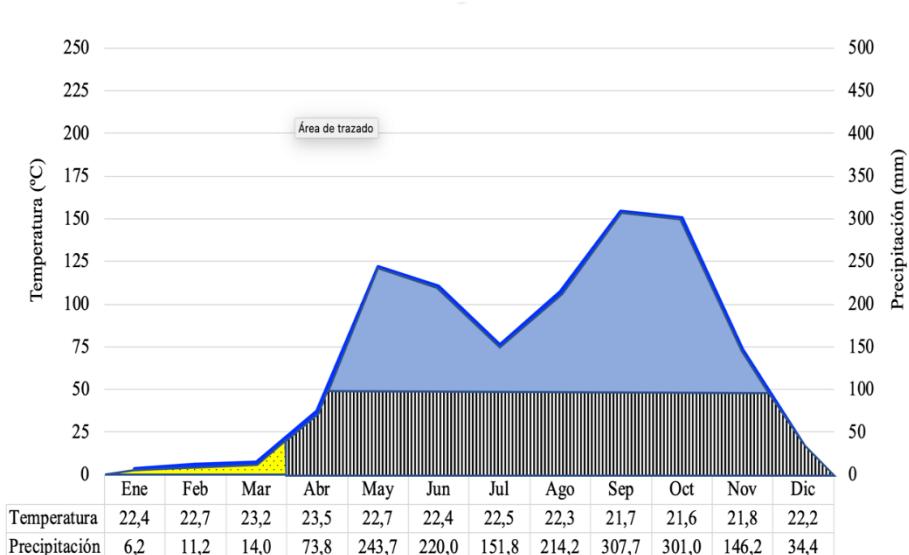


Figura 2.64. Climadiagrama de la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

En la estación AJS, el periodo seco comprende los meses de enero hasta marzo (Figura 2.64.). Mientras que el periodo húmedo se extiende desde abril hasta diciembre. Así mismo, el periodo perhúmedo abarca desde abril hasta noviembre.

2.6.3. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación SB

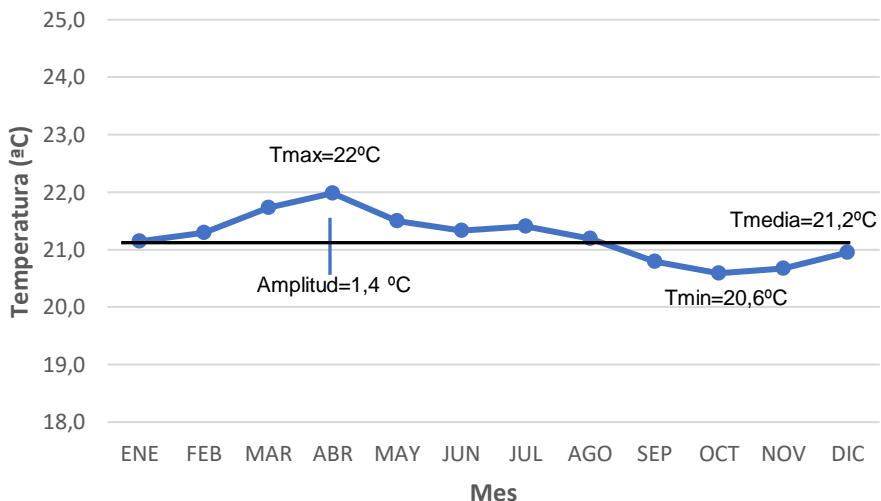


Figura 2.65. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación Santa Bárbara.

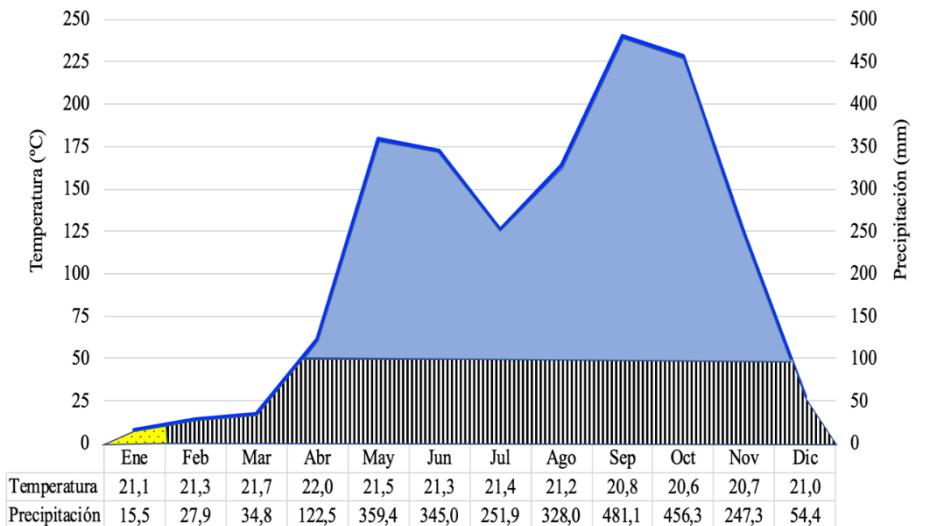


Figura 2.66. Climadiagrama de la estación Santa Bárbara.

En la estación SB, el periodo seco corresponde al mes de enero (Figura 2.66.). Mientras que el periodo húmedo, se extiende casi todo el año, desde febrero hasta diciembre. Así mismo, el periodo perhúmedo abarca ocho meses del año, desde abril hasta noviembre.

2.6.4. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación FB

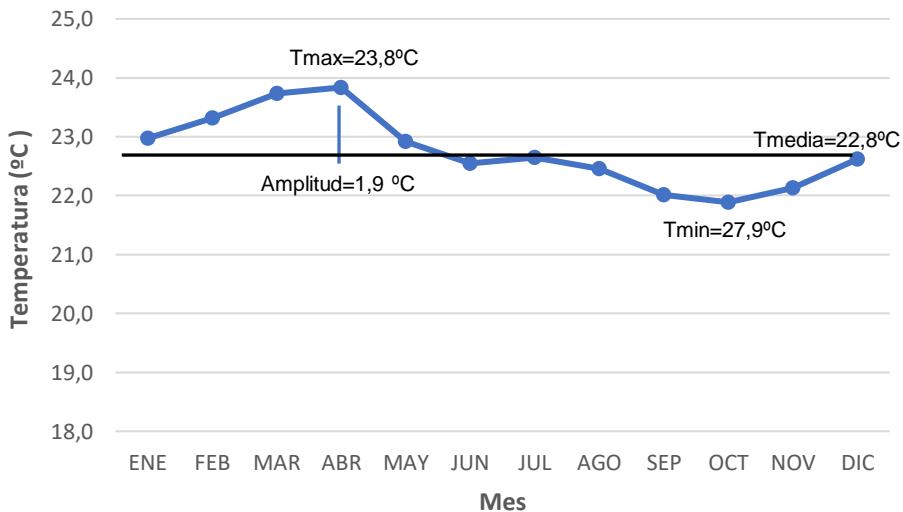


Figura 2.67. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación Fabio Baudrit.

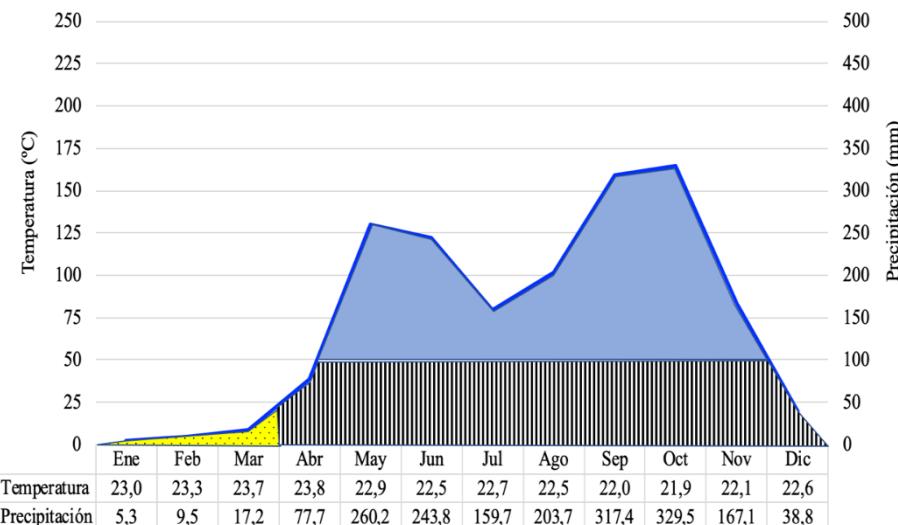


Figura 2.68. Climadiagrama de la estación Fabio Baudrit.

En la estación FB, el periodo seco comprende los meses de enero hasta marzo (Figura 2.68.). Mientras que el periodo húmedo se extiende desde abril hasta diciembre. Así mismo, el periodo perhúmedo abarca desde abril hasta noviembre.

2.6.5. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación RLG

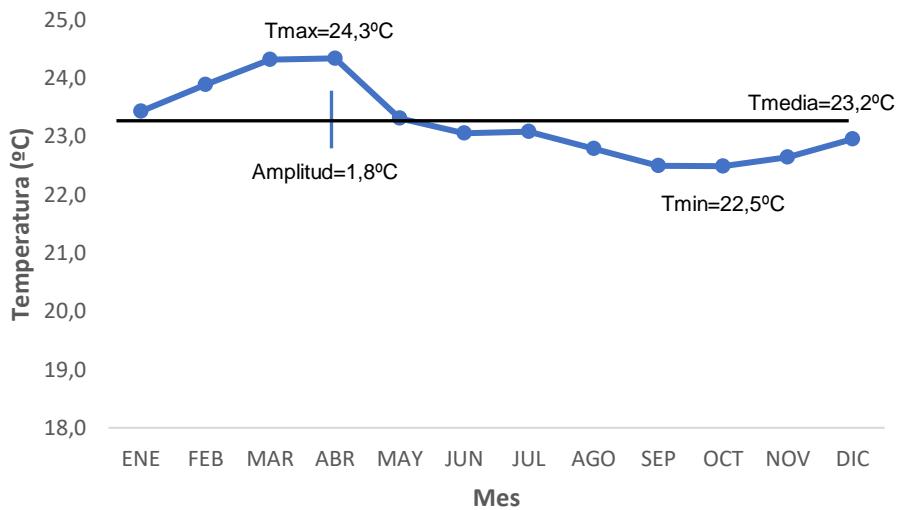


Figura 2.69. Caracterización climática de la temperatura del aire en la estación RECOPE La Garita.

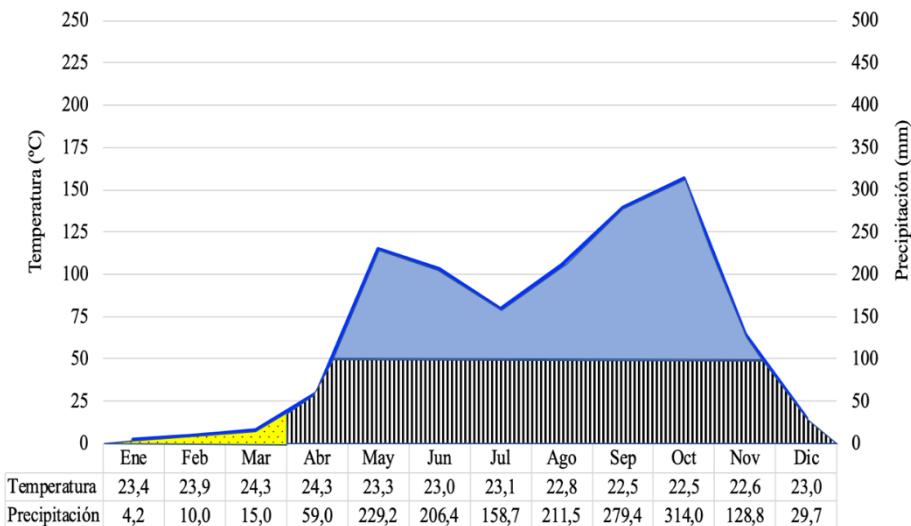


Figura 2.70. Climadiagrama de la estación RECOPE La Garita.

En la estación RLG, el periodo seco comprende los meses de enero hasta marzo (Figura 2.70.). Mientras que el periodo húmedo se extiende desde abril hasta diciembre. Así mismo, el periodo perhúmedo abarca desde mayo hasta noviembre.

2.7. Conclusiones Capítulo 2

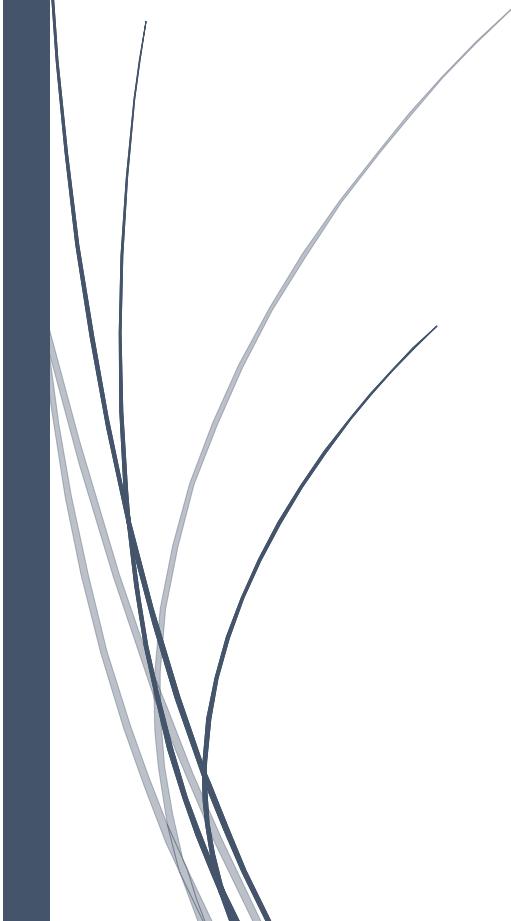
- El clima tropical de Costa Rica está caracterizado por una variación muy pequeña de temperaturas a lo largo del año, pudiéndose reconocer una onda doble, con máximos cercanos a los equinoccios y mínimos en los solsticios.
- Las características generales son temperaturas por encima de los 18°C y nunca presenta heladas o descensos de temperatura por debajo de los 0°C, donde una helada meteorológica se define como aquella donde la temperatura del aire es de 0°C o inferior, medida por un instrumento a un metro y medio de altura de la superficie de suelo, en el abrigo meteorológico. Esto significa que no tiene estaciones como en las regiones templadas, en donde se diferencian bien la primavera, el verano, el otoño y el invierno. En el clima tropical no hay verano ni invierno, solamente época seca y época lluviosa.
- En la zona central del país y hacia el Pacífico, zona precordillerana, el clima se define en un verano térmico permanente, con abundancia de precipitaciones, y a mayores alturas (zona cordillerana) las temperaturas son más templadas (15-25°C) con estación de precipitaciones en los meses estivales. En las partes más altas, la temperatura promedio anual es de 20°C, siendo el territorio más frío de la región. Además, la variación de temperaturas a lo largo del día es muy alta, hasta el punto donde la oscilación térmica diaria puede superar a la oscilación térmica anual. Esto se debe al ángulo de incidencia de la radiación solar típico de latitudes ecuatoriales lo cual hace que la temperatura sea elevada, La humedad relativa también suele ser muy alta.
- Además, al estar localizadas muy cerca del ecuador, es decir, la región terrestre donde los vientos alisios del hemisferio norte y del hemisferio sur se encuentran y convergen, presenta un sistema de bajas presiones permanente. Este sistema se conoce como zona de convergencia intertropical (ZCIT), y es el responsable de que las lluvias sean tan abundantes en esta parte del mundo.

- La temperatura máxima media anual en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 27,6°C con una desviación estándar de 2,5°C y una mediana de 27,8°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, las temperaturas máximas medias anuales han aumentado significativamente.
- La temperatura máxima absoluta anual en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 32,6°C con una desviación estándar de 2,2°C y una mediana de 33,1°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, la temperatura máxima absoluta anual ha aumentado significativamente.
- La temperatura mínima media anual ($t_{\text{má}}$) en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 17,4°C con una desviación estándar de 2,2°C y una mediana de 17,7°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, las temperaturas mínimas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.
- La temperatura mínima absoluta anual en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 9,2°C con una desviación estándar de 1,1°C y una mediana de 9,0°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, la temperatura mínima absoluta anual ha aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.
- La temperatura media anual en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 21,6°C con una desviación estándar de 1,8°C y una mediana de 21,7°C. La serie presentó una tendencia positiva, se determinó que dicho comportamiento fue significativo $p<.001$, desde 1982 hasta el año 2017, la temperatura media anual ha aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

- En la estación SL, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales, las temperaturas mínimas absolutas anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.
- En la estación AJS, las temperaturas máximas medias anuales y las temperaturas medias anuales tienden a aumentar significativamente a medida que han transcurrido los años; y las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales y las temperaturas mínimas absolutas anuales han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años.
- En la estación SB, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales, las temperaturas mínimas absolutas anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.
- En la estación FB, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años; y las temperaturas mínimas medias anuales y las temperaturas mínimas absolutas anuales han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años.
- En la estación RLG, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años; las temperaturas mínimas absolutas anuales han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años.



CAPÍTULO 3. CARACTERIZACIÓN CLIMÁTICA DE LA PRECIPITACIÓN



3.1. Introducción

La precipitación (Pp) es uno de los procesos encargados de la transferencia de humedad desde el aire hacia la superficie terrestre, lo que se produce cuando las gotas de agua o partículas de hielo suspendidas en la atmósfera caen bajo la influencia de la gravedad. La cantidad y las formas de Pp depende no sólo de la humedad atmosférica sino de otros factores climáticos tales como el viento, la temperatura y la presión atmosférica (Hurtado & Spescha, 2016).

En Costa Rica la medición de la Pp data de más de 100 años, sin embargo, aún existen limitaciones en cuanto a la distribución homogénea de las estaciones. Un 26% del total de las estaciones activas administradas por el Instituto Meteorológico Nacional (IMN), se localizan dentro del Gran Área Metropolitana (GAM), que corresponde a 2.044 km² (aproximadamente un 4% de la superficie del país). Esta distribución de las estaciones demuestra limitaciones en cobertura geográfica, además en algunas estaciones los registros no son continuos, o bien el sistema de medición de las estaciones ha cambiado de convencional a automático (Rojas, 2019).

La distribución de las Pp en el territorio nacional se debe a la orientación noreste sureste del sistema montañoso, que divide al país en dos vertientes: Pacífica y Caribe. Así mismo, la interacción de las elevaciones del territorio con factores atmosféricos y oceánicos propios, repercuten en esa distribución de las lluvias, generando siete regiones climáticas dentro de estas vertientes. Dentro de la Vertiente del Pacífico se encuentran: Región Central (también conocido como Valle Central), Pacífico Norte, Pacifico Central y Pacífico Sur; mientras que en la Vertiente del Caribe se encuentran: Zona Norte y Región Caribe, siendo esta última subdividida en Caribe Norte y Caribe Sur.

La Vertiente del Pacífico se caracteriza por una época lluviosa bien definida entre los meses de mayo a octubre, y una estación seca entre diciembre y marzo; siendo los meses de abril y noviembre los meses de transición entre ambas estaciones. La distribución de lluvias a lo largo del año es bimodal, con valores máximos de lluvia entre junio y octubre, y una disminución de estas durante el mes de julio y agosto, conocido como “Sequía de Medio Verano” o “Mid-Summer Drought” (MSD por sus siglas en inglés) y popularmente llamada

“canícula” o “veranillo”, en simultáneo con la intensificación de la Corriente en Chorro de Bajo Nivel del Caribe (CLLJ, por sus siglas en inglés) (Amador, 1998; Magaña et al., 1999). Esta disminución relativa de la Pp recibe este nombre porque en plena estación lluviosa por unos cuantos días se presentan condiciones de la estación seca. Este periodo que puede durar desde unos pocos días hasta varias semanas; varía de un año a otro, tanto en su fecha de aparición como en su duración (Grandoso, 1979).

Las lluvias ocurren predominantemente durante la tarde y primeras horas de la noche. Según Zarate (1977) y Grandoso et al (1981), en la estación seca, que coincide con la estación invernal del hemisferio norte, las características típicas de la atmósfera sobre Costa Rica son de un valor alto de la cortante vertical del viento ($278/18.5 \text{ ms}^{-1}$ entre 850 mb y 200 mb); vientos fuertes en la troposfera baja y poco espesor de la capa húmeda (la isolínea del 50% de humedad relativa no supera los 600 mb). En la estación lluviosa, la atmósfera característica sobre Costa Rica presenta una cortante vertical del viento mucho menor ($63/7.2 \text{ ms}^{-1}$ entre 850 mb y 200 mb) y una capa húmeda de mayor espesor (la isolínea de 50% de humedad relativa permanece sobre los 500 mb). Según Grandoso y Otros (1982), los valores bajos de la cortante vertical del viento y el espesor alto de la capa húmeda, se suman para favorecer la ocurrencia de Pp convectiva.

En la estación seca (de diciembre a marzo), en donde los vientos alisios alcanzan Costa Rica con dirección dominante del noreste y con velocidades que llegan hasta 30 Km/h en promedio en febrero, el flujo tiene componente del Este desde la superficie hasta los 450 mb, y a partir de ese nivel adquiere componente del Oeste. En la estación lluviosa, el flujo tiene componente del Este desde superficie hasta alturas sobre los 100 mb.

Durante la estación lluviosa la Zona de Convergencia Intertropical (ZCIT) o la Zona de Convergencia Ecuatorial como también se la conoce, al ser una franja de baja presión constituida por corrientes de aire ascendentes, donde convergen grandes masas de aire cálido y húmedo provenientes del norte y del sur de la zona intertropical, es uno de los mecanismos productores de lluvia en Costa Rica ya que todo el tiempo está sobre el territorio nacional, lo que incrementa la inestabilidad potencial sobre el país en esta época. Su posición,

sin embargo, varía día a día pudiendo alcanzar hasta los 14°N y desplazarse hasta algunos grados de latitud sur en un solo día (IMN, 2008).

En los meses de julio y agosto la ZCIT tiene un desplazamiento hacia el Sur producto del corrimiento relativo de los sistemas de alta presión sobre el Atlántico. En esta época en que se encuentra en su posición más occidental, el centro de alta presión de Las Bermudas registra el máximo superior de la presión en su centro. Todo en conjunto incrementa la velocidad del viento alisio en la troposfera baja, que alcanza sobre Costa Rica velocidades hasta de 25 Km/h en el nivel de 850 mb. Ocasionalmente aparecen también vientos con componente del Oeste entre 500 y 300 mb que causan un aumento en la cortante vertical del viento. El campo de nubosidad asociado a la ZCIT y los oestes ecuatoriales, se retiran hacia el Sur durante esos meses, con lo que disminuye la inestabilidad y el espesor de la capa húmeda, condiciones muy propias de la estación seca.

En este capítulo se realizó una caracterización climática de la precipitación en la RCC, la cual tiene influencia Pacífico. Se analizó la Pp anual media en la RCC, la Pp anual media por estación, el periodo total con Pp mensual media por año en la RCC, el periodo total con Pp mensual media por año en cada estación, así como el número medio de días con Pp en la RCC y el número de días con Pp en cada estación.

3.2. Caracterización climática de la precipitación

En las zonas tropicales existen por lo general dos períodos, uno seco y otro lluvioso, entre ambos la diferencia radica en la disponibilidad de agua más que por la diferencia en la temperatura como ocurre en las zonas templadas. En las zonas tropicales la temperatura tiende a ser relativamente constante o con muy poca variación anual. No obstante, la Pp es el elemento del clima más importante no solo por su variabilidad espacial y temporal, sino también porque es la que permite el crecimiento de los cultivos, en lugares muy secos.

La Pp estadísticamente hablando, es una variable continua, cuya distribución empírica de frecuencias se ajusta a una distribución normal sólo cuando se trabaja en lugares muy lluviosos o con series de períodos largos.

Los Índices climáticos son medidas de tendencia central que indican el estado medio o valor más probable de la Pp en un periodo de años determinado, pueden ser:

- a) **Climatológico:** es un valor medio correspondiente a una serie de 10 o 20 años.
- b) **Normal climatológico:** es el valor medio de una serie homogénea que corresponde a un periodo de 30 o más años. Estos valores figuran en las estadísticas climatológicas.

Los índices utilizados para caracterizar la precipitación de un lugar, región o país son los siguientes:

- **Precipitación diaria:** es la Pp igual o mayor a 0,1 mm acumulada en un día pluviométrico, es decir, el período de 24 horas entre dos observaciones
- **Precipitación mensual:** es la acumulación de todas las Pp diarias de un mes determinado.
- **Precipitación anual:** es la acumulación de todas las Pp registradas en un año determinado.
- **Número de días con precipitación:** es la cantidad de días en los que se han registrado Pp mayores o iguales a 0,1 mm en un mes determinado.

- **Precipitación mensual media:** promedio de las Pp mensuales de un mes determinado para una serie de años.
- **Precipitación anual media:** promedio de las Pp anuales de una serie de años.
- **Número medio de días con precipitación:** promedio de la cantidad de días en los que se han registrado Pp mayores o iguales a 0,1 mm en un mes determinado de una serie de años.
- **Régimen de precipitaciones:** como se distribuyen las lluvias en el transcurso del año.
- **Estacionalidad:** La estacionalidad de la Pp se determinó de acuerdo con el Índice de Estacionalidad (IE) establecido por Walsh y Lawler (1981). Donde corresponde al promedio mensual de Pp y es el acumulado anual de Pp. Este índice puede tener un valor desde 0 (si todos los meses tienen el mismo valor de Pp) hasta 1,83 (si la lluvia ocurre solo en un mes). En el cuadro 3.1. se muestra la clasificación para el IE propuesto por sus autores.

$$IE = \frac{1}{R} \sum_{n=1}^{n=12} \left| \bar{x}_n - \frac{\bar{R}}{12} \right|$$

Cuadro 3.1. Clasificación para el IE propuesto

Régimen de precipitación	Nombre
Las precipitaciones repartidas durante todo el año (distribución homogénea)	$\leq 0,19$
Las precipitaciones repartidas durante todo el año, pero con una estación lluviosa definida (estacionalidad débil)	0,20 – 0,39
Poca estacionalidad con una corta estación seca (estacionalidad moderada)	0,40 – 0,59
Estacionalidad (estacionalidad fuerte)	0,60 – 0,79
Marcada estacionalidad con una larga estación seca (concentración moderada)	0,80 – 0,99
La mayoría de las precipitaciones en menos de 3 meses (concentración fuerte)	1,00 – 1,19
Estacionalidad extrema, con casi toda la precipitación en 1 a 2 meses (concentración extrema)	$\geq 1,20$

3.3. Materiales y métodos

Los datos meteorológicos diarios se agruparon en forma mensual y anual, los mismos se caracterizaron mediante estadísticos descriptivos (Wilks, 1995). Se estudió la normalidad de los datos mediante la prueba de Kolmogorov-Smirnov (50 datos o más) (Montgomery y Runger, 1994) o la prueba Shapiro-

Wilk (menos de 50 datos); además se calculó el coeficiente de asimetría y curtosis (Gorgas, Cardiel y zamorano, 2011). Para determinar la significatividad del comportamiento de las series se aplicó la prueba estadística ANOVA o Kruskal-Wallis, según el cumplimiento o no de los supuestos paramétricos; el nivel de confianza fue del 95% y se utilizó el programa Statistical Package for the Social Sciences (SPSS por sus siglas en inglés). Una vez realizado este análisis se procedió al cálculo de índices necesarios para efectuar la caracterización climática de la precipitación.

3.4. Precipitación mensual media por estación

En este apartado se trabajó la Pp mensual media por estación. Los períodos de estudio comprendieron: estación SL, del año 1983 al 2017; estación AJS, del año 1999 al 2017; estación SB, del año 1997 al 2011; estación FB, del año 1998 al 2017; y, por último, estación RLG, del año 1999 al 2017.

3.4.1 Estación Santa Lucía

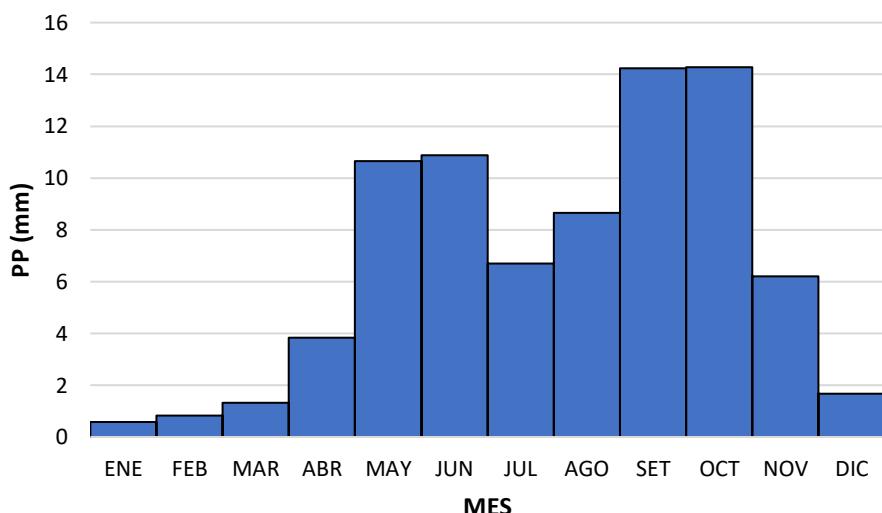


Figura 3.1. Frecuencia de la precipitación mensual media en la estación Santa Lucía, 1983 - 2017.

3.4.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría

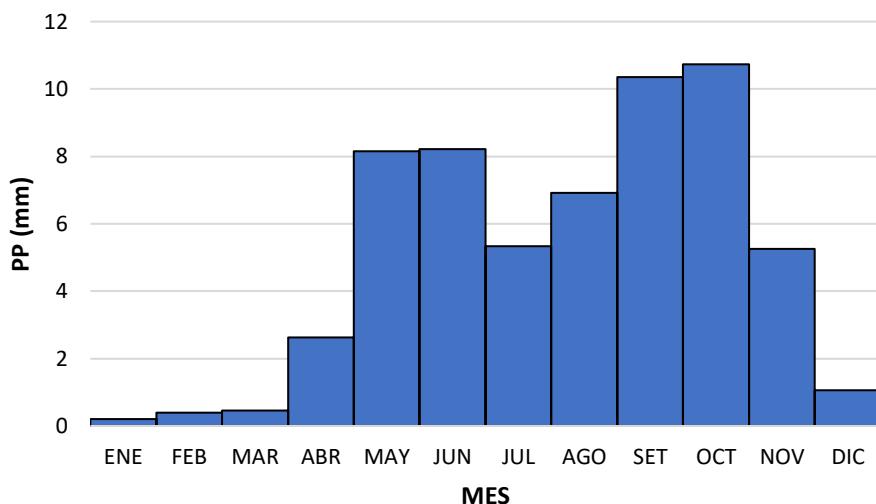


Figura 3.2. Frecuencia de la precipitación mensual media en la estación Aeropuerto Juan Santamaría, 1999 - 2017.

3.4.3 Estación Santa Bárbara

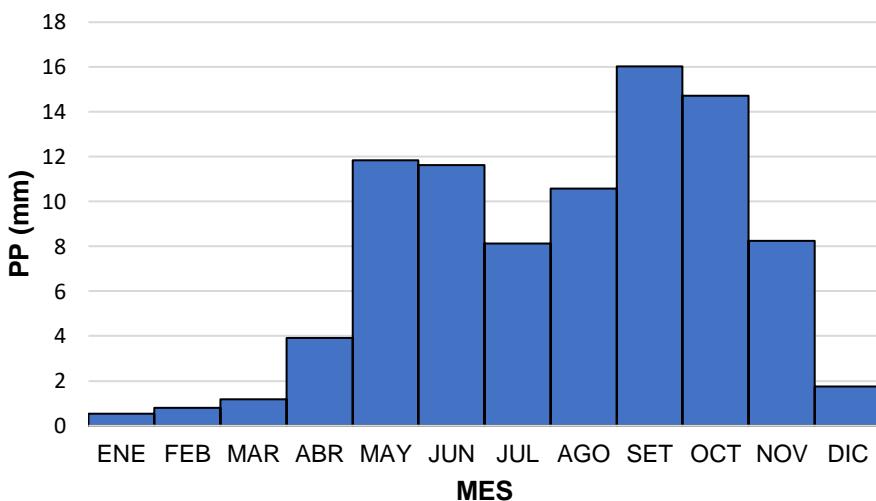


Figura 3.3. Frecuencia de la precipitación mensual media en la estación Santa Bárbara, 1997 - 2011.

3.4.4 Estación Fabio Baudrit

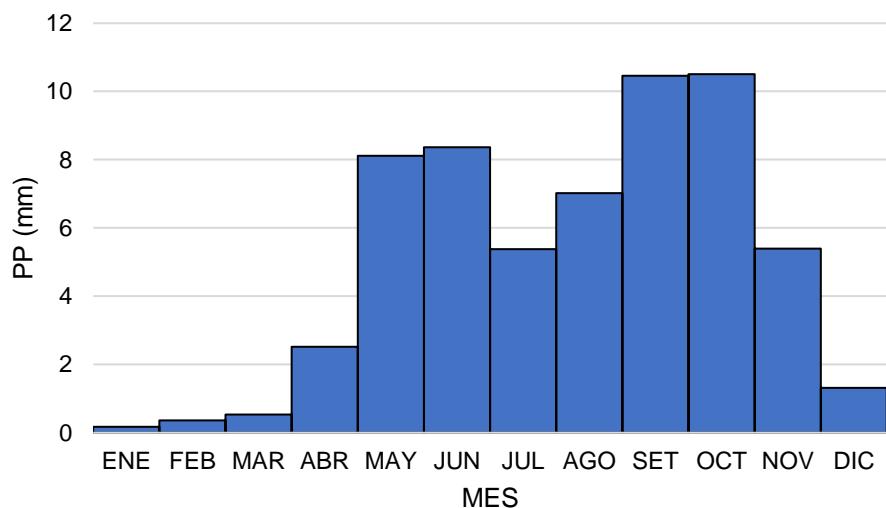


Figura 3.4. Frecuencia de la precipitación mensual media en la estación Fabio Baudrit, 1998 - 2017.

3.4.5 Estación RECOPE La Garita

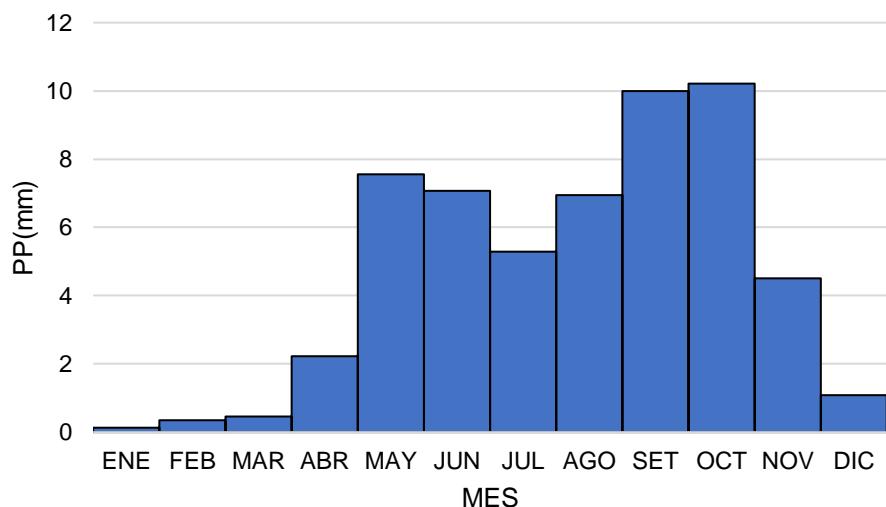


Figura 3.5. Frecuencia de la precipitación mensual media en la estación RECOPE La Garita, 1999 - 2017.

3.5. Precipitación anual media en la Región Central de Costa Rica (RCC)

Se calcularon los promedios anuales de las precipitaciones registradas diariamente de enero de 1999 a diciembre de 2011, integrando la información de las cinco estaciones de la RCC; los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 3.2. Se observó un valor promedio de las precipitaciones anuales de 2183,2 con una desviación estándar de 457,9 y una mediana de 2151,1.

Cuadro 3.2. Estadísticos descriptivos de la precipitación en la Región Central de Costa Rica, 1999 - 2011.

Estadísticos descriptivos	Precipitación
Número de datos	38716
Promedio	2183,2
Máximo	2997,6
Mínimo	1599,5
Mediana	2151,1
Desviación estándar	457,9
Varianza	209641,4
Coeficiente de asimetría	0,40
Coeficiente de curtosis	-1,03

Esta serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado hacia la derecha (0,40), con un valor de curtosis (-1,03), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución ligeramente achatada (Figura 3.6).

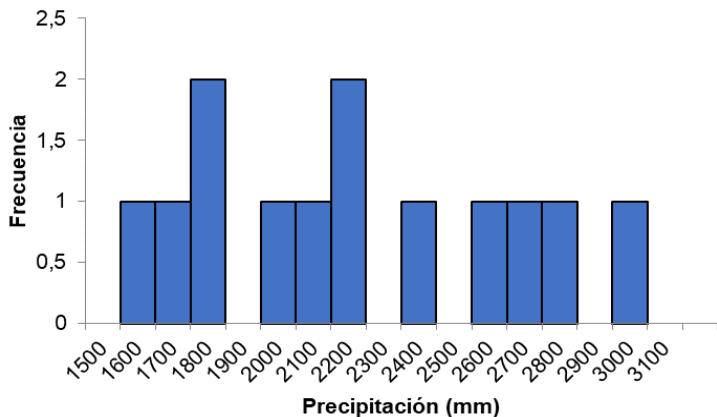


Figura 3.6. Frecuencia de la precipitación anual media en la Región Central de Costa Rica, 1999 - 2011.

Se determinó la variación anual media de la Pp para el periodo desde enero de 1999 hasta diciembre de 2011 en la RCC y los resultados se muestran en la Figura 3.7, donde se graficaron las precipitaciones anuales medias en función de los años. Se observó que las precipitaciones anuales medias en la RCC han aumentado a medida que han transcurrido los años, a partir de estos valores, se determinó si las diferencias encontradas son significativas, para ello se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, lo que indicó que, desde enero de 1999 hasta diciembre de 2011, las precipitaciones han aumentado significativamente en la RCC.

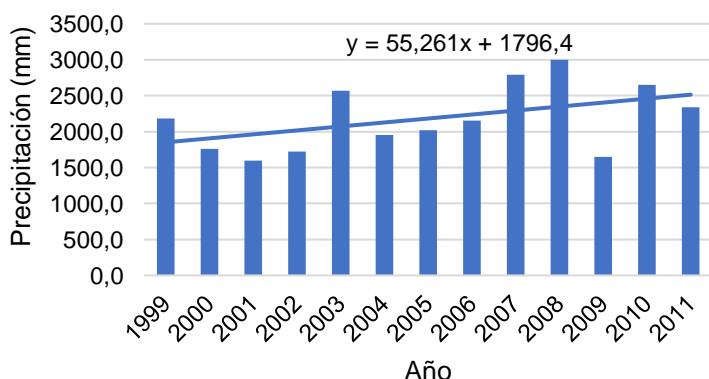


Figura 3.7. Variación de la precipitación anual media en la Región Central de Costa Rica, 1999 – 2011.

3.6. Precipitación anual media por estación

Se calcularon los promedios de las precipitaciones anuales para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de Pp anual media para cada una de las estaciones en estudio. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 3.3. Se observó un valor promedio de la Pp anual para la estación: SL (2437,1mm), AJS (1822,4mm), SB (2735,3mm), FB (1835,6mm) y RLG (1705,3mm); con una desviación estándar de 489,7mm para la estación SL, de 452,6mm para AJS, de 549,2mm para SB; de 335,0mm para FB y de 407,3mm para RLG respectivamente. La mediana fue de: 2317,6mm (SL), 1729,5mm (AJS), 2712,6mm (SB), 1757,8mm (FB) y 2487,6mm (RLG). Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 3.3. Estadísticos descriptivos de la variabilidad interanual de la precipitación anual media por estación.

Estación	núm. dat.	prom.	max.	min.	med.	desv.	var.	asim.	curt.
SL	12053	2437,1	3445,5	1571,2	2317,6	489,7	239846,7	0,29	-0,86
AJS	6940	1822,4	3089,0	1312,6	1729,5	452,4	204645,6	1,20	1,89
SB	5478	2735,3	3681,3	2029,6	2712,6	549,2	301650,1	0,45	-1,07
FB	7305	1835,6	2493,7	1312,8	1757,8	335,0	112254,8	0,51	-0,40
RLG	6940	1705,3	2487,6	885,0	2487,6	407,3	165885,9	0,46	-0,40

Para determinar si las diferencias encontradas son significativas, se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, a continuación, se muestra cuáles fueron estas diferencias para cada una de las estaciones.

3.6.1 Estación Santa Lucía

La serie presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la derecha (0,29), con un valor de curtosis (-0,86), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achataada (Figura 3.8)

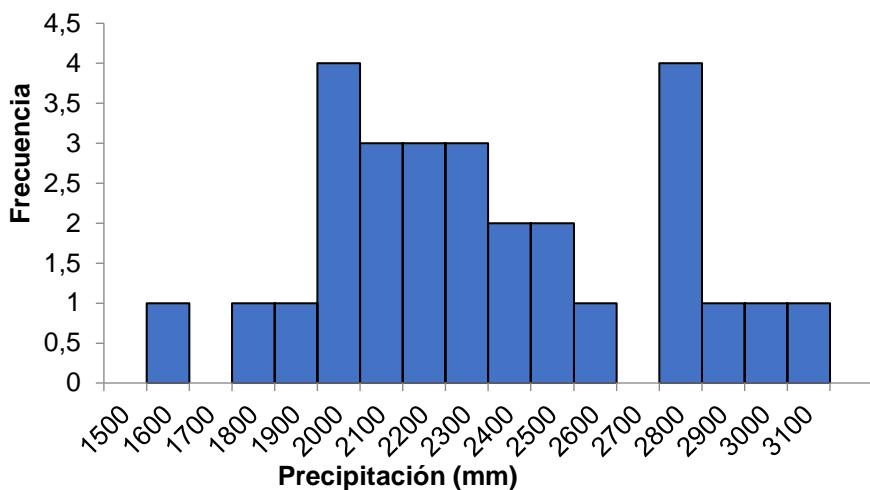


Figura 3.8. Frecuencia de la precipitación anual media en la estación Santa Lucía, 1983-2017.

En la Figura 3.9. se observa que las precipitaciones anuales medias de la estación SL, han aumentado de manera significativa a medida que han transcurrido los años.

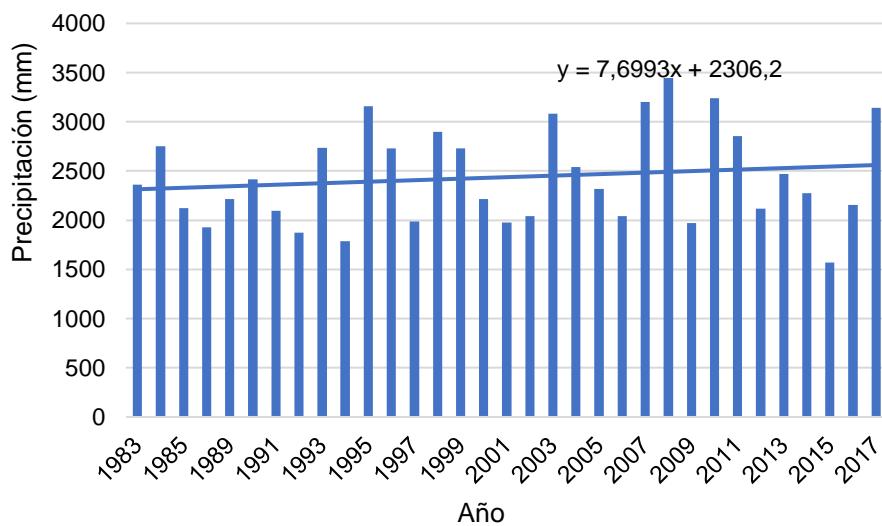


Figura 3.9. Variación de la precipitación anual media en la estación Santa Lucía, 1983 - 2017.

