

UNIVERSIDAD DE PANAMÁ
FACULTAD DE CIENCIAS AGROPECUARIAS
ESCUELA DE INGENIERÍA AGRÍCOLA

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE
PRECIPITACIÓN (SPI) EN LAS CUENCAS N°128 RÍO LA VILLA Y
N°132 RÍO SANTA MARÍA, VARIABILIDAD (1989-2019)**

ALANIS A. SAMUDIO M.
4-788-1427

DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ

2022

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE
PRECIPITACIÓN (SPI) EN LAS CUENCAS N°128 RÍO LA VILLA Y
N°132 RÍO SANTA MARÍA, VARIABILIDAD (1989-2019)**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN SOMETIDO PARA OPTAR POR EL
TÍTULO DE INGENIERÍA EN MANEJO DE CUENCAS Y AMBIENTE**

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

**PERMISO PARA SU PUBLICACIÓN, REPRODUCCIÓN TOTAL O
PARCIAL DEBE SER OBTENIDA DE LA FACULTAD DE CIENCIAS
AGROPECUARIAS**

APROBADO:

PROF. ING. JULIÁN GUTIÉRREZ M.S.C _____
DIRECTOR

PROF. ING. NOÉ AGUILAR M.S.C _____
ASESOR

PROF. ING. AMÍLCAR BEÍTIA M.S.C _____
ASESOR

**DAVID, CHIRIQUÍ
REPÚBLICA DE PANAMÁ**

2022

DEDICATORIA

Si te sirve de algo, nunca es demasiado tarde o, en mi caso demasiado pronto para ser quien quieres ser. Espero que vivas, una vida de la que te sientas orgullosa. Y si ves que no es así, espero que tengas la fortaleza para empezar de nuevo.

F. SCOTT FITZGERALD

En primer lugar, dedico este trabajo a mi Padre Dios por concederme la vida, sabiduría desde el inicio hasta el final de esta meta; por ser mi inspiración, motivación y la fuerza que me impulsó en aquellos momentos que dudé de mí.

A mis padres Víctor Raúl Samudio y Lidia Maylin Miranda por ser ese gran pilar en mi formación y educación, inculcándome valores, esforzarme por las metas que quiero alcanzar y que con el esfuerzo y dedicación se puede obtener grandes cosas. Agradezco por creer en mí, por su apoyo incondicional y cariño de padres, respaldo en momentos de debilidad y gracias por esa ilusión y admiración que muestran ante mis metas cumplidas. Este logro que he alcanzado es para ustedes queridos padres.

A mi hermana Alice Aylin Samudio Miranda por ser ejemplo de superación y por siempre estar a mi lado en los buenos y malos momentos ofreciéndome su sonrisa y buen humor, brindarme consejos y ser ese apoyo para seguir adelante y alcanzar mis metas.

A mis queridos abuelos Régulo Miranda Acosta y Delfina Caballero, las personas después de mis padres que más se han preocupado por mí y quienes me han enseñado muchas cosas vitales para la vida y seguir luchando por mis objetivos.

En especial a la memoria de mis abuelos Raúl Samudio Araúz y Clementina Del Cid, quienes desde el cielo guían mis pasos para seguir adelante con mis proyectos.

Por último, dedicó este trabajo a las personas que estudian y trabajan, los animo y exhorto a que nunca se rindan y logren sus sueños, esfuércense y hagan realidad lo que se propongan porque querer es poder, los miedos y las limitaciones están en nuestra mente.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco infinitamente a Dios por la vida, salud, sabiduría para desarrollar con éxito este trabajo.

A mis queridos padres por creer en mí, por ser ese apoyo incondicional tanto emocional como económico. Por estar allí para recordarme siempre TÚ PUEDES. A ellos, gracias por ser ese ejemplo de superación a seguir y ser esos grandes padres que han sido conmigo.

También agradezco a mi hermana por estar presente en cada momento de mi vida y darme buenos consejos, ejemplos y valores.

A mis familiares por siempre brindarme su cariño y respaldo.

A mis compañeros Ilian P. Ortiz, Juan M. Poveda, Marlim O. Caballero, Karoline C. Castillo, Leyli K. Castrellón y Lía R. Rodríguez que más que amigos han sido como hermanos durante mi carrera universitaria de la misma forma tenemos coleccionadas muchas anécdotas durante nuestra formación y siempre estuvimos esforzándonos y luchando por un solo objetivo que era salir con nuestro diploma de ingeniería y Gracias a Dios lo pudimos lograr.

Mi sincero agradecimiento a mi profesor asesor el Ing. Julián Gutiérrez, al profesor Ing. Noé Aguilar y Ing. Amílcar Beítia por ofrecerme su tiempo, conocimientos y orientaciones de gran proyección profesional para el desarrollo de este trabajo investigativo.

Por último, quiero agradecer a la Universidad de Panamá, Facultad de Ciencias Agropecuarias y a todos los profesores que fueron parte de mi formación, les agradezco por haberme brindado todos sus conocimientos.

Alanis Aylin Samudio Miranda

DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) EN LAS CUENCAS N°128 RÍO LA VILLA Y N°132 RÍO SANTA MARÍA, VARIABILIDAD (1989-2019)

Samudio Miranda, AA. 2022. Determinación del índice estandarizado de precipitación (SPI) en las cuencas N°128 río La Villa y N°132 río Santa María, variabilidad (1989-2019).

RESUMEN

La sequía es un fenómeno meteorológico natural que independiente de los severos daños que provoca, en los últimos años se ha presentado con mayor frecuencia y en conjunto con la variabilidad climática. Además, representa un riesgo de la naturaleza que puede generar severas consecuencias devastadoras en los sectores productivos y económicos de una región, siendo capaz de alterar drásticamente el desarrollo social y las actividades humanas, así como el medio ambiente.

En la presenta investigación se utilizó como sistema de determinación el índice estandarizado de precipitación (SPI) de McKee *et al.*, utilizando 15 estaciones meteorológicas para el período de 1989-2019 en las cuencas N°128 río La Villa y N°132 río Santa María con el fin de evaluar las sequías meteorológicas y contribuir a la base sólida para la formulación de un plan estratégico y sistemas de adaptación y mitigación.

La investigación se llevó a cabo en cuatro fases consecutivas. Primeramente, se realizó la recopilación de datos, luego el procesamiento de datos por medio de métodos estadísticos, seguido del cálculo y análisis del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) y su posterior modelación y proyección de los eventos climáticos acontecidos.

Se pudo determinar que los resultados negativos de SPI en la parte alta de la cuenca N°128 río La Villa en la estación Pesé (128-010) y en la parte media de la cuenca N°132 río Santa María en la estación Calobre (132-010) coinciden en su mayoría con los años clasificados como El Niño según la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA), indica sobre la intensidad fuerte del fenómeno: 1991, 1992, 1997, 2002, 2004, 2009, 2015 y 2019. Se pudo concluir que el año 1991-92 fueron de mayor magnitud de sequía en la región. La utilidad práctica de los resultados de este estudio considerando la corta serie empleada en el desarrollo del índice sirve como indicador para evaluar el impacto del déficit de precipitación sobre la disponibilidad en los recursos hídricos y los efectos que se producen para los diferentes sectores de ambas cuencas.

Se recomendó instalar más estaciones a nivel nacional y mejorar el sistema de registro de la medición de las variables climatológicas, debido a que la información existente es escasa y muy limitada y con esto ayudar a la veracidad de la información para estudios futuros.

PALABRAS CLAVES: índice estandarizado de precipitación (SPI), fenómeno de El Niño, Cuenca río La Villa, Cuenca río Santa María.

DETERMINATION OF THE STANDARDIZED PRECIPITATION INDEX (SPI) ON THE BASINS RIVERS No. 128 LA VILLA RIVER AND No. 132 SANTA MARÍA RIVER, VARIABILITY (1989-2019).

Samudio Miranda, AA. 2022. Determination of the standardized precipitation index (SPI) basins rivers on La Villa River Basin No. 128 and the Santa María River Basin No. 132, variability (1989-2019).

ABSTRACT

Drought is a natural meteorological phenomenon that, regardless of the severe damage it causes, has occurred more frequently in recent years and in conjunction with climate variability. In addition, it represents a risk of nature that can generate severe devastating consequences in the productive and economic sectors of a region, being capable of drastically altering social development and human activities, as well as the environment.

In the present investigation, the standardized precipitation index (SPI) of McKee et al. was used as a determination system, using 15 meteorological stations for the period 1989-2019 in the basins No. 128 La Villa River and No. 132 Santa Maria River to assess meteorological droughts and contribute to the solid foundation for the formulation of a strategic plan and adaptation and mitigation systems.

The research was carried out in four consecutive phases. Firstly, the data collection was carried out, then the data processing through statistical methods, followed by the calculation and analysis of the Standardized Precipitation Index (SPI) and its subsequent modeling and projection of the climatic events that occurred.

It was possible to determine that the negative results of the SPI in the upper part of the La Villa No. 128 river basin at the Pese station (128-010) and in the middle part of the Santa María No. 132 river basin at the station Calobre (132-010) mostly coincide with

the years classified as El Niño according to the National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), indicating the strong intensity of the phenomenon: 1991, 1992, 1997, 2002, 2004, 2009, 2015 and 2019. It was concluded that the years 1991-92 were of greater magnitude of drought in the region. The practical utility of the results of this study, considering the short series used in the elaboration of the index, serves as an indicator to evaluate the impact of the rainfall deficit on the availability of water resources and the effects that occur for the different sectors of both basins.

It was recommended to install more stations at the national level and improve the recording system for the measurement of climatological variables, because the existing information is scarce and very limited, and with this help the veracity of the information for future studies.

KEYWORDS: standardized precipitation index (SPI), ENSO, La Villa River Basin, Santa Maria River Basin.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	PÁG.
PÁGINA DE APROBACIÓN.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS.....	v
RESUMEN	vii
ABSTRACT	ix
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	xi
ÍNDICE DE CUADROS.....	xiv
ÍNDICE DE GRÁFICOS	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xviii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Planteamiento del Problema.....	2
1.2 Antecedentes.....	4
1.3 Justificación	6
1.4 Objetivos.....	7
1.4.1 General	7
1.4.2 Específicos.....	7
1.5 Hipótesis.....	7
1.6 Alcances y Limitaciones	8
2 MARCO TEORICO	9
2.1 Ciclo hidrológico	9
2.1.2 Precipitación.....	10
2.1.3 Tipos de precipitaciones	10
2.1.4 Sistema climático	11