3.6.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie presentó el mayor valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha (1,20), con un valor de curtosis (1,89), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 3.10)

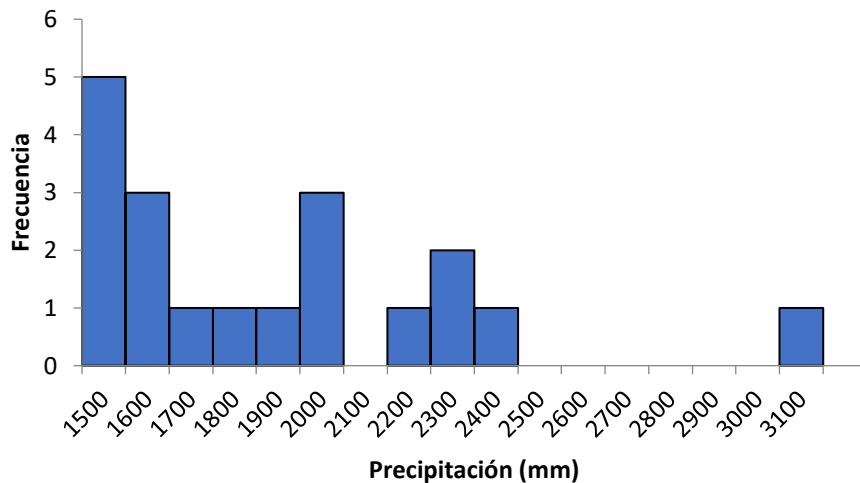


Figura 3.10. Frecuencia de la precipitación anual media en la estación Aeropuerto Juan Santamaría, 1999 - 2017.

En la Figura 3.11 se observa que las precipitaciones anuales medias de la estación AJS, tienden a disminuir de manera significativa a medida que han transcurrido los años.

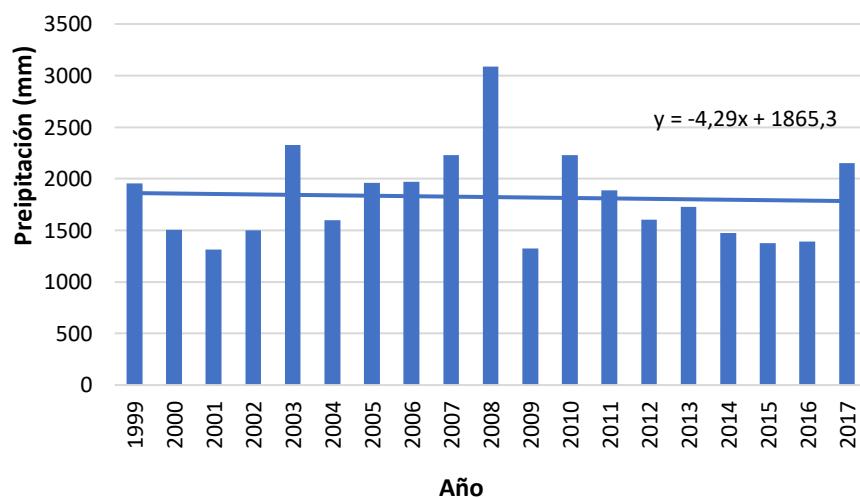


Figura 3.11. Variación de la precipitación anual media en la estación Aeropuerto Juan Santamaría, 1999 - 2017.

3.6.3 Estación Santa Bárbara

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgada a la derecha (0,45), con un valor de curtosis (-1,07), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, en otras palabras, es una distribución achatada (Figura 3.12.).

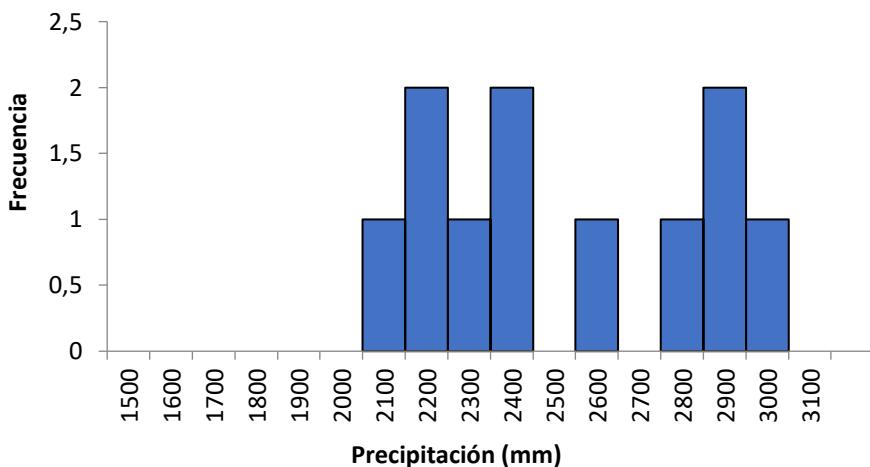


Figura 3.12. Frecuencia de la precipitación anual media en la estación Santa Bárbara, 1997 - 2011.

En la Figura 3.13. se observa que las precipitaciones anuales medias de la estación SB, han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

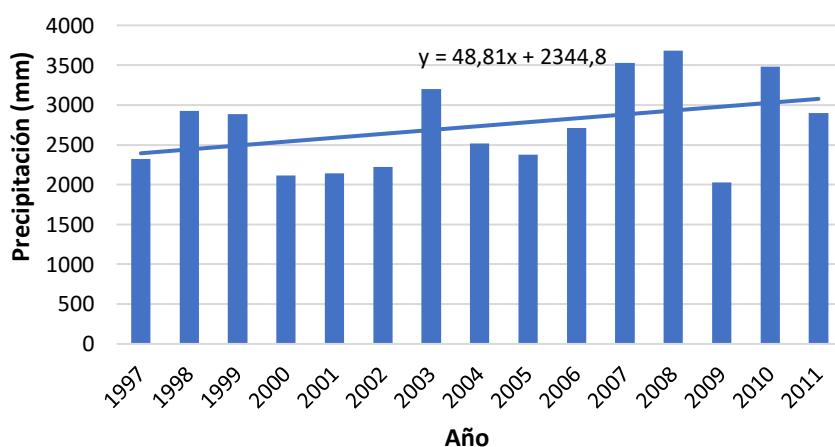


Figura 3.13. Variación de la precipitación anual media en la estación Santa Bárbara, 1997 - 2011.

3.6.4 Estación Fabio Baudrit

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha (0,51), con un valor de curtosis (-0,40), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica o achatada (Figura 3.14).

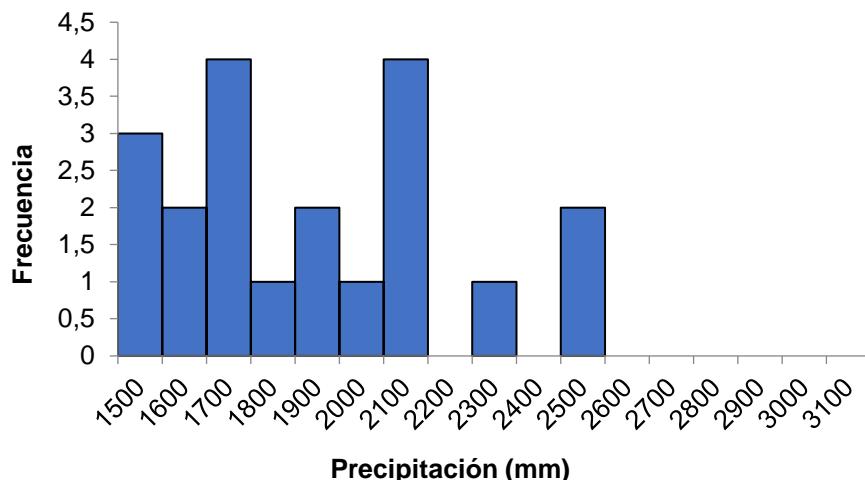


Figura 3.14. Frecuencia de precipitación anual media en la estación Fabio Baudrit, 1998 - 2017.

En la Figura 3.15 se observa que las precipitaciones anuales medias de la estación FB, han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

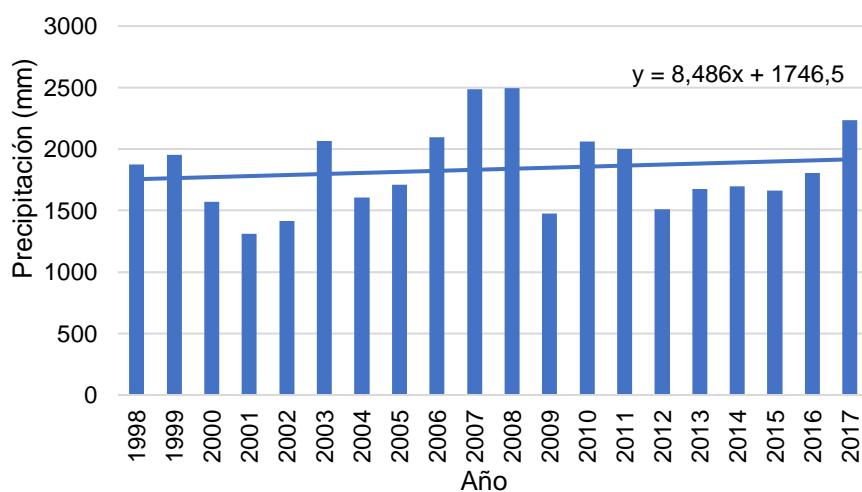


Figura 3.15. Variación de la precipitación anual media en la estación Fabio Baudrit, 1998-2017.

3.6.5 Estación RECOPE La Garita

La serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado a la derecha (0,46), con un valor de curtosis negativo (-0,40), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica (Figura 3.16.).

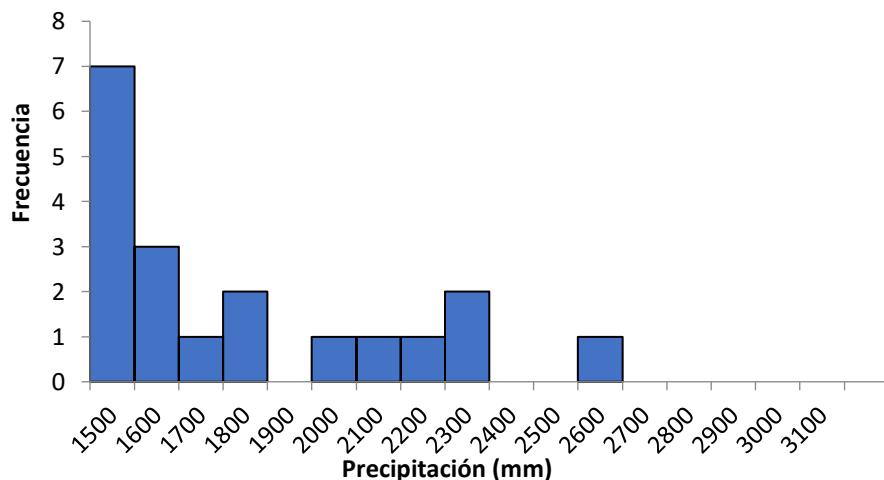


Figura 3.16. Frecuencia de precipitación anual media en la estación RECOPE La Garita, 1999 - 2017.

En la Figura 3.17. se observa que las precipitaciones anuales medias de la estación RLG, han aumentado de manera significativa a medida que han transcurrido los años.

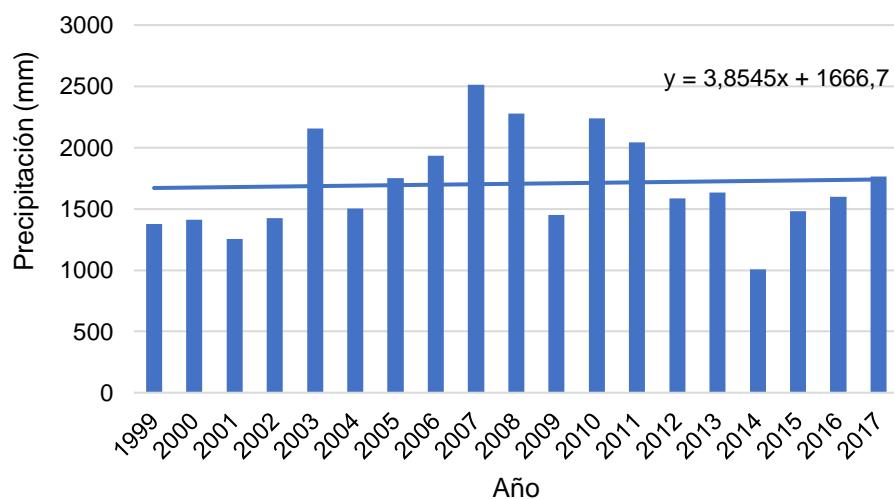


Figura 3.17. Variación de la precipitación anual media en la estación RECOPE La Garita, 1999-2017.

3.7. Periodo total con precipitación mensual media por año en la Región Central de Costa Rica (1999 - 2011)

Con el fin de observar más detalladamente el aumento significativo de las precipitaciones en la región, se construyó un gráfico resumen que se detalla en la Figura 3.18. Se puede observar que, en el transcurso de los años, lo que se ha presentado es un aumento en la cantidad de mm de Pp mensual durante la época lluviosa, principalmente este aumento se ha dado en el mes de octubre. Por ejemplo, en el año 2011, en el mes de octubre se presentó la mayor cantidad de mm de precipitación mensual de los años analizados.

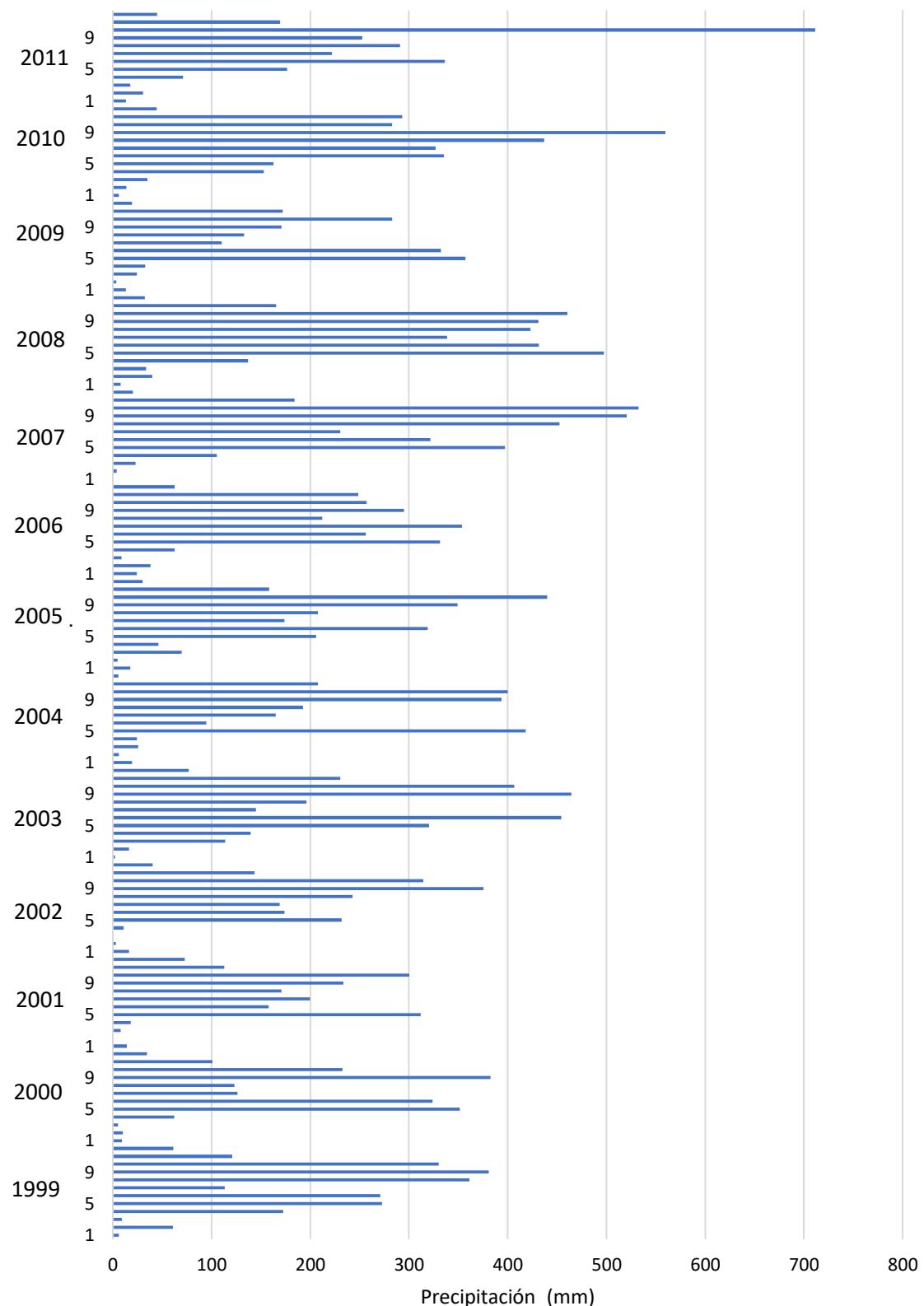


Figura 3.18. Variación de precipitación mensual media por año en la Región Central de Costa Rica, 1999-2011.

3.8. Periodo total con precipitación mensual por año en cada estación

Con el fin de observar más detalladamente las diferencias significativas de las precipitaciones por estación, se construyó un gráfico resumen para cada una de las estaciones. Se mostrarán a continuación.

3.8.1 Estación Santa Lucía

En esta estación se analizaron los datos desde 1983 hasta 2017 (menos 1987 y 1988) y de igual manera que en toda la región, se puede observar que, en el transcurso de los años, lo que se ha venido presentando es un aumento en la cantidad de mm de Pp mensual durante la época lluviosa, y nuevamente, este aumento se ha dado principalmente en el mes de octubre. También en 2011, en el mes de octubre se presentó la mayor cantidad de mm de precipitación mensual de los años analizados. (ver Figura 3.19.).

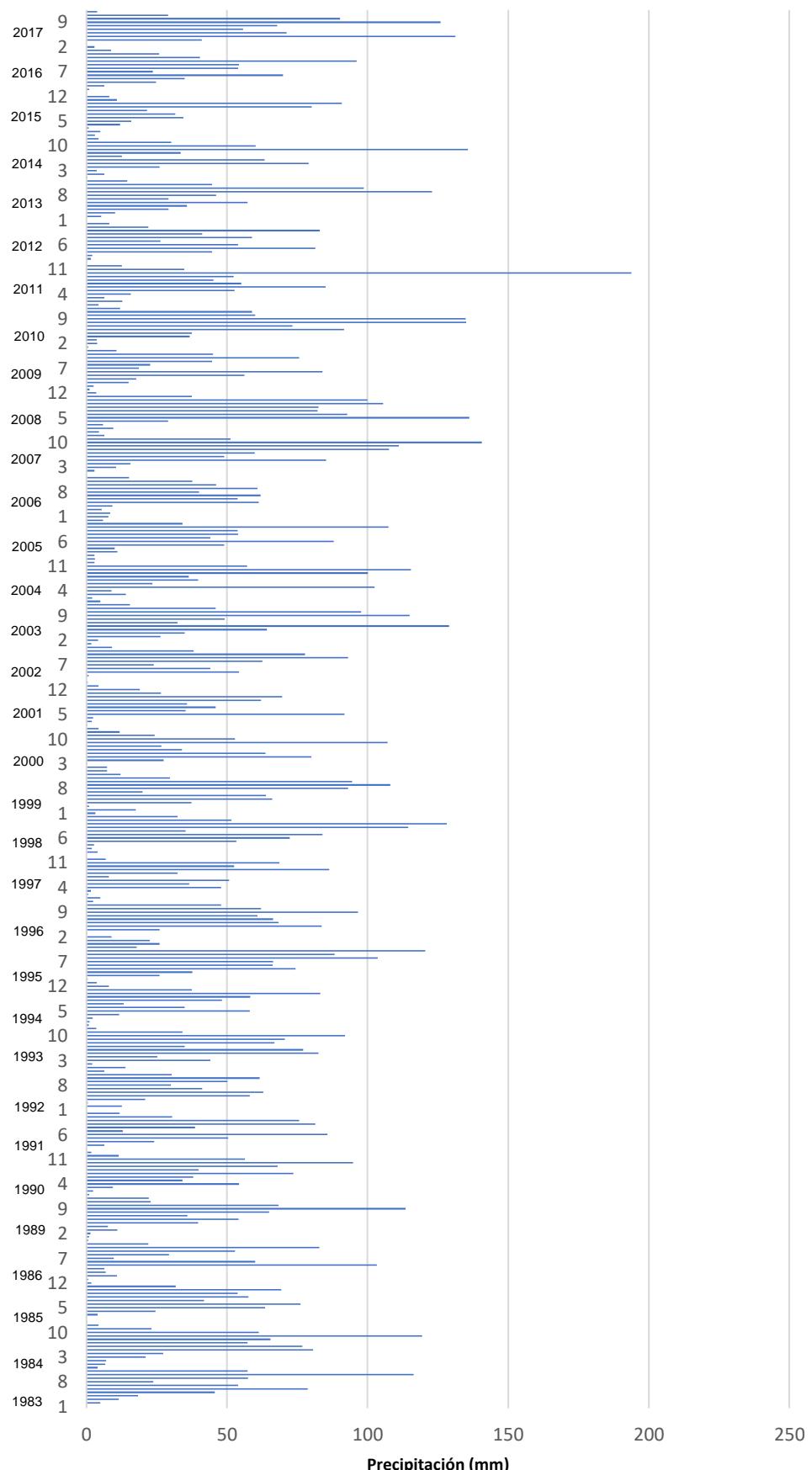


Figura 3.19. Variación de la Pp mensual media por año en la estación SL, 1983-2017.

3.8.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría (AJS)

En esta estación se analizaron los datos desde 1999 hasta 2017 y a diferencia de lo que ha venido ocurriendo en la región, se puede observar que, en el transcurso de los años, lo que se ha presentado es una disminución en la cantidad de mm de precipitación mensual, aunque también en 2011, en el mes de octubre se presentó la mayor cantidad de mm de precipitación mensual de los años analizados. (ver Figura 3.20.).

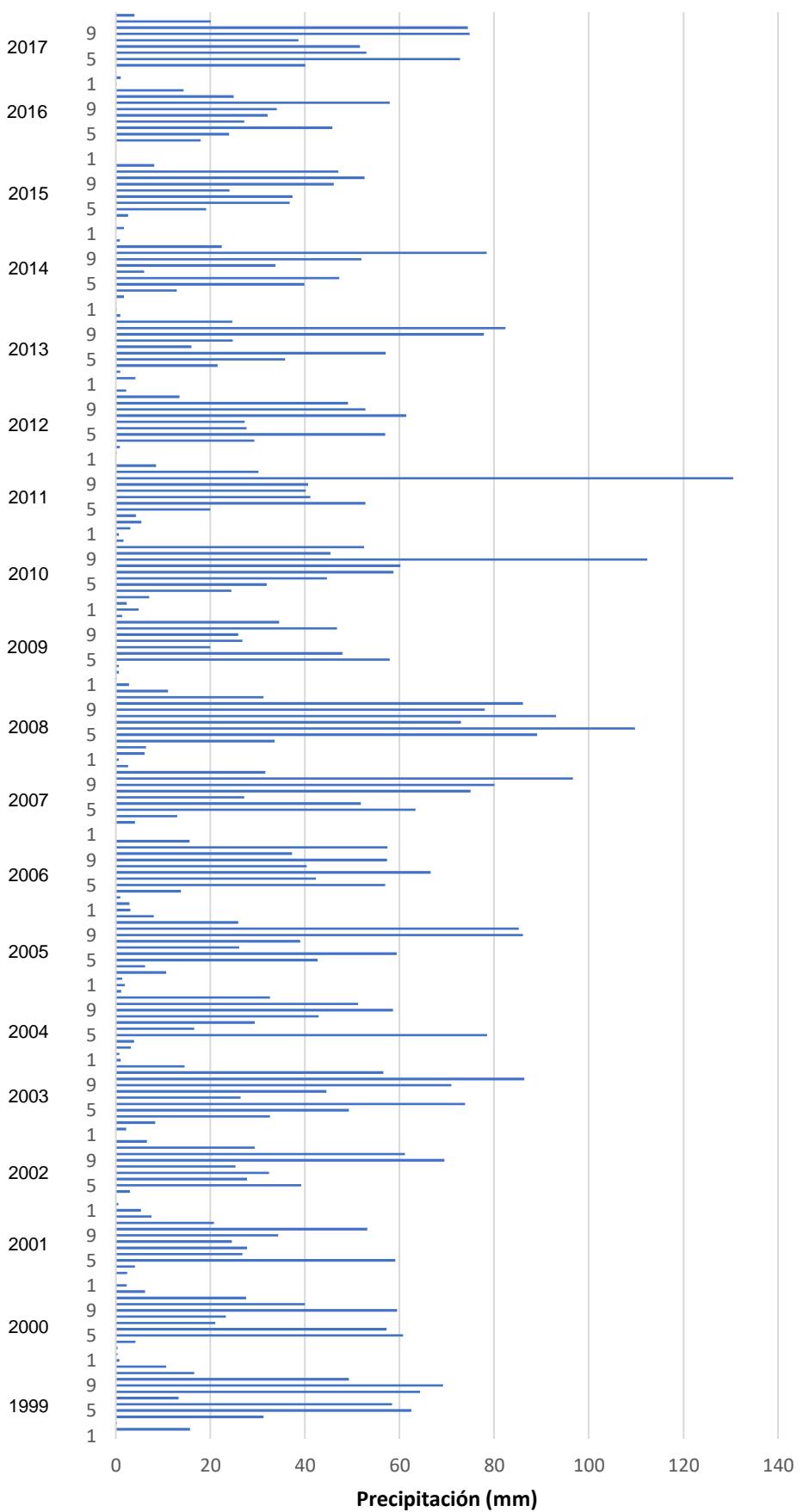


Figura 3.20. Variación de la Pp mensual media por año en la estación AJS, 1999 - 2017.

3.8.3. Estación Santa Bárbara (SB)

En esta estación se analizaron los datos desde 1997 hasta 2011 y de igual manera que en la región, se puede observar que, en el transcurso de los años, lo que se ha presentado es un aumento en la cantidad de mm de precipitación mensual durante la época lluviosa, y nuevamente, este aumento se ha dado principalmente en el mes de octubre. También en 2011, en el mes de octubre se presentó la mayor cantidad de mm de precipitación mensual de los años analizados. (ver Figura 3.21.).

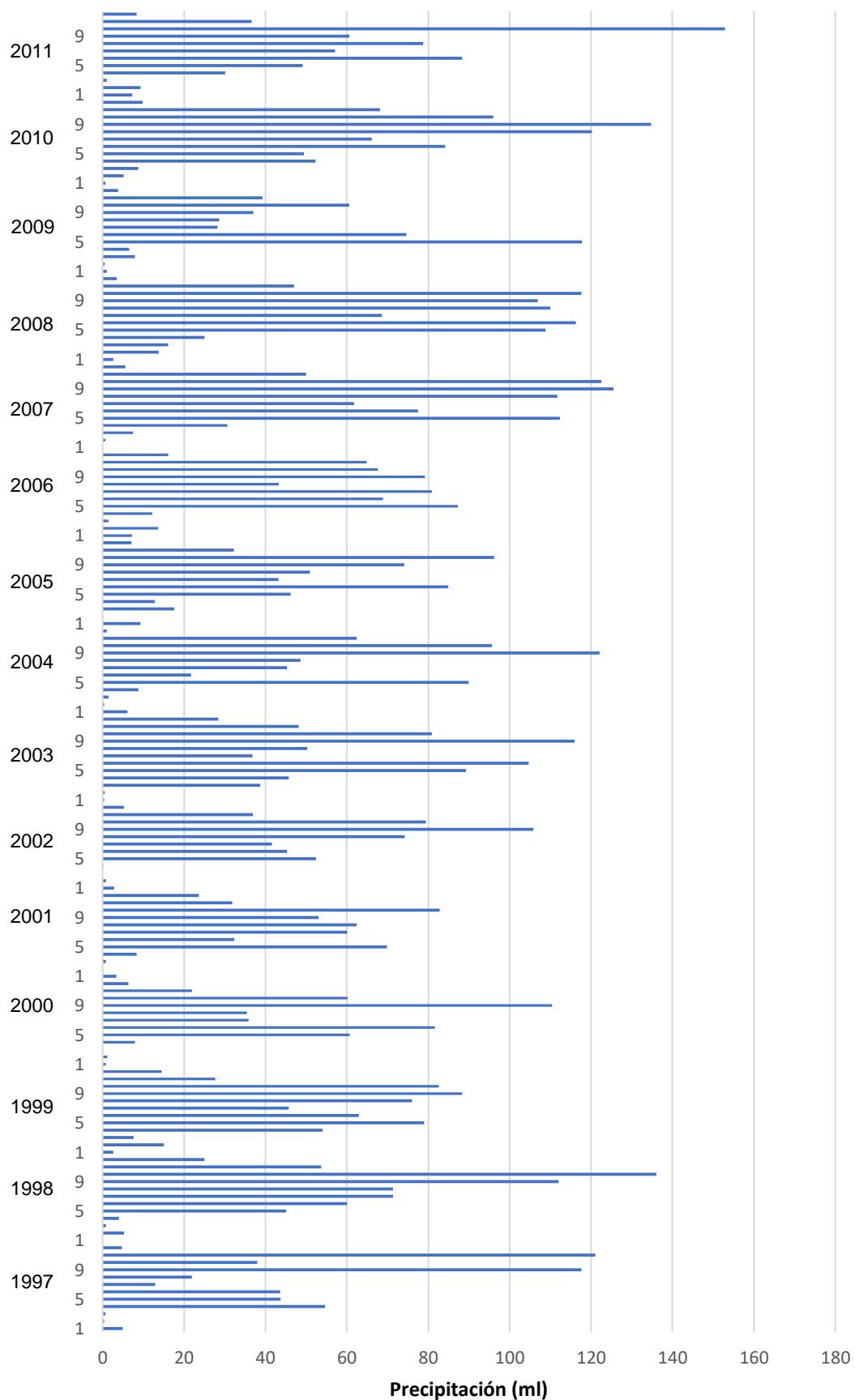


Figura 3.21. Variación de la Pp mensual media por año en la estación SB, 1997 - 2011.

3.8.4. Estación Fabio Baudrit

En esta estación se analizaron los datos desde 1998 hasta 2017 y así mismo como sucedió en la región, se puede observar que, en el transcurso de los años, lo que se ha presentado en la estación FB, es un aumento en la cantidad de mm de Pp mensual durante la época lluviosa, y nuevamente, este aumento se ha evidenciado principalmente en el mes de octubre. También en 2011, en el mes de octubre se presentó la mayor cantidad de mm de Pp mensual de los años analizados. (ver Figura 3.22.).

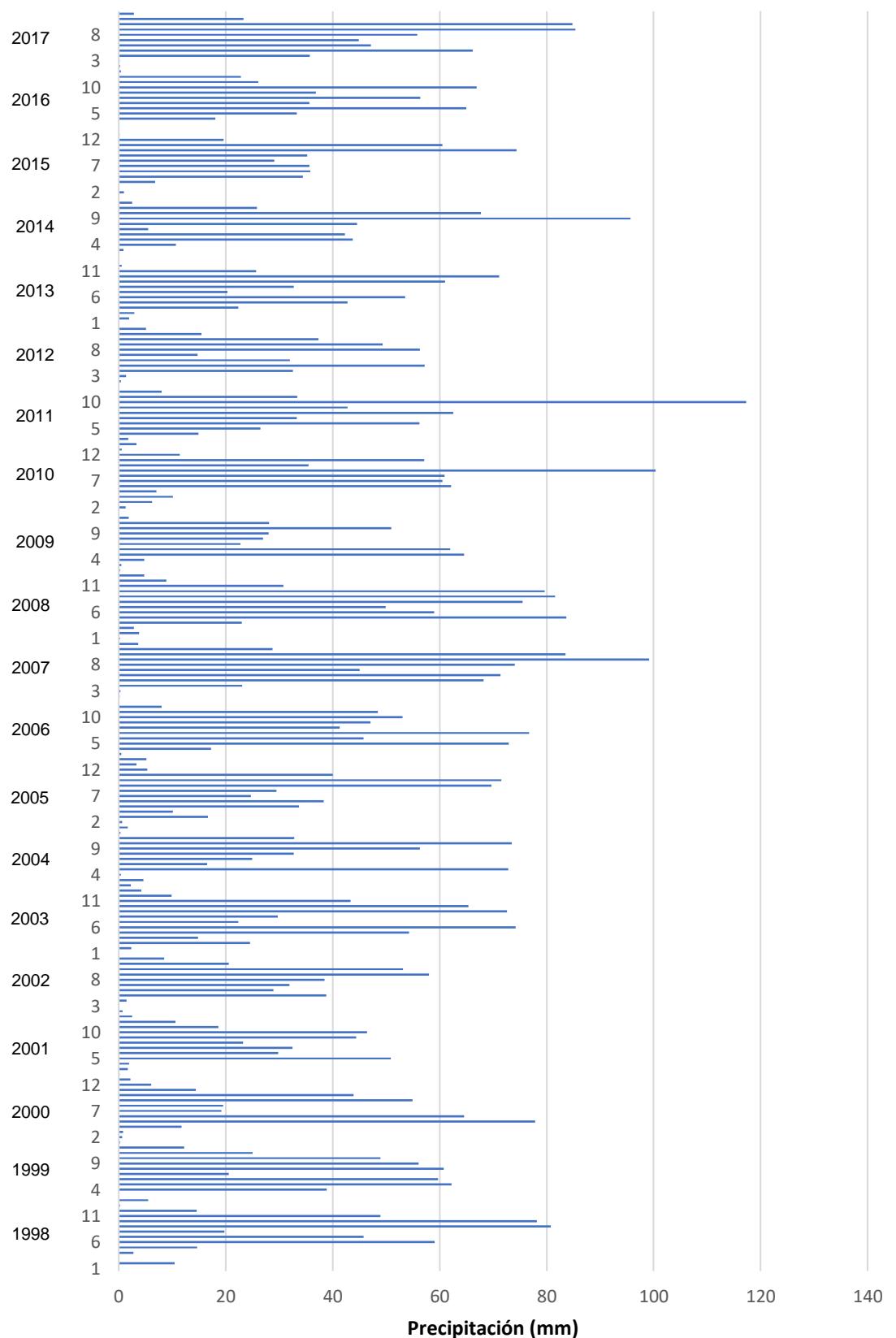


Figura 3.22. Variación de la Pp mensual media por año en la estación FB, 1998-2017.

3.8.5. Estación RECOPE La Garita

En esta estación se analizaron los datos desde 1999 hasta 2017 y a diferencia de lo que se presentó en la región, se puede observar en el transcurso de los años, una disminución en la cantidad de mm de Pp mensual, aunque también en 2011, en el mes de octubre se evidenció la mayor cantidad de mm de Pp mensual de los años analizados. (ver Figura 3.23.).

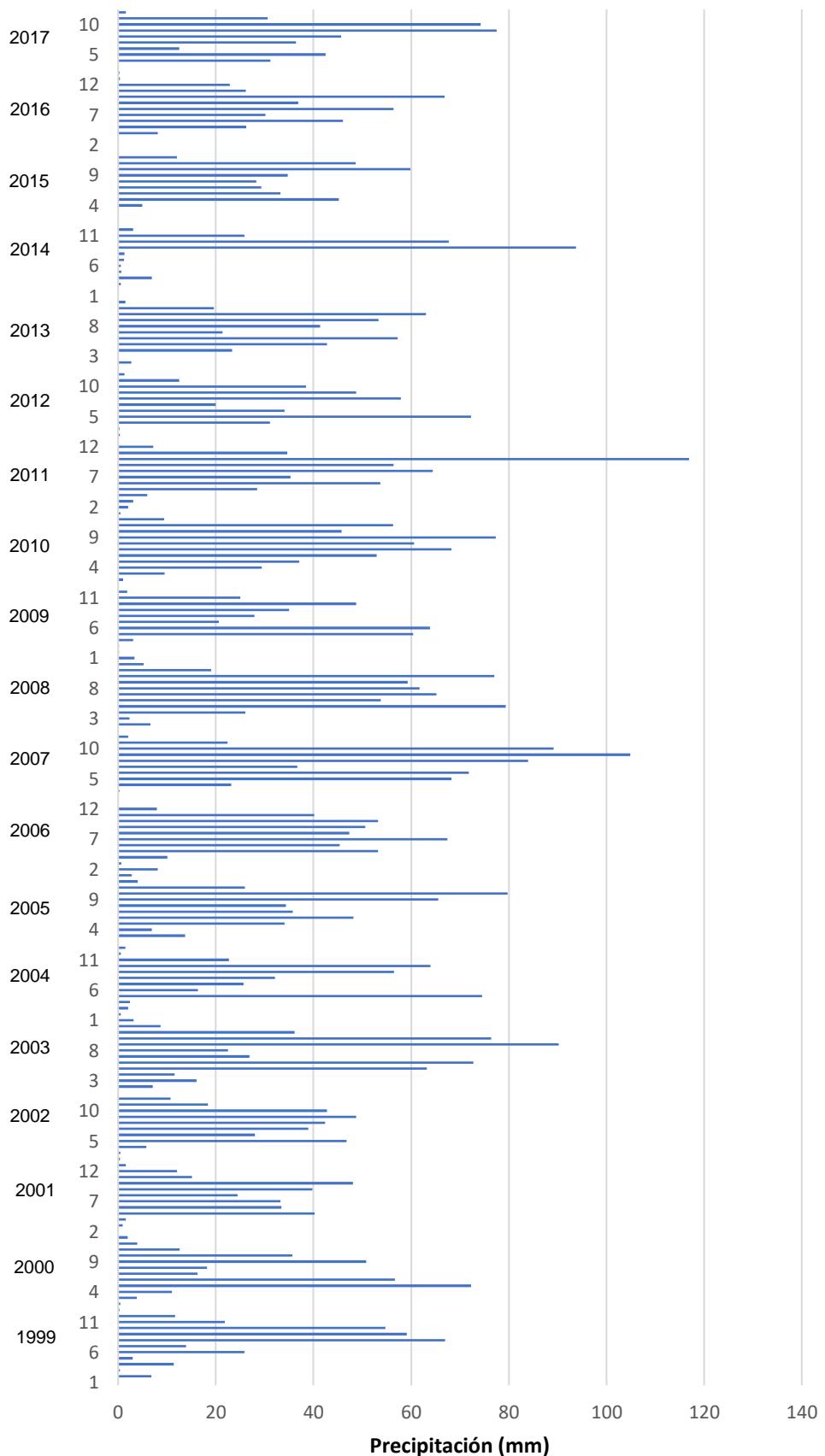


Figura 3.23. Variación de la Pp mensual media por año en la estación AJS, 1999 - 2017.

3.9. Número medio de días con precipitaciones en la Región Central de Costa Rica (1999 -2011).

Se calculó la cantidad de días anuales con precipitaciones registradas diariamente de enero de 1999 a diciembre de 2011, integrando la información de las cinco estaciones de la RCC; los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 3.4. Se observó un valor promedio de la cantidad de días anuales con Pp de 193 días, con una desviación estándar de 18,2 días y una mediana de 202 días.

Cuadro 3.4. Estadísticos descriptivos del número medio de días con precipitaciones en la Región Central de Costa Rica (1999 - 2011).

Estadísticos descriptivos	Cantidad de días con precipitación
Número de datos	38716
Promedio	193
Máximo	214
Mínimo	164
Mediana	202
Desviación estándar	18,2
Varianza	329,5
Coeficiente de asimetría	-0,43
Coeficiente de curtosis	-1,57

Esta serie presentó un valor de asimetría marcadamente sesgado hacia la izquierda (-0,43), con un valor de curtosis (-1,57), lo que indicó que se aproxima a una distribución platicúrtica, es decir una distribución achatada (Figura 3.24.).

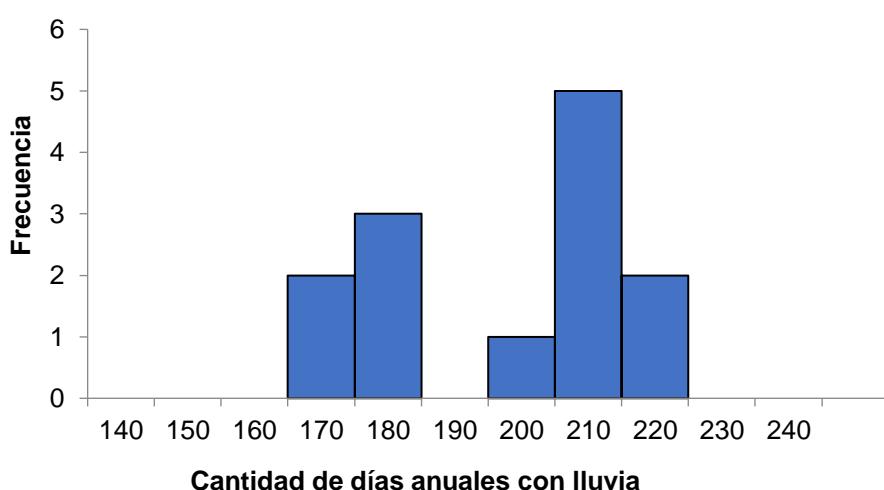


Figura 3.24. Frecuencia del número medio de días con Pp en la RCC, 1999 - 2011.

Se determinó la variación de la cantidad de días con Pp para el periodo desde enero de 1999 hasta diciembre de 2011 en la RCC y los resultados se muestran en la Figura 3.25, donde se graficó la cantidad de días con Pp. Se observó que la cantidad de días anuales con lluvia en la RCC han aumentado a medida que han transcurrido los años, a partir de estos valores, se determinó si las diferencias encontradas son significativas, para ello se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, lo que indicó que, desde enero de 1999 hasta diciembre de 2011, el número de días con Pp ha aumentado significativamente en la RCC.

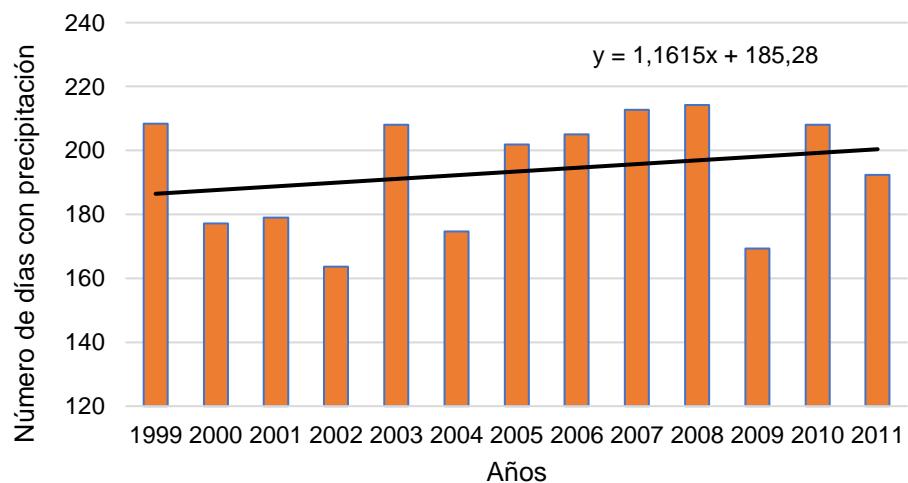


Figura 3.25. Número de días con Pp en la RCC, 1999 – 2011.