2.2	Fenómeno meteorológico El Niño - Oscilación del Sur (ENOS)	12
2.3	El Niño 3.4	13
2.3.1	Episodios Fríos y cálidos por temporada	15
2.4	Cambio climático	16
2.5	El fenómeno de sequía	17
2.5.1	Sequías ocurridas en Panamá	17
2.6	Definición de sequía	19
2.7	Sequía Meteorológica o climatológica	20
2.7.1	Caracterización de sequías.....	22
2.8	Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).....	24
2.9.1.	Medidas Estadísticas para el Relleno de Datos	26
2.9.2	Modelación y Proyección de Mapas.....	31
3	MARCO METODOLÓGICO	35
3.1	Materiales	35
3.2	Caracterización del sitio.....	36
3.2.1	Cuenca N°128 río La Villa.....	36
3.2.2	Cuenca N°132 río Santa María	39
3.3	Metodología	42
3.3.1	FASE 1: Recopilación de datos y consulta bibliográfica	43
3.3.2	FASE 2: Procesamiento de datos	44
3.3.3	FASE 3. Cálculo y análisis del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).	51
3.3.4	FASE 4. Modelación y proyección por medio de Microsoft Excel y software ARCGIS.....	55
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56

4.1	Determinación del índice estandarizado de precipitación (SPI) e identificación de los eventos acontecidos en la cuenca N°128 río La Villa y cuenca N°132 río Santa María. Variabilidad (1989-2019)	56
4.1.1	Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para las estaciones de la cuenca N°128 río La Villa.....	59
4.1.2	Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) en las estaciones de la cuenca N°132 río Santa María.....	67
4.2	DISCUSIÓN.....	74
5	CONCLUSIONES	77
6	RECOMENDACIONES.....	79
7	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81
8	ANEXOS.....	90

ÍNDICE DE CUADROS

CUADRO		PÁG
I.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA N°128 RÍO LA VILLA.....	35
II.	ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA.....	36
III.	COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA CUENCA N°128 RÍO LA VILLA.....	45
IV.	COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA.....	45
V.	VALORES DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI).....	52

ÍNDICE DE GRÁFICOS

GRÁFICO		PÁG
1.	LOS SANTOS VS PESÉ.....	46
2.	LAS MINAS VS PESÉ.....	46
3.	MACARACAS VS PESÉ.....	47
4.	LA MESA VS PESÉ.....	47
5.	LOS POZOS VS PESÉ.....	47
6.	LLANO DE PIEDRA VS PESÉ.....	48
7.	PITALOZA ARRIBA VS PESÉ.....	48
8.	EL PALMAR VS LAGUNA LA YEGUADA.....	48
9.	LOS VALLES VS LAGUNA LA YEGUADA.....	49
10.	CERRO VERDE VS LAGUNA LA YEGUADA.....	49
11.	CALOBRE VS LAGUNA LA YEGUADA.....	49
12.	DIVISA VS LAGUNA LA YEGUADA.....	50
13.	SANTA FE VS LAGUNA LA YEGUADA.....	50
14.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN LOS SANTOS.....	60
15.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN LAS MINAS.....	61
16.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN MACARACAS.....	62
17.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN LA MESA DE MACARACAS.....	63

18.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN LOS POZOS.....	64
19.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN PESÉ.....	65
20.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN LLANO DE PIEDRA.....	66
21.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN PITALOZA ARRIBA.....	67
22.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN EL PALMAR.....	68
23.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN LOS VALLES.....	69
24.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN LAGUNA LA YEGUADA.....	70
25.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN CERRO VERDE.....	71
26.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN CALOBRE.....	72
27.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN DIVISA.....	73
28.	ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI) ESTACIÓN SANTA FE.....	74

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁG
1.	EL CICLO HIDROLÓGICO.....	9
2.	COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO, SUS PROCESOS E INTERACCIONES.....	12
3.	ZONAS DEL ENSO PARA EL OCEÁNO PACÍFICO.....	14
4.	CARACTERÍSTICAS DE LAS SEQUÍAS PARA EL SPI.....	23
5.	PROBABILIDAD DE LA ESCALA DEL SPI.....	26
6.	LA CORRELACIÓN SIGNIFICATIVA DE R.....	30
7.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS - CUENCA N°128 RÍO LA VILLA.....	43
8.	REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS - CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA.....	44
9.	CÁLCULO DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI).....	54
10.	LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA N°128 RÍO LA VILLA.....	57
11.	LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA.....	58

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO		PÁG
A.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN LOS SANTOS.....	91
B.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN LAS MINAS.....	92
C.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN MACARACAS.....	93
D.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN LA MESA.....	94
E.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN LOS POZOS.....	95
F.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN PESÉ.....	96
G.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN LLANO DE PIEDRA.....	97
H.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN PITALOZA ARRIBA.....	98
I.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN EL PALMAR.....	99
J.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN LOS VALLES.....	100
K.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN LAGUNA LA YEGUADA.....	101
L.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN CERRO VERDE.....	102
M.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN CALOBRE.....	103
N.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN DIVISA.....	104
O.	CÁLCULO DE SPI – ESTACIÓN SANTA FE.....	105
P.	EPISODIOS FRÍOS Y CÁLIDOS POR TEMPORADA SEGÚN LA NOAA.....	106

1. INTRODUCCIÓN

En la actualidad, la variabilidad climática está generando fuertes impactos en la agricultura y las comunidades rurales que subsisten de estas actividades, poniendo en riesgo la seguridad alimentaria y la sostenibilidad ambiental de la población a nivel mundial, especialmente en países en desarrollo. Estos cambios en el clima son eventos potencialmente destructivos y con consecuencias catastróficas para la humanidad y los ecosistemas. Para el caso de Latinoamérica, estudios revelan que la agricultura probablemente será severamente afectada, con disminuciones importantes en los rendimientos (IPCC, 2001)” (Olivares *et al*, 2016).