3.10. Número de días con precipitación en cada estación

Se calculó el promedio de la cantidad de días por año con Pp para cada una de las estaciones. Con esta información, se confeccionó una nueva serie de Pp media anual para cada una de las estaciones en estudio. Los estadísticos descriptivos de la serie se encuentran resumidos en el cuadro 3.5. Se observó un valor promedio del número de días con lluvia para la estación: SL (189), AJS (183), SB (196), FB (193) y RLG (182) respectivamente; con una desviación estándar de 20,9 días para la estación SL; 15,9 para AJS; 18,3 para SB; de 18,9

para FB y de 19,4 para RLG. La mediana fue de: 186 (SL), 182 (AJS), 203 (SB), 192 (FB) y 184 (RLG). Se analiza a continuación el comportamiento en cada una de estas estaciones.

Cuadro 3.5. Estadísticos descriptivos del número de días con precipitación por estación.

Estación	núm. dat.	prom.	max.	min.	med.	desv.	var.	asim.	curt.
SL	12053	189	229	146	186	20,9	437,3	0,10	-0,78
AJS	6940	183	206	148	182	15,9	254,3	-0,32	-0,52
SB	5478	196	222	169	203	18,3	335,0	-0,19	-1,51
FB	7305	193	223	166	192	18,9	355,7	0,14	-1,51
RLG	6940	182	216	152	184	19,4	377,7	0,07	-1,12

Para determinar si las diferencias encontradas son significativas, se aplicó la prueba de contraste correspondiente y se encontró que estas diferencias sí son estadísticamente significativas $p<.001$, a continuación, se muestra cuáles fueron estas diferencias para cada una de las estaciones.

3.10.1 Estación Santa Lucía

La serie presentó un valor de asimetría ligeramente sesgado a la derecha y muy próximo a cero (0,10), lo que indicó que la distribución es prácticamente simétrica, es decir, existe aproximadamente la misma cantidad de valores a los dos lados de la media. En relación con el valor de curtosis (-0,78), este fue negativo, aproximándose a una distribución platicúrtica, dicho de otra manera, esto corresponde a una distribución achatada (Figura 3.26.).

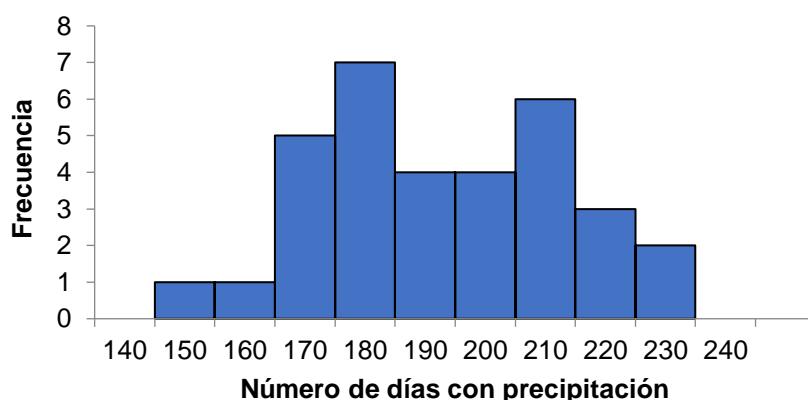


Figura 3.26. Número de días con precipitaciones en la estación SL, 1983 - 2017.

En la Figura 3.27. se observa que el número de días con Pp en la estación SL, han aumentado de manera significativa a medida que han transcurrido los años.

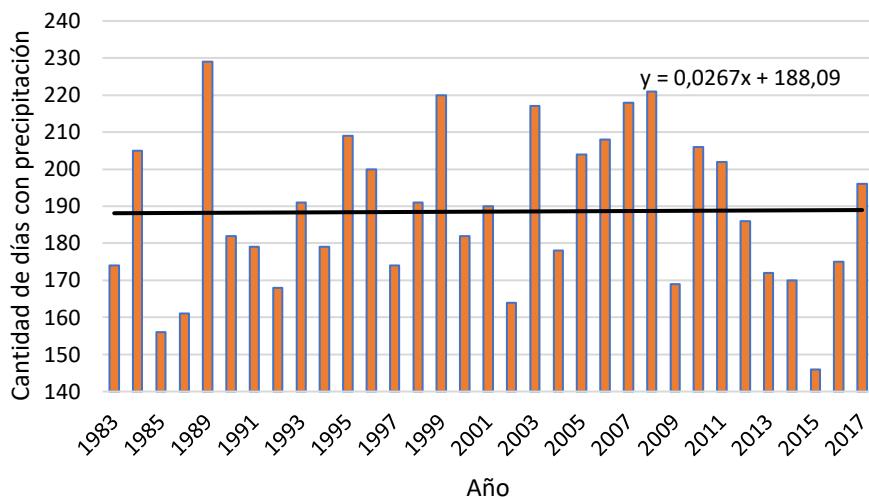


Figura 3.27. Número de días con precipitación en la estación SL, 1983 - 2017.

3.10.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría

La serie presentó el mayor valor de asimetría, la cual fue marcadamente sesgada a la izquierda (-0,32) y un valor de curtosis (-0,52), aproximándose a una distribución platicúrtica o achatada (Figura 3.28.).

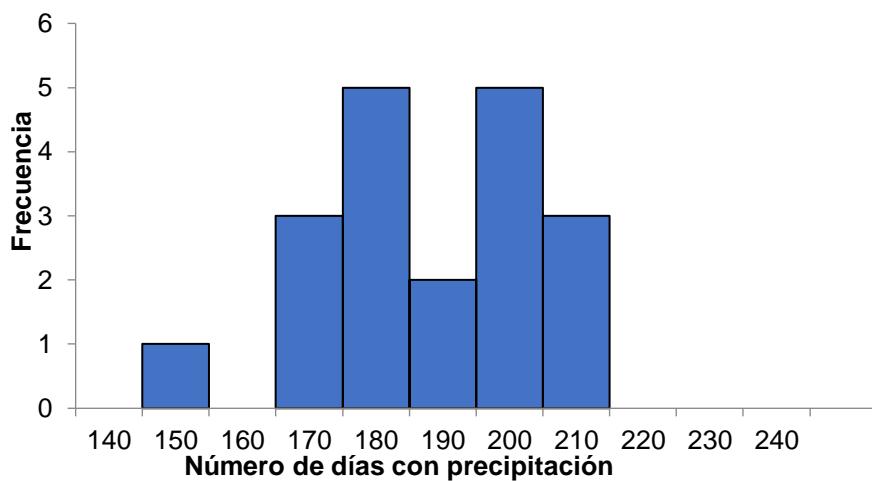


Figura 3.28. Número de días con Pp en la estación AJS, 1999-2017.

En la Figura 3.29. se observa que el número de días con Pp en la estación AJS, tienden a disminuir de manera significativa a medida que han transcurrido los años.

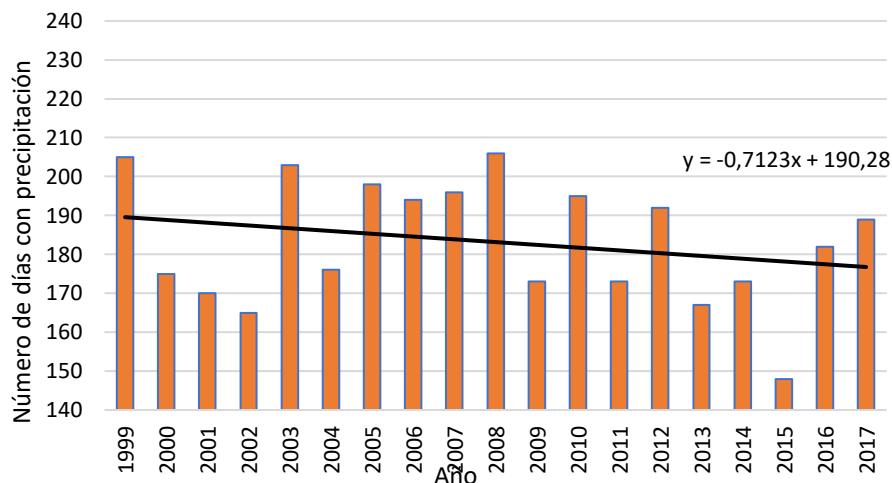


Figura 3.29. Número de días con Pp en la estación AJS, 1999 - 2017.

3.10.3 Estación Santa Bárbara (SB)

La serie presentó un valor de asimetría moderadamente sesgada a la izquierda (-0,19) y un valor de curtosis negativo (-1,51), aproximándose a una distribución platicúrtica (Figura 3.30.).

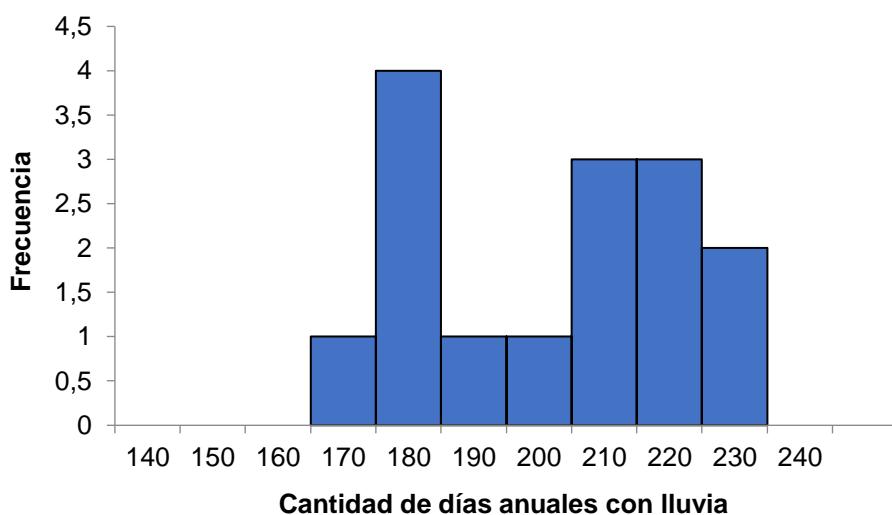


Figura 3.30. Número de días con Pp en la estación SB, 1997-2011.

En la Figura 3.31. se observa que el número de días con Pp en la estación SB, han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

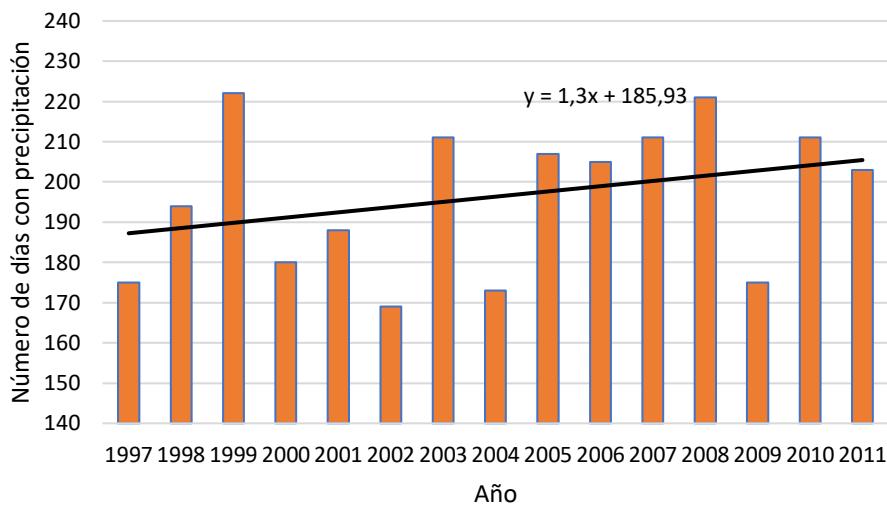


Figura 3.31. Número de días con Pp en la estación SB, 1997 - 2011.

3.10.4 Estación Fabio Baudrit

La serie presentó un valor de asimetría moderadamente sesgado a la derecha (0,14) y un valor de curtosis negativo (-1,51), aproximándose a una distribución platicúrtica (Figura 3.32.).

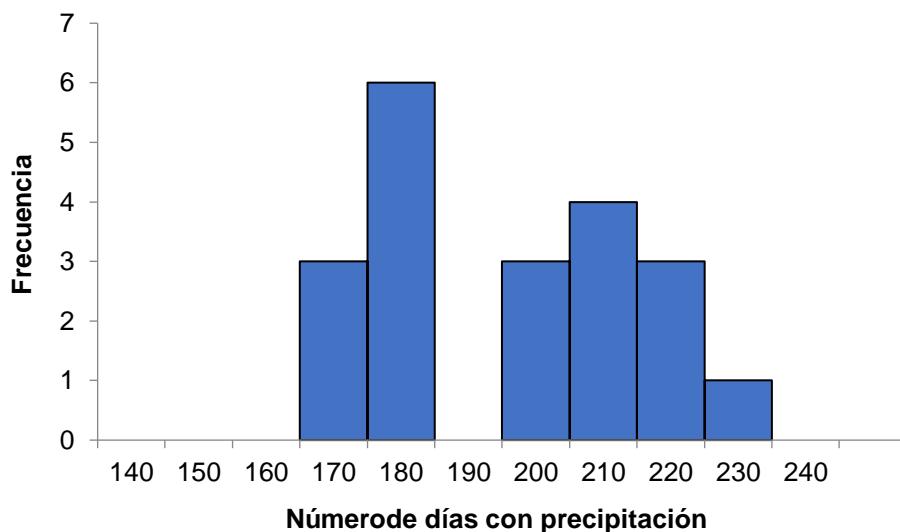


Figura 3.32. Número de días con Pp en la estación FB, 1996 - 2017.

En la Figura 3.33. se observa que el número de días con precipitación en la estación FB, han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

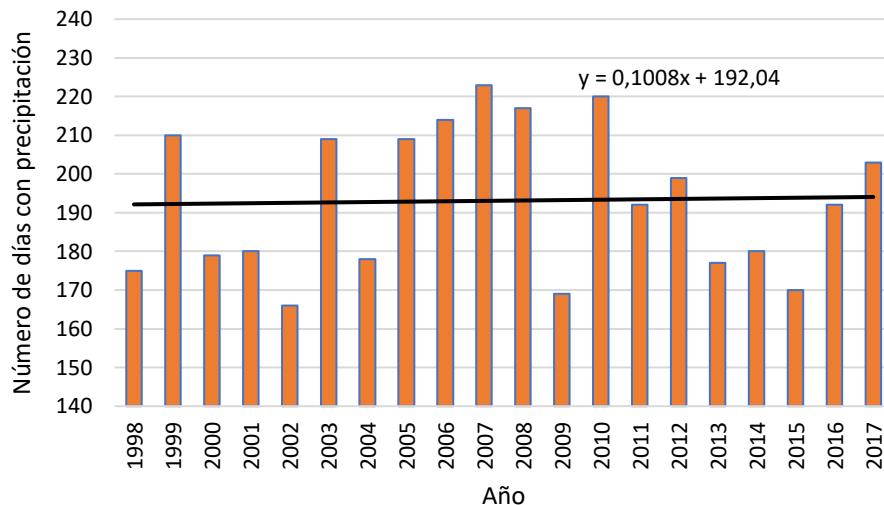


Figura 3.33. Número de días con Pp en la estación FB, 1998 - 2017.

3.10.5 Estación RECOPE La Garita

La serie presentó un valor de asimetría ligeramente sesgado a la derecha (0,07) y un valor de curtosis negativo (-1,12), aproximándose a una distribución platicúrtica (Figura 3.34.).

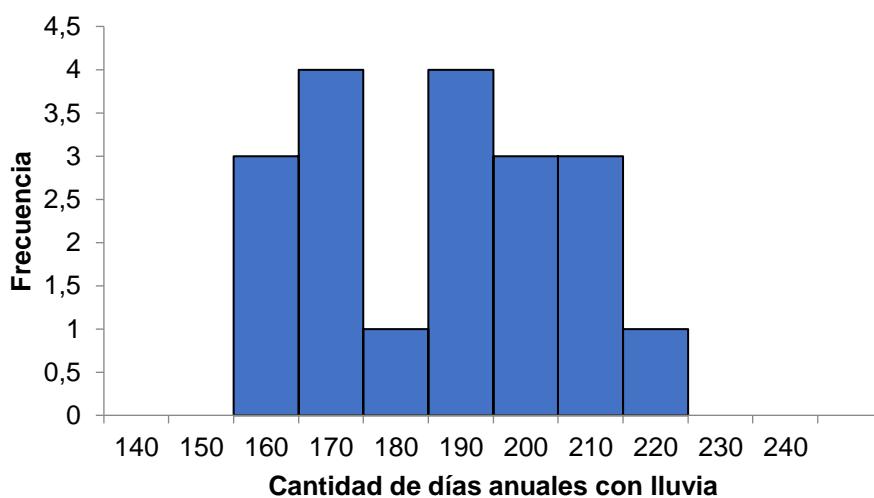


Figura 3.34. Número de días con Pp en la estación RLG, 1999-2017.

En la Figura 3.35. se observa que el número de días con Pp en la estación RLG, han disminuido de manera significativa a medida que han transcurrido los años.

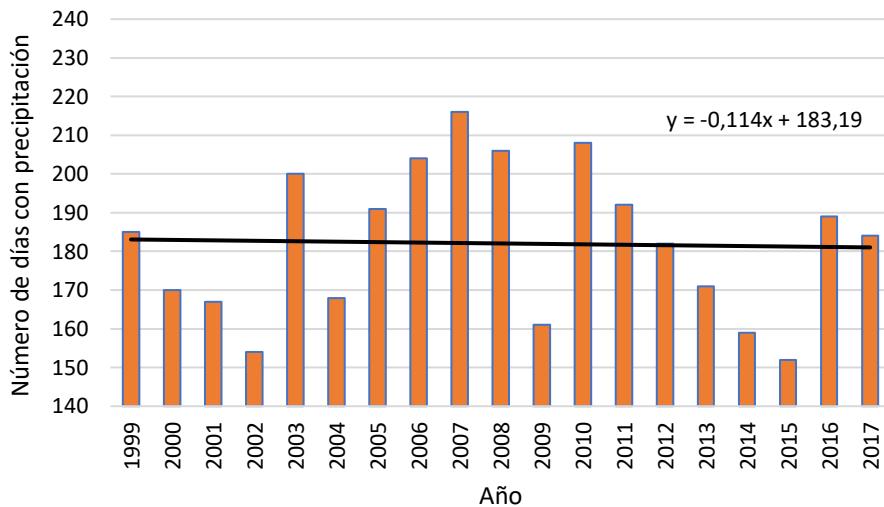


Figura 3.35. Número de días con Pp en la estación RLG, 1999 - 2017.

3.11. Conclusiones Capítulo 3

- La Pp anual media en la RCC fue en promedio de 2183,2 mm con una desviación estándar de 457,9 mm y una mediana de 2151,1 mm. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1999 hasta el año 2011, las precipitaciones anuales medias en la RCC han aumentado significativamente.
- En la estación SL, se obtuvo que la Pp anual media es de 2437,1 mm con una desviación estándar de 489,7 mm y una mediana de 2317,6 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1983-2017).
- En la estación AJS, la Pp anual media fue de 1822,4 mm con una desviación estándar de 452,4 mm y una mediana de 1729,5 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).
- En la estación SB, la Pp anual media fue de 2735,3 mm con una desviación estándar de 549,2 mm y una mediana de 2712,6 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1997-2011).
- En la estación FB, la Pp anual media fue de 1835,6 mm con una desviación estándar de 335,0 mm y una mediana de 1757,8 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado

significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1998-2017).

- En la estación RLG, la Pp anual media fue de 1705,3 mm con una desviación estándar de 407,3 mm y una mediana de 2487,6 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).
- El número de días con lluvia promedio en la Región Central de Costa Rica fue 193, con una desviación estándar de 18,2 días y una mediana de 202 días. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1999 hasta el año 2011, el número de días con Pp ha aumentado significativamente en la RCC.
- En la estación SL, se obtuvo una media anual de 189 días con precipitaciones, con una desviación estándar de 20,9 días y una mediana de 186 días. Además, en esta estación el número de días con Pp ha aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1983-2017).
- En la estación AJS, se obtuvo una media anual de 183 días con precipitaciones, con una desviación estándar de 15,9 días y una mediana de 182 días. Además, en esta estación el número de días con Pp ha disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).
- En la estación SB, se obtuvo una media anual de 196 días con Pp, con una desviación estándar de 18,3 días y una mediana de 203 días. Además, en esta estación el número de días con Pp ha aumentado

significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1997-2011).

- En la estación FB, se obtuvo una media anual de 193 días con Pp, con una desviación estándar de 18,9 días y una mediana de 192 días. Además, en esta estación el número de días con Pp ha aumentado de manera significativa a medida que han transcurrido los años (periodo 1998-2017).
- En la estación RLG, se obtuvo una media anual de 182 días con Pp, con una desviación estándar de 19,4 días y una mediana de 184 días. Además, en esta estación el número de días con Pp ha disminuido de manera significativa a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).



CAPÍTULO 4. ÍNDICES AGROCLIMÁTICOS PARA LA REGIÓN CENTRAL DE COSTA RICA.



4.1 Introducción

El comportamiento de las especies agrícolas se relaciona con la disposición climática y las exigencias meteorológicas de los distintos cultivos; el estudio de esa relación corresponde a la Bioclimatología Agrícola y a la Agroclimatología. La determinación de la aptitud agroclimática para un cultivo implica tener en cuenta aquellos aspectos referentes a las exigencias biometeorológicas de mayor importancia tanto si se pretende estimar sus posibilidades de desarrollo en un lugar como si se desea disponer de elementos adecuados para realizar comparaciones entre distintas áreas agrícolas.

Desde el momento que aquellos cultivos que constituyen una modalidad cultural uniforme se desarrollan en épocas semejantes, pertenecen al mismo tipo de permanencia temporal, por lo que es preferible considerar Índices Agroclimáticos adecuados para cada grupo de cultivos con los cuales disponer de información evaluadora suficiente y precisa.

Los índices agroclimáticos se estiman según el tipo de cultivo y tomando en cuenta los períodos críticos de desarrollo y su desarrollo como tal; para el caso de los cultivos plurianuales tropicales los índices son:

Condiciones térmicas

- Bioperíodo favorable
- Fecha de comienzo, de fin y duración de 10°C
- Fecha de comienzo, de fin y duración de 15°C
- Fecha de comienzo, de fin y duración de 20°C

Disponibilidades Calóricas

- Suma anuales >10°C
- Suma anuales >15°C
- Sumas anuales >20°C

Índices agroclimáticos de temperatura

Son los elementos del clima, de carácter continuo que posibilitan el cumplimiento del proceso fásico de un cultivo. La temperatura del aire y la duración del día son los elementos continuos y periódicos de mayor importancia.

La temperatura del aire es una medida indirecta de la disponibilidad calórica del ambiente atmosférico. Según como se considere, puede actuar sobre el crecimiento y sobre el desarrollo de los vegetales de tres maneras:

- a- por la acción de la acumulación de calor (sumas térmicas)
- b- por la acción de la acumulación de frío (horas de frío)
- c- por la acción de las amplitudes térmicas (termoperiodismo)

Índices agroclimáticos de sumas de temperatura

En los estudios de carácter agroclimático, destinados a evaluar las aptitudes locales o regionales para la producción de cultivos agrícolas con necesidades calóricas conocidas, es imprescindible el conocimiento de las temperaturas efectivas o residuales normales mensuales. El cómputo directo de tales valores normales a partir de registros meteorológicos de muchos años es demasiado largo y trabajoso. Esta es la razón por la cual los promedios climáticos mensuales de temperaturas efectivas (ΣTe), se obtienen corrientemente a partir de las respectivas temperaturas normales mensuales, descontando a las mismas la temperatura base y multiplicando el residuo por el número de días del mes.

a). Sumas térmicas

Cuando se estudia la duración de un cultivo (de ciclo anual), se observa que no es constante, variando según las regiones y de acuerdo con los años y fechas de siembra. Diversos estudios realizados concluyeron que si se suma la temperatura media diaria desde el día en que se produce la germinación hasta el momento de la madurez, la suma total es siempre la misma cualquiera haya sido la ubicación del cultivo y el año considerado. Estas sumas fijas para cada vegetal recibieron el nombre de constante térmica. La constante térmica también puede calcularse para cada subperíodo.

El concepto que las plantas tienen un “requerimiento de temperatura” para completar su ciclo, data del siglo XVIII, pero el mayor impulso a la teoría de acumulación energética o sumas de temperaturas necesarias para que un cultivo complete su ciclo proviene de los últimos 70 años. A dicha acumulación energética se le designa de varias maneras: suma de unidades de crecimiento, sumatoria de temperaturas, sumatoria de unidades calóricas, sumatoria de grados-día, etc. Este procedimiento, llamado directo, ignora dos aspectos que significan otras tantas fuentes de error en los resultados. Uno de ellos es que la temperatura media mensual climática no expresa la variabilidad diaria, cometiéndose un error tanto más grande cuanto mayor es la misma. Tampoco considera la repercusión de la amplitud térmica diaria en la variabilidad interanual de los promedios mensuales y, menos aún, sobre la variabilidad mensual de los valores térmicos extremos (Damario y Pascale, 1971).

La acumulación de calor también se conoce como **unidades de calor o tiempo térmico**, en la cual se introduce una relación cuantificable entre la tasa de desarrollo de los cultivos y la temperatura, la que ha sido de amplio uso en la planificación agrícola. La unidad térmica corresponde a la diferencia entre la temperatura del día y la temperatura base del cultivo, en el caso del café ésta es de 10°C, por lo tanto, el acumulado de ellas en un período dado, son las unidades térmicas acumuladas.

Para cada una de las estaciones seleccionadas se estimaron las sumas térmicas, por: **1) Método directo**, este consiste en sumar todos los valores de temperaturas medias diarias que superen el nivel térmico de 0°C durante un período dado, este puede ser: un mes, un año o el lapso entre dos fases fenológicas. En este método no se computan los valores de temperaturas inferiores a 0°C.

Ejemplo:

$$\sum_{1}^{365} \text{Temperatura media diaria} \geq 0^{\circ}\text{C} = \text{grados días anuales}$$

$$\sum_{F1}^{F2} \text{temperatura media diaria} \geq 0^{\circ}\text{C} = \text{grados días del subperíodo}$$

2) Método residual, en este método se consideran útiles todas las temperaturas superiores a 0°C , pero en realidad, el crecimiento vegetal comienza con temperaturas más altas que el cero grados. Casi todas las especies agrícolas comienzan a crecer a partir de una temperatura particular para cada especie, lo que supone que toda temperatura inferior a este valor no reporta ninguna utilidad al vegetal que se encuentra en descanso. Este nivel térmico se denomina “cero vital” o “temperatura base”. Para encontrar la verdadera eficiencia de una temperatura, se le debe restar la temperatura base. El residuo resultante es la temperatura efectivamente útil.

El método residual consiste en sumar las temperaturas medias diarias a las que se ha restado la temperatura del cero vital de crecimiento. Este método se llama, también, **de las sumas térmicas efectivas o grados-días efectivos**. La temperatura base inicial para el cómputo en cada cultivo debe ser determinada mediante experimentos a campo que incluya todas las posibles variantes de complejos climáticos que permitan la incidencia de temperaturas diferentes (siembras continuadas, ensayos geográficos, etc.)

Ejemplo:

$$\sum_1^{365} \text{temperatura media diaria} - \text{temperatura base} = \text{grados} - \text{días efectivos anuales}$$

$$\sum_{F1}^{F2} \text{temperatura media diaria} - \text{temperatura base} = \text{grados} - \text{días efectivos del subperíodo}$$

La suma de temperaturas puede expresar la necesidad del vegetal para el desarrollo, siempre que la temperatura sea el único elemento, o el fundamental, determinante de la expresión de su desarrollo. Pero, cuando otros elementos contribuyen para el cumplimiento del proceso fásico, la suma de temperaturas como elemento biometeorológico del proceso resulta insuficiente.

La necesidad bioclimática (en la suma de temperaturas), para completar las distintas fases por las que atraviesan las plantas a saber: germinación, crecimiento y desarrollo, reproducción, fructificación y cosecha, es diferente según sea cada cultivo. En el cuadro 4.1., se señalan los requerimientos medios de la suma de grados-días para una serie de cultivos sembrados en el hemisferio norte.

Cuadro 4.1. Requerimientos calóricos medios de la papa, el maíz, el algodón, los citrus y el datilero, durante el período vegetativo (Selyaninov, 1937).

Cultivo	$\Sigma t > 10^\circ\text{C}$ - temperatura media diaria
Papa	900 - 1000
Maíz	2000 - 2300
Algodón	3200 - 3600
Citrus	4000 - 4500
Datilero	4500 - 5000

Dichos requerimientos fueron comparados con las disponibilidades agroclimáticas de la Región Central de Costa Rica y poder así conocer la factibilidad de cultivos en la región estudiada.

Cuadro 4.2. Sumas de temperatura de la Región Central de Costa Rica.

SUMAS DE TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Suma de temperaturas sobre 0°C	677	644	703	687	687	657	679	672	637	656	640	670	8010
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	386	372	415	412	410	386	399	396	375	381	367	381	4681
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	231	227	260	262	255	236	244	241	225	226	217	226	2851
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	78	83	105	112	100	86	89	86	75	71	67	73	1025

Cuadro 4.3. Sumas de temperatura por estación, Región Central de Costa Rica

ESTACIÓN	SUMAS DE TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Santa Lucía	Suma de temperaturas sobre 0°C	595	571	629	624	629	606	614	608	576	595	585	598	7231
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	297	290	328	333	337	316	326	323	306	312	302	304	3774
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	142	145	173	182	182	166	171	168	156	157	152	149	1944
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	3	18	33	27	16	16	13	6	3	3			138
Aero Juan Santamaría	Suma de temperaturas sobre 0°C	696	659	720	704	705	672	698	690	651	669	653	687	8204
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	413	397	442	440	432	406	422	416	389	395	382	404	4940
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	258	252	287	290	277	256	267	261	239	240	232	249	3110
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	103	107	132	140	122	106	112	106	89	85	82	94	1280
Santa Bárbara	Suma de temperaturas sobre 0°C	657	621	677	661	667	640	667	662	625	640	621	651	7789
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	361	342	380	379	391	372	380	382	365	366	347	357	4422
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	206	197	225	229	236	222	225	227	215	211	197	202	2592
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	51	52	70	79	81	72	70	72	65	56	47	47	762
Fabio Baudrit	Suma de temperaturas sobre 0°C	712	676	736	715	711	676	702	696	660	678	664	701	8329
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	429	414	461	454	444	416	434	430	406	411	401	423	5123
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	274	269	306	304	289	266	279	275	256	256	251	268	3293
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	119	124	151	154	134	116	124	120	106	101	101	113	1463
RECOPE La Garita	Suma de temperaturas sobre 0°C	726	693	754	730	722	692	715	706	675	697	679	712	8500
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	429	419	464	455	445	420	434	428	408	420	403	419	5144
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	274	274	309	305	290	270	279	273	258	265	253	264	3314
	Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	119	129	154	155	135	120	124	118	108	110	103	109	1484

Índices agroclimáticos sobre necesidad hídrica

- Precipitación media anual en los tres meses más secos
- Evapotranspiración potencial
- Balance Hidrológico Climático (BHC)
- Balance Hidrológico Seriado (BHS)
- ER media anual y en los tres meses más secos
- ER/EP%.

a) Precipitación

Las lluvias constituyen el aporte natural de agua más allá de la valoración del clima, desde el punto de vista agroclimático interesa conocer el agua que se encuentra en el suelo. El conocimiento de las variaciones temporales y espaciales es un elemento muy importante en toda valoración agroclimática.

La precipitación se mide en milímetros (espesor de lámina de agua que se forma sobre una superficie plana e impermeable de un metro cuadrado), esta unidad es equivalente a litros por metro cuadrado.

b) Precipitación media anual en los tres meses más secos

Es la acumulación media de cualquier forma de hidrometeoro (lluvia, nieve, aguanieve y granizo); para este caso, la forma más común es la lluvia que cae de la atmósfera y alcanza la superficie terrestre, durante los tres meses más

secos del año (Cuadro 4.4.), y que aportan al contenido de agua del suelo. Este índice es de interés, ya que la variación temporal de las precipitaciones y en especial de la lluvia, define el inicio de la época lluviosa; este inicio se produce en el mes siguiente al de menor precipitación media del período. Conocer el comienzo de las lluvias es de sumo interés y de gran utilidad en la agricultura temporal o de secano y en general los cultivos a campo abierto, ya que entre otras cosas es útil para planificar la fecha de siembra y establecimiento de los cultivos.

Cuadro 4.4. Precipitación media anual en los tres meses más secos, Región Central de Costa Rica.

Índice de Pp media anual en los tres meses más secos	ENE	FEB	MAR	ABR*	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
Santa Lucía				27,0								
AERO_ Juan Santamaría				31,4								
Santa Bárbara				78,1								
Fabio Baudrit				32,0								
RECOPE La Garita				29,3								
REGIÓN CENTRAL DE COSTA RICA				39,62								

ABR* es el mes apto para comenzar con el cultivo.

c) Evapotranspiración

El cambio del agua líquida al estado gaseoso (o de vapor) se denomina **evaporación**. En la naturaleza se produce evaporación desde superficies de agua como los océanos, lagos, ríos o lagunas, así como desde suelos desnudos o cubiertos de vegetación, integrándose en este último caso con la **transpiración** de las plantas. La expresión **evapotranspiración** integra los procesos de evaporación del agua desde el suelo y la transpiración de las plantas que lo cubren total o parcialmente.

4.2 Materiales y métodos

Para estimar la evapotranspiración potencial (ETP) se utilizaron cuatro metodologías de cálculo (Thornthwaite, Turc, Hargreaves-Samani y Penman-Monteith FAO 1998); según el autor con el que se trabaje, son necesarios distintos elementos meteorológicos para realizar el cálculo, en el cuadro 4.5. se especifican los datos necesarios para cada uno de los métodos utilizados (Allen et all., 2006)..

Cuadro 4.5. Datos necesarios para el cálculo de la ETP según el método seleccionado.

Datos	Thornthwaite	Turc	Hargreaves	Penman
Latitud	*	*	*	*
Tmm (°C)	*	*	*	*
Tmx (°C)		*	*	*
Tmi (°C)		*	*	*
HE (hs/día)		*	*	*
HR (%)		*	*	*
P (hPa)			*	*
V (Km/h)			*	*
A (m)			*	*
Aa (m)			*	*
Albedo (%)			*	*

donde:

Tmm: temperatura media mensual.

Tmx: temperatura media de máximas.

Tmi: temperatura media de mínimas.

HE: heliofanía efectiva.

HR: humedad relativa.

P: presión atmosférica.

V: velocidad del viento.

A: altura sobre el nivel del mar de la estación.

Aa: altura del anemómetro.

Las expresiones de cálculo utilizadas fueron las siguientes:

a) Segundo el método de Thornthwaite:

$$ETP_j = c_j 16 \left(10 \frac{T_j}{I} \right)^a$$

donde:

ETP_j : evapotranspiración potencial del mes j (mm)

T_j : temperatura media mensual del mes j ($^{\circ}\text{C}$)

$a: 6,75 \times 10^{-7} I^3 - 7,71 \times 10^{-5} I^2 + 0,01792 I + 0,49239$

I : índice calórico anual

$$I = \sum_{j=1}^{12} i_j$$

i_j : índice calórico mensual para cada mes j

$$i_j = \left(\frac{T_j}{5} \right)^{1,514}$$

c_j : coeficiente de ajuste para cada mes j , que varía según el número de días del mes $j(N_j)$ y las horas de heliofanía astronómica promedio para el mes $j(H_j)$. Se requiere este ajuste puesto que la ecuación original se basa en meses de 30 días y días de 12 horas de heliofanía astronómica.

$$c_j = \frac{H_j * N_j}{12 * 30}$$

b) Segundo el método de Turc:

$$ETo = f_i * \left[\frac{T}{T + 15} \right] RG + 50 * c_i$$

donde:

ETo : evapotranspiración de referencia diaria (mm/día).

f_i : factor de corrección por duración del mes: 0,37 para febrero y 0,40 para los demás meses.

T : temperatura media mensual.

RG : radiación global, estimada a partir de la Radiación Astronómica (RA) y de la heliofanía efectiva (He) y astronómica (HA).

$$RG = RA * \left(0,18 + 0,62 * \frac{He}{Ha} \right)$$

c_i : factor de corrección para zonas áridas, en función de la humedad relativa (HR). $c_i = 1$ si $HR > 50\%$; si $HR < 50\%$, $c_i = 1 + \frac{50-HR}{70}$.

c) Segundo el método de Hargreaves:

$$ETo = 0,0023 * RA * (Tmax - Tmin)^{0,5} (T + 17,78)$$

donde:

ETo : evapotranspiración de referencia diaria ($mm/día$).

T : temperatura media diaria del aire ($^{\circ}C$).

RA : radiación astronómica, convertida en $mm/día$.

$Tmax - Tmin$: diferencia entre temperatura máxima y mínima diaria del aire ($^{\circ}C$).

En caso de disponer los datos de Radiación Global, la expresión de estimación de la ETo es:

$$ETo: 0,0135 * (T + 17,78) * RG$$

donde:

RG : Radiación global ($mm/día$).

d) Segundo el método de Penman-Monteith:

$$ETo = \frac{0,48\Delta(Rn - G) + \gamma \frac{900}{T + 273} u_2(e_s - e_a)}{\Delta + \gamma(1 + 0,34u_2)}$$

donde:

ETo : evapotranspiración de referencia diaria ($mm/día$).

Rn : radiación neta en la superficie del cultivo $MJ\ m^{-2}día^{-1}$.

G : flujo de calor en el suelo $MJ\ m^{-2}día^{-1}$.

T : temperatura media del aire a 2m de altura ($^{\circ}C$).

u_2 : velocidad del viento a 2m de altura (ms^{-1}).

e_s : tensión de vapor de saturación (kPa).

e_a : tensión real de vapor (kPa).

$e_s - e_a$: déficit de saturación (kPa).

Δ : pendiente de la curva de presión de vapor ($kPa^{\circ}C^{-1}$).

γ : constante psicométrica ($0,665 \times 10^{-3}kPa\ ^{\circ}C^{-1}$)

4.3 Índices agroclimáticos sobre necesidad hídrica

4.3.1 Estimación de la Evapotranspiración Potencial (ETP)

La evapotranspiración potencial, es la cantidad máxima de agua posible que pudiese evaporar un suelo y transpirar las plantas, si los suelos estuvieran en su contenido óptimo de humedad y con cobertura vegetal completa. También es conocida como: **demanda evaporativa de la atmósfera**.

4.3.1.1 Estación Santa Lucía

Cuadro 4.6. ETP (mm/mes) estimada por diferentes métodos de cálculo para la estación Santa Lucía.

Método	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Thornthwaite	69	66	80	83	84	80	82	80	72	72	69	69	906
Turc	73	72	83	85	84	83	83	83	82	79	74	71	952
Hargreaves	106	112	140	140	133	122	124	129	123	117	103	99	1448
Penman-Monteith	66	64	76	63	42	34	43	39	30	29	38	53	577

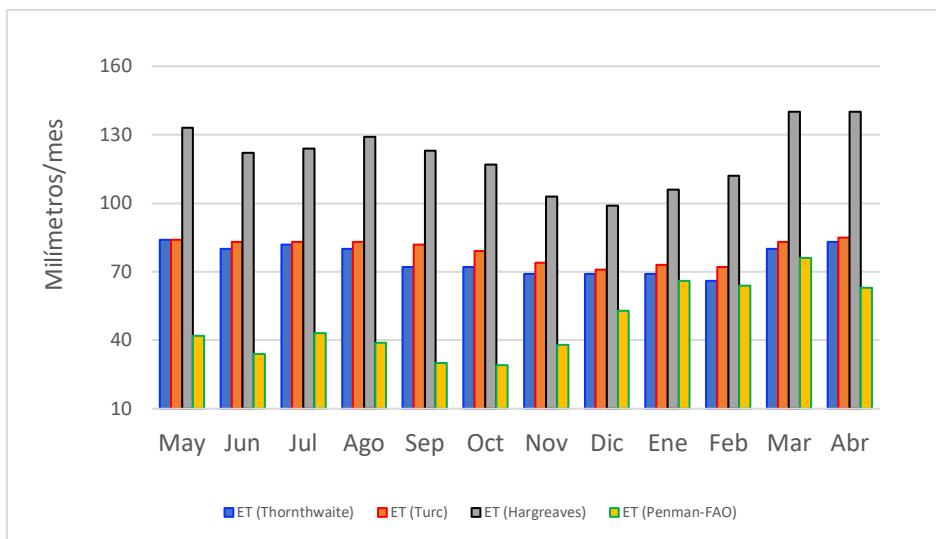


Figura 4.1. Comportamiento de la ETP estimada por cuatro metodologías, en función de los meses del año para la estación Santa Lucía.

4.3.1.2 Estación Aero Juan Santamaría

Cuadro 4.7. ETP (mm/mes) estimada por diferentes métodos para la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

Método	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año	
Thornthwaite	87	83	99	101	97	92	96	92	81	81	79	84	1072	
Turc	77	76	87	89	87	86	86	87	85	85	82	77	75	994
Hargreaves	116	119	147	147	138	127	132	135	128	121	109	110	1529	
Penman-Monteith	104	104	114	91	53	43	55	49	37	33	44	74	801	

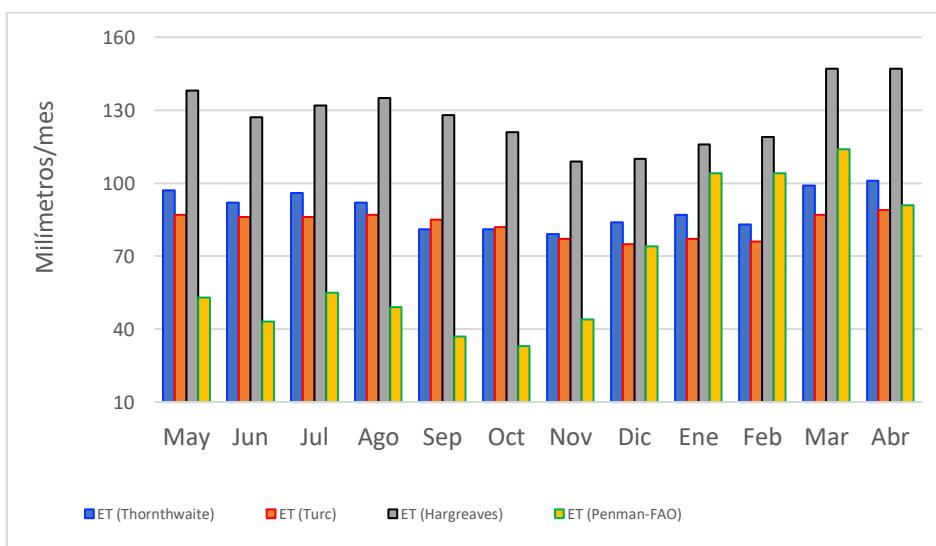


Figura 4.2. Comportamiento de la ETP estimada por cuatro metodologías, en función de los meses del año para la estación Aeropuerto Juan Santamaría.

4.3.1.3 Estación Santa Bárbara

Cuadro 4.8. ETP (mm/mes) estimada por diferentes métodos para la estación Santa Bárbara.

Método	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Thornthwaite	79	74	88	89	89	85	89	86	77	77	73	77	983
Turc	130	131	147	136	110	96	98	101	98	97	98	113	1355
Hargreaves	123	126	157	153	142	131	137	140	134	124	113	116	1596
Penman-Monteith	95	88	96	75	44	38	49	44	34	33	41	68	705

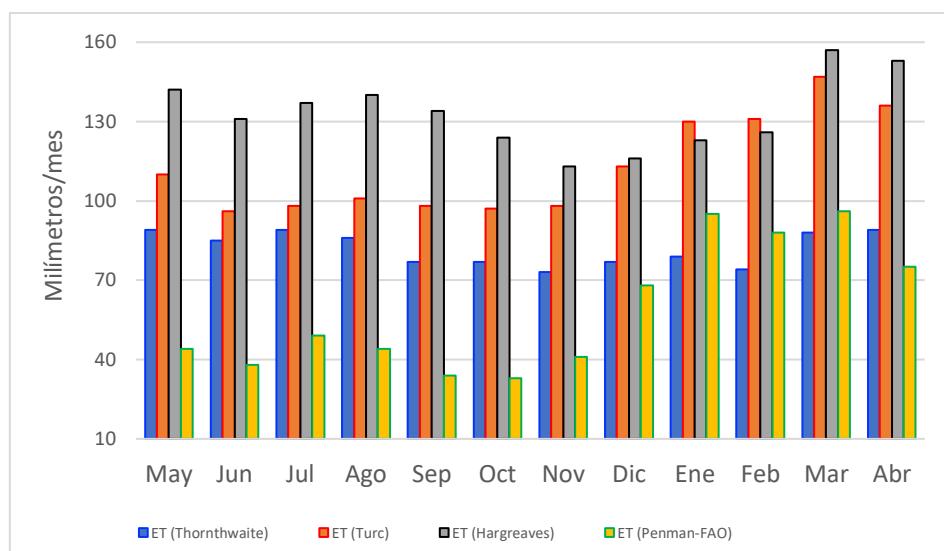


Figura 4.3. Comportamiento de la ETP estimada por cuatro metodologías, en función de los meses del año para la estación Santa Bárbara.

4.3.1.4 Estación Fabio Baudrit

Cuadro 4.9. ETP (mm/mes) estimada por diferentes métodos para la estación Fabio Baudrit.

Método	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Thornthwaite	92	88	104	104	99	92	97	93	83	83	80	87	1102
Turc	78	77	88	90	88	86	86	87	86	82	78	76	1002
Hargreaves	127	128	157	155	143	131	139	142	132	125	116	121	1616
Penman-Monteith	81	86	94	72	40	31	38	34	28	26	32	54	616

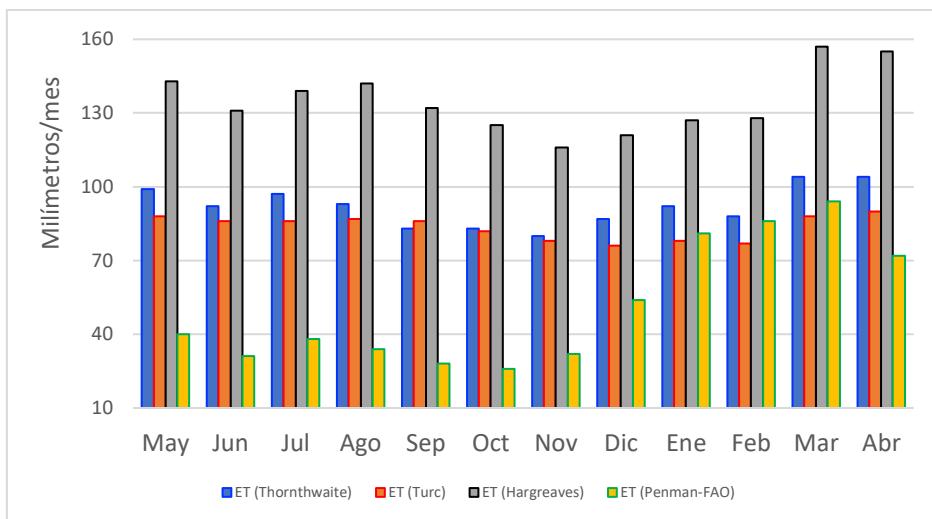


Figura 4.4. Comportamiento de la ETP estimada por cuatro metodologías, en función de los meses del año para la estación Fabio Baudrit.

4.3.1.5 Estación RECOPE La Garita

Cuadro 4.10. ETP (mm/mes) estimada por diferentes métodos para la estación RECOPE La Garita.

Método	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	Año
Thornthwaite	95	93	110	109	102	97	100	95	87	88	84	90	1150
Turc	78	78	89	90	88	87	87	87	86	83	79	76	1008
Hargreaves	127	128	156	153	141	128	135	137	129	122	113	119	1588
Penman-Monteith	71	78	83	63	38	31	37	33	29	27	32	47	569

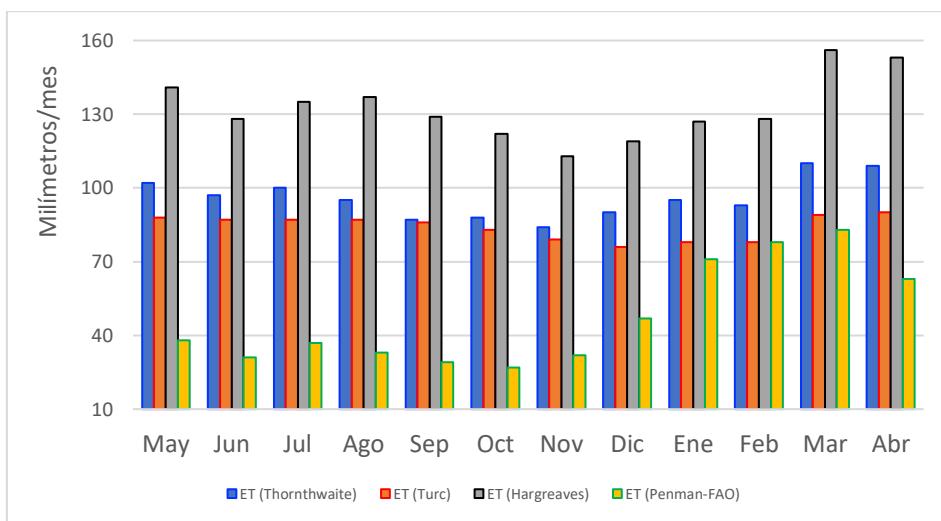


Figura 4.5. Comportamiento de la ETP estimada por cuatro metodologías, en función de los meses del año para la estación RECOPE La Garita.

4.3.2. Balance de agua del suelo

Los procesos de crecimiento y desarrollo de las plantas tienen como uno de los principales factores limitantes a la disponibilidad de agua del suelo, especialmente en agricultura de secano. Por lo tanto, la alternativa es determinar esa disponibilidad mediante un balance hidrológico, que es una herramienta que permite estimar con facilidad variables relativas al contenido de humedad del suelo. En otras palabras, es un modelo que parametriza el contenido de agua del suelo a través de la demanda atmosférica, la evapotranspiración y la precipitación (Hurtado y Spescha, 2016).

Para analizar la dinámica del agua y su infiltración en el suelo, el uso por las plantas y su retorno a la atmósfera, el Balance Hídrico (BH), se presenta como una de las herramientas de mayor capacidad e integración, donde el suelo almacena el agua y luego la cede a las plantas según la demanda de éstas.

El BH permite un mejor conocimiento sobre el clima del lugar, lo cual es fundamental en la toma de decisiones en aquellas actividades que dependen del clima para completar procesos. En este estudio se estimará el BH desarrollado por Thornthwaite y Mather (1957), y el Balance Hidrológico Seriado (BHS) de Damario y Pascale (1977). Los mismos permiten una buena aproximación de la disponibilidad del agua en el suelo.

4.3.2.1. Balance Hidrológico Climático (BHC)

El BHC se considera como un balance climático debido a que utiliza valores estadísticos medios de precipitación (P_p) y evapotranspiración potencial (ETP) de una larga serie de años. Otros parámetros como: exceso de agua, deficiencia de agua y el almacenaje de agua del suelo, se pueden estimar mediante la comparación de la marcha estacional de la precipitación con relación a la evapotranspiración potencial mensual media. Estos parámetros reflejan una situación hídrica media o normal del clima para el lugar en cuestión y su aplicación deberá extenderse exclusivamente a las condiciones naturales producidas por la acción de los elementos meteorológicos a través del tiempo, por ejemplo, el tipo de suelo y el tipo de vegetación. Así mismo, el BHC es una

herramienta adecuada para delimitar áreas geográficas para la implementación de cultivos.

Entre el agua que llega a la superficie y la pérdida por evapotranspiración, la primera al llegar al suelo no se almacena en un recipiente del cuál puede evaporarse, sino que, al penetrar, entra a formar parte de un sistema disperso que la retiene de distintas formas según el tipo y estructura de suelo y que a su vez podrá ser llevada a la superficie según la profundidad de las raíces de la vegetación que cubre el suelo, esto porque las raíces de los cultivos hortícolas penetran pocos centímetros, sin embargo; los árboles fácilmente superan el metro, de ahí que el agua en los diferentes suelos esté disponible para evapotranspirar.

El BHC constituye una herramienta sencilla y bastante confiable para el diagnóstico climático. Conociendo la ETP, y la Pp mensual de un lugar, es posible efectuar el balance hidrológico mensual climático (BHC).

* *El valor de capacidad de campo (CC) que se utilizó en este cálculo fue de 100 mm, esto porque el suelo en la Región Central de Costa Rica pertenece al orden Andisol, según la taxonomía de suelos del USDA. Estos suelos son derivados cenizas volcánicas, se caracterizan por ser poco profundos, de color oscuro por el alto contenido de alofana; la densidad aparente medida a una retención de agua de 33KPa es ≤ a 0,90 Mg.m⁻³ y un punto de marchitez permanente de 70 mm (Alvarado & Forsythe, 2005; Montes de Oca & Mata, 1996).*

4.3.2.1.1. Estación Santa Lucía

Cuadro 4.11. BHC, Santa Lucía 1982-2017.

Estimación de la ETP: método de Thornthwaite.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	333	330	207	258	423	442	183	54	18	23	41	116	2427
ETP	84	80	82	80	72	72	69	69	69	66	80	83	906
DP (PP-ETP)	249	250	125	178	351	370	114	-16	-51	-43	-39	33	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	86	51	33	23	55	
Δ ALM	45	0	0	0	0	0	0	-14	-34	-18	-11	33	
ALM + EXC	305	350	225	278	451	470	214	86	51	33	23	55	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	84	80	82	80	72	72	69	68	52	41	52	83	835
DEF	0	0	0	0	0	0	0	1	17	25	28	0	71
EXC	205	250	125	178	351	370	114	0	0	0	0	0	1592
SH	205	250	125	178	351	370	114	-1	-17	-25	-28	0	

donde:

PP = precipitación

ETP = evapotranspiración potencial

DP = déficit potencial

ALM = almacenaje

Δ ALM = variación de almacenaje

ALM + EXC = almacenaje más exceso de humedad

CC = capacidad de campo*

ETR = evapotranspiración real

DEF = déficit de humedad

EXC = exceso de humedad

SH = situación hídrica

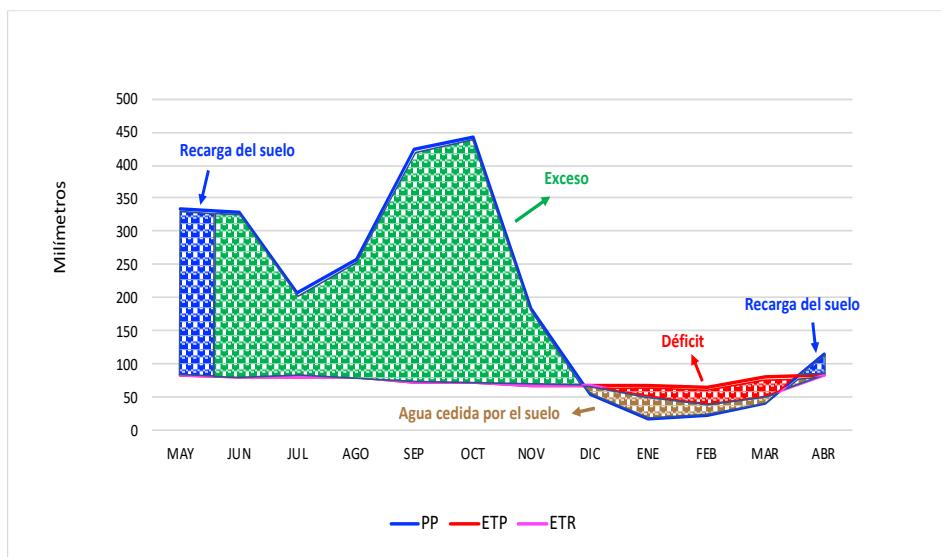


Figura 4.6. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Lucía 1982-2017.

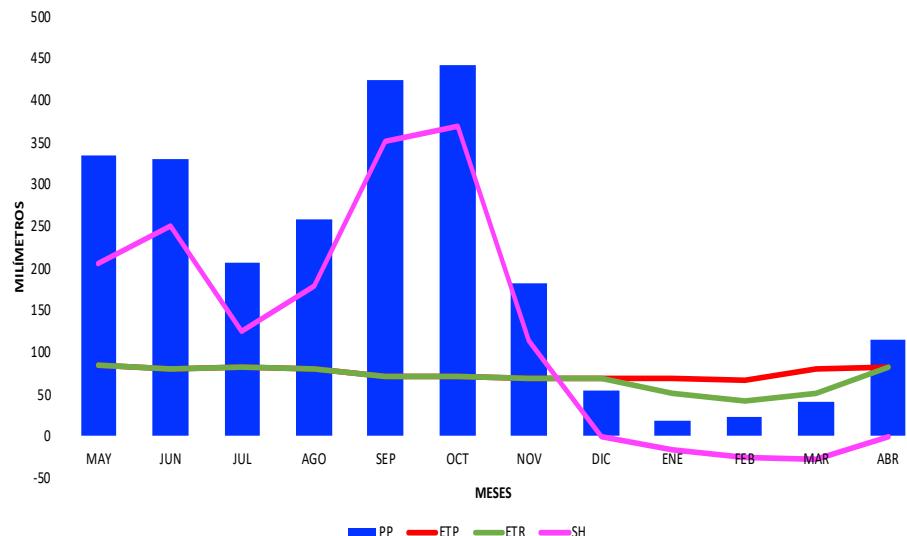


Figura 4.7. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Lucía 1982-2017.

Cuadro 4.12. BHC, Santa Lucía 1982 -2017.

Estimación de la ETP: método de Turc.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	333	330	207	258	423	442	183	54	18	23	41	116	2427
ETP	84	83	83	83	82	79	74	71	73	72	83	85	952
DP (PP-ETP)	249	247	124	175	341	363	109	-18	-55	-49	-42	31	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	84	48	30	19	50	
Δ ALM	50	0	0	0	0	0	0	-16	-36	-19	-10	31	
ALM + EXC	299	347	224	275	441	463	209	84	48	30	19	50	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	84	83	83	83	82	79	74	70	53	42	51	85	869
DEF	0	0	0	0	0	0	0	1	20	30	32	0	83
EXC	199	247	124	175	341	363	109	0	0	0	0	0	1558
SH	199	247	124	175	341	363	109	-1	-20	-30	-32	0	

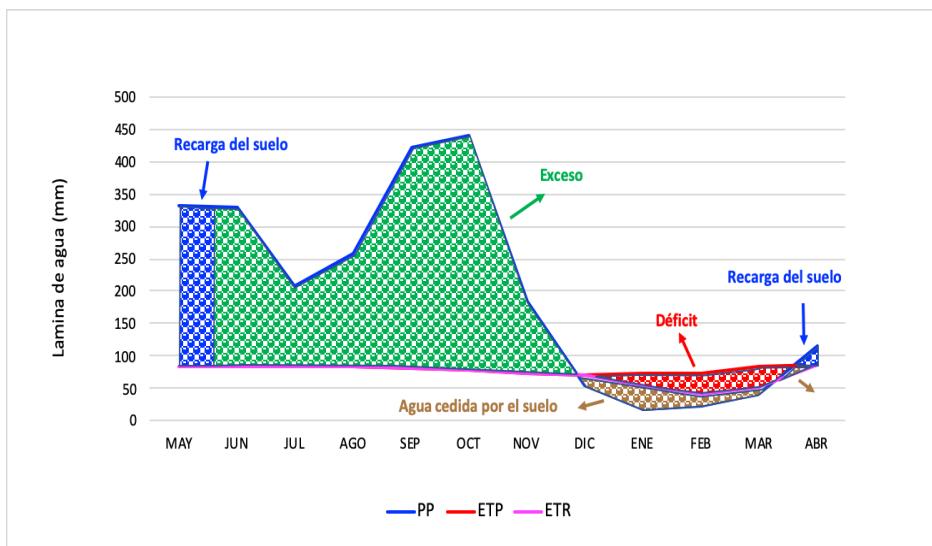


Figura 4.8. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Lucía 1982-2017.

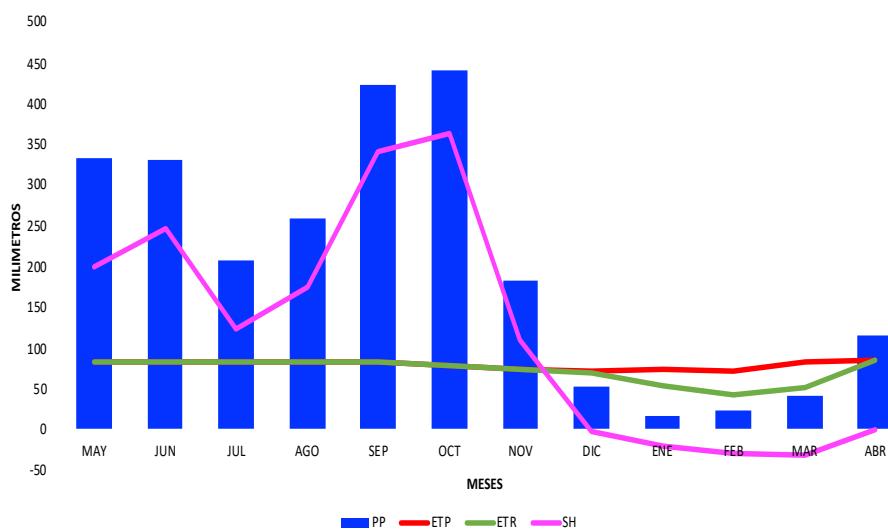


Figura 4.9. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Lucía 1982-2017.

Cuadro 4.13. BHC, Santa Lucía 1982 -2017.

Estimación de la ETP: método de Hargreaves-Samani.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	333	330	207	258	423	442	183	54	18	23	41	116	2427
ETP	133	122	124	129	123	117	103	99	106	112	140	140	1448
DP (PP-ETP)	200	208	83	129	300	325	80	-46	-88	-89	-99	-24	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	63	26	11	4	3	
Δ ALM	97	0	0	0	0	0	0	-37	-37	-15	-7	-1	
ALM + EXC	203	308	183	229	400	425	180	63	26	11	4	3	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	133	122	124	129	123	117	103	90	55	39	48	116	1199
DEF	0	0	0	0	0	0	0	9	51	73	92	24	249
EXC	103	208	83	129	300	325	80	0	0	0	0	0	1228
SH	103	208	83	129	300	325	80	-9	-51	-73	-92	-24	

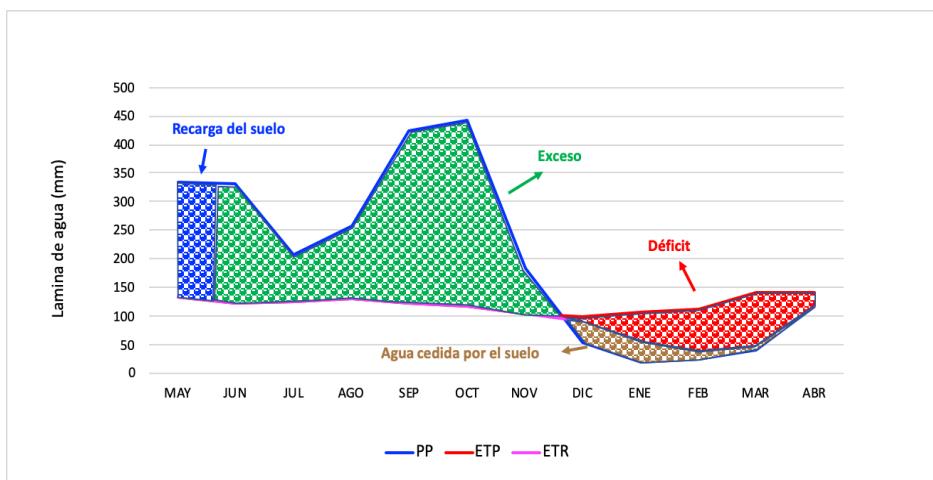


Figura 4.10. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Lucía 1982-2017.

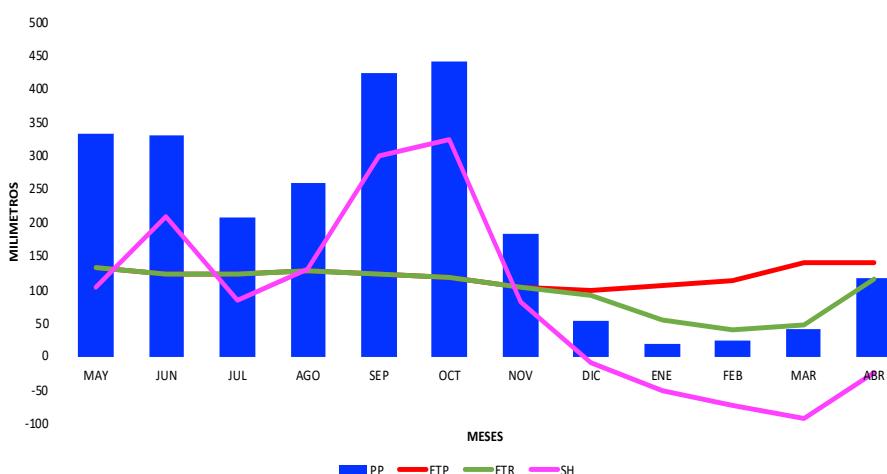


Figura 4.11. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Lucía 1982-2017.

Cuadro 4.14. BHC, Santa Lucía 1982-2017.

Estimación de la ETP: método de Penman-Monteith FAO (1998).

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	333	330	207	258	423	442	183	54	18	23	41	116	2427
ETP	42	34	43	39	30	29	38	53	66	64	76	63	577
DP (PP-ETP)	291	296	164	219	393	413	145	1	-48	-41	-35	-35	53
ALM	100	100	100	100	100	100	100	100	62	41	29	81	
Δ ALM	19	0	0	0	0	0	0	0	-38	-21	-12	53	
ALM + EXC	373	396	264	319	493	513	245	100	62	41	29	81	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	42	34	43	39	30	29	38	53	56	44	53	63	524
DEF	0	0	0	0	0	0	0	0	10	20	23	0	53
EXC	273	296	164	219	393	413	145	0	0	0	0	0	1903
SH	273	296	164	219	393	413	145	0	-10	-20	-23	0	

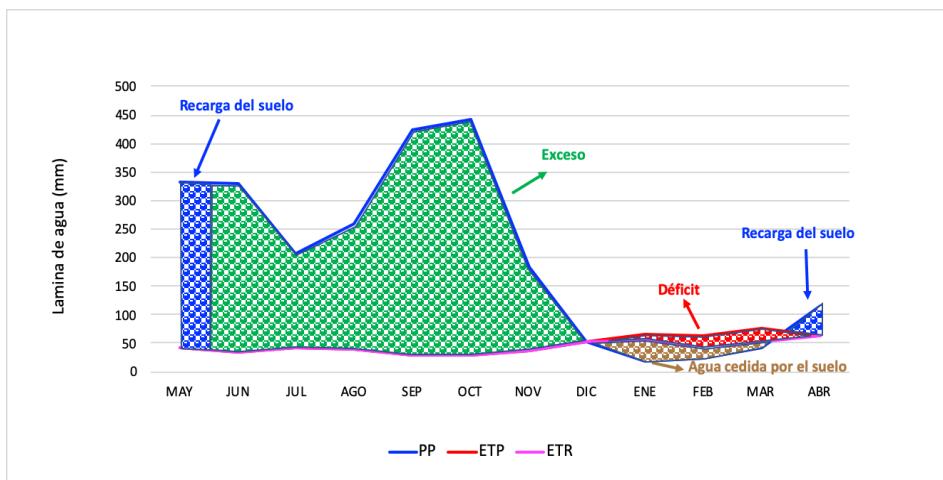


Figura 4.12. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Lucía 1982-2017.

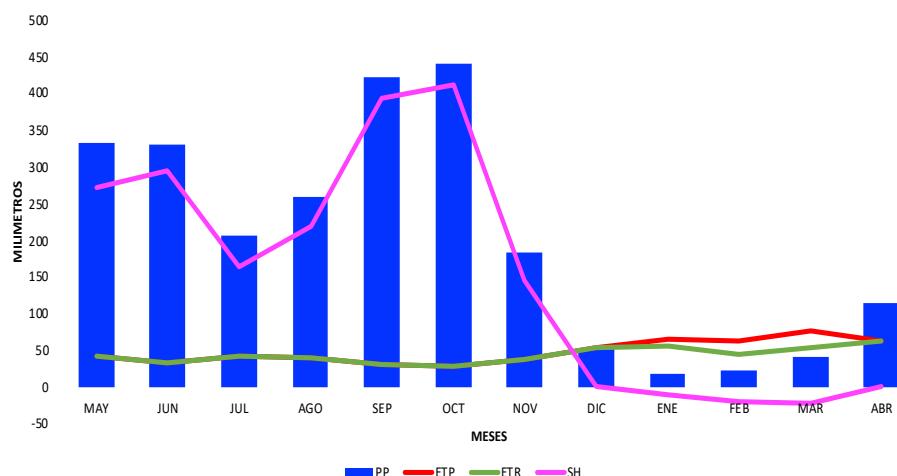


Figura 4.13. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Lucía 1982-2017.

4.3.2.1.2 Estación Aeropuerto Juan Santamaría

Cuadro 4.15. BHC, Aeropuerto Juan Santamaría 1998-2017.

Estimación de la ETP: método de Thornthwaite.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	244	220	152	214	308	301	146	34	6	11	14	74	1724
ETP	97	92	96	92	81	81	79	84	87	83	99	101	1072
DP (PP-ETP)	147	128	56	122	227	220	67	-50	-81	-72	-85	-27	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	61	27	13	6	4	
Δ ALM	96	0	0	0	0	0	0	-39	-34	-14	-8	-1	
ALM + EXC	151	228	156	222	327	320	167	61	27	13	6	-22	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	97	92	96	92	81	81	79	74	40	25	22	101	879
DEF	0	0	0	0	0	0	0	10	47	58	77	0	193
EXC	51	128	56	122	227	220	67	0	0	0	0	-26	845
SH	51	128	56	122	227	220	67	-10	-47	-58	-77	-26	

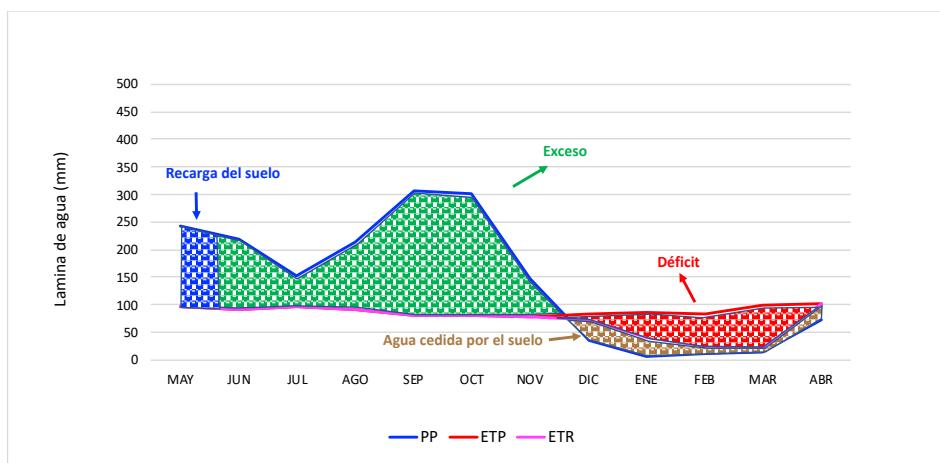


Figura 4.14. Representación gráfica de las áreas del BHC, AJS 1998-2017.

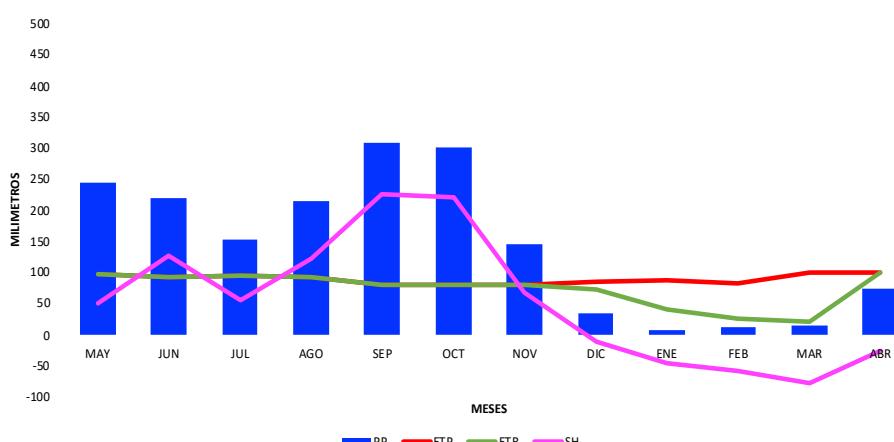


Figura 4.15. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, AJS 1998-2017.

Cuadro 4.16. BHC, Aeropuerto Juan Santamaría 1998 -2017.

Estimación de la ETP: método de Turc.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	244	220	152	214	308	301	146	34	6	11	14	74	1724
ETP	87	86	86	87	85	82	77	75	77	76	87	89	994
DP (PP-ETP)	157	134	66	127	223	219	69	-41	-71	-65	-73	-15	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	67	33	17	8	7	
Δ ALM	93	0	0	0	0	0	0	-33	-34	-16	-9	-1	
ALM + EXC	164	234	166	227	323	319	169	67	33	17	8	-7	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	87	86	86	87	85	82	77	68	40	27	23	89	837
DEF	0	0	0	0	0	0	0	7	37	49	64	0	157
EXC	64	134	66	127	223	219	69	0	0	0	0	-14	888
SH	64	134	66	127	223	219	69	-7	-37	-49	-64	-14	

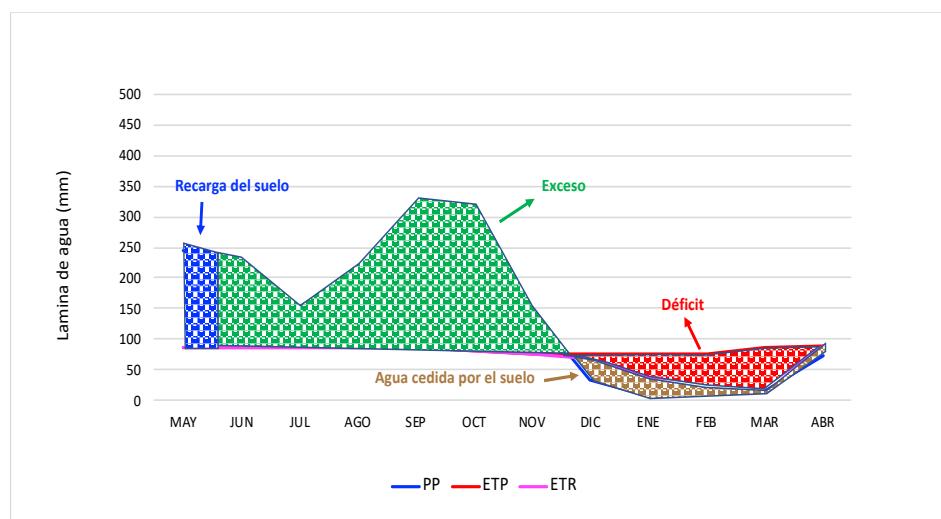


Figura 4.16. Representación gráfica de las áreas del BHC, AJS 1998-2017.

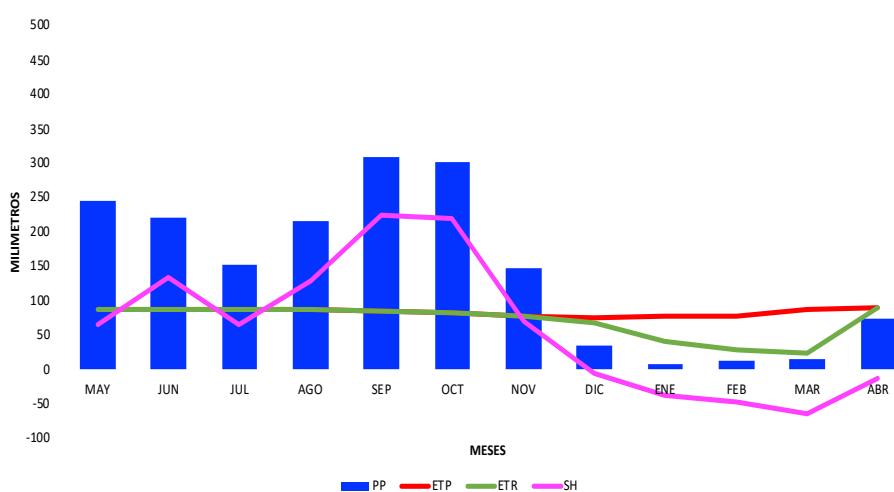


Figura 4.17. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, AJS 1998-2017.

Cuadro 4.17. BHC, Aeropuerto Juan Santamaría 1998 -2017.

Estimación de la ETP: método de Hargreaves-Samani.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	244	220	152	214	308	301	146	34	6	11	14	74	1724
ETP	138	127	132	135	128	121	109	110	116	119	147	147	1529
DP (PP-ETP)	106	93	20	79	180	180	37	-76	-110	-108	-133	-73	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	47	16	5	1	1	
Δ ALM	99	0	0	0	0	0	0	-53	-31	-10	-4	-1	
ALM + EXC	106	193	120	179	280	280	137	47	16	5	1	1	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	138	127	132	135	128	121	109	87	37	22	18	75	1129
DEF	0	0	0	0	0	0	0	23	79	97	129	72	400
EXC	6	93	20	79	180	180	37	0	0	0	0	0	595
SH	6	93	20	79	180	180	37	-23	-79	-97	-129	-72	

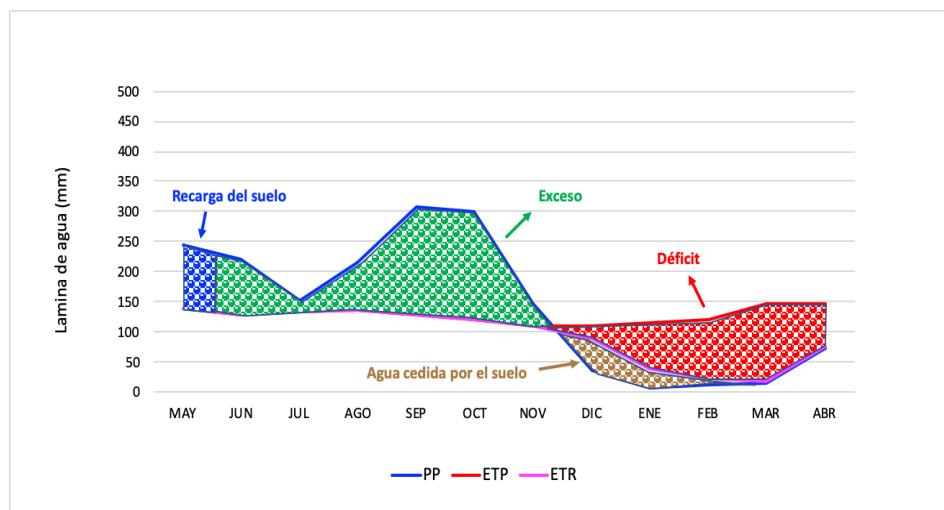


Figura 4.18. Representación gráfica de las áreas del BHC, AJS 1998-2017.

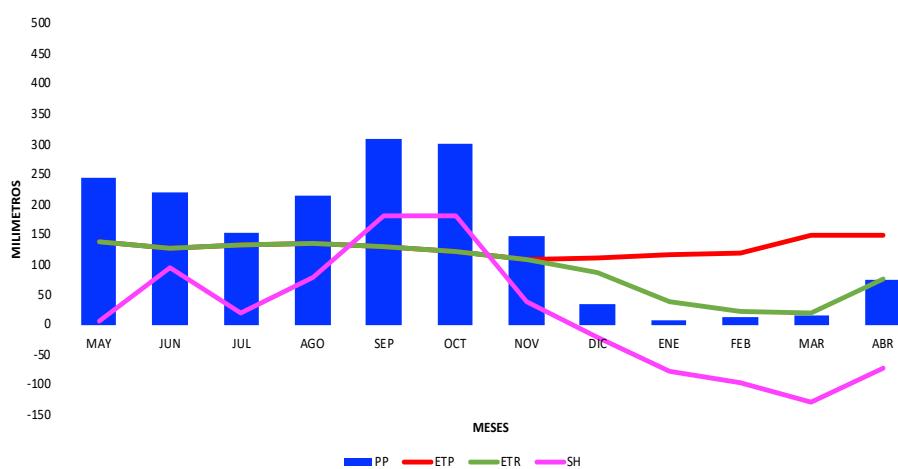


Figura 4.19. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, AJS 1998-2017.

Cuadro 4.18. BHC, Aeropuerto Juan Santamaría 1998-2017.

Estimación de la ETP: método de Penman-Monteith FAO (1998).

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	244	220	152	214	308	301	146	34	6	11	14	74	1724
ETP	53	43	55	49	37	33	44	74	104	104	114	91	801
DP (PP-ETP)	191	177	97	165	271	268	102	-40	-98	-93	-100	-17	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	67	25	10	4	3	
Δ ALM	97	0	0	0	0	0	0	-33	-42	-15	-6	-1	
ALM + EXC	194	277	197	265	371	368	202	67	25	10	4	-14	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	53	43	55	49	37	33	44	67	48	27	20	91	567
DEF	0	0	0	0	0	0	0	7	56	77	94	0	234
EXC	94	177	97	165	271	268	102	0	0	0	0	-17	1157
SH	94	177	97	165	271	268	102	-7	-56	-77	-94	-17	

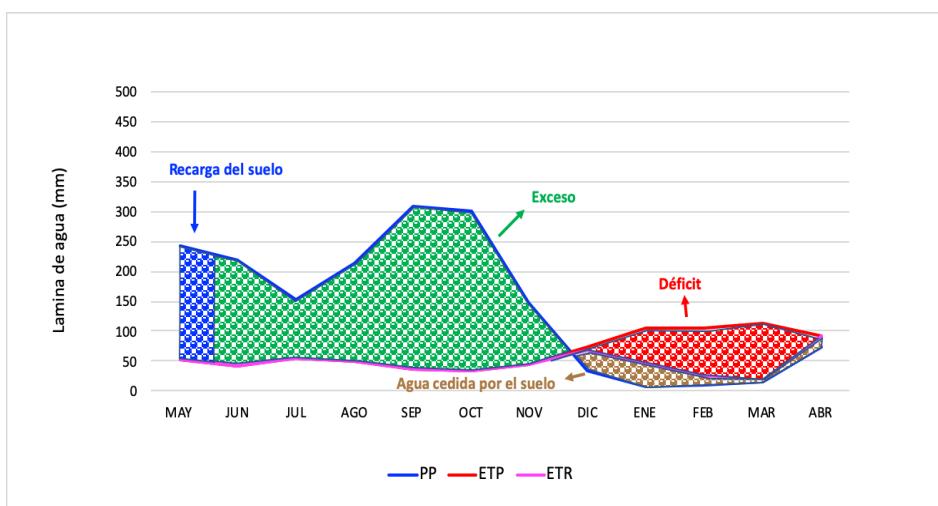


Figura 4.20. Representación gráfica de las áreas del BHC, AJS 1998-2017.

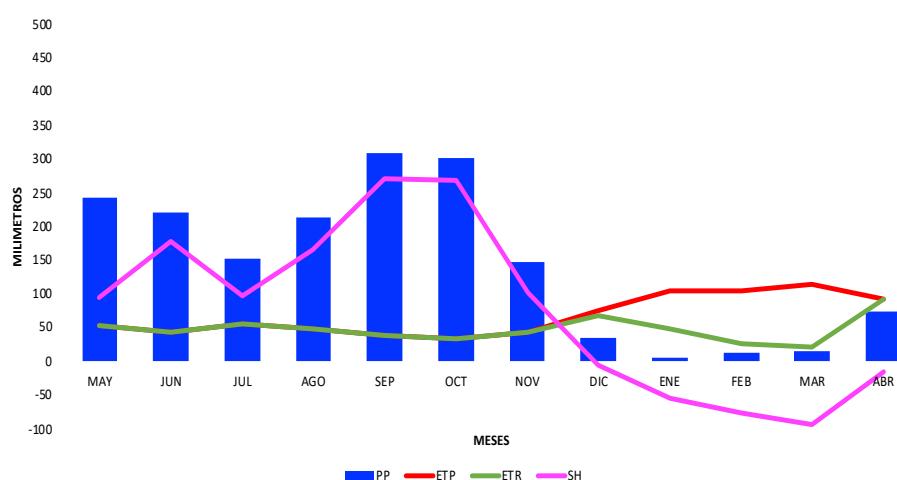


Figura 4.21. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, AJS 1998-2017.

4.3.2.1.3 Estación Santa Bárbara

Cuadro 4.19. BHC, Santa Bárbara 1998-2012.

Estimación de la ETP: método de Thornthwaite.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	359	345	252	328	481	456	247	54	15	28	35	122	2724
ETP	89	85	89	86	77	77	73	77	79	74	88	89	983
DP (PP-ETP)	270	260	163	242	404	379	174	-23	-64	-46	-53	33	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	80	42	27	16	49	
Δ ALM	51	0	0	0	0	0	0	-20	-38	-16	-11	33	
ALM + EXC	319	360	263	342	504	479	274	80	42	27	16	49	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	89	85	89	86	77	77	73	75	53	43	46	89	882
DEF	0	0	0	0	0	0	0	2	26	31	42	0	101
EXC	219	260	163	242	404	379	174	0	0	0	0	0	1842
SH	219	260	163	242	404	379	174	-2	-26	-31	-42	0	

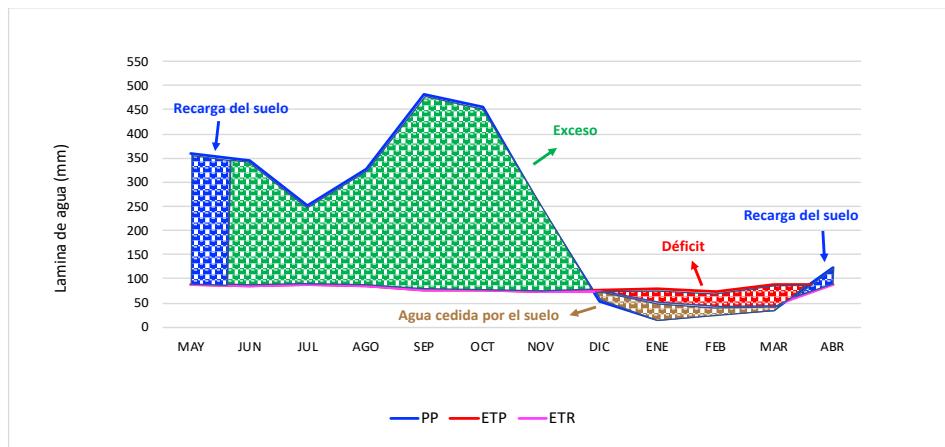


Figura 4.22. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Bárbara 1998-2012.