La sequía es considerada por expertos como uno de los eventos climáticos más complejos y poco comprendido a nivel mundial, debido principalmente a su característica de extenderse de forma irregular en el tiempo y espacio, a diferencia de otros desastres naturales (Wilhite, 2000)” (Olivares *et al*, 2016).

De acuerdo, con aportes científicos se indica que la ocurrencia de eventos de sequía se incrementa debido al cambio climático, consecuencia del aumento de las concentraciones de gases de efecto invernadero causado por las actividades antropogénicas. Dentro de los efectos del cambio climático, se encuentra el incremento de la temperatura del aire y la disminución de la precipitación.

Desafortunadamente, la poca representatividad de las estaciones climáticas distribuidas en la península de Azuero, la inconsistencia en los registros históricos y el reducido historial de información disponible, limitan cualquier intento de análisis por la veracidad de los estudios de precipitación en términos de largo plazo; sin

embargo, algunos esfuerzos han sido desarrollados con la actual información de las estaciones.

De acuerdo con las estimaciones expuestas y con la finalidad de comprender el fenómeno de las sequías meteorológicas en Panamá, surge la necesidad de caracterizarlo, obteniendo resultados que contribuirán a la identificación de los períodos más sensibles a la sequía en la región en estudio.

Por lo que se utilizó el índice de Precipitación Estandarizado (SPI), *Standardized Precipitation Index*), desarrollado por Mckee *et al.* (1993), reconocido por su facilidad de uso a diferentes escalas temporales y porque aporta mejores resultados en comparación con otros índices de la sequía. Mediante el uso del SPI, se pueden evaluar diferentes parámetros de las sequías, representados por la intensidad, magnitud, frecuencia, duración y cobertura espacial, resultados que se constituyen en un insumo relevante para la planificación y adaptación de los sistemas agrícolas de las zonas que dependen en gran medida de la precipitación, así como del crecimiento y desarrollo económico de la población.

1.1 Planteamiento del Problema

Históricamente, la sequía ha sido uno de los «desastres» de origen hidrometeorológico que más afecta la actividad agropecuaria, el bienestar y la soberanía alimentaria de la sociedad. Por lo que, la variabilidad climática ha sido influenciada por el Fenómeno El Niño que originalmente se aplicó a un débil calentamiento en la temperatura superficial del mar (TSM) a lo largo de costas de Perú y Ecuador, que se observaba cercano al periodo Navideño (de ahí el nombre

del “El Niño” asociado a El Niño Jesús). Sin embargo, hoy día se refiere a un fenómeno océano-atmosférico que altera las condiciones normales de la zona intertropical. Cabe mencionar que por la comunidad científica es considerado como complejo y de gran escala que, sus impactos asociados se perciben en todo el globo, especialmente en los trópicos, lo cual constituye una de las principales causas de las variaciones climáticas (Barrera, 2015).

En la actualidad, el Arco Seco de Panamá es una zona muy degradada siendo el territorio del país con menor precipitación anual (promedio de 1,000 mm/año) y que enfrenta los mayores períodos de déficit hídrico y de sequías (de hasta siete meses al año) en contraste con las demás regiones, que se caracterizan por la buena calidad y reservas de agua; no obstante, posee una gran importancia económica para el país, ya que se caracteriza por la producción agropecuaria y con alto potencial de desarrollo de otros sectores, como la agroindustria, la pesca, el turismo y el comercio además de un creciente proceso de urbanización. (CATHALAC, 2018)

Ante la preocupación mundial por la variabilidad y el cambio climático como la mayor amenaza ambiental de los últimos tiempos, el estudio de las sequías cobra mayor importancia. La sequía es un fenómeno climático complejo que afecta la sociedad y el ambiente, orientándose hacia las comunidades más afectadas reconociendo que la vulnerabilidad es la principal causa de las pérdidas y debe ser objeto de acciones para reducirlas para un desarrollo sostenible. Dado que son pocos los estudios que disponen de información para cuantificar la probabilidad de ocurrencia del fenómeno para la evaluación de su riesgo futuro por lo que se podría agravar el problema de la pobreza rural y la soberanía alimentaria que vive la región y la región.

1.2 Antecedentes

De acuerdo con la Organización de las Naciones Unidas (ONU) y con base a estudios y registros paleontológicos; el fenómeno El Niño ocurre por lo menos desde hace 40,000 años, y afectó a diversas civilizaciones preincas como los moches, los limas, los nazcas, entre otras (Cárdenas, 2019). A través de los siglos, ha sido señalado como el responsable de fuertes fenómenos meteorológicos que producen escasez de alimentos, agua, revoluciones y eventos propulsores de plagas.

En América Central, los regímenes de precipitación cambian y generan sequías en diferentes zonas, afectando la productividad del corredor seco que se extiende desde México hasta Panamá, incrementando los incendios forestales en la costa del Pacífico, pérdidas económicas en cultivos en todo el bloque centroamericano, y aumento de las precipitaciones en la costa caribeña de Belice, Guatemala, este de Costa Rica y oeste de Panamá. (Cárdenas, 2019)

En Panamá, El Niño provoca déficits de lluvias en la vertiente del Pacífico y exceso de lluvias en la vertiente del Caribe, esto con variaciones locales (espaciales y temporales) asociadas a la orografía del lugar y a la intensidad del evento. Se ha observado una relación bastante fuerte entre la ocurrencia de un evento cálido y un aumento en las anomalías de la temperatura ambiente, las anomalías de precipitación y caudal muestran déficit durante los años El Niño. (Empresa De Transmisión Eléctrica-Dirección De Hidrometeorología (ETESA), 2001).