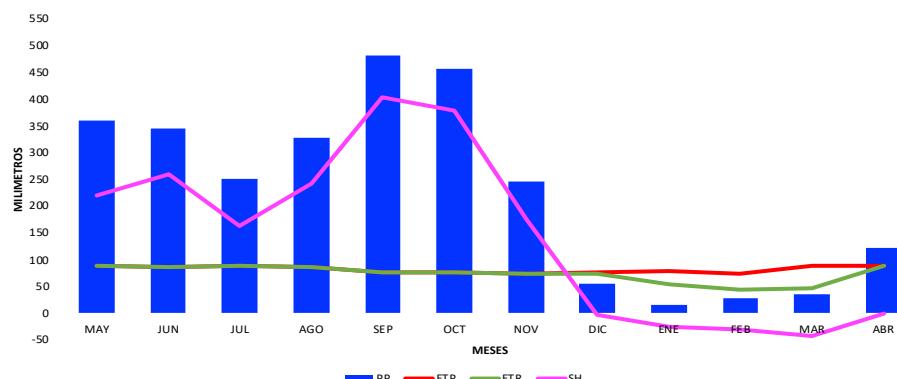


Figura 4.23. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Bárbara 1998-2012.

Cuadro 4.20. BHC, Santa Bárbara 1998 -2012.

Estimación de la ETP: método de Turc.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	359	345	252	328	481	456	247	54	15	28	35	122	2724
ETP	110	96	98	101	98	97	98	113	130	131	147	136	1355
DP (PP-ETP)	249	249	154	227	383	359	149	-59	-115	-103	-112	-14	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	56	18	6	2	2	
Δ ALM	98	0	0	0	0	0	0	-44	-38	-11	-4	0	
ALM + EXC	251	349	254	327	483	459	249	56	18	6	2	2	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	110	96	98	101	98	97	98	99	53	39	39	123	1051
DEF	0	0	0	0	0	0	0	14	77	92	108	13	304
EXC	151	249	154	227	383	359	149	0	0	0	0	0	1673
SH	151	249	154	227	383	359	149	-14	-77	-92	-108	-13	

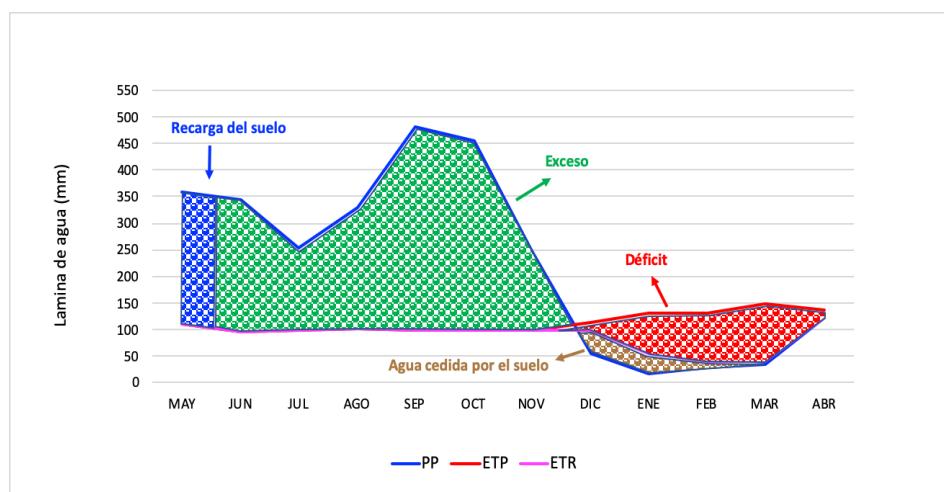


Figura 4.24. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Bárbara 1998-2012.

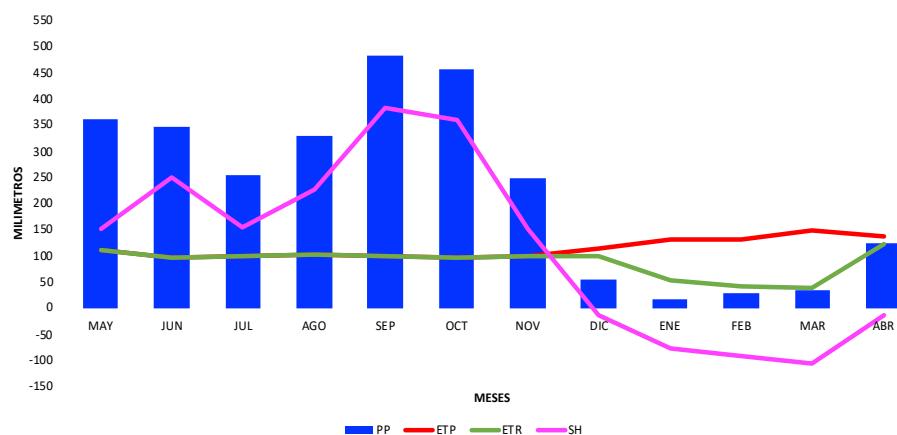


Figura 4.25. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Bárbara 1998-2012.

Cuadro 4.21. BHC, Santa Bárbara 1998 -2012.

Estimación de la ETP: método de Hargreaves-Samani.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	359	345	252	328	481	456	247	54	15	28	35	122	2724
ETP	142	131	137	140	134	124	113	116	123	126	157	153	1596
DP (PP-ETP)	217	214	115	188	347	332	134	-62	-108	-98	-122	-31	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	54	18	7	2	1	
Δ ALM	99	0	0	0	0	0	0	-46	-36	-12	-5	-1	
ALM + EXC	219	314	215	288	447	432	234	54	18	7	2	1	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	142	131	137	140	134	124	113	100	51	39	40	123	1275
DEF	0	0	0	0	0	0	0	16	72	87	117	30	321
EXC	119	214	115	188	347	332	134	0	0	0	0	0	1449
SH	119	214	115	188	347	332	134	-16	-72	-87	-117	-30	

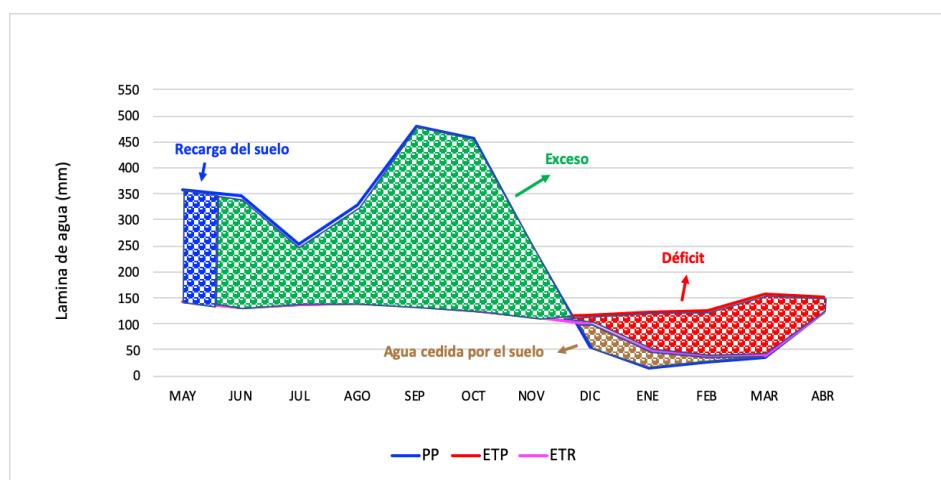


Figura 4.26. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Bárbara 1998-2012.

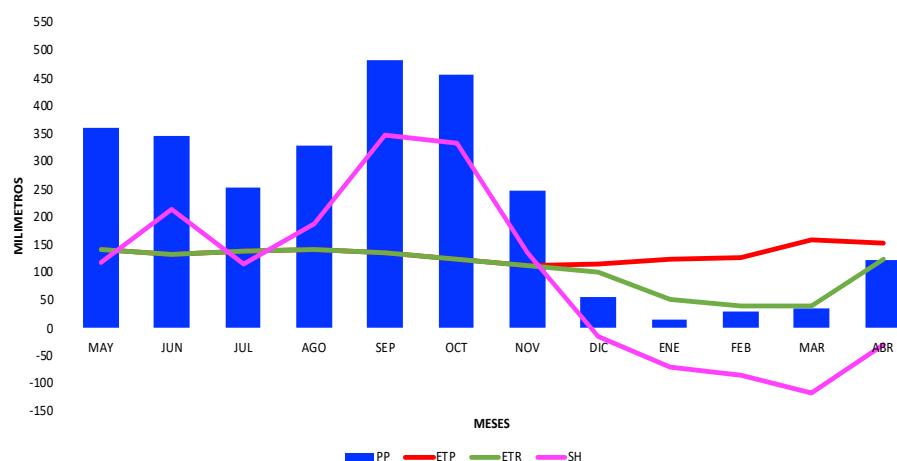


Figura 4.27. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Bárbara 1998-2012.

Cuadro 4.22. BHC, Santa Bárbara 1998-2012.

Estimación de la ETP: método de Penman-Monteith FAO (1998).

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	359	345	252	328	481	456	247	54	15	28	35	122	2724
ETP	44	38	49	44	34	33	41	68	95	88	96	75	705
DP (PP-ETP)	315	307	203	284	447	423	206	-14	-80	-60	-61	47	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	87	39	22	12	59	
Δ ALM	41	0	0	0	0	0	0	-13	-48	-18	-10	47	
ALM + EXC	375	407	303	384	547	523	306	87	39	22	12	59	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	44	38	49	44	34	33	41	67	63	46	45	75	579
DEF	0	0	0	0	0	0	0	1	32	42	51	0	126
EXC	275	307	203	284	447	423	206	0	0	0	0	0	2145
SH	275	307	203	284	447	423	206	-1	-32	-42	-51	0	

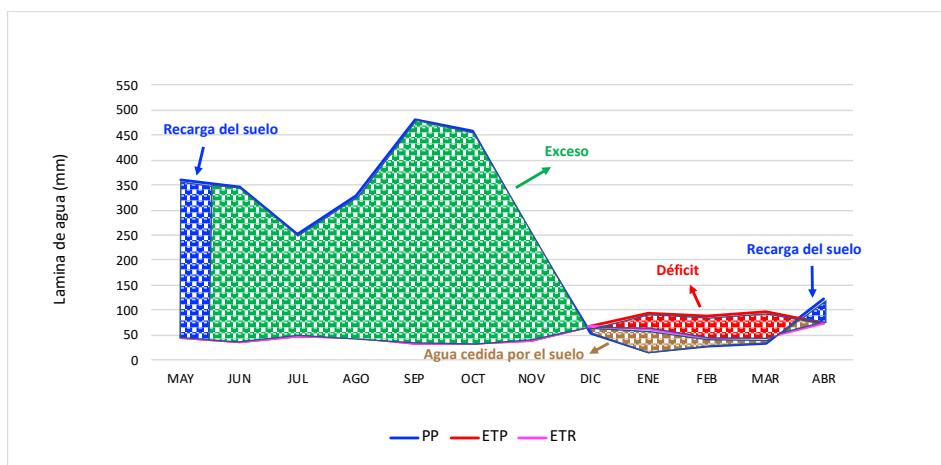


Figura 4.28. Representación gráfica de las áreas del BHC, Santa Bárbara 1998-2012.

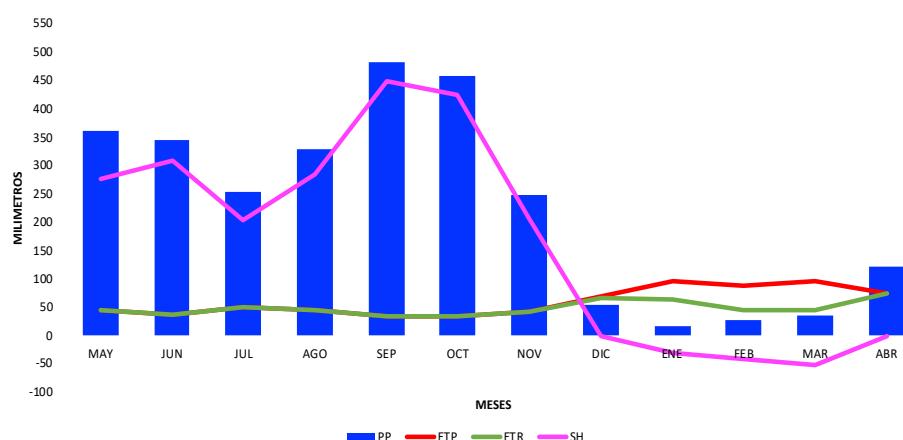


Figura 4.29. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Santa Bárbara 1998-2012.

4.3.2.1.4. Estación Fabio Baudrit

Cuadro 4.23. BHC, Fabio Baudrit 1995-2017.

Estimación de la ETP: método de Thornthwaite.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	260	244	160	204	317	329	167	39	5	10	17	78	1830
ETP	99	92	97	93	83	83	80	87	92	88	104	104	1102
DP (PP-ETP)	161	152	63	111	234	246	87	-48	-87	-78	-87	-26	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	62	26	12	5	4	
Δ ALM	96	0	0	0	0	0	0	-38	-36	-14	-7	-1	
ALM + EXC	165	252	163	211	334	346	187	62	26	12	5	4	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	99	92	97	93	83	83	80	77	41	24	24	79	872
DEF	0	0	0	0	0	0	0	10	51	64	80	25	230
EXC	65	152	63	111	234	246	87	0	0	0	0	0	958
SH	65	152	63	111	234	246	87	-10	-51	-64	-80	-25	

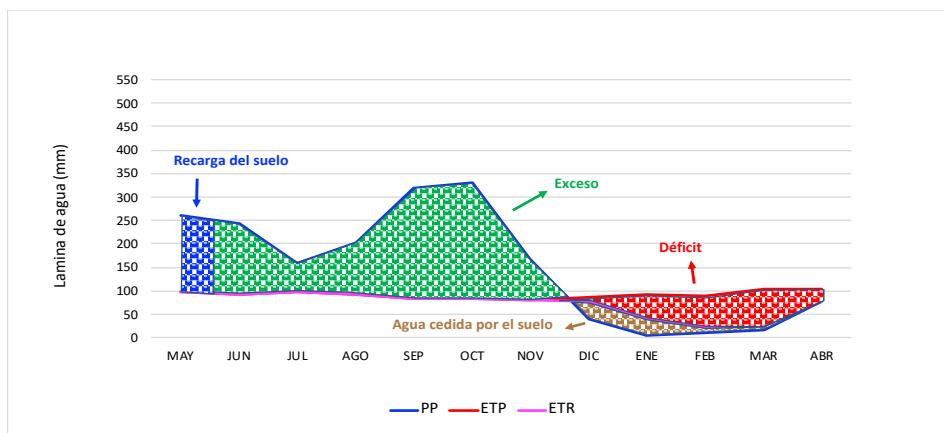


Figura 4.30. Representación gráfica de las áreas del BHC, Fabio Baudrit 1995-2017.

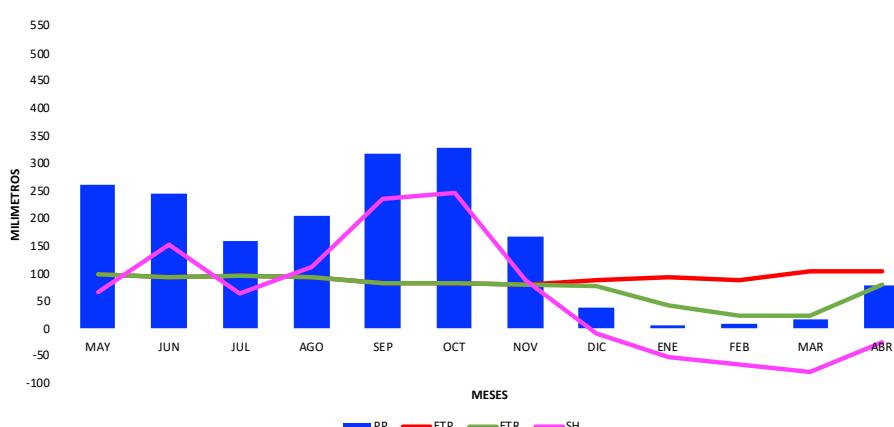


Figura 4.31. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Fabio Baudrit 1995-2017.

Cuadro 4.24. BHC, Fabio Baudrit 1995 -2017.

Estimación de la ETP: método de Turc.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	260	244	160	204	317	329	167	39	5	10	17	78	1830
ETP	88	86	86	87	86	82	78	76	78	77	88	90	1002
DP (PP-ETP)	172	158	74	117	231	247	89	-37	-73	-67	-71	-12	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	69	33	17	8	7	
Δ ALM	93	0	0	0	0	0	0	-31	-36	-16	-9	-1	
ALM + EXC	180	258	174	217	331	347	189	69	33	17	8	7	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	88	86	86	87	86	82	78	70	41	26	26	79	834
DEF	0	0	0	0	0	0	0	6	37	51	62	11	168
EXC	80	158	74	117	231	247	89	0	0	0	0	0	996
SH	80	158	74	117	231	247	89	-6	-37	-51	-62	-11	

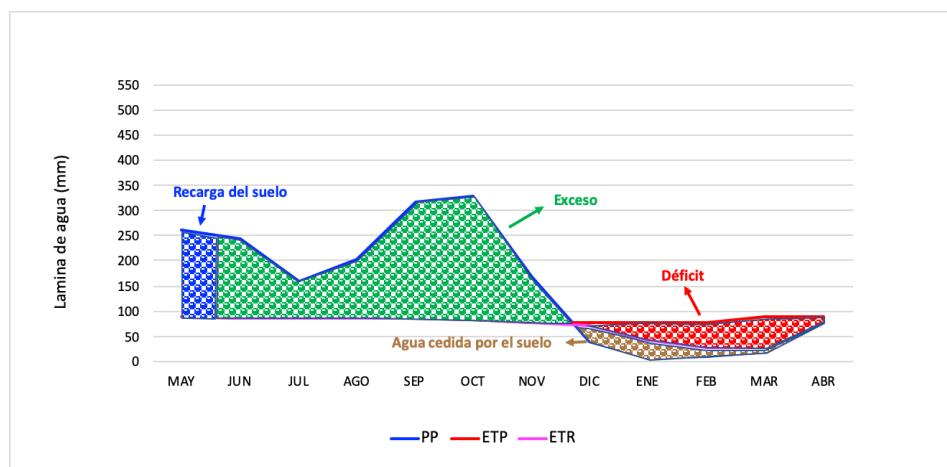


Figura 4.32. Representación gráfica de las áreas del BHC, Fabio Baudrit 1995-2017.

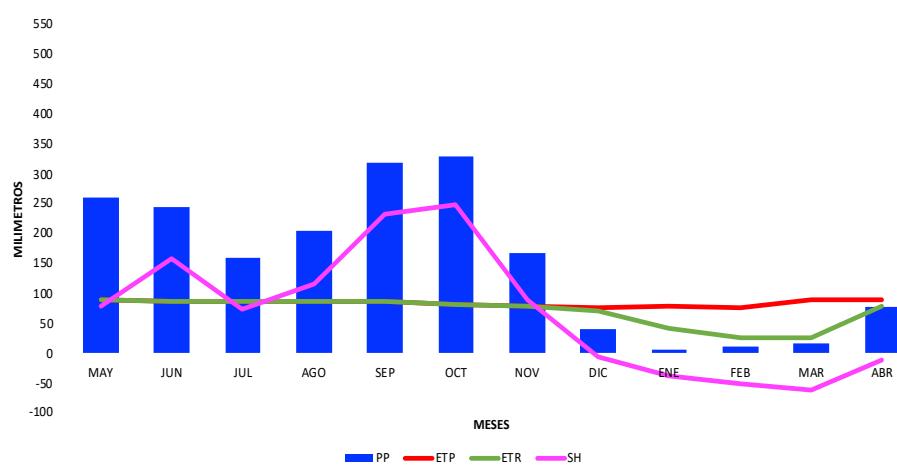


Figura 4.33. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Fabio Baudrit 1995-2017.

Cuadro 4.25. BHC, Fabio Baudrit 1995 -2017.

Estimación de la ETP: método de Hargreaves-Samani.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	260	244	160	204	317	329	167	39	5	10	17	78	1830
ETP	143	131	139	142	132	125	116	121	127	128	157	155	1616
DP (PP-ETP)	117	113	21	62	185	204	51	-82	-122	-118	-140	-77	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	44	13	4	1	0	
Δ ALM	100	0	0	0	0	0	0	-56	-31	-9	-3	-1	
ALM + EXC	118	213	121	162	285	304	151	44	13	4	1	0	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	143	131	139	142	132	125	116	95	36	19	20	78	1176
DEF	0	0	0	0	0	0	0	26	91	109	137	77	440
EXC	18	113	21	62	185	204	51	0	0	0	0	0	654
SH	18	113	21	62	185	204	51	-26	-91	-109	-137	-77	

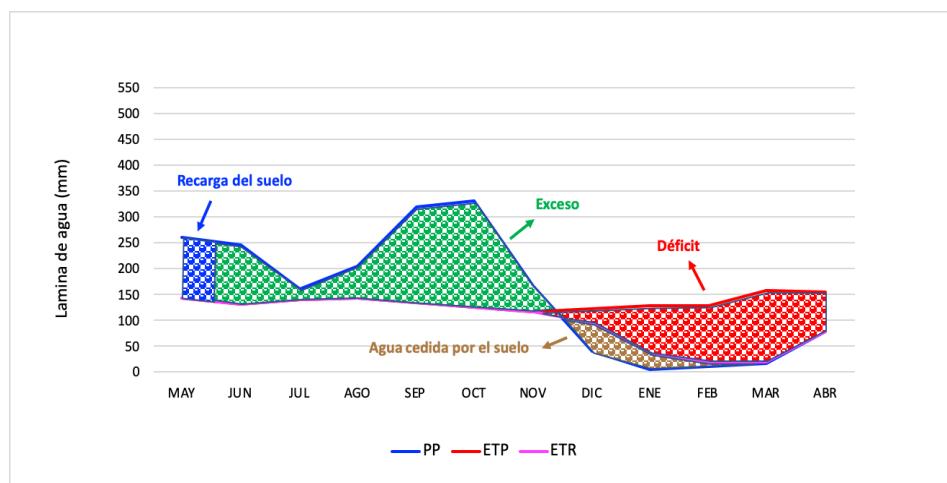


Figura 4.34. Representación gráfica de las áreas del BHC, Fabio Baudrit 1995-2017.

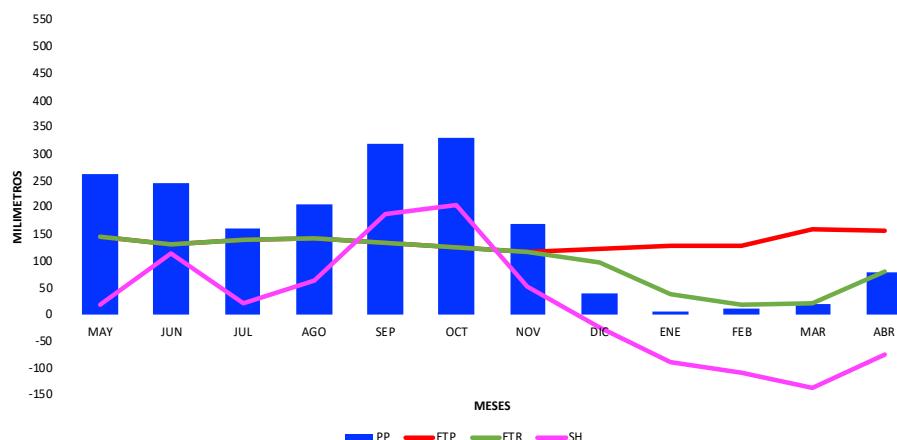


Figura 4.35. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Fabio Baudrit 1995-2017.

Cuadro 4.26. BHC, Fabio Baudrit 1995-2017.

Estimación de la ETP: método de Penman-Monteith FAO (1998).

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	260	244	160	204	317	329	167	39	5	10	17	78	1830
ETP	40	31	38	34	28	26	32	54	81	86	94	72	616
DP (PP-ETP)	220	213	122	170	289	303	135	-15	-76	-76	-77	-77	6
ALM	100	100	100	100	100	100	100	86	40	19	9	14	
Δ ALM	86	0	0	0	0	0	0	-14	-46	-22	-10	6	
ALM + EXC	235	313	222	270	389	403	235	86	40	19	9	14	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	40	31	38	34	28	26	32	53	51	31	27	72	463
DEF	0	0	0	0	0	0	0	1	30	55	67	0	153
EXC	135	213	122	170	289	303	135	0	0	0	0	0	1367
SH	135	213	122	170	289	303	135	-1	-30	-55	-67	0	

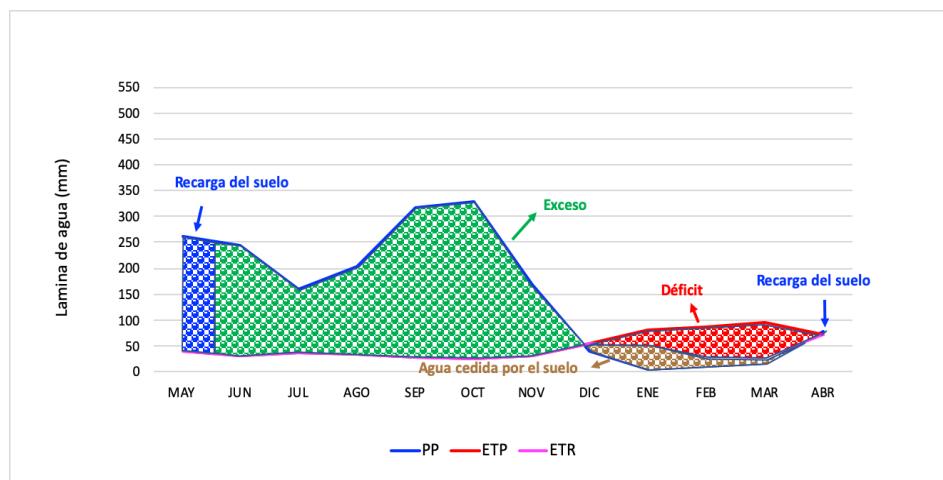


Figura 4.36. Representación gráfica de las áreas del BHC, Fabio Baudrit 1995-2017.

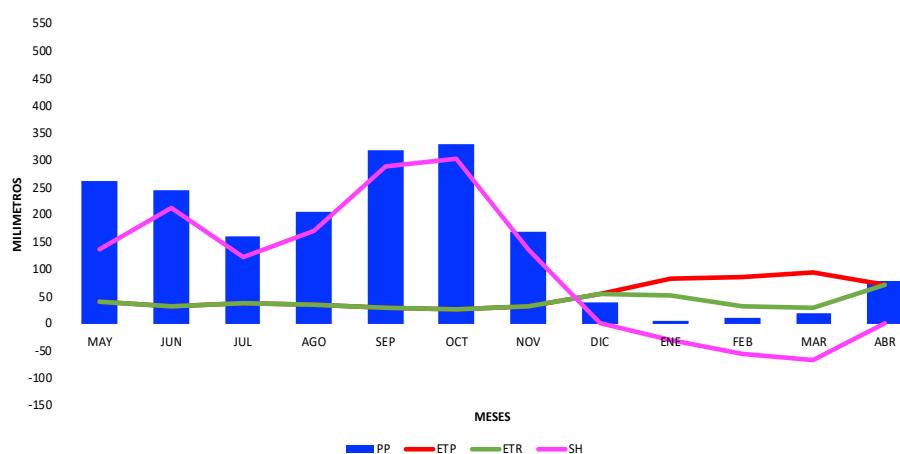


Figura 4.37. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, Fabio Baudrit 1995-2017.

4.3.2.1.5. Estación RECOPE La Garita

Cuadro 4.27. BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.

Estimación de la ETP: método de Thornthwaite.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	229	206	159	212	279	314	129	30	4	10	15	59	1646
ETP	102	97	100	95	87	88	84	90	95	93	110	109	1150
DP (PP-ETP)	127	109	59	117	192	226	45	-60	-91	-83	-95	-50	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	55	22	10	4	2	
Δ ALM	98	0	0	0	0	0	0	-45	-33	-12	-6	-1	
ALM + EXC	129	209	159	217	292	326	145	55	22	10	4	2	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	102	97	100	95	87	88	84	75	37	22	21	60	869
DEF	0	0	0	0	0	0	0	15	58	71	89	49	281
EXC	29	109	59	117	192	226	45	0	0	0	0	0	777
SH	29	109	59	117	192	226	45	-15	-58	-71	-89	-49	

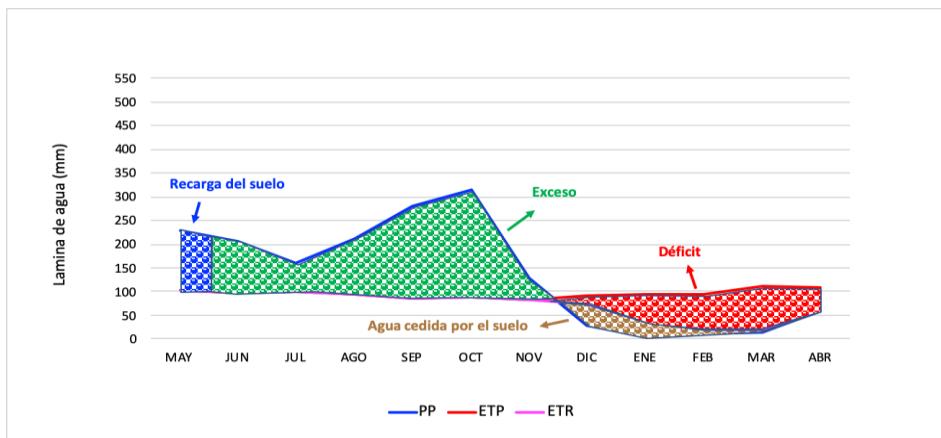


Figura 4.38. Representación gráfica de las áreas del BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.

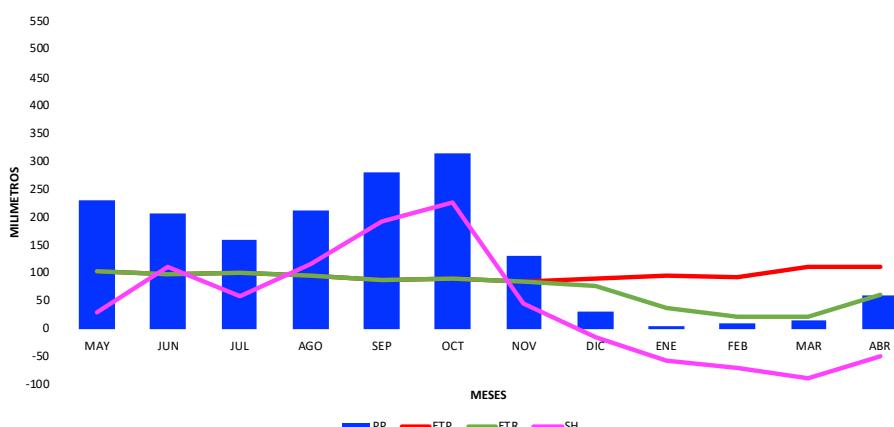


Figura 4.39. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, RECOPE La Garita 1998 -2017.

Cuadro 4.28. BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.

Estimación de la ETP: método de Turc.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	229	206	159	212	279	314	129	30	4	10	15	59	1646
ETP	88	87	87	87	86	83	79	76	78	78	89	90	1008
DP (PP-ETP)	141	119	72	125	193	231	50	-46	-74	-68	-74	-31	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	63	30	15	7	5	
Δ ALM	95	0	0	0	0	0	0	-37	-33	-15	-8	-2	
ALM + EXC	147	219	172	225	293	331	150	63	30	15	7	5	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	88	87	87	87	86	83	79	67	37	25	23	61	810
DEF	0	0	0	0	0	0	0	9	41	53	66	29	198
EXC	47	119	72	125	193	231	50	0	0	0	0	0	836
SH	47	119	72	125	193	231	50	-9	-41	-53	-66	-29	

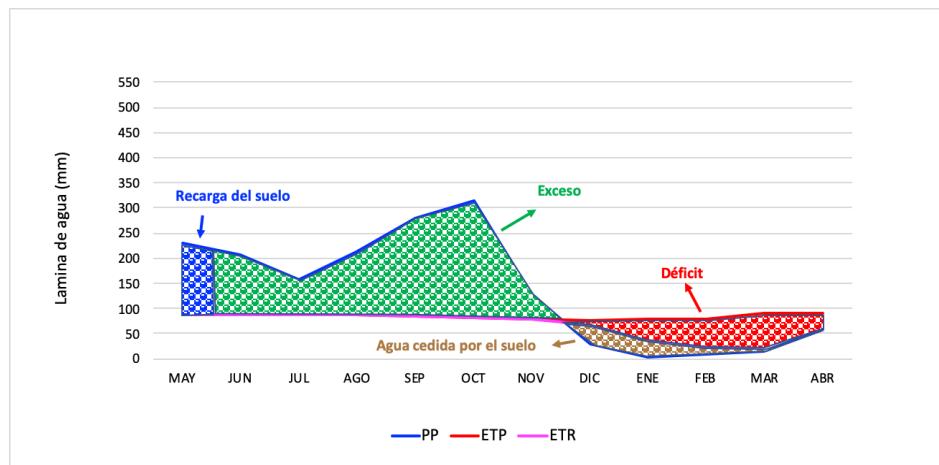


Figura 4.40. Representación gráfica de las áreas del BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.

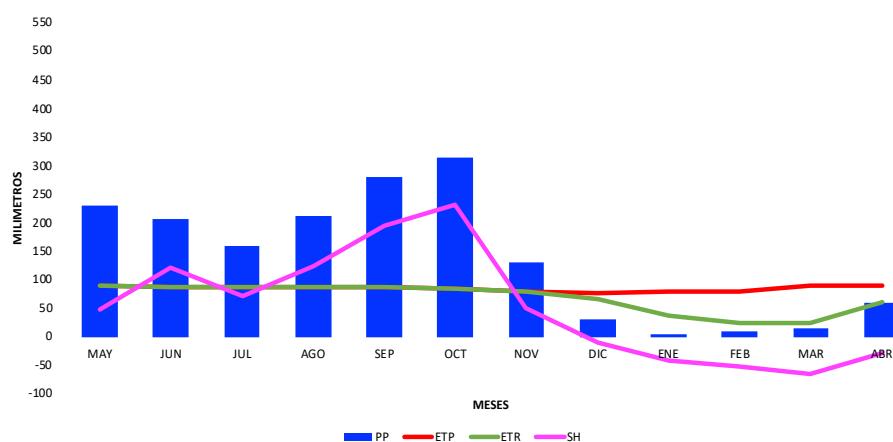


Figura 4.41. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, RECOPE La Garita 1998-2017.

Cuadro 4.29. BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.
Estimación de la ETP: método de Hargreaves-Samani.

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	229	206	159	212	279	314	129	30	4	10	15	59	1646
ETP	141	128	135	137	129	122	113	119	127	128	156	153	1588
DP (PP-ETP)	88	78	24	75	150	192	16	-89	-123	-118	-141	-94	
ALM	89	100	100	100	100	100	100	41	12	4	1	0	
Δ ALM	88	11	0	0	0	0	0	-59	-29	-8	-3	-1	
ALM + EXC	89	167	124	175	250	292	116	41	12	4	1	0	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	141	128	135	137	129	122	113	89	33	18	18	60	1123
DEF	0	0	0	0	0	0	0	30	94	110	138	93	465
EXC	0	67	24	75	150	192	16	0	0	0	0	0	523
SH	0	67	24	75	150	192	16	-30	-94	-110	-138	-93	

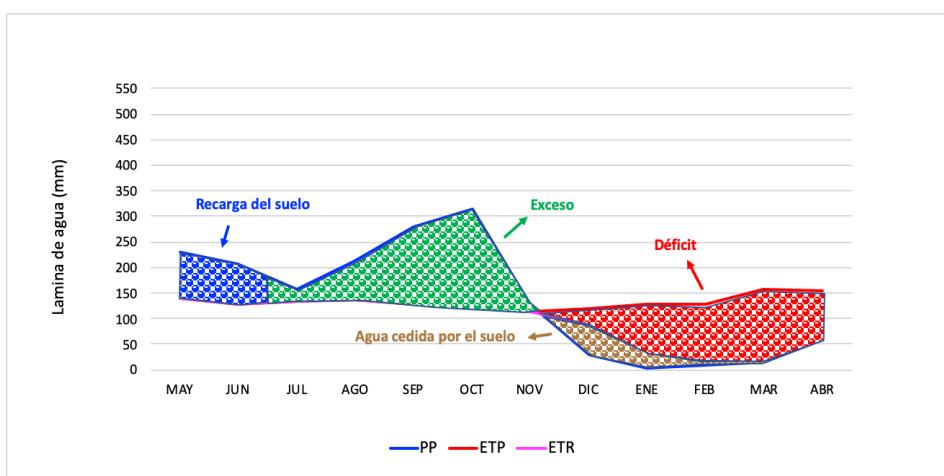


Figura 4.42. Representación gráfica de las áreas del BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.

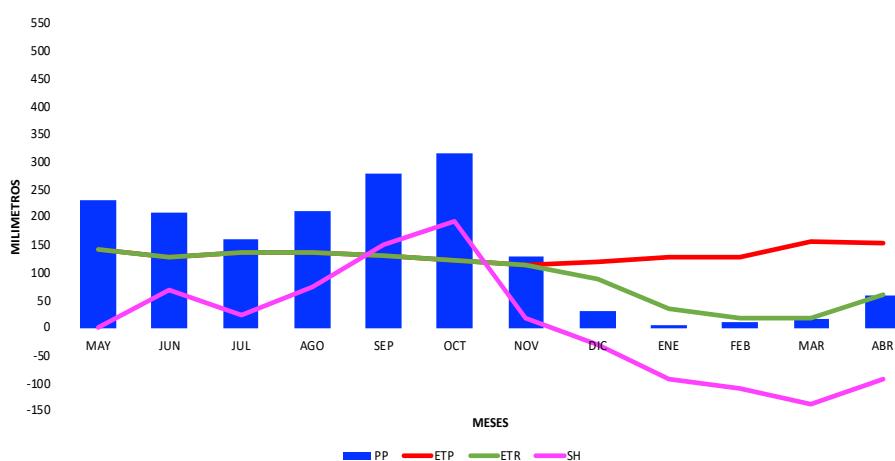


Figura 4.43. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, RECOPE La Garita 1998-2017.

Cuadro 4.30. BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.

Estimación de la ETP: método de Penman-Monteith FAO (1998).

	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ENE	FEB	MAR	ABR	Anual
PP	229	206	159	212	279	314	129	30	4	10	15	59	1646
ETP	38	31	37	33	29	27	32	47	71	78	83	63	569
DP (PP-ETP)	191	175	122	179	250	287	97	-17	-67	-68	-68	-4	
ALM	100	100	100	100	100	100	100	84	43	22	11	11	
Δ ALM	89	0	0	0	0	0	0	-16	-41	-21	-11	0	
ALM + EXC	202	275	222	279	350	387	197	84	43	22	11	11	
CC	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	
ETR	38	31	37	33	29	27	32	46	45	31	26	59	434
DEF	0	0	0	0	0	0	0	1	26	47	57	4	135
EXC	102	175	122	179	250	287	97	0	0	0	0	0	1212
SH	102	175	122	179	250	287	97	-1	-26	-47	-57	-4	

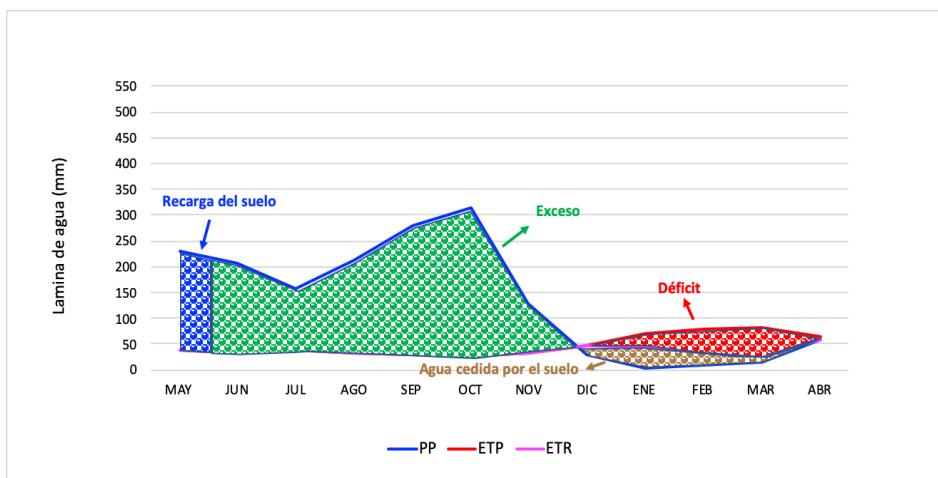


Figura 4.44. Representación gráfica de las áreas del BHC, RECOPE La Garita 1998-2017.

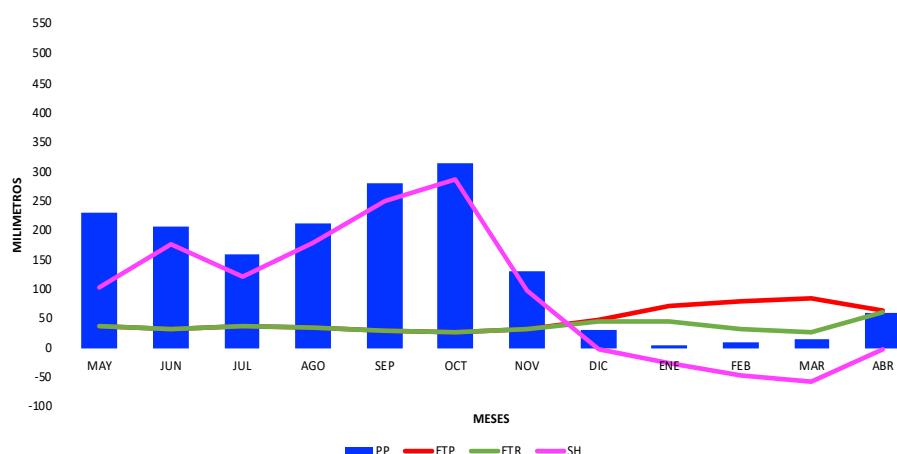


Figura 4.45. Comportamiento de la precipitación media mensual, la evapotranspiración potencial media, la evapotranspiración real media mensual y la situación hídrica, RECOPE La Garita 1998-2017.

4.3.2.2. Balance Hidrológico Seriado (BHS)

El BHS también es conocido como balance hidrológico de series temporales o balance meteorológico. Al realizarse con los valores mensuales de precipitación (Pp) y evapotranspiración potencial (ETP) registrada en cada uno de los meses del año de una serie suficientemente extensa (30 años o más), facilita realizar un análisis estadístico de la posibilidad de ocurrencia de distintas disponibilidades de agua del suelo para cada mes. Así mismo, es importante destacar que la variación interanual de la precipitación mensual es la responsable directa de la variabilidad de los diversos términos del balance.

El conocimiento de las probabilidades de ocurrencia de condiciones de equilibrios, excesos y deficiencias de la cantidad de agua contenida en el suelo y disponible para los cultivos, en un momento determinado, es muy útil desde un punto de vista agronómico para la planificación agrícola (labores culturales, manejo del suelo, rotación de cultivos, manejo de pasturas, pronósticos de rendimiento, régimen de sequías e inundaciones, uso y compra de maquinaria agrícola, entre otros), sobre todo para la agricultura de secano. (Murphy y Hurtado, 2016).