A partir de la década de 1980, el país sufrió grandes pérdidas económicas causadas por el fenómeno El Niño de 1983. Este fue el primer Niño que tocó

verdaderamente al país. Según los datos históricos, los eventos de El Niño en las décadas anteriores correspondientes al siglo XX fueron considerados como leves, de bajo y medio impacto.

En nuestro país este fenómeno, según la Comisión del Canal de Panamá, tiene más de 100 años de estar afectando principalmente las provincias de Los Santos, Herrera y Coclé (Región del Arco Seco) y provocando bajos índices de producción agrícola y vacuna, además estrés hídrico en los cuerpos de agua superficial y subterráneo.

Por lo que, en Panamá los primeros acercamientos encaminados al cálculo de un índice de sequía fueron desarrollados por la Gerencia de Hidrometeorología de ETESA, que actualmente como miembro del Comité Nacional de Lucha contra la Sequía y la Desertificación (CONALSED), lo generó ante la iniciativa del proyecto “Construcción de Indicadores de Sequía y Desertificación”.

Desde un principio, se utilizó el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), para definir el comportamiento de la precipitación en las áreas secas y degradadas de Panamá, utilizando 29 estaciones meteorológicas de la red nacional, el cual resultó de gran utilidad para definir el carácter de la humedad, de éstas áreas de vulnerabilidad climática.

Actualmente, se introdujeron la mayoría de estaciones meteorológicas de la red nacional (77), elegidas en virtud de la longitud y control de sus registros, de acuerdo con el período definido por el método de cálculo del SPI. De esta manera, se logra

establecer el comportamiento de la climatología de los eventos secos y/o húmedos, de acuerdo con diferentes períodos, en todo Panamá.

1.3 Justificación

El escenario de estudio es la Región del Arco Seco. Esta región está localizada en la parte Central de la República de Panamá, la misma la componen las provincias de Coclé, Herrera, Los Santos y la parte sur de Veraguas. Se seleccionó esta región por ser climatológicamente seca, lo que la convierte en el área más sensible a las consecuencias de la variabilidad climática.

Esta investigación tiene como objetivo determinar el índice estandarizado de precipitación (SPI), donde se logrará generar información acerca de la evaluación de diferentes parámetros de sequías meteorológicas tales como intensidad, magnitud, frecuencia, duración y cobertura espacial, resultados que se constituyen en un insumo importante para la planificación y adaptación de los sistemas productivos de la zona.

Por último, como uno de los requisitos para culminar la carrera universitaria, se señala en el reglamento de trabajo de graduación la opción de tesis con el objetivo de ampliar los conocimientos y aptitudes del estudiante. Este proyecto no solo me ayudará a desarrollar mi capacidad de investigación en el ámbito profesional, también podré aportar los conocimientos adquiridos para la reducción de los impactos negativos de las sequías en la zona.

1.4 Objetivos

1.4.1 General

Determinar el índice estandarizado de precipitación (SPI) en las cuencas N°128 río La Villa y N°132 río Santa María.

1.4.2 Específicos

- Elaborar una base de datos de precipitación (1989-2019).
- Identificar los eventos climáticos acontecidos dentro del período de estudio a través del índice estandarizado de precipitación (SPI).
- Modelar y proyectar los eventos acontecidos en las cuencas N°128 río La Villa y N°132 río Santa María.

1.5 Hipótesis

HI = El Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), mostrarán el comportamiento de la precipitación; configurando períodos de mayor y menor sensibilidad y vulnerabilidad en las cuencas N°128 río La Villa y N°132 río Santa María.

1.6 Alcances y Limitaciones

1.5.1 Alcances

Mediante esta investigación se realizará una identificación y proyección de sequías meteorológicas a través de las herramientas Excel & ARCGIS en la cuenca de los ríos La Villa N°128 y Santa María N°132 - República de Panamá.

Esto permitirá tener una herramienta para desarrollar una planificación estratégica, que permita la toma de decisiones requeridas a mediano y largo plazo; para enfrentar de manera eficiente, los diferentes eventos de sequía que podrían presentarse, y la implementación de sistemas de prevención y mitigación.

1.5.2 Limitaciones

Entre las limitaciones del estudio está: la falta de registros de precipitación sobre la actividad que nos permitan la veracidad de la información. Además, el proyecto de tesis se desarrolló durante la crisis sanitaria del COVID-19 y que por sus consecuencias limitó la búsqueda de la información.

2 MARCO TEORICO

2.1 Ciclo hidrológico

El ciclo hidrológico es un proceso natural ocasionado por la evaporación del agua del mar que llega a la atmósfera y es arrastrada hacia el continente por el viento, ocasionando la nubosidad y las precipitaciones, después el agua es devuelta al océano por canales de superficie y subterráneos. En la figura 1 se muestra el ciclo hidrológico en general.

FIGURA 1. EL CICLO HIDROLÓGICO



FUENTE: USGS (Science for changing world).