Pascale y Damario (1977), con una metodología similar a la propuesta por Mather (1957), desarrollan el BHS, incluyendo la aplicación de cómputos estadísticos que permiten obtener una interpretación objetiva de los resultados con una finalidad netamente agronómica. Debe señalarse que a medida que va aumentando la unidad de tiempo (día, quincena, mes, pétada, década, etc.), también aumenta el error en la estimación del agua edáfica, situación fundamentalmente dada por la mecánica del modelo de balance, que considera como humedad entrante en el suelo, a la cantidad de agua que proviene de la diferencia de la Pp-ETP, de la unidad de tiempo considerada y al hecho que las precipitaciones no se reparten en forma equitativa durante todos los días del período. Si bien es cierto que la realización de BHS para unidades de tiempo menores al mes produciría resultados mucho más ajustados, la dificultad en la obtención de material meteorológico los hace poco aplicables; de allí la utilización de balances hidrológicos mensuales consecutivos.

Las expresiones cuantitativas referentes a la probabilidad mensual de ocurrencia de situaciones hídricas obtenidas a partir del BHS resultan valiosas para la resolución de aspectos agrometeorológicos, tales como: planificación de labores culturales, rotación de cultivos, manejo de pasturas, cálculo de necesidad de riego, pronóstico de rendimientos, régimen de sequías e inundaciones.

Metodología para el cálculo del BHS

Para realizar un BHS es necesario disponer de valores mensuales de Pp y ETP de una serie de 30 años o más, esto permite suponer la inclusión de todas las combinaciones posibles entre los términos del balance. La metodología del BHS obtiene el almacenaje correspondiente de un mes a partir del almacenaje del mes anterior y la necesidad y aporte de agua (ETP y Pp respectivamente) del mes considerado. Sin embargo, cuando se comienza con el balance, salvo casos excepcionales de tener mediciones de humedad del suelo, no se cuenta con el valor de almacenaje inicial, por lo tanto, se puede comenzar el cómputo de dos formas: a) se inicia el balance en un mes o serie de meses del primer año en el que la Pp supere holgadamente a la ETP, permitiendo suponer que en ese o esos meses se ha sobrepasado la capacidad máxima del almacenaje del suelo; b) se puede comenzar a computar el balance tomando como almacenaje de agua para el primer mes de la serie el 50% del almacenaje máximo, con la seguridad de que la mecánica del balance corregirá el posible error inicial. La corrección se consigue en un plazo inferior a 24 meses aun en localidades muy secas, por lo cual es necesario despreciar los dos primeros años de resultados. Luego se continúa con el balance mes a mes, considerando que el almacenaje del mes de diciembre de cada año constituye el antecedente para continuar con el mes de enero del año siguiente.

Determinación de las situaciones hídricas probables

Comprende a los excesos, las deficiencias y a los equilibrios que corresponde a los meses que presentan valores nulos de excesos y deficiencias de agua. Para interpretar la distribución mensual del conjunto de las situaciones hídricas y poder calcular probabilidades, se debe ordenar la serie desde la mayor deficiencia al mayor exceso y se procede al cálculo de probabilidades mediante el uso de percentiles; con los resultados obtenidos se puede graficar la probabilidad de ocurrencia en función de las situaciones hídricas.

Variación anual de la situación hídrica

La variación anual de la situación hídrica se puede analizar si se grafican las situaciones hídricas para las distintas probabilidades en función de los meses del año. Los niveles de probabilidades comúnmente elegidos son 20%, 50% y 80%, que corresponden al primer quintil, al valor medio y al cuarto quintil respectivamente, con un periodo de recurrencia de una vez cada cinco años, uno cada dos años y cuatro de cinco años.

4.3.2.2.1. Estación Santa Lucía

Cuadro 4.31. Situación hídrica en la estación Santa Lucía, periodo 1988 - 2017. Los valores negativos indican milímetros de deficiencia, los ceros equilibrios y los positivos son excesos.

Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1988	-39	-9	-37	-45	342	220	-5	38	192	343	41	-18	1024
1989	-40	-47	-22	-40	22	191	98	245	495	270	45	42	1260
1990	-17	-32	-24	110	87	110	286	119	268	402	213	-1	1521
1991	-20	-42	-39	0	122	348	-1	97	335	306	83	-1	1189
1992	-24	-2	-54	0	148	234	124	70	179	236	82	-6	988
1993	0	-26	80	43	329	306	93	255	281	388	102	-11	1838
1994	-37	-46	-61	-23	113	95	-1	146	220	344	118	-4	864
1995	-21	-42	0	79	288	252	250	438	370	530	21	61	2225
1996	5	-2	-35	0	318	261	250	224	411	238	171	-14	1827
1997	-24	-46	-62	66	99	174	-8	48	360	190	274	-5	1064
1998	-34	-33	-59	-64	88	282	338	96	500	569	189	93	1965
1999	-12	0	-33	41	247	240	18	386	468	400	79	0	1834
2000	-7	-13	-52	0	293	238	88	53	464	192	53	0	1309
2001	-13	-38	-56	-64	282	96	148	99	238	276	64	26	1058
2002	-10	-34	-62	-71	94	140	38	233	394	317	122	-2	1157
2003	-24	-29	0	71	237	565	80	166	503	416	161	8	2153
2004	-9	-28	-6	-28	351	37	117	102	428	506	217	-13	1674
2005	-30	-38	-20	-28	73	360	138	190	197	465	102	-7	1402
2006	-12	-13	-37	-30	138	189	227	120	232	159	119	7	1100
2007	-19	-32	-20	-4	264	165	217	458	483	631	187	-6	2325
2008	-21	-11	-36	0	581	384	329	333	455	428	118	-11	2549
2009	-35	-40	-4	0	121	340	12	33	152	306	156	-1	1039
2010	-25	-30	-49	15	103	378	284	595	603	228	226	0	2328
2011	-13	-1	-27	-3	112	346	193	146	190	897	105	0	1945
2012	-22	-37	-56	53	323	189	49	214	134	343	41	-4	1230
2013	-31	-27	-22	0	76	207	64	151	543	421	154	4	1538
2014	-18	-19	-45	0	278	237	-2	70	607	229	82	-10	1407
2015	-28	-29	-63	-21	-4	1	76	27	329	382	-1	-7	662
2016	-37	-47	-42	0	43	270	36	190	200	408	133	60	1214
2017	-3	-20	-54	43	573	276	197	259	558	379	76	-11	2273

Cuadro 4.32. Frecuencia porcentual acumulada con diferentes niveles de deficiencia, equilibrio y exceso de agua mensual (condiciones hídricas) para la estación Santa Lucía, periodo 1988 - 2017.

Situación hídrica	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Deficiencias			13	10								
61 mm ó más			20	43	13							
41 mm ó más			53	67	77	33						
21 mm ó más			80	83	83	33						20
11 mm ó más			93	97	90	40	3		17		3	60
1 mm ó más												
Equilibrio	97	100	97	70	3		17				3	73
Excesos	hasta 10 mm	100	100	70	3	3	17				3	83
hasta 20 mm			73	3	3	23					3	83
hasta 30 mm			73	7	3	23	3				7	87
hasta 50 mm			83	10	7	33	13				17	90
hasta 70 mm			90	10	7	37	23				23	97
hasta 100 mm			97	30	13	53	33				40	100
hasta 150 mm			100	53	20	67	50	3				67
hasta 200 mm				53	37	73	63	23	10	87		
hasta 300 mm				77	73	93	83	40	30	100		
hasta 400 mm				93	97	100	90	57	63			
hasta 600 mm				100	100		100	93	93			
más de 600 mm								100	100			

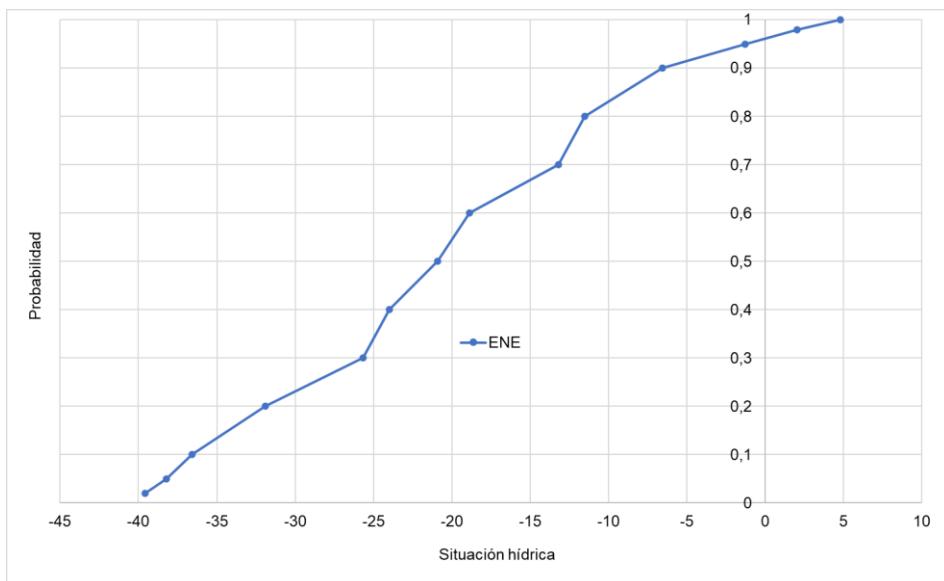


Figura 4.46. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de enero en la estación Santa Lucía, periodo 1988-2017.

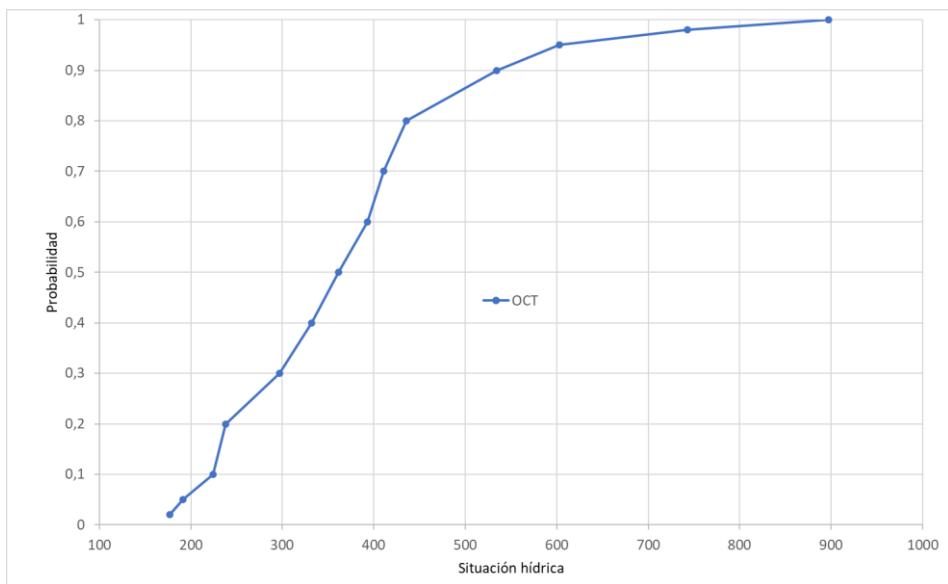


Figura 4.47. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de octubre en la estación Santa Lucía, periodo 1988-2017.

Cuadro 4.33. Probabilidades de las situaciones hídricas, estación Santa Lucía, periodo 1988-2017.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
0,02	-40	-47	-63	-67	11	22	-6	31	144	177	11	-15	779
0,05	-38	-46	-62	-64	31	63	-4	35	164	191	30	-13	920
0,1	-37	-46	-61	-47	70	96	-2	47	189	224	41	-11	1020
0,2	-32	-40	-56	-29	88	160	16	70	199	238	61	-10	1063
0,3	-26	-37	-52	-22	102	189	46	98	236	297	81	-6	1179
0,4	-24	-32	-43	-1	118	215	79	120	310	332	94	-4	1248
0,5	-21	-30	-37	0	143	237	95	148	365	362	111	-2	1404
0,6	-19	-28	-34	0	254	255	129	190	418	393	120	0	1593
0,7	-13	-20	-24	5	284	278	194	227	465	411	155	0	1835
0,8	-12	-12	-20	43	319	341	232	256	496	435	174	7	2003
0,9	-7	-2	-3	66	343	362	284	391	544	534	213	44	2278
0,95	-1	-1	0	75	473	381	310	449	583	603	222	61	2326
0,98	2	-1	34	92	576	460	333	516	604	743	246	74	2421
1	5	0	80	110	581	565	338	595	607	897	274	93	2549

4.3.2.2.2. Estación Aeropuerto Juan Santamaría

Cuadro 4.34. Situación hídrica en la estación Aeropuerto Juan Santamaría, periodo 1988 - 2017. Los valores negativos indican milímetros de deficiencia, los ceros equilibrios y los positivos son excesos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
2002	-32	-61	-89	-83	1	47	66	34	267	225	68	-11	432
2003	-52	-59	-52	0	118	277	36	131	274	351	204	-1	1227
2004	-32	-58	-73	-77	199	0	42	123	212	175	84	-24	571
2005	-53	-65	-42	-67	20	205	35	103	350	345	50	-8	871
2006	-39	-53	-85	-31	92	119	237	110	206	105	208	0	871
2007	-32	-61	-69	-34	125	167	40	283	319	402	79	-20	1200
2008	-56	-44	-61	0	322	457	269	373	309	350	77	-4	1991
2009	-34	-62	-86	-94	95	147	4	42	48	153	93	-23	283
2010	-41	-59	-58	0	0	121	198	209	481	146	183	-23	1157
2011	-57	-57	-67	-77	0	77	109	109	122	572	72	-8	795
2012	-49	-67	-88	0	138	46	40	215	183	164	-1	-27	556
2013	-62	-54	-89	0	0	185	-1	17	308	331	44	-25	655
2014	-60	-72	-86	-36	4	144	-18	28	178	311	33	-25	404
2015	-61	-64	-93	-86	-1	0	84	28	150	182	156	-8	285
2016	-49	-68	-91	-11	0	64	40	69	89	208	46	-1	295
2017	-35	-58	-88	5	267	173	162	101	293	291	21	-17	1116

Cuadro 4.35. Frecuencia porcentual acumulada con diferentes niveles de deficiencia, equilibrio y exceso de agua mensual (condiciones hídricas) para la estación Aero Juan Santamaría, periodo 2002 - 2017.

Situación hidrática	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Deficiencias												
61 mm ó más	13	50	81	38								
41 mm ó más	63	100	100	38								
21 mm ó más	100			56								38
11 mm ó más				63			6					56
1 mm ó más				63	6		13			6		94
Equilibrio				94	31	13	13			6		100
Excesos				100	44	13	19			6		
hasta 10 mm					50	13	19			6		
hasta 20 mm					50	13	19			6		
hasta 30 mm					50	13	19	6		13		
hasta 50 mm					50	25	56	19	6	38		
hasta 70 mm					50	31	63	38	6	44		
hasta 100 mm					63	38	69	38	13	75		
hasta 150 mm					81	63	75	75	25	13	75	
hasta 200 mm					88	81	88	75	38	38	88	
hasta 300 mm					94	94	100	94	69	56	100	
hasta 400 mm					100	94		100	94	88		
hasta 600 mm						100			100	100		
más de 600 mm												

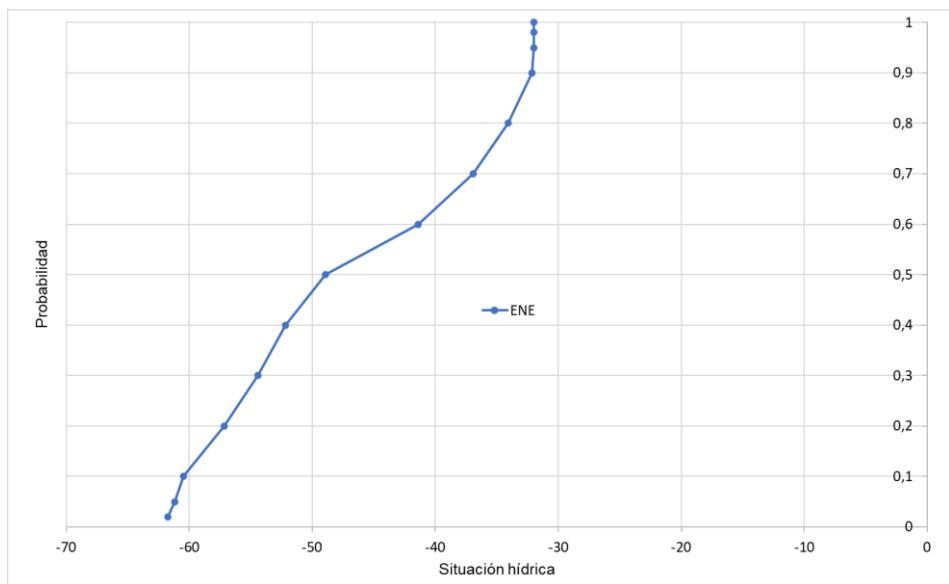


Figura 4.48. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de enero en la estación Aeropuerto Juan Santamaría, periodo 2002-2017.

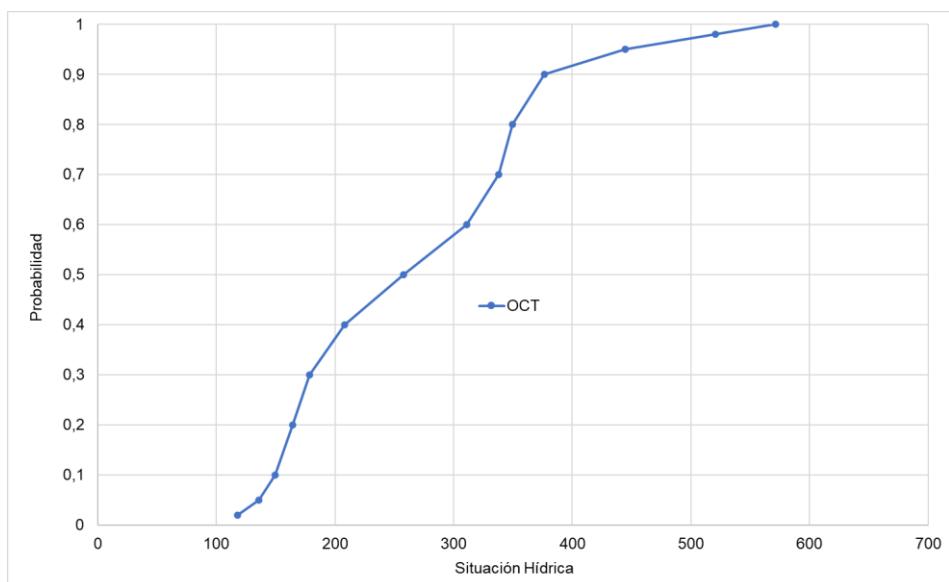


Figura 4.49. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de octubre en la estación Aeropuerto Juan Santamaría, periodo 2002-2017.

Cuadro 4.36. Probabilidades de las situaciones hídricas, estación Aeropuerto Juan Santamaría, periodo 2002-2017.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
0,02	-62	-71	-93	-92	-1	0	-13	20	61	118	6	-26	284
0,05	-61	-69	-92	-88	0	0	-5	25	79	136	16	-25	284
0,1	-60	-67	-90	-84	0	23	1	28	106	149	27	-25	290
0,2	-57	-65	-89	-77	0	47	35	34	150	164	44	-24	404
0,3	-54	-63	-88	-72	1	70	38	55	181	179	48	-23	494
0,4	-52	-61	-86	-36	4	119	40	101	206	208	68	-20	571
0,5	-49	-60	-85	-32	56	133	41	106	239	258	75	-14	725
0,6	-41	-59	-73	-11	95	147	66	110	274	311	79	-8	871
0,7	-37	-58	-68	0	122	170	97	127	301	338	89	-8	994
0,8	-34	-57	-61	0	138	185	162	209	309	350	156	-4	1157
0,9	-32	-54	-55	0	233	241	217	249	334	377	194	-1	1213
0,95	-32	-51	-49	1	281	322	245	306	382	445	205	-1	1418
0,98	-32	-47	-45	4	305	403	259	346	442	521	207	0	1762
1	-32	-44	-42	5	322	457	269	373	481	572	208	0	1991

4.3.2.2.3. Estación Santa Bárbara

Cuadro 4.37. Situación hídrica en la estación Santa Bárbara, periodo 2000-2011. Los valores negativos indican milímetros de deficiencia, los ceros equilibrios y los positivos son excesos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
2000	-24	-46	-74	-46	121	323	90	91	475	224	37	-9	1162
2001	-33	-56	-74	-44	165	77	212	226	188	337	86	41	1125
2002	-17	-44	-73	-82	78	141	119	285	452	320	112	-11	1281
2003	-44	-57	19	140	357	439	95	165	503	327	168	65	2177
2004	-10	-40	-64	-40	269	24	138	157	533	401	239	-21	1586
2005	-19	-55	0	-21	55	340	127	169	293	404	89	-8	1373
2006	-20	-3	-59	-24	261	260	316	130	319	261	252	3	1695
2007	-24	-48	-42	0	451	302	220	473	551	536	177	-10	2585
2008	-36	-4	-5	0	419	496	254	464	457	511	162	-15	2704
2009	-45	-58	-44	-53	405	288	52	57	108	226	123	-14	1046
2010	-46	-38	-38	83	158	336	242	515	597	403	268	-4	2476
2011	-16	-16	-62	0	134	357	197	308	226	688	110	-6	1920

Cuadro 4.38. Frecuencia porcentual acumulada con diferentes niveles de deficiencia, equilibrio y exceso de agua mensual (condiciones hídricas) para la estación Santa Bárbara, periodo 2000 - 2011.

Situación hídrica	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Deficiencias			42	8								
61 mm ó más	61											
41 mm ó más	25	67	67	33								
21 mm ó más	58	75	75	58								8
11 mm ó más	92	83	75	58								33
1 mm ó más	100	100	83	58								75
Equilibrio			92	83								75
Excesos												
hasta 10 mm			100	83								83
hasta 20 mm					83							83
hasta 30 mm					83	8						83
hasta 50 mm					83	8						892
hasta 70 mm					83	8	17	8	8			8100
hasta 100 mm					92	17	17	25	17			25
hasta 150 mm					100	33	25	50	25	8		50
hasta 200 mm						50	25	58	50	17		75
hasta 300 mm						67	42	92	67	33	25	100
hasta 400 mm						75	83	100	75	42	50	
hasta 600 mm						100	100		100	100	92	
más de 600 mm												100

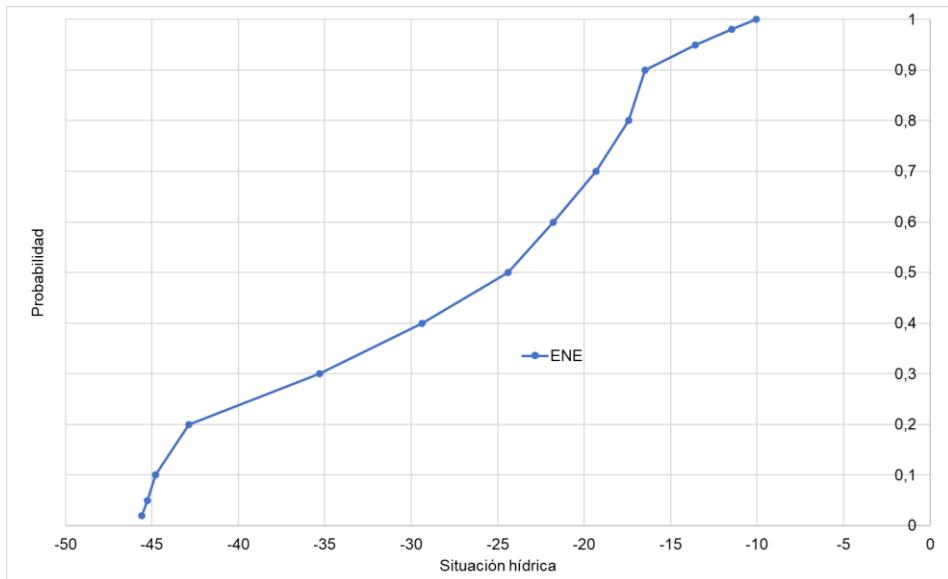


Figura 4.50. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de enero en la estación Santa Bárbara, periodo 2000 - 2011.

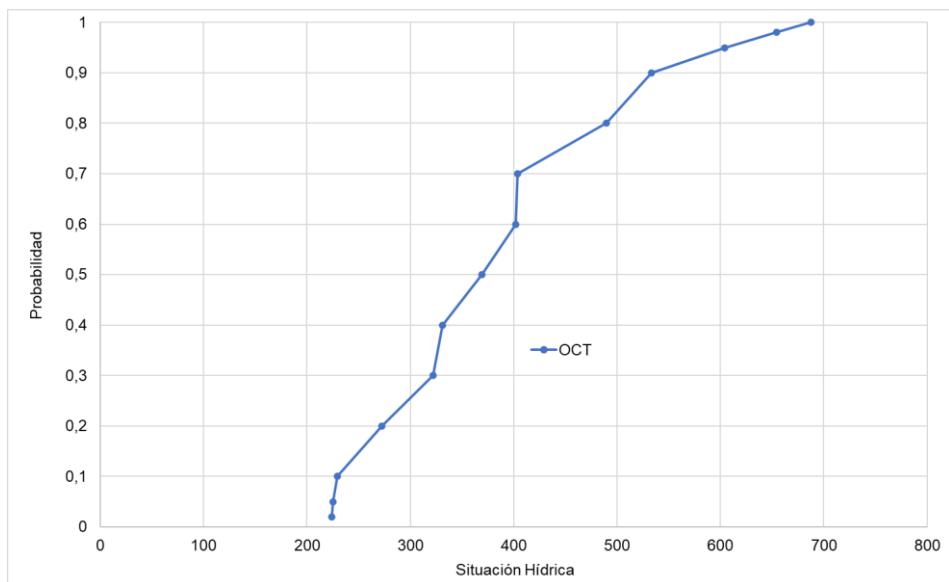


Figura 4.51. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de octubre en la estación Santa Bárbara, periodo 2000 - 2011.

Cuadro 4.39. Probabilidades de las situaciones hídricas, estación Santa Bárbara, periodo 2000 - 2011.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
0,02	-46	-58	-74	-76	60	36	60	65	126	224	48	-19	1063
0,05	-45	-58	-74	-66	67	53	73	76	152	225	64	-17	1089
0,1	-45	-57	-74	-52	82	83	91	95	192	229	87	-15	1128
0,2	-43	-56	-71	-45	123	165	100	136	239	273	93	-13	1186
0,3	-35	-53	-63	-43	141	268	122	159	301	322	110	-11	1308
0,4	-29	-47	-60	-34	161	294	131	167	372	331	116	-10	1458
0,5	-24	-45	-51	-22	213	313	167	197	455	369	143	-8	1641
0,6	-22	-42	-42	-8	266	331	206	261	468	402	166	-6	1830
0,7	-19	-39	-39	0	331	339	217	301	494	404	174	-4	2100
0,8	-17	-20	-12	0	395	353	238	433	527	490	227	2	2416
0,9	-16	-5	-1	75	418	430	253	472	549	533	250	38	2574
0,95	-14	-3	9	108	434	465	282	492	571	604	259	52	2639
0,98	-11	-3	15	127	444	484	302	506	587	654	264	60	2678
1	-10	-3	19	140	451	496	316	515	597	688	268	65	2704

4.3.2.2.4. Estación Fabio Baudrit

Cuadro 4.40. Situación hídrica en la estación Fabio Baudrit, periodo 2001 - 2017.

Los valores negativos indican milímetros de deficiencia, los ceros equilibrios y los positivos son excesos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
2001	-52	-74	-89	-92	57	57	66	23	139	149	13	-5	192
2002	-40	-66	-95	-94	0	49	63	99	207	183	23	-9	320
2003	-53	-63	0	-22	95	279	15	56	280	244	137	-6	960
2004	-36	-59	-72	-98	168	0	19	71	199	285	84	-28	531
2005	-60	-74	-19	-51	0	73	27	54	265	275	120	-15	595
2006	-46	-50	-93	-17	170	137	286	114	153	182	162	-10	988
2007	-54	-73	-96	0	157	265	128	277	413	335	64	-19	1397
2008	-61	-59	-84	0	235	203	153	285	325	315	74	-8	1376
2009	-36	-68	-93	-78	126	218	17	42	57	172	61	-24	395
2010	-64	-71	-69	-52	-63	120	206	212	419	94	206	-4	933
2011	-45	-56	-86	-28	0	127	69	220	131	504	87	-9	912
2012	-54	-72	-90	0	150	68	-3	168	164	104	0	-17	417
2013	-60	-67	-84	0	27	176	5	71	222	273	49	-27	582
2014	-66	-78	-95	-49	21	119	-19	80	395	256	49	-22	591
2015	-63	-72	-98	-69	0	61	81	52	93	289	223	11	507
2016	-31	-65	-93	-13	0	206	81	189	101	252	51	27	705
2017	-31	-63	-92	0	213	144	127	186	344	341	37	-21	1184

Cuadro 4.41. Frecuencia porcentual acumulada con diferentes niveles de deficiencia, equilibrio y exceso de agua mensual (condiciones hídricas) para la estación Fabio Baudrit, periodo 2001 - 2017.

Situación hidrica	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Deficiencias												
61 mm ó más	24	76	88	29	6							
41 mm ó más	71	100	88	47	6							
21 mm ó más	100		88	59	6							29
11 mm ó más			94	71	6			6				47
1 mm ó más			94	71	6			12				88
Equilibrio			100	100	35	6	12				6	88
Excesos						35	6	18			6	88
hasta 10 mm						35	6	18			6	88
hasta 20 mm						35	6	35			12	94
hasta 30 mm						47	6	41	6		18	100
hasta 50 mm						47	12	41	12			35
hasta 70 mm						53	29	59	29	6		53
hasta 100 mm						59	35	71	53	12	6	71
hasta 150 mm						71	65	82	59	29	18	82
hasta 200 mm						88	71	88	76	47	35	88
hasta 300 mm						100	100	100	100	71	76	100
hasta 400 mm										88	94	
hasta 600 mm										100	100	
más de 600 mm												

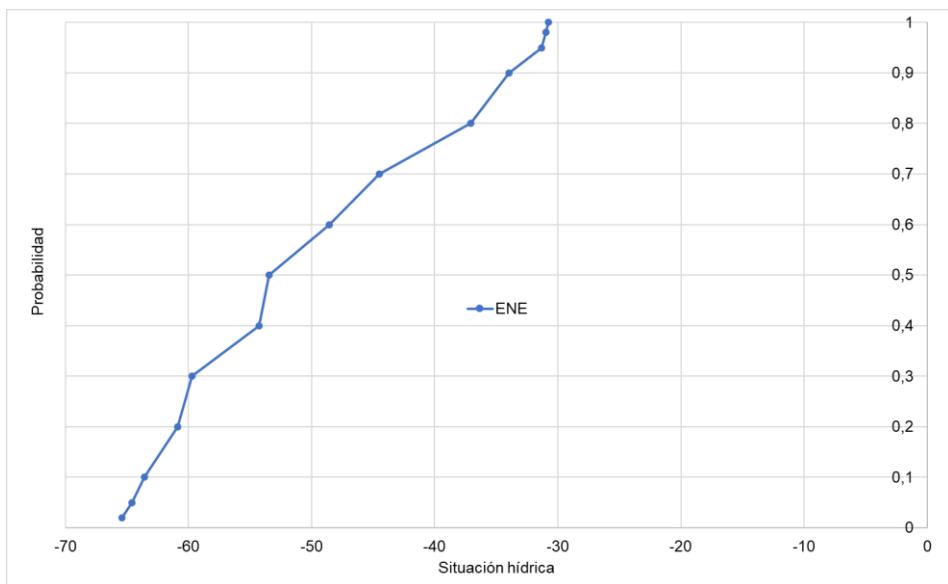


Figura 4.52. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de enero en la estación Fabio Baudrit, periodo 2001 - 2017.

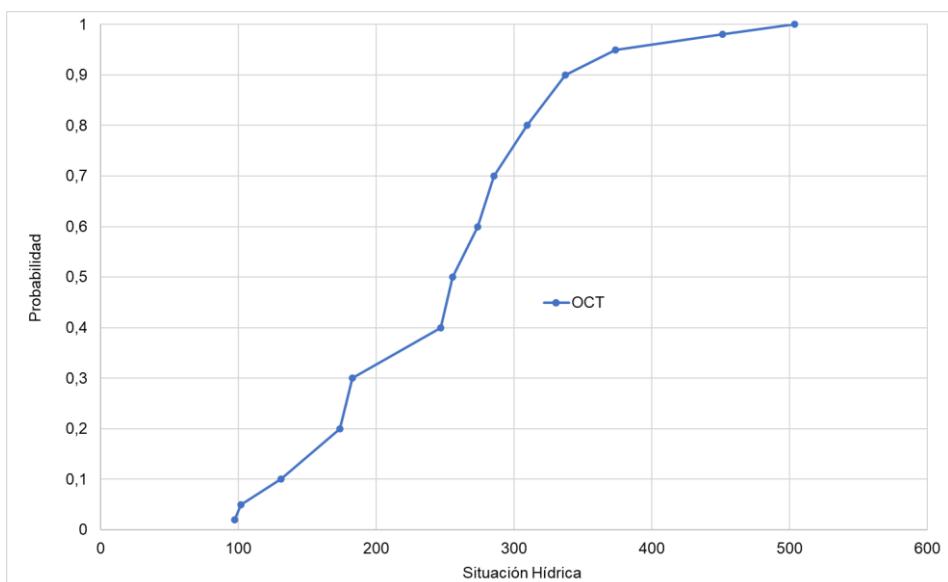


Figura 4.53. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de octubre en la estación Fabio Baudrit, periodo 2001 - 2017.

Cuadro 4.42. Probabilidades de las situaciones hídricas, estación Fabio Baudrit, periodo 2001 - 2017.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC
0,02	-65	-77	-98	-96	-43	15	-14	29	69	97	4	-28
0,05	-65	-75	-96	-94	-13	39	-6	38	86	102	10	-27
0,1	-64	-74	-95	-93	0	54	2	48	98	131	19	-25
0,2	-61	-73	-94	-76	0	63	15	55	133	174	39	-22
0,3	-60	-72	-93	-55	0	72	18	68	150	183	49	-19
0,4	-54	-70	-92	-50	23	120	41	74	178	247	55	-16
0,5	-53	-67	-90	-28	57	127	66	99	207	256	64	-10
0,6	-49	-65	-87	-19	114	141	76	146	248	274	80	-9
0,7	-44	-63	-84	-10	151	181	91	187	289	285	94	-8
0,8	-37	-60	-74	0	166	205	128	207	340	310	133	-5
0,9	-34	-58	-49	0	187	237	174	243	402	337	180	2
0,95	-31	-55	-15	0	217	268	222	279	414	374	209	14
0,98	-31	-52	-6	0	228	274	261	282	417	452	217	22
1	-31	-50	0	0	235	279	286	285	419	504	223	27

4.3.2.2.5. Estación RECOPE La Garita

Cuadro 4.43. Situación hídrica en la estación RECOPE La Garita, periodo 2002

- 2017. Los valores negativos indican milímetros de deficiencia, los ceros equilibrios y los positivos son excesos.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
2002	-47	-74	-100	-78	34	43	95	117	157	126	8	-6	274
2003	-52	-46	-26	-47	121	267	35	17	364	294	97	-9	1014
2004	-45	-73	-92	-94	172	-1	14	66	195	232	29	-29	373
2005	-63	-82	-39	-72	0	114	79	77	241	311	46	-20	591
2006	-53	-43	-98	-56	67	130	237	142	166	178	117	-11	774
2007	-58	-78	-102	0	149	262	84	325	437	358	28	-25	1379
2008	-67	-52	-92	0	220	172	226	214	210	297	11	-17	1121
2009	-49	-78	-103	-92	101	223	3	45	88	156	41	-25	309
2010	-67	-78	-59	0	25	168	241	208	300	141	197	-8	1068
2011	-53	-68	-88	-77	0	114	76	227	195	497	89	-12	899
2012	-59	-78	-103	0	209	73	0	194	157	104	-2	-38	457
2013	-74	-72	-106	0	22	189	7	112	180	227	14	-26	473
2014	-68	-83	-103	-73	-98	-94	-94	-89	282	251	45	-22	-146
2015	-66	-82	-105	-83	25	69	47	47	87	211	159	-4	304
2016	-49	-76	-102	-66	0	64	51	187	97	247	47	24	423
2017	-33	-68	-99	0	63	-5	53	133	301	283	69	-26	670

Cuadro 4.44. Frecuencia porcentual acumulada con diferentes niveles de deficiencia, equilibrio y exceso de agua mensual (condiciones hídricas) para la estación RECOPE La Garita, periodo 2002 - 2017.

Situación hidrica	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Deficiencias												
61 mm ó más	38	81	81	50	6	6	6	6				
41 mm ó más	94	100	88	63	6	6	6	6				
21 mm ó más	100		100	63	6	6	6	6				38
11 mm ó más				63	6	6	6	6				69
1 mm ó más				63	6	19	6	6			6	94
Equilibrio				100	25	19	13	6			6	94
Excesos					25	19	25	6			13	94
hasta 10 mm					25	19	31	13			25	94
hasta 20 mm					44	19	31	13			38	100
hasta 30 mm					50	25	44	25			63	
hasta 50 mm					63	38	56	31			69	
hasta 70 mm					63	44	81	38	19		81	
hasta 100 mm					75	63	81	63	19	19	88	
hasta 150 mm					81	81	81	75	56	31	100	
hasta 200 mm					100	100	100	94	81	81		
hasta 300 mm								100	94	94		
hasta 400 mm								100				
hasta 600 mm									100	100		
más de 600 mm												

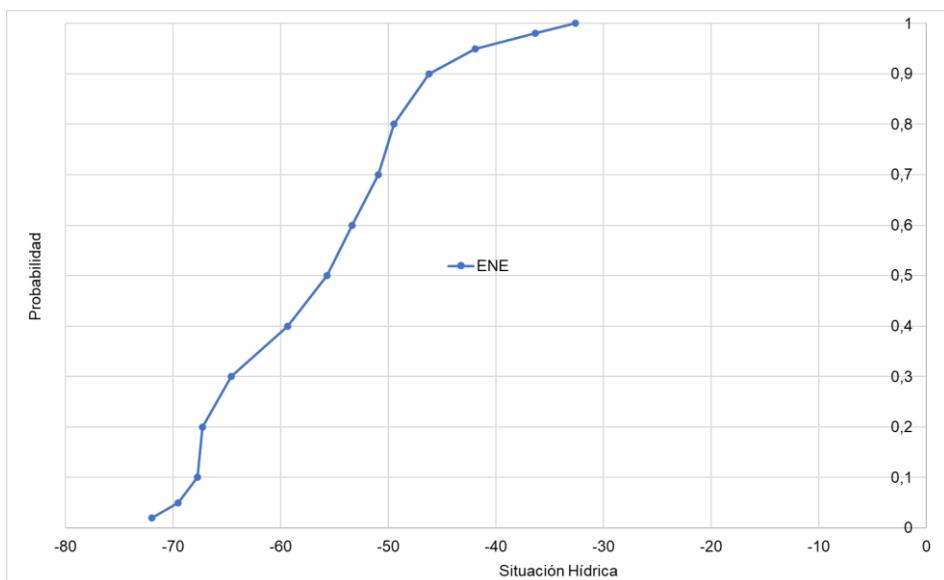


Figura 4.54. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de enero en la estación RECOPE La Garita, periodo 2002 - 2017.

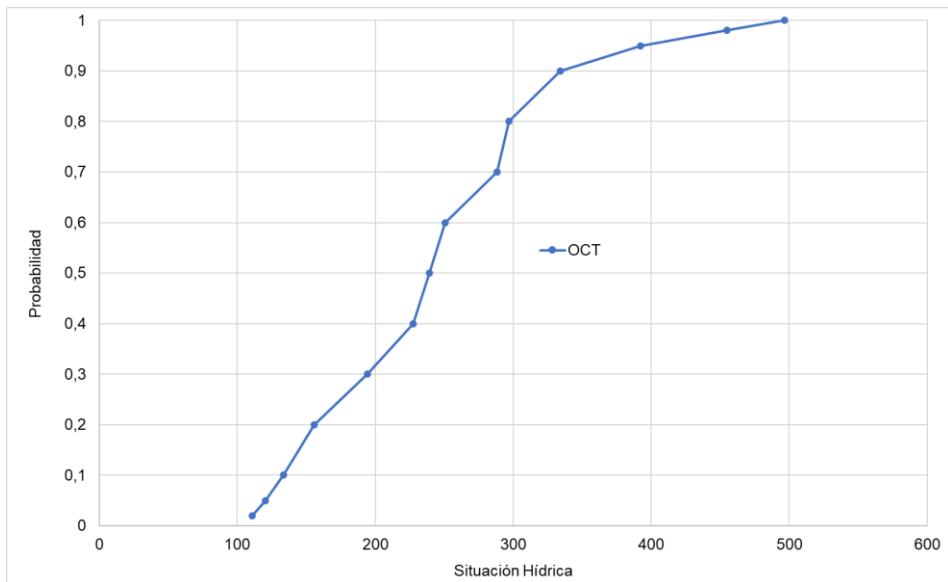


Figura 4.55. Frecuencia porcentual acumuladas de las situaciones producidas por el BHS para el mes de octubre en la estación RECOPE La Garita, periodo 2002 - 2017.

Cuadro 4.45. Probabilidades de las situaciones hídricas, estación RECOPE La Garita, periodo 2002 - 2017.

	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
0,02	-72	-83	-106	-94	-69	-67	-66	-57	87	111	1	-35	-20
0,05	-70	-82	-105	-92	-25	-28	-23	-9	88	121	5	-31	169
0,1	-68	-82	-104	-87	0	-3	2	31	93	133	10	-28	289
0,2	-67	-78	-103	-78	0	43	7	47	157	156	14	-26	309
0,3	-65	-78	-103	-75	23	67	24	71	161	195	29	-25	398
0,4	-59	-78	-102	-72	25	73	47	112	180	227	41	-22	457
0,5	-56	-75	-100	-61	48	114	52	125	195	239	46	-18	532
0,6	-53	-73	-98	-47	67	130	76	142	210	251	47	-12	670
0,7	-51	-70	-92	0	111	170	81	191	261	289	79	-10	836
0,8	-49	-68	-88	0	149	189	95	208	300	297	97	-8	1014
0,9	-46	-49	-49	0	190	242	231	220	332	334	138	-5	1094
0,95	-42	-45	-36	0	211	263	238	251	382	392	169	3	1185
0,98	-36	-44	-30	0	216	265	240	295	415	455	186	16	1301
1	-33	-43	-26	0	220	267	241	325	437	497	197	24	1379

4.3.3. Índice agrometeorológico de sequías

A partir del BHS es posible determinar el comienzo y fin de una sequía agrometeorológica, para tal efecto se adoptó el criterio propuesto por Pascale y Damario (1977); el cual indica, que sí en tres o más meses consecutivos la situación hídrica (SH) estuvo en el primer quintil ($p \leq 0,2$) de la distribución estadística correspondiente, se considera como una situación de sequía agrometeorológica.

La metodología de trabajo comprendió el siguiente procedimiento:

- a) señalar, para cada mes los casos en que la deficiencia es mayor o igual al valor cuya probabilidad es menor o igual a 0,2.
- b) identificar los casos en que esa condición se repite en tres o más meses consecutivos.
- c) determinar la duración del evento de sequía, la fecha de inicio y fin del evento.
- d) establecer la magnitud del evento de sequía seleccionando el valor con la mayor deficiencia.