2.1.2 Precipitación

La precipitación es una parte importante del ciclo hidrológico, llevando agua dulce a la parte emergida de la corteza terrestre y, por ende, favoreciendo la vida en nuestro planeta, tanto de animales como de vegetales, que requieren agua para vivir. La precipitación se genera en las nubes, cuando alcanzan un punto de saturación; en este punto las gotas de agua aumentan de tamaño hasta alcanzar una masa en que se precipitan por la fuerza de gravedad. Es posible insembrar nubes para inducir la precipitación rociando un polvo fino o un químico apropiado (como el nitrato de plata) dentro de la nube, acelerando la formación de gotas de agua e incrementando la probabilidad de precipitación, aunque estas pruebas no han sido satisfactorias.

2.1.3 Tipos de precipitaciones

Las precipitaciones se clasifican en tres grupos según el factor responsable del levantamiento del aire que favorece el enfriamiento necesario para que se produzcan cantidades significativas de precipitación (Chereque, 1989)” (Cruz, 2021).

2.1.3.1 Precipitaciones de convección

En tiempo caluroso, se produce una abundante evaporación a partir de la superficie del agua, formando grandes masas de vapor de agua, que por estar calientes, se elevan sufriendo un enfriamiento de acuerdo con la adiabática seca o húmeda. En el curso de su ascenso, se enfrían según el gradiente adiabático seco ($1\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$), o saturado ($0.5\text{ }^{\circ}\text{C}/100\text{m}$) (Villón, 2011)” (Cruz, 2021).

2.1.3.2 Precipitaciones orográficas

Resultan de la ascensión mecánica de corrientes de aire húmedo con movimiento horizontal cuando chocan sobre barreras naturales, tales como montañas (Monsalve, 1999)” (Cruz, 2021).

2.1.3.3 Precipitaciones ciclónicas

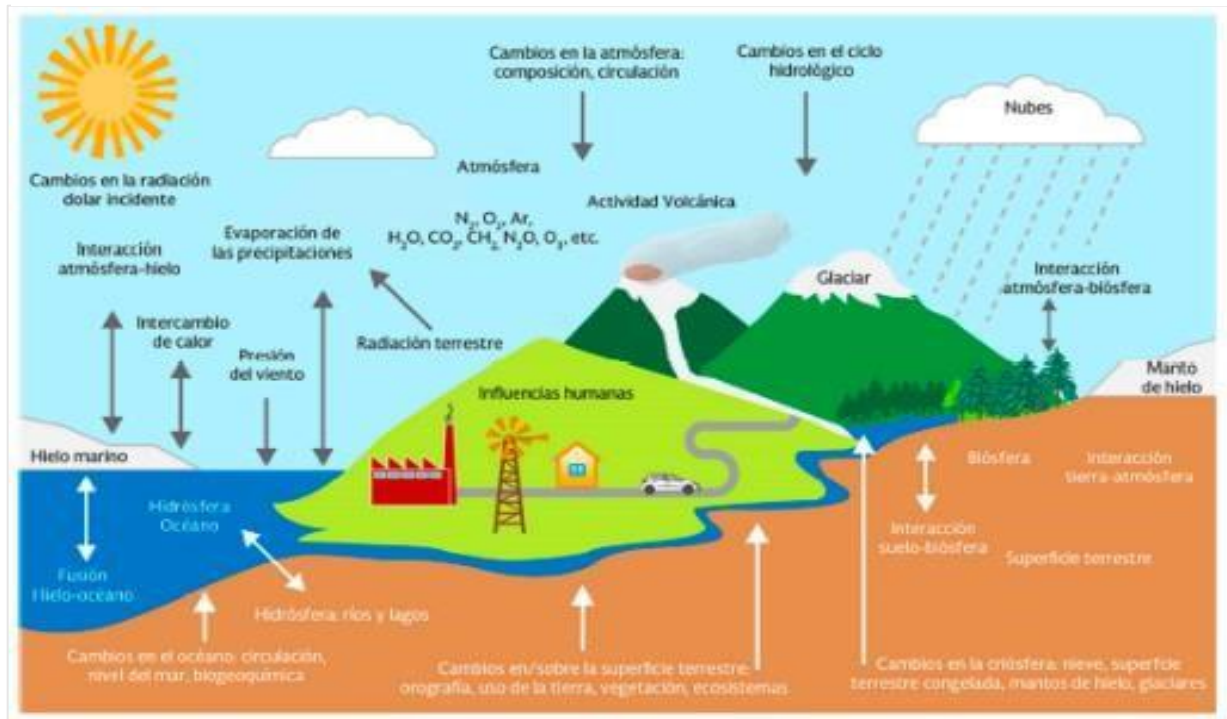
Se producen cuando hay un encuentro de dos masas de aire, con diferente temperatura y humedad, las nubes más calientes son violentamente impulsadas a las partes más altas, donde pueden producirse la condensación y precipitación. Están asociadas con el paso de ciclones o zonas de baja presión.

2.1.4 Sistema climático

Es un sistema muy complejo que consta de cinco componentes principales: atmósfera, hidrósfera, criósfera (parte helada de la Tierra), litósfera y biósfera, y de las interacciones entre ellos. El sistema climático evoluciona en el tiempo bajo la influencia de su propia dinámica interna por efecto de forzamientos externos, como las erupciones volcánicas o las variaciones solares; y forzamientos inducidos por el hombre, como el cambio de composición de la atmósfera o el cambio de uso del suelo (IPCC, 2013).

El sistema climático es alimentado por la radiación solar (figura 2), el Sol proporciona la energía para la Tierra principalmente en los trópicos y los subtropicos, y se redistribuye en parte a las latitudes medias y altas por procesos de transporte atmosférico y oceánico. La actividad humana cambia las emisiones de gases y aerosoles, que están implicados en las reacciones químicas atmosféricas, lo que resulta en el ozono (O₃) y cantidades de aerosoles modificados.