Cuadro 4.46. Probabilidad de ocurrencia estimada para las situaciones hídricas del 20% de los años, informadas por el BHS, estación Santa Lucía, 1988-2017.

Situación Hídrica													
Año	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
1988	-39	-9	-37	-45	342	220	-5	38	192	343	41	-18	1024
1989	-40	-47	-22	-40	22	191	98	245	495	270	45	42	1260
1990	-17	-32	-24	110	87	110	286	119	268	402	213	-1	1521
1991	-20	-42	-39	0	122	348	-1	97	335	306	83	-1	1189
1992	-24	-2	-54	0	148	234	124	70	179	236	82	-6	988
1993	0	-26	80	43	329	306	93	255	281	388	102	-11	1838
1994	-37	-46	-61	-23	113	95	-1	146	220	344	118	-4	864
1995	-21	-42	0	79	288	252	250	438	370	530	21	61	2225
1996	5	-2	-35	0	318	261	250	224	411	238	171	-14	1827
1997	-24	-46	-62	66	99	174	-8	48	360	190	274	-5	1064
1998	-34	-33	-59	-64	88	282	338	96	500	569	189	93	1965
1999	-12	0	-33	41	247	240	18	386	468	400	79	0	1834
2000	-7	-13	-52	0	293	238	88	53	464	192	53	0	1309
2001	-13	-38	-56	-64	282	96	148	99	238	276	64	26	1058
2002	-10	-34	-62	-71	94	140	38	233	394	317	122	-2	1157
2003	-24	-29	0	71	237	565	80	166	503	416	161	8	2153
2004	-9	-28	-6	-28	351	37	117	102	428	506	217	-13	1674
2005	-30	-38	-20	-28	73	360	138	190	197	465	102	-7	1402
2006	-12	-13	-37	-30	138	189	227	120	232	159	119	7	1100
2007	-19	-32	-20	-4	264	165	217	458	483	631	187	-6	2325
2008	-21	-11	-36	0	581	384	329	333	455	428	118	-11	2549
2009	-35	-40	-4	0	121	340	12	33	152	306	156	-1	1039
2010	-25	-30	-49	15	103	378	284	595	603	228	226	0	2328
2011	-13	-1	-27	-3	112	346	193	146	190	897	105	0	1945
2012	-22	-37	-56	53	323	189	49	214	134	343	41	-4	1230
2013	-31	-27	-22	0	76	207	64	151	543	421	154	4	1538
2014	-18	-19	-45	0	278	237	-2	70	607	229	82	-10	1407
2015	-28	-29	-63	-21	-4	1	76	27	329	382	-1	-7	662
2016	-37	-47	-42	0	43	270	36	190	200	408	133	60	1214
2017	-3	-20	-54	43	573	276	197	259	558	379	76	-11	2273

Cuadro 4.47. Eventos de sequía ordenados según su duración (meses) y magnitud, estación Santa Lucía, 1988-2017.

INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD
Julio de 1988	Septiembre de 1988	3	-5
Noviembre de 1988	Febrero de 1989	4	-47
Agosto 1992	Octubre de 1992	3	70
Diciembre 1993	Marzo de 1994	4	-61
Marzo de 1998	Mayo de 1998	3	-64
Diciembre de 2008	Febrero de 2009	3	-40
Julio de 2009	Septiembre de 2009	3	12

Cuadro 4.48. Probabilidad de ocurrencia estimada para las situaciones hídricas del 20% de los años, informadas por el BHS, estación Aeropuerto Juan Santamaría, 2002-2017.

Situación Hídrica														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	
2002	-32	-61	-89	-83	1	47	66	34	267	225	68	-11	432	
2003	-52	-59	-52	0	118	277	36	131	274	351	204	-1	1227	
2004	-32	-58	-73	-77	199	0	42	123	212	175	84	-24	571	
2005	-53	-65	-42	-67	20	205	35	103	350	345	50	-8	871	
2006	-39	-53	-85	-31	92	119	237	110	206	105	208	0	871	
2007	-32	-61	-69	-34	125	167	40	283	319	402	79	-20	1200	
2008	-56	-44	-61	0	322	457	269	373	309	350	77	-4	1991	
2009	-34	-62	-86	-94	95	147	4	42	48	153	93	-23	283	
2010	-41	-59	-58	0	0	121	198	209	481	146	183	-23	1157	
2011	-57	-57	-67	-77	0	77	109	109	122	572	72	-8	795	
2012	-49	-67	-88	0	138	46	40	215	183	164	-1	-27	556	
2013	-62	-54	-89	0	0	185	-1	17	308	331	44	-25	655	
2014	-60	-72	-86	-36	4	144	-18	28	178	311	33	-25	404	
2015	-61	-64	-93	-86	-1	0	84	28	150	182	156	-8	285	
2016	-49	-68	-91	-11	0	64	40	69	89	208	46	-1	295	
2017	-35	-58	-88	5	267	173	162	101	293	291	21	-17	1116	

Cuadro 4.49. Eventos de sequía ordenados según su duración (meses) y magnitud, estación Aeropuerto Juan Santamaría, 2002-2017.

INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD
Octubre de 2012	Enero de 2013	4	-62
Noviembre de 2013	Febrero de 2014	4	-72
Noviembre de 2014	Enero de 2015	3	-61
Marzo de 2015	Junio de 2015	4	-93

Cuadro 4.50. Probabilidad de ocurrencia estimada para las situaciones hídricas del 20% de los años, informadas por el BHS, estación Santa Bárbara, 2000 - 2011.

Situación Hídrica													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual
2000	-24	-46	-74	-46	121	323	90	91	475	224	37	-9	1162
2001	-33	-56	-74	-44	165	77	212	226	188	337	86	41	1125
2002	-17	-44	-73	-82	78	141	119	285	452	320	112	-11	1281
2003	-44	-57	19	140	357	439	95	165	503	327	168	65	2177
2004	-10	-40	-64	-40	269	24	138	157	533	401	239	-21	1586
2005	-19	-55	0	-21	55	340	127	169	293	404	89	-8	1373
2006	-20	-3	-59	-24	261	260	316	130	319	261	252	3	1695
2007	-24	-48	-42	0	451	302	220	473	551	536	177	-10	2585
2008	-36	-4	-5	0	419	496	254	464	457	511	162	-15	2704
2009	-45	-58	-44	-53	405	288	52	57	108	226	123	-14	1046
2010	-46	-38	-38	83	158	336	242	515	597	403	268	-4	2476
2011	-16	-16	-62	0	134	357	197	308	226	688	110	-6	1920

Cuadro 4.51. Eventos de sequía ordenados según su duración (meses) y magnitud, estación Santa Bárbara, 2000-2011.

INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD
Marzo de 2000	Mayo de 2000	3	-74
Marzo de 2002	Junio de 2002	4	-82
Diciembre de 2008	Febrero de 2009	3	-58
Julio de 2009	Octubre de 2009	4	52

Cuadro 4.52. Probabilidad de ocurrencia estimada para las situaciones hídricas del 20% de los años, informadas por el BHS, estación Fabio Baudrit, 2001 - 2017.

Situación Hídrica														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	
2001	-52	-74	-89	-92	57	57	66	23	139	149	13	-5	192	
2002	-40	-66	-95	-94	0	49	63	99	207	183	23	-9	320	
2003	-53	-63	0	-22	95	279	15	56	280	244	137	-6	960	
2004	-36	-59	-72	-98	168	0	19	71	199	285	84	-28	531	
2005	-60	-74	-19	-51	0	73	27	54	265	275	120	-15	595	
2006	-46	-50	-93	-17	170	137	286	114	153	182	162	-10	988	
2007	-54	-73	-96	0	157	265	128	277	413	335	64	-19	1397	
2008	-61	-59	-84	0	235	203	153	285	325	315	74	-8	1376	
2009	-36	-68	-93	-78	126	218	17	42	57	172	61	-24	395	
2010	-64	-71	-69	-52	-63	120	206	212	419	94	206	-4	933	
2011	-45	-56	-86	-28	0	127	69	220	131	504	87	-9	912	
2012	-54	-72	-90	0	150	68	-3	168	164	104	0	-17	417	
2013	-60	-67	-84	0	27	176	5	71	222	273	49	-27	582	
2014	-66	-78	-95	-49	21	119	-19	80	395	256	49	-22	591	
2015	-63	-72	-98	-69	0	61	81	52	93	289	223	11	507	
2016	-31	-65	-93	-13	0	206	81	189	101	252	51	27	705	
2017	-31	-63	-92	0	213	144	127	186	344	341	37	-21	1184	

Cuadro 4.53. Eventos de sequía ordenados según su duración (meses) y magnitud, estación Fabio Baudrit, 2001-2017.

INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD
Marzo de 2002	Junio de 2002	4	-95
Agosto de 2009	Octubre de 2009	3	42
Diciembre de 2013	Marzo de 2014	4	-95

Cuadro 4.54. Probabilidad de ocurrencia estimada para las situaciones hídricas del 20% de los años, informadas por el BHS, estación RECOPE La Garita, 2002 - 2017.

Situación Hídrica														
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	Anual	
2002	-47	-74	-100	-78	34	43	95	117	157	126	8	-6	274	
2003	-52	-46	-26	-47	121	267	35	17	364	294	97	-9	1014	
2004	-45	-73	-92	-94	172	-1	14	66	195	232	29	-29	373	
2005	-63	-82	-39	-72	0	114	79	77	241	311	46	-20	591	
2006	-53	-43	-98	-56	67	130	237	142	166	178	117	-11	774	
2007	-58	-78	-102	0	149	262	84	325	437	358	28	-25	1379	
2008	-67	-52	-92	0	220	172	226	214	210	297	11	-17	1121	
2009	-49	-78	-103	-92	101	223	3	45	88	156	41	-25	309	
2010	-67	-78	-59	0	25	168	241	208	300	141	197	-8	1068	
2011	-53	-68	-88	-77	0	114	76	227	195	497	89	-12	899	
2012	-59	-78	-103	0	209	73	0	194	157	104	-2	-38	457	
2013	-74	-72	-106	0	22	189	7	112	180	227	14	-26	473	
2014	-68	-83	-103	-73	-98	-94	-94	-89	282	251	45	-22	-146	
2015	-66	-82	-105	-83	25	69	47	47	87	211	159	-4	304	
2016	-49	-76	-102	-66	0	64	51	187	97	247	47	24	423	
2017	-33	-68	-99	0	63	-5	53	133	301	283	69	-26	670	

Cuadro 4.55. Eventos de sequía ordenados según su duración (meses) y magnitud, estación RECOPE La Garita, 2002-2017.

INICIO	FIN	DURACIÓN (meses)	MAGNITUD
Septiembre de 2002	Noviembre de 2002	3	8
Febrero de 2009	Abril de 2009	3	-103
Julio de 2009	Octubre de 2009	4	3
Septiembre de 2012	Enero de 2013	5	-74
Noviembre de 2013	Marzo de 2014	5	-103
Mayo de 2014	Agosto de 2014	4	-98
Febrero de 2015	Abril de 2015	3	-105

4.3.4. Índice de Precipitación Estandarizado (SPI)

El índice de precipitación estandarizado (SPI, por sus siglas en inglés) (McKee et al., 1993) tiene como fin “identificar la ocurrencia y severidad de periodos secos en múltiples escalas de tiempo”. Para calcular el SPI se deben seguir dos pasos, el primero consiste en “determinar una función de densidad de probabilidad que describa a la serie temporal de precipitación observada” y el segundo consiste en transformar la función de densidad a una distribución normal estandarizada con media igual a 0 y desviación estándar igual a 1. El valor obtenido es el SPI el cual “representa el número de desviaciones en que el valor transformado de la lluvia se aparta de la media histórica” y está constituido por valores negativos o positivos dependiendo de si la precipitación fue menor o mayor a la mediana respectivamente (Murphy & Hurtado, 2016).

La condición hídrica se describe en el cuadro 4.56.

Cuadro 4.56. Rangos de SPI y categorización de las condiciones hídricas

Valor SPI	Categoría	Probabilidad (%)
SPI $\geq 2,00$	Extremadamente húmedo (HX)	2,3
1,50 a 1,99	Muy húmedo (HY)	4,4
1,00 a 1,49	Moderadamente húmedo (HM)	9,2
0,00 a 0,99	Ligeramente húmedo (HL)	34,1
0,00 a -0,99	Ligeramente seco (SL)	34,1
-1,00 a -1,49	Moderadamente seco (SM)	9,2
-1,50 a -1,99	Muy seco (SY)	4,4
SPI ≤ -2	Extremadamente seco (SX)	2,3

Fuente: agrometeorología, Murphy (2016).

Además, Murphy (2016) agrega que los valores de SPI entre -1 y 1 pueden ser considerados como condiciones normales y se repiten en siete de cada diez años aproximadamente, donde la condición se puede clasificar como seca si el SPI<-1 o húmeda si SPI>1 donde ambas tienen un tiempo de seis años de recurrencia; las condiciones extremas (HX o SX) tienen cada una un tiempo de aproximadamente 44 años de recurrencia.

Por último, agregar que la serie de precipitaciones puede agruparse de forma mensual o en períodos de 2, 3, 6, 12, 24 meses; cuando se trabaja con fines agronómicos es recomendable utilizar períodos cortos de tres meses, dado que

es un buen indicador de disponibilidad de agua para los cultivos. (Murphy & Serio, 2006).

En relación con las características de un evento de sequía, se trabajarán cuatro en total, las cuales son: a) D: duración (en meses); b) M: magnitud (suma del valor SPI durante el evento de sequía); c) S: severidad media (valor promedio); d) Smax: severidad máxima; (e) inicio y finalización.

4.3.3.1 SPI y su relación con el cultivo del café en la Región Central de Costa Rica.

El método empleado sería el de sequía agrícola para el cultivo del café, y se analiza por medio del SPI propuesto por McKee et al., 1993., donde se define un evento de sequía como el periodo de tiempo donde los valores del SPI son menores o iguales a -1. Se analizaron los eventos de sequía, uno para los meses abril, mayo y junio dada la importancia de este trimestre para el cultivo del café. A continuación, se detalla en qué consiste el índice de precipitación estandarizado y su relación con el cultivo del café.

4.3.3.1.1 Caracterización de eventos periodo completo 1985-2017.

Se realizó un análisis del SPI para el periodo comprendido entre 1985 y 2017. Durante este periodo se encontró siete eventos de sequía en los años 2001, 2002, 2009, 2012, 2014, 2015 y 2016. En la Figura 4.56 se puede observar con detalle.

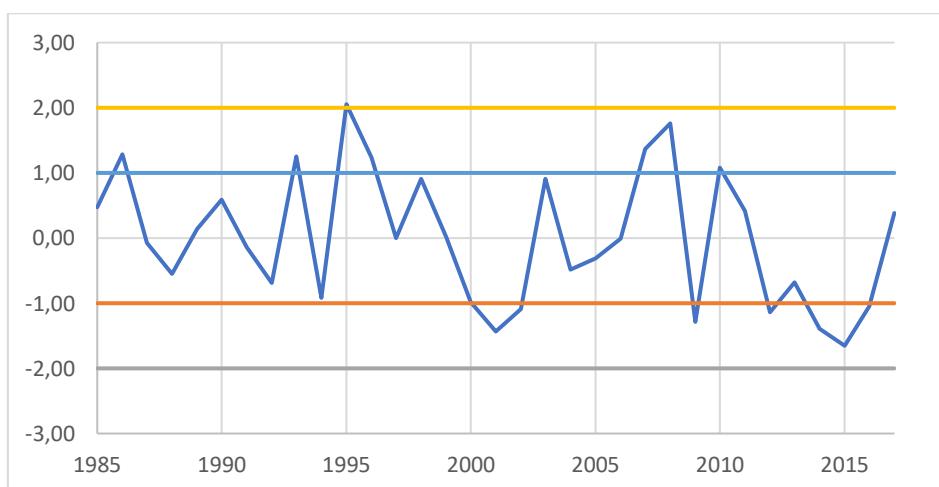


Figura 4.56. Serie del SPI para el periodo 1985-2017

Además, en el cuadro 4.57., se puede observar los tres eventos de sequía con mayor duración, ordenados de mayor a menor. La mayor duración registrada fue de cuatro meses y ocurrió en el año 2015, desde marzo hasta junio.

Cuadro 4.57. Eventos de sequía a partir de SPI ordenados según su duración (meses) para el periodo 1985-2017.

Inicio	Fin	Duración (meses)	Magnitud	Severidad media	Severidad máxima
MAR 2015	JUN 2015	4 meses	-5,66	-1,42	-1,72
JUN 2014	AGO 2014	3 meses	-4,55	-1,52	-2,32
SEP 2012	NOV 2012	3 meses	-4,22	-1,40	-1,73

Asimismo, en la figura 4.57 se observa la precipitación media mensual de la serie climática 1985 - 2017 en la Región Central de Costa Rica, se hace énfasis en el periodo crítico del cultivo de café. Este periodo está constituido por el trimestre de los meses de abril, mayo y junio (AMJ) y es el más importante para este cultivo.

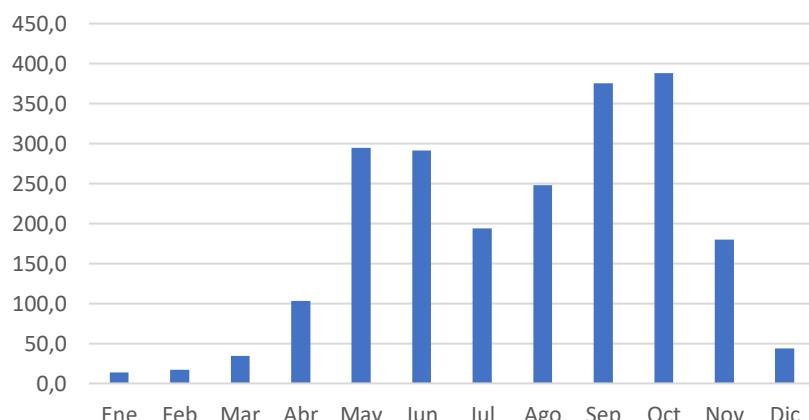


Figura 4.57. Precipitación media mensual de la Región Central de Costa Rica. Periodo 1985-2017.

4.3.3.1.2 Caracterización de eventos en abril, mayo y junio.

El trimestre seleccionado para la Región Central de Costa Rica es AMJ, en este periodo se produce el crecimiento y desarrollo de las yemas generativas y seriales, la antesis, la formación y crecimiento de los frutos jóvenes del cultivo

del café. Además, aunque son tres meses con precipitaciones que van desde los 100 mm aproximadamente hasta casi los 300 mm mensuales, se ubican entre dos periodos donde hay disminuciones en las precipitaciones (julio-agosto, y de diciembre a marzo). En la figura 4.58. se muestra el trimestre de precipitación media mensual de la Región Central de Costa Rica centrada en la época crítica del cultivo del café para el periodo 1985-2017.

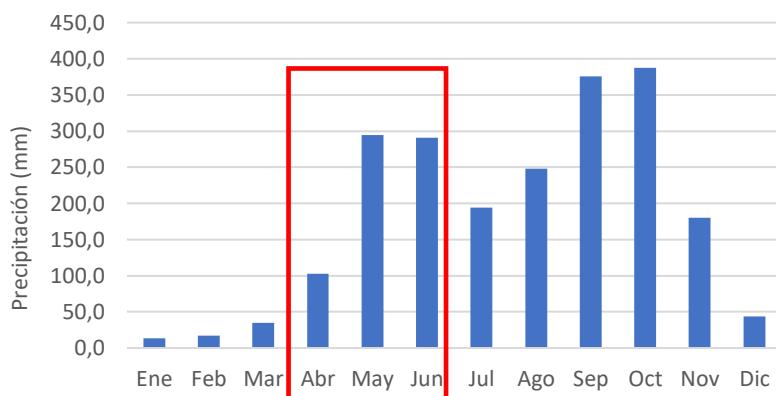


Figura 4.58. Trimestre de precipitación media mensual de la Región Central de Costa Rica centrada en la época crítica del cultivo del café. Periodo 1985-2017.

Se realizó un análisis del SPI3 para el trimestre AMJ durante el periodo comprendido entre 1985 y 2017. Durante este periodo se encontraron tres eventos de sequía en los años 2002, 2004 y 2015. En la Figura 4.59., se puede observar con detalle.

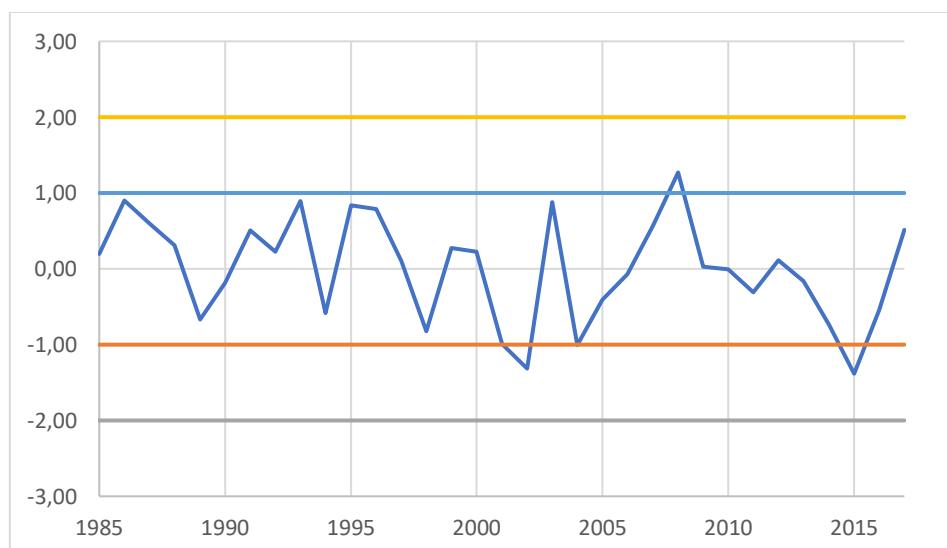


Figura 4.59. Serie del SPI3 para el trimestre AMJ, periodo 1985-2017

Además, en el cuadro 4.58. se puede observar los tres eventos con mayor severidad media, ordenados de mayor a menor valor. La mayor severidad se presentó en el año 2015. Es importante señalar que en este periodo se dieron dos eventos con severidades superiores a -1,2.

Cuadro 4.58. Eventos de sequía a partir de SPI3 ordenados según su severidad media para el periodo 1985-2017.

AÑO	SEVERIDAD MEDIA
2015	-1,38
2002	-1,32
2004	-1,01

Por último, en la Figura 4.60. se puede observar la tendencia de la precipitación media del trimestre AMJ del periodo 1999-2011 en la Región Central de Costa Rica. Se evidencia que para el mes de mayo las precipitaciones han ido disminuyendo, lo cual afecta entre otros los procesos fenológicos de la planta en el cultivo de café.

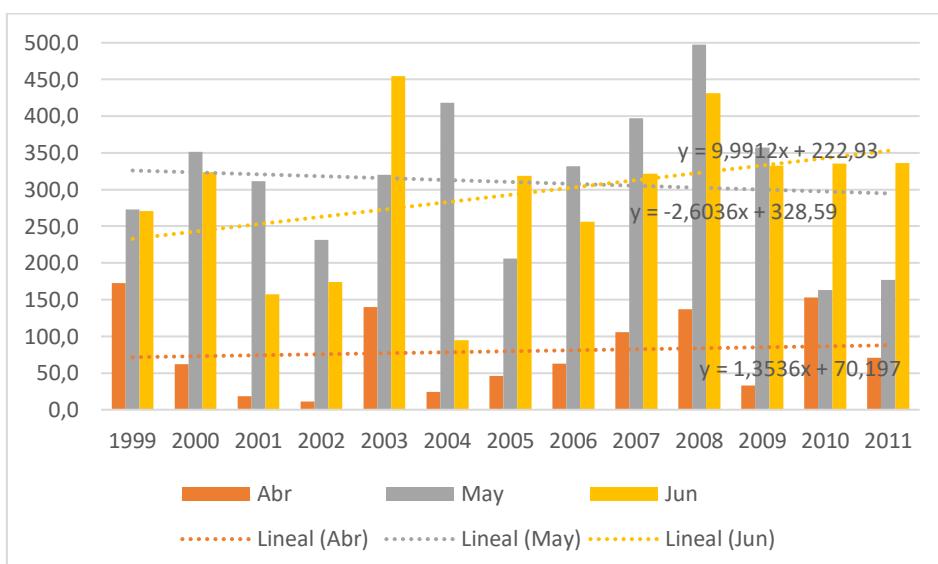


Figura 4.60. Precipitación media (mm) del trimestre AMJ, periodo 1999-2011 en la Región Central de Costa Rica.

4.4. Planilla agroclimática

La sistematización de una planilla agroclimática constituye un primer y útil paso a fines de la interpretación zonal del clima y, por consiguiente, de la aptitud agropecuaria. Para ello se debe recurrir a toda la información física existente, elaborada en forma tal que permita conocer las disponibilidades y limitaciones agroclimáticas que tiene la localidad.

La confección de esta puede variar en cuanto a la inclusión o no de algunos elementos, pero en términos generales se puede decir que es indispensable la presencia de los elementos del balance de radiación, del régimen térmico, del régimen hídrico, etc., todos los que indican en forma más directa las posibilidades agrícolas y ganaderas, como: bioperíodos térmicos, fotoperiodos, etc.

En términos generales se puede decir que consta de las variables meteorológicas transformadas en índices climáticos que ocupan la primera parte de la planilla. En algunos casos, por falta de observaciones, se deben estimar sus valores, como en el caso de los flujos de radiación y el fotoperíodo. La segunda parte de la planilla agrupa los elementos que indican con mayor detalle las características agroclimáticas de las localidades en estudio, y que requieren una elaboración especial ya indicada anteriormente en el cómputo de los como, por ejemplo: evapotranspiración, resultados del balance hidrológico climático y seriado, bioperíodos, suma de temperatura, índices de sequía, entre otros.

4.4.1. Índices agroclimáticos para la estación Santa Lucía.

Cuadro 4.59. Índices agroclimáticos de radiación.

ÍNDICES DE RADIACIÓN	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Radiación global (MJ m^{-2})	19,4	20,7	22,0	20,7	17,2	15,5	16,0	16,5	16,0	15,5	15,1	17,1	17,7
Heliofanía astronómica (horas y décimas)	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,0	11,8	11,5	11,4	12,0
PAR (horas y décimas)	9,7	10,3	11,0	10,4	8,6	7,8	8,0	8,3	8,0	7,8	7,6	8,6	8,8
Heliofanía efectiva (horas y décimas)	8,7	8,7	8,8	7,6	5,2	4,1	4,4	4,6	4,3	4,5	5,0	7,2	6,1
Heliofanía relativa (%)	75,7	74,5	73,7	62,1	41,7	32,6	35,1	37,3	35,7	38,3	43,4	63,0	51,1
Fotoperíodo (hs. y dec.)	12,4	12,5	12,8	13,1	13,3	13,5	13,4	13,2	12,9	12,6	12,4	12,3	12,8

Cuadro 4.60. Índices agroclimáticos de temperatura.

ÍNDICES DE TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura máxima media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	24,3	25,3	26,4	26,8	25,9	25,3	25,1	25,3	25,1	24,7	24,5	24,1	25,2
Temperatura mínima media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	14,9	14,7	14,8	15,4	15,8	15,8	15,9	15,6	15,3	15,4	15,7	15,5	15,4
Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	19,2	19,7	20,3	20,8	20,3	20,2	19,8	19,6	19,2	19,2	19,5	19,3	19,8
Temperatura Máxima Absoluta	31,2	30,9	31,5	31,4	30,0	29,0	32,8	33,2	28,7	28,5	29,0	29,0	33,2
Temperatura Mínima Absoluta	7,2	7,0	8,0	8,3	8,2	11,3	8,0	9,6	10,6	9,8	10,4	8,4	7,0
Probabilidad de Temp Máximas Anuales >30	3%	14%	26%	29%	3%			3%	3%				
Amplitud térmica ($^{\circ}\text{C}$)								1,6					

Cuadro 4.61. Índices agroclimáticos de disponibilidad calórica.

SUMAS DE TEMPERATURA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Suma de temperaturas sobre 0°C	595	571	629	624	629	606	614	608	576	595	585	598	7231
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	297	290	328	333	337	316	326	323	306	312	302	304	3774
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	142	145	173	182	182	166	171	168	156	157	152	149	1944
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	3	18	33	27	16	16	13	6	3	3			138

Cuadro 4.62. Índices agroclimáticos de disponibilidad hídrica.

ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación mensual media (mm)	17,6	23,2	41,0	115,6	333,3	329,9	207,0	258,3	423,1	441,5	183,0	53,5	2427,0
Precipitación media anual en los 3 meses más secos				27,3									
Número de días con pp	6	4	5	10	22	23	20	22	25	26	18	9	190
Evapotranspiración potencial_ Thornthwaite (mm)	69	66	80	83	84	80	82	80	72	72	69	69	906
Evapotranspiración potencial_Penman Monteith (mm)	66	64	76	63	42	34	43	39	30	29	38	53	577
Evapotranspiración potencial_Turc (mm)	73	72	83	85	84	83	83	83	82	79	74	71	952
Evapotranspiración potencial_Hargreaves (mm)	106	112	140	140	133	122	124	129	123	117	103	99	1448

Cuadro 4.63. Balance hidrológico Climático (BHC).

BALANCE HIDROLÓGICO CLIMÁTICO (BHC)	C.C.: 100												
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Evapotranspiración de Thornthwaite	69	66	80	83	84	80	82	80	72	72	69	69	906
Deficiencia	17	25	28	0	0	0	0	0	0	0	0	1	71
Excesos	0	0	0	0	205	250	125	178	351	370	114	0	1592
SH	-17	-25	-28	0	205	250	125	178	351	370	114	-1	

Cuadro 4.64. Balance Hidrológico Seriado (BHS).

BALANCE HIDROLÓGICO SERIADO (BHS)													C.C.: 100
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Situación hídrica (mm)	P=0,20	-32	-40	-56	-29	88	160	16	70	199	238	61	-10 1063
	P=0,50	-21	-30	-37	0	143	237	95	148	365	362	111	-2 1404
	P=0,80	-12	-12	-20	43	319	341	232	256	496	435	174	7 2003
ER/EP.100 (%)	P=0,20	52	37	31	66	100	100	100	100	100	100	100	85
	P=0,50	70	55	54	100	100	100	100	100	100	100	100	96
	P=0,80	83	81	75	100	100	100	100	100	100	100	100	100

4.4.2. Índices agroclimáticos para la estación Aero Juan Santamaría.

Cuadro 4.65. Índices agroclimáticos de radiación.

ÍNDICES DE RADIACIÓN													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Radiación global (MJ m^{-2})	19,9	21,6	22,4	21,3	18,1	16,4	16,6	17,0	16,8	16,4	16,0	17,7	18,3
Heliofanía astronómica (horas y décimas)	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,0	11,8	11,5	11,4	12,0
PAR (horas y décimas)	9,9	10,8	11,2	10,6	9,1	8,2	8,3	8,5	8,4	8,2	8,0	8,9	9,2
Heliofanía efectiva (horas y décimas)	9,1	9,4	9,1	8,0	5,9	4,8	4,9	5,0	4,9	5,2	5,7	7,7	6,6
Heliofanía relativa (%)	79,2	80,5	76,2	65,4	47,3	38,2	39,1	40,6	40,7	44,2	49,4	67,4	55,7
Fotoperíodo (hs. y dec.)	12,4	12,5	12,8	13,1	13,3	13,5	13,4	13,2	12,9	12,6	12,4	12,3	12,8

Cuadro 4.66. Índices agroclimáticos de temperatura.

ÍNDICES DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura máxima media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	28,2	28,9	29,8	30,2	28,8	28,2	28,2	28,2	27,8	27,2	27,2	27,6	28,4
Temperatura mínima media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	18,5	18,5	18,7	19,1	19	18,9	19	18,7	18,2	18,3	18,3	18,4	18,6
Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	22,4	22,7	23,2	23,5	22,7	22,4	22,5	22,3	21,7	21,6	21,8	22,2	22,4
Temperatura Máxima Absoluta	31,5	33,3	33,4	34,5	32,8	32,1	31,8	32,0	32,0	31,4	30,7	32,0	34,5
Temperatura Mínima Absoluta	11,8	13,2	13,9	14,9	14,5	15,9	15,2	15,7	15,5	15,1	14,5	13,7	11,8
Probabilidad de Temp Máximas Anuales >30	58%	95%	####	100%	100%	79%	89%	79%	89%	58%	32%	53%	
Amplitud térmica ($^{\circ}\text{C}$)										1,9			

Cuadro 4.67. Índices agroclimáticos de disponibilidad calórica.

SUMAS DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Suma de temperaturas sobre 0°C	696	659	720	704	705	672	698	690	651	669	653	687	8204
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	413	397	442	440	432	406	422	416	389	395	382	404	4940
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	258	252	287	290	277	256	267	261	239	240	232	249	3110
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	103	107	132	140	122	106	112	106	89	85	82	94	1280

Cuadro 4.68. Índices agroclimáticos de disponibilidad hídrica.

ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación mensual media (mm)	6,2	11,2	14,0	73,8	243,7	220,0	151,8	214,2	307,7	301,0	146,2	34,4	1724,2
Precipitación media anual en los 3 meses más secos					31,4								
Número de días con pp	3	3	4	10	21	22	19	21	25	25	17	8	180
Evapotranspiración potencial_ Thornthwaite (mm)	87	83	99	101	97	92	96	92	81	81	79	84	1072
Evapotranspiración potencial_Penman Monteith (mm)	104	104	114	91	53	43	55	49	37	33	44	74	801
Evapotranspiración potencial Terc (mm)	77	76	87	89	87	86	86	87	85	82	77	75	994
Evapotranspiración potencial Hargreaves (mm)	116	119	147	147	138	127	132	135	128	121	109	110	1529

Cuadro 4.69. Balance hidrológico Climático (BHC).

BALANCE HIDROLÓGICO CLIMÁTICO (BHC)													C.C.: 100
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Evapotranspiración de Thornthwaite	87	83	99	101	97	92	96	92	81	81	79	84	1072
Deficiencia	47	58	77	26	0	0	0	0	0	0	0	10	218
Excesos	0	0	0	0	51	128	56	122	227	220	67	0	871
SH	-47	-58	-77	-26	51	128	56	122	227	220	67	-10	

Cuadro 4.70. Balance Hidrológico Seriado (BHS).

BALANCE HIDROLÓGICO SERIADO (BHS)													C.C.: 100
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P=0,20	-57	-65	-89	-77	0	47	35	34	150	164	44	-24	404
Situación hídrica (mm) P=0,50	-49	-60	-85	-32	56	133	41	106	239	258	75	-14	725
P=0,80	-34	-57	-61	0	138	185	162	209	309	350	156	-4	1157
ER/EP.100 (%) P=0,20	35	21	11	23	100	100	100	100	100	100	100	72	
ER/EP.100 (%) P=0,50	47	27	14	66	100	100	100	100	100	100	100	86	
ER/EP.100 (%) P=0,80	60	31	36	100	100	100	100	100	100	100	100	94	

4.4.3. Índices agroclimáticos para la estación Santa Bárbara.

Cuadro 4.71. Índices agroclimáticos de radiación.

ÍNDICES DE RADIACIÓN													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Radiación global (MJ m^{-2})	19,4	21,3	22,2	21,0	17,9	16,2	16,4	17,0	16,5	16,0	15,7	17,5	18,1
Heliofanía astronómica (horas y décimas)	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,0	11,8	11,5	11,4	12,0
PAR (horas y décimas)	9,7	10,7	11,1	10,5	8,9	8,1	8,2	8,5	8,3	8,0	7,9	8,7	9,0
Heliofanía efectiva (horas y décimas)	8,9	9,2	9,0	7,8	5,7	4,6	4,7	4,9	4,7	4,9	5,5	7,5	6,5
Heliofanía relativa (%)	77,9	78,8	75,1	64,1	45,7	36,7	37,8	39,7	39,0	42,0	47,4	65,6	54,2
Fotoperíodo (hs. y dec.)	12,4	12,5	12,8	13,1	13,3	13,5	13,4	13,2	12,9	12,6	12,4	12,3	12,8

Cuadro 4.72. Índices agroclimáticos de temperatura.

ÍNDICES DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura máxima media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	27,4	28	29,1	29,1	28,1	27,6	27,5	27,7	27,7	26,7	26,7	27	27,7
Temperatura mínima media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	15,8	15,5	15,5	16,2	17,1	17,2	17	16,9	16,6	16,9	16,5	16	16,4
Temperatura media mensual ($^{\circ}\text{C}$)	21,2	21,4	21,8	22	21,5	21,3	21,5	21,3	20,8	20,7	20,7	21	21,3
Temperatura Máxima Absoluta	31,0	33,5	33,0	34,0	32,0	30,5	31,0	31,0	31,0	30,0	30,0	31,0	34,0
Temperatura Mínima Absoluta	9,0	10,0	10,0	11,0	13,0	13,0	13,5	14,5	13,5	14,0	12,0	10,5	9,0
Probabilidad de Temp Máximas Anuales >30	38%	77%	####	100%	73%	73%	57%	86%	71%	43%	36%	36%	
Amplitud térmica ($^{\circ}\text{C}$)								1,4					

Cuadro 4.73. Índices agroclimáticos de disponibilidad calórica.

SUMAS DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Suma de temperaturas sobre 0°C	657	621	677	661	667	640	667	662	625	640	621	651	7789
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	361	342	380	379	391	372	380	382	365	366	347	357	4422
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	206	197	225	229	236	222	225	227	215	211	197	202	2592
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	51	52	70	79	81	72	70	72	65	56	47	47	762

Cuadro 4.74. Índices agroclimáticos de disponibilidad hídrica.

ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación mensual media (mm)	15,5	27,9	34,8	122,5	359,4	345,0	251,9	328,0	481,1	456,3	247,3	54,4	2724,0
Precipitación media anual en los 3 meses más secos			78,1										
Número de días con pp	4	3	4	11	23	25	22	24	27	27	19	8	198
Evapotranspiración potencial_ Thornthwaite (mm)	79	74	88	89	89	85	89	86	77	77	73	77	983
Evapotranspiración potencial_Penman Monteith (mm)	95	88	96	75	44	38	49	44	34	33	41	68	705
Evapotranspiración potencial Turc (mm)	130	131	147	136	110	96	98	101	98	97	98	113	1355
Evapotranspiración potencial Hargreaves (mm)	123	126	157	153	142	131	137	140	134	124	113	116	1596

Cuadro 4.75. Balance hidrológico Climático (BHC).

BALANCE HIDROLÓGICO CLIMÁTICO (BHC)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	C.C.: 100
Evapotranspiración de Thornthwaite	79	74	88	89	89	85	89	86	77	77	73	77	983
Deficiencia	26	31	42	0	0	0	0	0	0	0	0	2	101
Excesos	0	0	0	0	219	260	163	242	404	379	174	0	1841
SH	-26	-31	-42	0	219	260	163	242	404	379	174	-2	

Cuadro 4.76. Balance Hidrológico Seriado (BHS).

BALANCE HIDROLÓGICO SERIADO (BHS)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	C.C.: 100
Situación hídrica (mm) P=0,20	-43	-56	-71	-45	123	165	100	136	239	273	93	-13	1186
P=0,50	-24	-45	-51	-22	213	313	167	197	455	369	143	-8	1641
P=0,80	-17	-20	-12	0	395	353	238	433	527	490	227	2	2416
ER/EP.100 (%) P=0,20	44	25	17	45	100	100	100	100	100	100	100	84	
P=0,50	69	43	42	75	100	100	100	100	100	100	100	91	
P=0,80	78	85	78	100	100	100	100	100	100	100	100	100	

4.4.4. Índices agroclimáticos para la estación Fabio Baudrit.

Cuadro 4.77. Índices agroclimáticos de radiación.

ÍNDICES DE RADIACIÓN													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Radiación global (MJ m ⁻²)	19,7	21,7	22,2	21,1	18,3	16,5	16,6	17,2	16,8	16,3	16,0	17,6	18,3
Heliofania astronómica (horas y décimas)	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,0	11,8	11,5	11,4	12,0
PAR (horas y décimas)	9,9	10,8	11,1	10,6	9,1	8,3	8,3	8,6	8,4	8,1	8,0	8,8	9,2
Heliofanía efectiva (horas y décimas)	9,0	9,5	9,0	7,9	6,0	4,9	4,9	5,1	4,9	5,1	5,7	7,6	6,6
Heliofanía relativa (%)	78,3	81,3	75,3	64,6	48,1	39,0	39,1	41,4	40,7	43,4	49,4	66,5	55,6
Fotoperíodo (hs. y dec.)	12,4	12,5	12,8	13,1	13,3	13,5	13,4	13,2	12,9	12,6	12,4	12,3	12,8

Cuadro 4.78. Índices agroclimáticos de temperatura.

ÍNDICES DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura máxima media mensual (°C)	29,5	30,1	31,0	31,2	29,5	28,7	29,1	29,1	28,6	27,9	28,3	29,1	29,3
Temperatura mínima media mensual (°C)	18,2	18,4	18,7	19,1	19,1	19,0	18,9	18,6	18,5	18,6	18,4	18,2	18,7
Temperatura media mensual (°C)	23,0	23,3	23,7	23,8	22,9	22,5	22,7	22,5	22,0	21,9	22,1	22,6	22,8
Temperatura Máxima Absoluta	33,8	35,6	35,0	34,9	34,3	34,1	34,6	34,8	34,2	33,9	33,2	33,9	35,6
Temperatura Mínima Absoluta	13,8	14,1	12,1	15,8	14,2	16,6	14,9	14,5	16,2	16,2	15,2	14,2	12,1
Probabilidad de Temp Máximas Anuales >30	100%	100%	100%	100%	100%	100%	95%	91%	91%	77%	86%	91%	
Probabilidad de Temp Máximas Anuales >35	0%	9%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Amplitud térmica (°C)										2,0			

Cuadro 4.79. Índices agroclimáticos de disponibilidad calórica.

SUMAS DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Suma de temperaturas sobre 0°C	712	676	736	715	711	676	702	696	660	678	664	701	8329
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	429	414	461	454	444	416	434	430	406	411	401	423	5123
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	274	269	306	304	289	266	279	275	256	256	251	268	3293
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	119	124	151	154	134	116	124	120	106	101	101	113	1463

Cuadro 4.80. Índices agroclimáticos de disponibilidad hídrica.

ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación mensual media (mm)	5,3	9,5	17,2	77,7	260,2	243,8	159,7	203,7	317,4	329,5	167,1	38,8	1829,8
Precipitación media anual en los 3 meses más secos			32,0										
Número de días con pp	3	3	4	10	24	24	20	21	27	27	19	9	191
Evapotranspiración potencial_Thornthwaite (mm)	92	88	104	104	99	92	97	93	83	83	80	87	1102
Evapotranspiración potencial_Penman Monteith (mm)	81	86	94	72	40	31	38	34	28	26	32	54	616
Evapotranspiración potencial_Turc (mm)	78	77	88	90	88	86	86	87	86	82	78	76	1002
Evapotranspiración potencial_Hargreaves (mm)	127	128	157	155	143	131	139	142	132	125	116	121	1616

Cuadro 4.81. Balance hidrológico Climático (BHC).

BALANCE HIDROLÓGICO CLIMÁTICO (BHC)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Evapotranspiración de Thornthwaite	92	88	104	104	99	92	97	93	83	83	80	87	1102
Deficiencia	51	64	80	25	0	0	0	0	0	0	0	10	230
Excesos	0	0	0	0	65	152	63	111	234	246	87	0	958
SH	-51	-64	-80	-25	65	152	63	111	234	246	87	-10	

Cuadro 4.82. Balance Hidrológico Seriado (BHS).

BALANCE HIDROLÓGICO SERIADO (BHS)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
P=0,20	-61	-73	-94	-76	0	63	15	55	133	174	39	-22	435
Situación hídrica (mm) P=0,50	-53	-67	-90	-28	57	127	66	99	207	256	64	-10	595
P=0,80	-37	-60	-74	0	166	205	128	207	340	310	133	-5	982
ER/EP.100 (%) P=0,20	34	18	10	31	100	100	100	100	100	100	100	75	
P=0,50	44	24	12	73	100	100	100	100	100	100	100	89	
P=0,80	59	33	24	100	100	100	100	100	100	100	100	95	

4.4.5. Índices agroclimáticos para la estación RECOPE La Garita.

Cuadro 4.83. Índices agroclimáticos de radiación.

ÍNDICES DE RADIACIÓN													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Radiación global (MJ m ⁻²)	19,7	21,7	22,2	21,1	18,3	16,5	16,6	17,2	16,8	16,3	16,0	17,6	18,3
Heliofania astronómica (horas y décimas)	11,5	11,7	11,9	12,2	12,5	12,6	12,5	12,3	12,0	11,8	11,5	11,4	12,0
PAR (horas y décimas)	9,9	10,8	11,1	10,6	9,1	8,3	8,3	8,6	8,4	8,1	8,0	8,8	9,2
Heliofancia efectiva (horas y décimas)	9,0	9,5	9,0	7,9	6,0	4,9	4,9	5,1	4,9	5,1	5,7	7,6	6,6
Heliofanía relativa (%)	78,3	81,3	75,3	64,6	48,1	39,0	39,1	41,4	40,7	43,4	49,4	66,5	55,6
Fotoperiodo (hs. y dec.)	12,4	12,5	12,8	13,1	13,3	13,5	13,4	13,2	12,9	12,6	12,4	12,3	12,8

Cuadro 4.84. Índices agroclimáticos de temperatura.

ÍNDICES DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Temperatura máxima media mensual (°C)	29,4	30,1	30,9	31,0	29,3	28,6	28,7	28,6	28,3	27,9	28,1	28,7	29,1
Temperatura mínima media mensual (°C)	18,3	18,7	19,0	19,4	19,4	19,5	19,3	19,0	18,9	19,2	18,8	18,3	19,0
Temperatura media mensual (°C)	23,4	23,9	24,3	24,3	23,3	23,1	23,1	22,8	22,5	22,5	22,6	23,0	23,2
Temperatura Máxima Absoluta	32,5	33,7	34,7	34,8	35,0	34,1	33,1	33,4	33,1	32,4	32,1	33,2	35,0
Temperatura Mínima Absoluta	13,2	13,3	13,5	15,4	14,6	16,7	16,7	15,4	16,4	15,5	16,3	14,6	12,7
Probabilidad de Temp Máximas Anuales >30	100%	100%	100%	100%	100%	95%	100%	95%	84%	74%	74%	89%	
Probabilidad de Temp Máximas Anuales >35	0%	0%	0%	0%	5%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	
Amplitud térmica (°C)									1,8				

Cuadro 4.85. Índices agroclimáticos de disponibilidad calórica.

SUMAS DE TEMPERATURA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Suma de temperaturas sobre 0°C	726	693	754	730	722	692	715	706	675	697	679	712	8500
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 10°C	429	419	464	455	445	420	434	428	408	420	403	419	5144
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 15°C	274	274	309	305	290	270	279	273	258	265	253	264	3314
Suma de temperaturas efectivas; temp. base = 20°C	119	129	154	155	135	120	124	118	108	110	103	109	1484

Cuadro 4.86. Índices agroclimáticos de disponibilidad hídrica.

ÍNDICES DE DISPONIBILIDAD HÍDRICA													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	ANUAL
Precipitación mensual media (mm)	4,2	10,0	15,0	59,0	229,2	206,4	158,7	211,5	279,4	314,0	128,8	29,7	1646,0
Precipitación media anual en los 3 meses más secos			29,3										
Número de días con pp	3	2	3	9	21	21	20	23	25	27	17	7	178
Evapotranspiración potencial_ Thornthwaite (mm)	95	93	110	109	102	97	100	95	87	88	84	90	1150
Evapotranspiración potencial_Penman Monteith (mm)	71	78	83	63	38	31	37	33	29	27	32	47	569
Evapotranspiración potencial Terc (mm)	78	78	89	90	88	87	87	86	83	79	76	1008	
Evapotranspiración potencial Hargreaves (mm)	127	128	156	153	141	128	135	137	129	122	113	119	1588

Cuadro 4.87. Balance hidrológico Climático (BHC).

BALANCE HIDROLÓGICO CLIMÁTICO (BHC)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	C.C.: 100
Evapotranspiración de Thornthwaite	95	93	110	109	102	97	100	95	87	88	84	90	1150
Deficiencia	58	71	89	49	0	0	0	0	0	0	0	15	282
Excesos	0	0	0	0	29	109	59	117	192	226	45	0	777
SH	-58	-71	-89	-49	29	109	59	117	192	226	45	-15	

Cuadro 4.88. Balance Hidrológico Seriado (BHS).

BALANCE HIDROLÓGICO SERIADO (BHS)													
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	C.C.: 100
P=0,20	-67	-78	-103	-78	0	43	7	47	157	156	14	-26	309
Situación hídrica (mm) P=0,50	-56	-75	-100	-61	48	114	52	125	195	239	46	-18	532
P=0,80	-49	-68	-88	0	149	189	95	208	300	297	97	-8	1014
ER/EP.100 (%) P=0,20	30	13	7	26	100	100	100	100	100	100	100	71	
P=0,50	41	20	10	44	100	100	100	100	100	100	100	80	
P=0,80	48	27	22	100	100	100	100	100	100	100	100	92	

4.5. Conclusiones Capítulo 4

- En Costa Rica, la caficultura es una de las actividades productivas de mayor importancia socioeconómica. Según Ramírez (1987), aporta a la producción nacional (20% del producto interno bruto PIB), a la generación de divisas (37%), y contribuye a la generación de empleo ya que absorbe el 13,8% de la población económicamente activa.
- Se conoce que el cafeto es un cultivo de fotoperíodo corto (Ruiz et al. 2013), es decir, requiere para florecer menos de 13 horas sol por día. Los valores más frecuentes en la Región Central de Costa Rica están entre 1600 y 2000 horas sol por año (4,4 – 5,5 horas por día).
- Para la mayoría de las plantas tropicales el límite inferior de crecimiento fisiológico se ha definido en 10,0°C y el límite superior en 35,0°C, extremos en los cuales sería nulo el desarrollo y crecimiento. Por ejemplo, para el cultivo del café, con un rango térmico de adaptación entre 10,0°C y 32,0°C, se requieren alrededor de 3250°C días acumulados para que se complete su desarrollo entre la siembra y la primera floración, y se necesitan aproximadamente 2.500°C días acumulados entre la primera floración y la cosecha, para un total de unos 5.750°C días para el ciclo completo entre la siembra y la cosecha (4). Si la temperatura es menor a 16°C puede producirse un daño severo en los tejidos jóvenes; por ejemplo, los tallos vegetativos pueden morir a -5°C., por otro lado, si la temperatura sobrepasa los 27°C hay más riesgo de deshidratación de la planta.
- La temperatura óptima para el cultivo del cafeto está entre 18 y 21°C, por lo tanto, los cultivos de café en zonas que estén por debajo de esta temperatura requieren de mayor tiempo cronológico para alcanzar la producción potencial, mientras que en cultivos en zonas por encima de esta temperatura puede verse afectado el llenado de frutos.

- La temperatura media ideal para el café Arábica es de entre 15° y 24°C y de entre 24° y 30°C para el Robusta, que puede aguantar más calor y sequedad, pero en cambio no tolera temperaturas muy por debajo de 15°C, mientras que el Arábica puede, si es por poco tiempo.
- Las estimaciones de la Evapotranspiración Potencial (ETP) según Thornthwaite, Turc, Hargreaves y Penman en la Región Central de Costa Rica, fueron diferentes entre sí al requerir más elementos meteorológicos o menos. La estimación de la ETP según Penman Monteith es el método más completo debido a que integra en su ecuación de cálculo un mayor número de variables del clima que intervienen en el proceso de evapotranspiración de las plantas. A partir de los resultados, los métodos que se basan en la temperatura y la radiación solar, como en el caso de Costa Rica, subestiman la ETP, ello podría deberse a que no incorporan en la ecuación el término advectivo.
- Según el balance de agua del suelo, Santa Lucía, Aeropuerto Juan Santamaría, Santa Bárbara, Fabio Baudrit y RECOPE La Garita, son localidades húmedas ya que las precipitaciones superan ampliamente la ETP. Además, el periodo con déficit de agua se extiende desde el mes de diciembre hasta marzo. Así mismo, de enero a julio los excesos son de 1592mm.
- La situación hídrica nos indica el grado en que la demanda de agua, impuesta por la evapotranspiración potencial es satisfecha por la humedad del suelo o por la misma precipitación según el modelo de balance hídrico. Los valores negativos significan que la cantidad de agua no satisface la demanda, valores igual a cero indican que hay un equilibrio entre la evaporación de referencia y la humedad del suelo, valores positivos se refieren a exceso de agua con respecto a la demanda.
- Se realizó el Balance Hidrológico Climático de cinco estaciones de la Región Central de Costa Rica. Se utilizaron los datos climáticos promedio

de precipitación del periodo 1982 – 2017 en la Estación Santa Lucía, del periodo 1998-2017 en la Estación Aeropuerto Juan Santa María, del periodo 1998-2012 en la Estación Santa Bárbara, del periodo 1995-2017 en la Estación Fabio Baudrit, y del periodo 1998-2017 en la Estación de RECOPE La Garita.

- Es importante destacar las áreas del balance donde el suelo cede agua para compensar los dos momentos de déficit que presenta esta localidad, de igual manera es bastante conveniente la representación gráfica, ya que fácilmente se puede apreciar los momentos de recarga del suelo y a partir de qué punto se traducen en excesos.
- Se puede apreciar que las máximas precipitaciones en las estaciones Santa Lucía, Fabio Baudrit y RECOPE se presentan en el mes de octubre, y en las estaciones Aeropuerto Juan Santamaría y Santa Bárbara, en el mes de septiembre. Además, las mínimas precipitaciones en todas las estaciones se presentan en el mes de enero.
- Por otra parte, se puede observar que, según el modelo de Thornthwaite, la evapotranspiración potencial máxima para la estación Santa Lucía se dio en el mes de mayo; en la estación Aeropuerto se dio en abril; en Santa Bárbara se dio en mayo, julio y abril; en la estación Fabio Baudrit se dio en marzo y abril, y en la estación RECOPE La Garita se dio en marzo. Luego, según el modelo Turc, la evapotranspiración potencial máxima para las estaciones Santa Lucía, Aeropuerto Juan Santamaría, Fabio Baudrit y RECOPE La Garita se dio en abril; y en Santa Bárbara se dio en marzo. También, según el modelo Hargreaves-Samani, la evapotranspiración potencial máxima para las estaciones Santa Lucía y Aeropuerto Juan Santamaría se dio en marzo y abril; y en Santa Bárbara, Fabio Baudrit y RECOPE se dio en marzo. Por último, según el modelo Penman-Monteith FAO, la evapotranspiración potencial máxima para

todas las estaciones, se presentó en el mes de marzo. Esto coincide con las temperaturas más altas que se experimentan en la época seca.

- También, se puede apreciar que durante los meses de diciembre y enero se presenta un ligero déficit que se torna mucho más importante durante el mes de marzo, lo anterior obedece a que la evapotranspiración potencial es mayor que las precipitaciones, indicando claramente que el suelo está secándose o está cediendo agua.
- Además, se puede observar que la situación hídrica de la Región Central es negativa de diciembre a abril, y es positiva en los meses de mayo a noviembre, con mínimos leves en el mes de diciembre y abril producto de la transición de la época lluviosa a la época seca, y de la época seca a la época lluviosa, respectivamente; y mínimos más importantes en el mes de marzo por las altas temperaturas de la época seca.
- En la Región Central, los almacenajes más los excesos están por encima de la capacidad de campo durante los meses de mayo a noviembre, que corresponde a la época lluviosa, llegando casi al punto de marchitez en el mes de diciembre.
- A pesar de que en la Región Central de Costa Rica en el periodo estudiado se observó un incremento en las precipitaciones anuales, al analizar el trimestre abril-mayo-junio, se encontró que se ha presentado una disminución en las lluvias durante el mes de mayo; esto podría tener impactos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas, aparición, incidencia y severidad de plagas y enfermedades, calidad de la taza, producción, prácticas y el manejo agronómico en general del cultivo de café.

- Esta es una primera aproximación al estudio de la distribución espacio - temporal de las condiciones de sequía en la Región Central de Costa Rica, ya que no se tienen trabajos al respecto. Se recomienda profundizar en este tipo de estudios.
- Por último, a modo de resumen, se confeccionó la planilla agroclimática pues la misma constituye un primer paso a fines de la interpretación zonal del clima, y, por consiguiente, de su aptitud agropecuaria. Para ello se recurrió a toda la información meteorología y/o climática existente, la cual fue elaborada de forma tal que permitió conocer las disponibilidades y limitaciones agroclimática que tiene la localidad. La misma posee elementos del balance de radiación, del régimen térmico, del régimen hídrico, heliofanía y también los que indican en forma directa las posibilidades agrícolas y ganaderas, como: bioperíodos térmicos, fotoperiodos, etc. En términos generales se puede decir que los elementos básicos ocupan la primera parte de la planilla. En algunos casos, por falta de observaciones, se deben estimar sus valores, como en el caso de los flujos de radiación y la evapotranspiración potencial, o el fotoperíodo. La segunda parte de la planilla agrupa los elementos que indican con mayor detalle las características agroclimáticas de las localidades en estudio, y que requieren una elaboración especial de los indicados anteriormente, como, por ejemplo: resultados del balance hidrológico seriado, bioperíodos, suma de temperaturas, etc., para la Región Central de Costa Rica.

5. CONCLUSIONES GENERALES

En este capítulo se recopila y resume las conclusiones a las que se ha llegado una vez concluido el trabajo realizado en los cuatro capítulos que conforman este Trabajo Final de Graduación, los cuales son: caracterización climática de la radiación, caracterización climática de la temperatura del aire, caracterización climática de la precipitación y, por último, índices agroclimáticos para la Región Central de Costa Rica.

Inicialmente, en esta investigación se planteó el objetivo de caracterizar la Región Central de Costa Rica mediante la estimación de índices agroclimáticos orientado al conocimiento de los elementos que determinan el clima y su potencialidad económica para la producción agropecuaria. A continuación, se detalla las conclusiones ligadas a los objetivos; están ordenadas de acuerdo con cada uno de los objetivos específicos.

Se inicia con el primer objetivo específico que es estimar diferentes variables meteorológicas y/o agrometeorológicas para la Región Central de Costa Rica. Se continúa con las conclusiones ligadas al segundo objetivo específico que es estudiar las características espaciales y temporales que presentan las variables agrometeorológicas en relación con la producción agropecuaria.

Se sigue con las conclusiones ligadas al tercer objetivo específico que es valorar la aptitud agrícola de la Región Central de Costa Rica según las disponibilidades climáticas con el objeto de asesorar sobre el tipo de emprendimiento conveniente de cultivos posibles. Y, por último, se trabaja las conclusiones ligadas al cuarto objetivo específico que es generar información agroclimática que facilite la toma de decisiones a la comunidad agrícola costarricense de la Región Central de Costa Rica.

5.1. Conclusiones ligadas al primer objetivo específico

Como primer objetivo específico se planteó estimar diferentes variables meteorológicas y/o agrometeorológicas para la Región Central de Costa Rica. Se presenta a continuación las conclusiones ligadas a este objetivo.

Los valores de Radiación Global media más bajos se presentaron en las estaciones Santa Lucía ($17,63 \text{ MJ m}^{-2}$) y Santa Bárbara ($18,03 \text{ MJ m}^{-2}$) respectivamente, en ambas estaciones se presentan los promedios de precipitaciones anuales más altos (es donde llueve más dentro de la zona de estudio), condición que afecta los valores de Radiación Global.

En la Región Central de Costa Rica, la Heliofanía Astronómica o duración total del día aumenta gradualmente desde el solsticio de invierno (diciembre) hasta el solsticio de verano (junio), donde alcanza su valor máximo, superando las 12 horas de luz (noches cortas). Posteriormente, las horas de luz se van reduciendo hasta igualarse con las horas de oscuridad durante el equinoccio de otoño (septiembre), en otras palabras, durante los equinoccios la duración del día y de la noche es la misma para todas las latitudes. En diciembre o durante el solsticio de invierno para el hemisferio norte, se tiene el valor de heliofanía astronómica mínimo (máximo de horas de oscuridad, noches largas). Sin embargo, tanto la duración del día como los crepúsculos, el amanecer y el atardecer no difieren significativamente a lo largo del año en la Región Central de Costa Rica, esto se debe a su ubicación geográfica cercana al ecuador, donde a medida que te acercas, la tierra experimenta una exposición más uniforme a la luz solar durante todo el año.

La duración de la luz entre el inicio del crepúsculo matutino y la finalización del crepúsculo vespertino (fotoperiodo), en la Región Central de Costa Rica, aumentan ligeramente desde el solsticio de invierno (21 de diciembre) hasta el solsticio de verano (21 de junio). Ahora bien, dado que la zona de estudio se ubica a una latitud baja o próxima respecto al ecuador, los crepúsculos tienen muy corta duración, incidiendo esto en diferencias imperceptibles. Por otro lado, al ubicarse las estaciones meteorológicas a diferencias altitudinales de baja montaña (menos de 1500msnm) y no haber grandes diferencias altitudinales entre ellas, la salida y puesta del sol al igual que los crepúsculos se mantienen con valores muy similares a lo largo del año.

La temperatura máxima media anual en la Región Central de Costa Rica es en promedio de 27,6°C con una desviación estándar de 2,5°C y una mediana de 27,8°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, las temperaturas máximas medias anuales han aumentado significativamente.

La temperatura máxima absoluta anual en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 32,6°C con una desviación estándar de 2,2°C y una mediana de 33,1°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, la temperatura máxima absoluta anual ha aumentado significativamente.

La temperatura mínima media anual (*t_{ma}*) en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 17,4°C con una desviación estándar de 2,2°C y una mediana de 17,7°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, las temperaturas mínimas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

La temperatura mínima absoluta anual en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 9,2°C con una desviación estándar de 1,1°C y una mediana de 9,0°C. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1982 hasta el año 2017, la temperatura mínima absoluta anual ha aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

La temperatura media anual en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 21,6°C con una desviación estándar de 1,8°C y una mediana de 21,7°C. La serie presentó una tendencia positiva, se determinó que dicho comportamiento fue significativo $p<.001$, desde 1982 hasta el año 2017, la temperatura media anual ha aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

La amplitud térmica en la Región Central de Costa Rica fue en promedio 1,72°C, según Borda (2017), este valor se considera como insignificante ya que es menor a 5°C; en consecuencia, la región presenta un régimen térmico con amplitud

anual reducida, lo cual es típico de un clima tropical y de la zona intertropical, esto se debe a que la presencia de temperaturas altas es constante.

La precipitación anual media en la Región Central de Costa Rica fue en promedio de 2183,2 mm con una desviación estándar de 457,9 mm y una mediana de 2151,1mm. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde 1999 hasta el año 2011, las precipitaciones anuales medias en la RCC han aumentado significativamente.

En la estación SL, se obtuvo que la precipitación anual media es de 2437,1 mm con una desviación estándar de 489,7 mm y una mediana de 2317,6 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1983-2017).

En la estación AJS, la precipitación anual media fue de 1822,4 mm con una desviación estándar de 452,4 mm y una mediana de 1729,5 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).

En la estación SB, la precipitación anual media fue de 2735,3 mm con una desviación estándar de 549,2 mm y una mediana de 2712,6 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1997-2011).

En la estación FB, la precipitación anual media fue de 1835,6 mm con una desviación estándar de 335,0 mm y una mediana de 1757,8 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1998-2017).

En la estación RLG, la precipitación anual media fue de 1705,3 mm con una desviación estándar de 407,3 mm y una mediana de 2487,6 mm. Además, en esta estación las precipitaciones anuales medias han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).

El número de días con lluvia promedio en la Región Central de Costa Rica fue 193, con una desviación estándar de 18,2 días y una mediana de 202 días. La serie presentó una tendencia positiva con un nivel de confianza del 95% y se determinó que dicho comportamiento es significativo $p<.001$, es decir, desde

1999 hasta el año 2011, el número de días con precipitaciones ha aumentado significativamente en la Región Central de Costa Rica.

En la estación SL, se obtuvo una media anual de 189 días con precipitaciones, con una desviación estándar de 20,9 días y una mediana de 186 días. Además, en esta estación la cantidad de días con precipitaciones han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1983-2017).

En la estación AJS, se obtuvo una media anual de 183 días con precipitaciones, con una desviación estándar de 15,9 días y una mediana de 182 días. Además, en esta estación el número de días con precipitación han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).

En la estación SB, se obtuvo una media anual de 196 días con precipitación, con una desviación estándar de 18,3 días y una mediana de 203 días. Además, en esta estación la cantidad de días con precipitación han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años (periodo 1997-2011).

En la estación FB, se obtuvo una media anual de 193 días con precipitación, con una desviación estándar de 18,9 días y una mediana de 192 días. Además, en esta estación el número de días con precipitación han aumentado de manera significativa a medida que han transcurrido los años (periodo 1998-2017).

En la estación RLG, se obtuvo una media anual de 182 días con precipitación, con una desviación estándar de 19,4 días y una mediana de 184 días. Además, en esta estación el número de días con precipitación han disminuido de manera significativa a medida que han transcurrido los años (periodo 1999-2017).

Por otra parte, se puede observar que, según el modelo de Thornthwaite, la evapotranspiración potencial máxima para la estación Santa Lucía se dio en el mes de mayo; en la estación Aeropuerto se dio en abril; en Santa Bárbara se dio en mayo, julio y abril; en la estación Fabio Baudrit se dio en marzo y abril, y en la estación RECOPE La Garita se dio en marzo. Luego, según el modelo Turc, la evapotranspiración potencial máxima para las estaciones Santa Lucía, Aeropuerto Juan Santamaría, Fabio Baudrit y RECOPE La Garita se dio en abril; y en Santa Bárbara se dio en marzo. También, según el modelo Hargreaves-Samani, la evapotranspiración potencial máxima para las estaciones Santa Lucía y Aeropuerto Juan Santamaría se dio en marzo y abril; y en Santa Bárbara, Fabio

Baudrit y RECOPE se dio en marzo. Por último, según el modelo Penman-Monteith FAO, la evapotranspiración potencial máxima para todas las estaciones se presentó en el mes de marzo. Esto coincide con las temperaturas más altas que se experimentan en la época seca.

5.2. Conclusiones ligadas al segundo objetivo específico

Como segundo objetivo específico se planteó estudiar las características espaciales y temporales que presentan las variables agrometeorológicas en relación con la producción agropecuaria. Se presenta a continuación las conclusiones ligadas a este objetivo.

La Radiación Astronómica en la Región Central de Costa Rica presentó dos picos de máxima ubicados en los meses de abril y agosto, y dos valles de mínima durante los meses de junio y diciembre respectivamente. Durante los equinoccios los rayos solares llegan al ecuador de manera perpendicular alcanzando la zona intertropical con mayor intensidad, presentando valores de Radiación Astronómica mayores por unidad de superficie-tiempo. De igual manera, durante el periodo que transcurre desde el 21 de marzo hasta el 21 de septiembre (equinoccio de primavera y otoño respectivamente), el hemisferio norte está más inclinado hacia el sol, razón por la que la Región Central de Costa Rica presenta valores de Radiación Astronómica mayores. Por el contrario, desde septiembre hasta marzo pasando por el solsticio de diciembre (perihelio), el polo terrestre del hemisferio norte se encuentra en su inclinación más alejada respecto al sol, de ahí que la marcha de la Radiación Astronómica en la Región Central presente los valores menores.

La marcha anual de la Radiación Astronómica presentó una distribución similar en las cinco estaciones de la Región Central de Costa Rica, esto se debe a que la Radiación Astronómica depende de la latitud del lugar y por estar las cinco estaciones en estudio a latitudes bajas muy similares, la respuesta es muy equivalente, teniéndose una respuesta ligeramente distinta solo por la época del año.

La Radiación Fotosintéticamente Activa o PAR, es la parte de la radiación solar comprendida entre las longitudes de onda de los 400 a 700 nm, esta “luz de crecimiento” como la llaman algunos autores, es útil ya que interviene en el

proceso de fotosíntesis. Por otro lado, se observa una dependencia estacional en la proporción de radiación PAR con respecto a la Radiación Global, presentando en la Región Central de Costa Rica los valores más altos y variables durante la época seca, mientras que en la época lluviosa estos valores son menores por efecto de la nubosidad.

El clima tropical de Costa Rica está caracterizado por una variación muy pequeña de temperaturas a lo largo del año, pudiéndose reconocer una onda doble, con máximos cercanos a los equinoccios y mínimos en los solsticios.

Además, al estar localizada muy cerca del ecuador, es decir, la región terrestre donde los vientos alisios del hemisferio norte y del hemisferio sur se encuentran y convergen, presenta un sistema de bajas presiones permanente. Este sistema se conoce como zona de convergencia intertropical (ZCIT), y es el responsable de que las lluvias sean tan abundantes en esta parte del mundo.

En la estación SL, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales, las temperaturas mínimas absolutas anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

En la estación AJS, las temperaturas máximas medias anuales y las temperaturas medias anuales tienden a aumentar significativamente a medida que han transcurrido los años; y las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales y las temperaturas mínimas absolutas anuales han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años.

En la estación SB, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales, las temperaturas mínimas absolutas anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años.

En la estación FB, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años; y las temperaturas mínimas medias anuales y las temperaturas mínimas absolutas anuales han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años.

En la estación RLG, las temperaturas máximas medias anuales, las temperaturas máximas absolutas anuales, las temperaturas mínimas medias anuales y las temperaturas medias anuales han aumentado significativamente a medida que han transcurrido los años; las temperaturas mínimas absolutas anuales han disminuido significativamente a medida que han transcurrido los años.

Se realizó el Balance Hidrológico Climático de cinco estaciones de la Región Central de Costa Rica. Se utilizaron los datos climáticos promedio de precipitación del periodo 1982 – 2017 en la Estación Santa Lucía, del periodo 1998-2017 en la Estación Aeropuerto Juan Santa María, del periodo 1998-2012 en la Estación Santa Bárbara, del periodo 1995-2017 en la Estación Fabio Baudrit, y del periodo 1998-2017 en la Estación de RECOPE La Garita. El orden del suelo con el que se trabajó es un Andisol; según referencias bibliográficas, la capacidad de campo es de 100 mm y el punto de marchitez permanente es de 70mm.

Es importante destacar las áreas del balance donde el suelo cede agua para compensar los dos momentos de déficit que presenta esta localidad, de igual manera es bastante conveniente la representación gráfica, ya que fácilmente se puede apreciar los momentos de recarga del suelo y a partir de qué punto se traducen en excesos.

5.3. Conclusiones ligadas al tercer objetivo específico

Como tercer objetivo específico se planteó valorar la aptitud agrícola de la Región Central de Costa Rica según las disponibilidades climáticas con el objeto de asesorar sobre el tipo de emprendimiento conveniente de cultivos posibles.

Se presenta a continuación las conclusiones ligadas a este objetivo.

En la RCCR, a lo largo de todo el año se experimenta una notable consistencia en la duración de los días (fotoperiodo), con una cantidad de 12,8 horas de luz en promedio, con un valor máximo de 13,5 horas y un valor mínimo de 12,3 horas respectivamente, esto evidencia una variación mínima en la duración del día a lo largo del año. Siendo esta condición favorable para el crecimiento y desarrollo del café (*Coffea arabica*), que es el cultivo más importante en la región; sin

embargo, algunas otras plantas de día corto como el maíz (*Zea mays*; solamente los cultivares tropicales), cáñamo (*Cannabis sp.*), algodón (*Gossypium hirsutum*), arroz (*Oriza sativa*) y caña de azúcar (*Saccharum officinarum*), también se ven favorecidos.

La calidad de la producción vegetal, así como la cantidad de materia seca acumulada por una planta está determinada por la radiación PAR interceptada. Entonces, con los valores de radiación PAR disponibles para la zona de estudio, siendo el cafeto una planta de media sombra que solo puede utilizar alrededor del 1% de la radiación PAR, el requerimiento de 200 a 280 horas luz durante los meses secos y de 100 a 150 horas luz durante la época lluviosa (Morfín *et al.*, 2006), estarían cubiertos.

A pesar de que en la Región Central de Costa Rica en el periodo estudiado se observó un incremento en las precipitaciones anuales, al analizar el trimestre abril-mayo-junio, se encontró que se ha presentado una disminución en las lluvias durante el mes de mayo; esto podría tener impactos negativos en el crecimiento y desarrollo de las plantas, aparición, incidencia y severidad de plagas y enfermedades, calidad de la taza, producción, prácticas y el manejo agronómico en general del cultivo de café.

5.4. Conclusiones ligadas al cuarto objetivo específico

Como cuarto objetivo específico se planteó generar información agroclimática que facilite la toma de decisiones a la comunidad agrícola costarricense de la Región Central. Se presenta a continuación las conclusiones ligadas a este objetivo.

La Radiación Solar Global media presenta los valores más altos en la época seca, específicamente se presentaron dos picos de máxima, durante el mes de abril, después del equinoccio de primavera y a finales del mes de agosto, antes del equinoccio de otoño, ya que son los momentos en que por la latitud a la que está ubicada la zona de estudio, los rayos caen de manera perpendicular sobre Costa Rica. Sin embargo, el máximo teórico del mes de agosto se vio atenuado como consecuencia de la acentuación de la época lluviosa, asociada a una

mayor cobertura nubosa típica de ese mes, esta condición resulta en poca radiación directa y mucha radiación difusa.

A mediados de año, se presenta un máximo relativo de Radiación Solar Global durante los cielos despejados en el “veranillo de San Juan” y la “canícula”, entre los meses de julio a agosto.

En la zona central y hacia el Pacífico, zona precordillerana, el clima se define en un verano térmico permanente, con abundancia de precipitaciones, y a mayores alturas (zona cordillerana) las temperaturas son más templadas (15-25°C) con estación de precipitaciones en los meses estivales. En las máximas alturas la temperatura promedio anual es de 20°C, territorio más frío de la región. Además, la variación de temperaturas a lo largo del día es muy alta, hasta el punto de que la oscilación térmica diaria puede superar a la oscilación térmica anual. Esto se debe al ángulo de incidencia de la radiación solar, típico de latitudes ecuatoriales, lo cual hace que la temperatura sea elevada, la humedad relativa también suele ser muy alta.

Las características generales son temperaturas por encima de los 18°C y nunca presenta heladas o descensos de temperatura por debajo de los 0°C. Esto significa que no tiene estaciones como en las regiones templadas, en donde se diferencian bien la primavera, el verano, el otoño y el invierno. En el clima tropical no hay verano ni invierno, solamente época seca y época lluviosa.

Se puede apreciar que las máximas precipitaciones en las estaciones Santa Lucía, Fabio Baudrit y RECOPE La Garita se presentan en el mes de octubre, y en las estaciones Aeropuerto Juan Santamaría y Santa Bárbara, en el mes de septiembre. Además, las mínimas precipitaciones en todas las estaciones se presentan en el mes de enero.

También, se puede apreciar que durante los meses de diciembre y enero se presenta un ligero déficit que se torna mucho más importante durante el mes de marzo, lo anterior obedece a que la evapotranspiración potencial es mayor que las precipitaciones, indicando claramente que el suelo está secándose o está cediendo agua.

Además, se puede observar que la situación hídrica de la Región Central es negativa de diciembre a abril, y es positiva en los meses de mayo a noviembre,

con mínimos leves en el mes de diciembre y abril producto de la transición de la época lluviosa a la época seca, y de la época seca a la época lluviosa, respectivamente; y mínimos más importantes en el mes de marzo por las altas temperaturas de la época seca.

En la Región Central de Costa Rica, los almacenamientos más los excesos están por encima de la capacidad de campo durante los meses de mayo a noviembre, que corresponde a la época lluviosa, llegando casi al punto de marchitez en el mes de diciembre.

Esta es una primera aproximación al estudio de la distribución espacio - temporal de las condiciones de sequía en la Región Central de Costa Rica, ya que no se tienen trabajos al respecto. Se recomienda profundizar en este tipo de estudios.

Durante el período evaluado, las localidades presentan un régimen pluviométrico unimodal con dos períodos claramente definidos: uno húmedo, entre mayo y octubre; y otro seco, entre diciembre a marzo. El máximo valor se presenta en octubre y el mínimo en enero. Desde diciembre a marzo se presentan los valores mínimos de precipitación y valores máximos de evapotranspiración. En los meses marzo y abril del período estudiado se presentan los máximos valores de temperatura media y valores mínimos de humedad relativa.

El 82% de las precipitaciones ocurre entre los meses mayo a septiembre, ocasionando situaciones de excesos de humedad en el suelo durante los meses junio y septiembre. Los déficits de humedad en el suelo ocurren durante el semestre octubre-abril.

Los valores de temperatura oscilan entre la máxima ($35,2^{\circ}\text{C}$) y mínima ($21,7^{\circ}\text{C}$) de la zona en estudio, tal condición favorece el crecimiento y desarrollo del cultivo de mayor producción de la región, el café.

En el mes de mayo se presenta la situación hídrica de equilibrio, es decir, no hay exceso ni déficit de humedad, lo cual, facilita la realización de las labores de campo y siembra de cultivos.

Considerando la temperatura, las situaciones hídricas (déficit y exceso de humedad), es posible establecer unidades de producción diversificadas, con cultivos bajo riego.

La necesidad de información sobre el clima es cada vez más imperiosa, dada la complejidad de las formas productivas y la mayor vulnerabilidad climática, con su impacto sobre rendimientos y precios. Los usuarios potenciales de esta información son productores, asociaciones de productores, funcionarios y técnicos del sector público, universidades y organismos de investigación, empresas de seguros agropecuarios, bolsas de productores y otros enfocados en desarrollar estrategias para la generación y la sistematización de información agroclimática a disposición de los tomadores de decisiones, públicos y privados.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Allen, R. G., Pereira, L. S., Raes, D., & Smith, M. (2006). Evapotranspiración del cultivo: guías para la determinación de los requerimientos de agua de los cultivos. Roma: FAO, 298(0).
- Alvarado, A., & Forsythe, W. (2005). Variación de la densidad aparente en órdenes de suelos de Costa Rica. *Agronomía costarricense: Revista de ciencias agrícolas*, 29(1), 85-94.
- Angström, A. (1924). Solar and terrestrial radiation. *Q.J.R. Meteorol. Soc.* 50, 121–125.
- Arnfield, A. J. (2020). Köppen climate classification. *Encyclopedia Britannica*. <https://www.britannica.com/science/Koppen-climate-classification>.
- Amador, J. A. (1998). A climate feature of the tropical Americas: The trade wind easterly jet. *Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos*, 5(2): 91-102.
- Borda, M. R. (2017). Amplitud térmica.
- Bouroncle, C., Imbach, P., Läderach, p., Rodríguez, B., Medellín, C., Fung, E., Martínez-Rodríguez, M. R., Donatti, C.I. (2015). La agricultura de Costa Rica y el cambio climático: ¿Dónde están las prioridades para la adaptación? Copenague, Dinamarca: CGIAR Research Program on Climate Change, Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://hdl.handle.net/10568/45941>
- Brendel, A. S. (2015). Aplicación del índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración en la región semiárida bonaerense (1970-2012).
- Camargo, A. D., & Pereira, A. R. (1994). Agrometeorology of the coffee crop. Geneva: World Meteorological Organization, 92pp.
- Castro, V. (1987). Radiación solar global en Costa Rica. Ministerio de Agricultura y Ganadería. Instituto Meteorológico Nacional de Costa Rica. Nota de investigación (6): 31pp.
- Damario, E. & Pascale, A. (1971). Estimación de suma de temperaturas efectivas normales para estudios agroclimáticos. *Revista de la Facultad de Agronomía y Veterinaria de Buenos Aires* 19(3): 109-124.

Durán, Á. y Suárez, J. (2015) Dinámica de la radiación fotosintéticamente activa en arreglos agroforestales con *hevea brasiliensis* en el norte de la Amazonia colombiana. Revista UDCA Actualidad & Divulgación Científica 18 (2), 365-372.

Grandoso, H. (1979). Estudio meteorológico de las inundaciones de diciembre de 1970 en Costa Rica. Geofísica Internacional, 18(2), 129–176.

Grandoso, H.; Castro, V. & Vargas, A. (1981). Características de la atmósfera libre sobre Costa Rica y sus relaciones con la precipitación. Informe Semestral (enero-junio), Instituto Geográfico Nacional, Ministerio de Obras Públicas y Transportes. San José, Costa Rica.

Gorgas, J., Cardiel, N., & Zamorano, J. (2011). Estadística básica para estudiantes de ciencias. Madrid. Universidad Complutense. 258p.

Hurtado, R. & Spescha, L. (2016). Evaporación y evapotranspiración. En: Murphy, G. & Hurtado, R. Agrometeorología. 1a ed., Editorial Facultad de Agronomía. 85 – 104 pp.

Instituto Meteorológico Nacional (IMN). (s.f.). Clima en Costa Rica. El clima y las regiones climáticas de Costa Rica.
<https://www.imn.ac.cr/documents/10179/31165/clima-regiones-climat.pdf/cb3b55c3-f358-495a-b66c-90e677e35f57>

Instituto Nacional de Estadística y Censos (INEC). (2015). VI Censo Nacional Agropecuario: Resultados generales. 146p., San José, C.R.

Jiménez, F. (1985). Elementos de Agroclimatología. CATIE, Turrialba, Costa Rica.

Magaña, V., Amador, J. A., y Medina, S. (1999). The midsummer drought over Mexico and Central America. Journal of Climate, 12(6), 1577-1588.

McKee, T. B., N. J. Doesken, and J. Kliest, 1993: The relationship of drought frequency and duration to time scales. In Proceedings of the 8th Conference of Applied Climatology, 17-22 January, Anaheim, CA. American Meteorological Society, Boston, MA. 179-184.

Mata, R. & Ramírez, J. (1999). Estudio de caracterización de suelos y su relación con el manejo del cultivo de café en la Provincia de Heredia. Instituto del Café de Costa Rica. San José, Costa Rica.

Montes de Oca, P. & Mata, R. (1996). Clasificación de los suelos de la Finca Experimental Santa Lucía. Revista de Ciencias Ambientales, 12(1), 12-23.

Montgomery, D.C. & Runger, G.C. (1994). Applied Statistics and Probability for Engineers.706p.

Montoya, Y. (2021). Cuarta comunicación nacional Convención Marco de las Naciones Unidas sobre cambio climático. Costa Rica: Ministerio de Ambiente y Energía.
<http://cglobal.imn.ac.cr/documentos/publicaciones/ComunicacionesNacionales/cuartacomunicacion/offline/CuartaComunicacionCC2021.pdf>

Morfín, A.; Castillo, G.; Vizcaíno, A. (2006). El cultivo del café (*Coffea arabica* L.) en Colima.

Murphy, G. & Hurtado, R. (2016). Agrometeorología. Ciudad Autónoma de Buenos Aires. Editorial Facultad de Agronomía, UBA.

Murphy, G. & Serio, L. (2006). Cálculo de la probabilidad mensual de alcanzar distintas categorías de sequías definidas por medio del Índice Estandarizado de Precipitación. Actas, XI Reunión Argentina de Agrometeorología. La Plata, Buenos Aires, Argentina, 72-73.

Olivares, B., Cortez, A., Lobo, D., Parra, R., Rey, J., & Rodríguez, M. (2016). Estudio de la sequía meteorológica en localidades de los Llanos de Venezuela mediante el índice de precipitación estandarizado. Acta Nova, 7(3), 266-283.

Pascale, A., y Damario, E. (2004). Bioclimatología agrícola y agroclimatología. Editorial Facultad de Agronomía, UBA.

Pascale, A., y Damario, E. (1983). Variación del agua edáfica disponible para los cultivos en la región oriental de la argentina. Rev. Facultad de Agronomía, 4 (2): 141-181.

- Pascale, A. J., y Damario, E. A. (1977). El balance hidrológico seriado y su utilización en estudios agroclimáticos. Rev. Fac. Agr. La Plata 53 (1-2): 15-34.
- Pezzopane, J. R. M., Pedro Júnior, M. J., Camargo, M. B. P. D., & Fazuoli, L. C. (2008). Exigência térmica do café arábica cv. Mundo Novo no subperíodo florescimento-colheita. Ciencia e agrotecnologia, 32, 1781-1786.
- Ramírez, E. (1987). La Actividad Cafetalera en Costa Rica. Seminario Taller sobre Prioridades de Investigación Aplicada en Café para Pequeños Agricultores. San José, Costa Rica.
- Rotondo, V., & Seiler, R. (1999). Uso del índice estandarizado de precipitación para caracterizar sequías agrometeorológicas en Rio Cuarto (Argentina). In *Congresso Brasileiro de Agrometeorología* (Vol. 11).
- Rojas, N. (2019). Validación de la base de datos de precipitación CHIRPS v.2 para Costa Rica a escala mensual, período 1981-2013. Tópicos Meteorológicos y Oceanográficos, vol. 1, p. 30 - 44.
- Rojas, E. (2015). La radiación PAR y su efecto en los índices de crecimiento, rendimiento y calidad del cultivo del tomate. (Tesis de Maestría en Ciencias en Agroplasticatura) Centro de Investigación Aplicada CIQA Coahuila México.
- Ruiz, J.; Medina, G.; González, I.; Flores, H.; Ramírez, G.; Ortiz, C.; Byerly, K.; Martínez, R. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. Segunda Edición. Libro Técnico Núm. 3. INIFAP. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Altos de Jalisco. Tepatitlán de Morelos, Jalisco, México. 564 p.
- Selyaninov, G.T. (1937). Methods of Climate Description to Agricultural Purposes. World Climate and Agriculture Handbook. Gidrometeoizdat, Leningrad - Moscow.
- Silva, E. (1991). Geografía de Costa Rica (vol. 3). Editorial UNED.
- Sun, Z., Liang, H., Liu, J., & Shi, G. (2017). Estimation of photosynthetically active radiation using solar radiation in the UV-visible spectral band. Solar Energy, 153, 611-622.

- Thorntwaite, C. W. (1957). An approach toward a rational classification of climate. *Geogrl. Rev.*, 38. 55-94.
- Walsh, R. P. D., & Lawler, D. M. (1981). Rainfall seasonality: description, spatial patterns and change through time. *Weather*, 36(7), 201-208.
- Wilks, D.S. (1995). Statistical Methods in the Atmospheric Sciences. Academic Press, San Diego, 467 p.
- Wright, J. (1981). Estimación de la radiación solar en Costa Rica utilizando horas de sol y otros datos meteorológicos. Tesis calificatoria para el grado de Licenciatura, Universidad de Costa Rica.
- Wright, J. (1997). Correlación entre algunos parámetros climáticos y la hora del día en Heredia, Costa Rica. *Uniciencia*, 14(1), 67-76.
- Wright, J. (2006). Estudio del potencial solar en Costa Rica.
- Wright, J. (2008). Cálculo y mapeo de la radiación solar directa y difusa en Costa Rica. *Uniciencia*, 22(1-2), 55-69.
- Wright, J. (2009). Estudio del potencial solar en Costa Rica. *Uniciencia*, 23(1-2), 19-40.
- Zarate, E. (1977). Principales Sistemas de Vientos que Afectan a Costa Rica y sus Relaciones con la Precipitación. Tesis en Meteorología. Escuela de Física, Facultad de Ciencias, Universidad de Costa Rica.