FIGURA 2. COMPONENTES DEL CICLO HIDROLÓGICO, SUS PROCESOS E INTERACCIONES.



FUENTE: IPPC (2007).

2.2 Fenómeno meteorológico El Niño - Oscilación del Sur (ENOS)

El ENOS, se refiere a la fluctuación natural de las temperaturas superficiales del mar y la presión atmosférica entre el Este y Oeste del Océano Pacífico Tropical. En las últimas décadas, se ha observado que este calentamiento de la Temperatura Superficial del Mar (TSM) se presenta en una región mucho más extensa que se extiende desde el Pacífico central (en la línea internacional de cambio de fecha, 180°) hacia el Pacífico tropical del este a lo largo de la línea ecuatorial modificando patrones climáticos globales.

Estas fluctuaciones pueden generar tres escenarios, uno cálido, uno frío y uno neutro, siendo esta última la fase donde el océano se comporta de manera normal. La fase cálida se conoce como El Niño y la fase fría como La Niña.

Cuando hablamos de El Niño, nos referimos a un calentamiento (fase cálida) en las aguas hacia el Centro y el Este del océano Pacífico Tropical, entre los cinco grados de latitud Norte y Sur. Este calentamiento en el océano puede alcanzar entre uno y tres grados sobre el valor promedio de las temperaturas en esa zona del océano. A medida que se eleva, el aire se enfría y se producen precipitaciones. Por el contrario, en el lado occidental del Pacífico, la superficie del océano tiende a enfriarse y el aire se eleva menos.

El fenómeno en las aguas superficiales del océano es mantenido por un calentamiento entre la superficie del océano y los 300 metros de profundidad. Los episodios de El Niño suelen empezar a mediados de año con un calentamiento a gran escala de las aguas de superficie, en la parte central y oriental del Pacífico ecuatorial y cambios de la circulación atmosférica tropical (es decir, el viento, la presión y la precipitación). En general, El Niño alcanza su intensidad máxima durante el período de noviembre a enero y luego decae a lo largo de la primera mitad del año siguiente. Ocurre cada dos a siete años y puede durar hasta 18 meses.

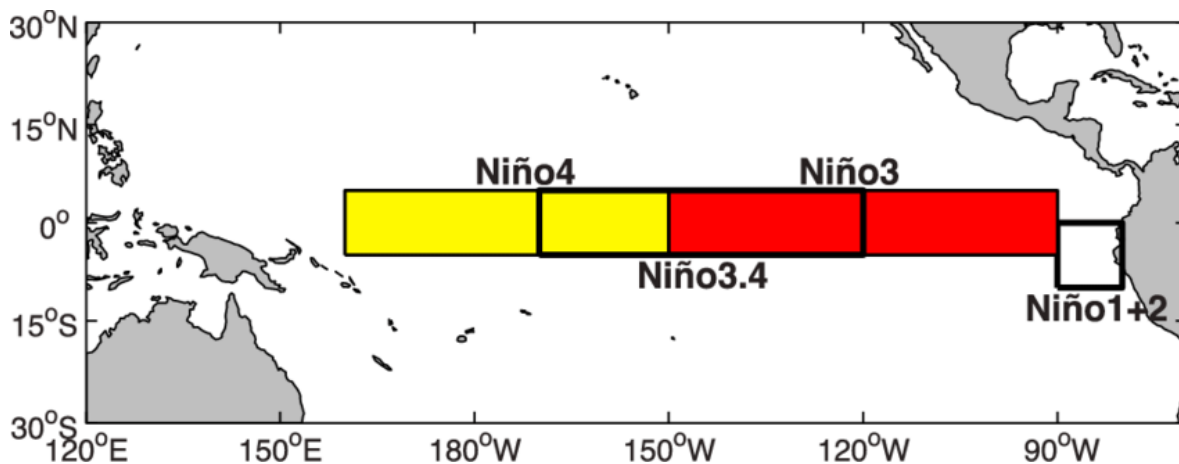
2.3 El Niño 3.4

El Niño 3.4 es uno de varios indicadores de El Niño Oscilación del sur, basado en las temperaturas superficiales del mar. El Niño 3.4 es la anomalía de la temperatura

media de la superficie del mar en la región delimitada, entre la 5° latitud norte y 5° latitud sur; 170° a 120° longitud oeste (figura 3). Esta región tiene una gran variabilidad en escalas de tiempo en el fenómeno El Niño, y está cerca de la región en la que los cambios en la temperatura de la superficie marina local son importantes para el desplazamiento de la gran región de las lluvias que normalmente se encuentran en el extremo oeste del pacífico.

El Niño y La Niña, según la Organización Mundial Meteorológica (WMO, por sus siglas en inglés) son condiciones anómalas en la temperatura superficial del mar (TSM) en el Pacífico tropical del este, tomando como “anómalo” una elevación (descenso en caso de La Niña) de 0.5 °C o más (-0.5 °C o menos) por encima (abajo) de la media del período 1971-2000, durante un trimestre y debe permanecer al menos durante 6 meses consecutivos. Lo anterior se debe cumplir en la región Niño 3.4, una de las 4 regiones de monitoreo de la temperatura superficial del mar (TSM) y que sirve como referencia principal para saber si se presentará un evento de El Niño, La Niña o Neutro. (Dirección de Hidrometeorología - ETESA).

FIGURA 3. ZONAS DEL ENSO PARA EL OCÉANO PACÍFICO.



FUENTE: Dirección de Hidrometeorología ETESA.

2.3.1 Episodios Fríos y cálidos por temporada

La Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (**National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA**), organización americana responsable de describir y predecir los cambios en el medio ambiente mediante la investigación de los océanos, la atmósfera, el espacio y el sol. Este organismo también es responsable de conservar y manejar los recursos costeros y marinos. Su principal función es entender y predecir los cambios en el ambiente de nuestro planeta, tanto a nivel atmosférico como oceánico. (NOAA, 2022).

A partir de las predicciones meteorológicas diarias, avisos por tormentas severas y vigilancia del clima en la gestión pesquera, costera y apoyo de comercio marítimo, los servicios de la NOAA apoyan a la economía estadounidense y afectan a más de un tercio del producto interior bruto. El origen de esta Administración se remonta a 1807. Desde entonces ha evolucionado para satisfacer las necesidades del país, con presencia en todos los estados y una de las agencias líderes en cuestiones científicas y ambientales. (NOAA, 2022).

Dado que los períodos cálidos (rojo) y fríos (azul) basados en un umbral de $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ para el Índice de El Niño Oceánico (ONI) [media móvil de 3 meses de anomalías de TSN ERSST.v5 en la región del Niño 3.4 (5°N - 5°S , 120° - 170° W)], basado en períodos base de 30 años centrados actualizados cada 5 años.

Los períodos TSM por debajo y por encima de lo normal se colorean en azul y rojo cuando se alcanza el umbral durante un mínimo de 5 temporadas consecutivas superpuestas. El ONI es una medida de El Niño-Oscilación del Sur, y otros índices

pueden confirmar si características consistentes con un fenómeno acoplado océano-atmósfera acompañaron estos períodos.

2.4 Cambio climático

El incremento en la variabilidad de la precipitación es uno de los aspectos más importantes relacionados con el cambio climático (IPCC, 2007). En varias regiones del planeta se ha observado durante los últimos años una reducción en el tiempo entre la ocurrencia de eventos extremos, los cuales tuvieron mayores niveles de severidad (Mishra y Singh, 2010)” (Cruz, 2021). La identificación de estos cambios es particularmente importante en el manejo de los recursos hídricos.

El Grupo Intergubernamental de Expertos de Cambio Climático o Panel Intergubernamental del Cambio Climático, (IPCC 2019): coordinado por la Organización Meteorológica Mundial (OMM), Organización de las Naciones Unidas (ONU), Comisión Económica para Europa (CEPE) y las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura Organización (UNESCO) - produjo un resumen de políticas sobre cambio climático y agua.

Son las siguientes:

- El cambio climático amenaza vidas y derechos humanos. Asegurar el agua para las comunidades, economías y ecosistemas son críticos para la reducción de pobreza, transformación de energía verde, y creando un amortiguador de desastres.
- Mejora de las prácticas de gestión del agua en comunidades, gobiernos locales y autoridades regionales. Necesita ser empoderado para tener

confianza y estar informado de riesgos para la toma de decisiones que pueden ayudar a mejorar la salud del ecosistema y reducir el riesgo de desastres relacionados con el agua.

2.5 El fenómeno de sequía

La sequía es considerada por muchos como la más compleja pero menos comprendida de todos los peligros naturales. Es uno de los peligros naturales más costosos de un año a otro con impactos significativos y generalizados que afectan a las personas y a varios sectores económicos (WMO, 2016). Difiere de otros peligros naturales como las inundaciones, ciclones tropicales y terremotos, ya que, a menudo se acumula lentamente durante un período de tiempo considerable y puede persistir durante años después de la terminación del evento, por lo que es difícil determinar el inicio y final de una sequía (Tannehill, 1947)” (Cruz, 2021). Asimismo, suelen tardar tres o más meses en desarrollarse, aunque este período de tiempo puede variar considerablemente, dependiendo del momento de la iniciación de la escasez de precipitación. Por ejemplo, un período seco significativo, durante la temporada de invierno puede tener pocos impactos; sin embargo, si esta escasez continúa, los impactos pueden magnificarse rápidamente (Wilhite, 2000)” (Cruz, 2021).

2.5.1 Sequías ocurridas en Panamá

Los eventos de sequía en Panamá son comúnmente relacionados con la ocurrencia del Fenómeno de El Niño que, a su vez, se presenta atípicamente en los meses finales del año. Ante tal ocurrencia, suelen presentarse impactos negativos durante la siguiente temporada de verano principalmente en los rubros económicos

nacionales y donde el sitio más afectado es la región del Arco Seco. En los últimos años y bajo una connotación hidrológica, la ocurrencia de sequías también ha afectado cada vez más a la Cuenca Hidrográfica del Canal de Panamá. (MIAMBIENTE, 2020)

Los eventos de sequía que han sido reportados en Panamá son los siguientes:

- En 1983, a raíz de que Panamá experimentó los impactos de El Niño, se registró un evento catalogado como sequía fuerte o intensa, con impactos negativos en las Provincias de Coclé, Los Santos y Herrera;
- Entre junio y agosto de 1997, una sequía impactó la región de Azuero, particularmente las provincias de Herrera, Veraguas y Los Santos;
- En el 2001, de acuerdo con GWP (2015), un evento de sequía tuvo impactos directos en los granos básicos (maíz, arroz y frijol) y la región del Arco Seco fue la que mayormente se afectó;
- Para fines de diciembre de 2015 y mediados del 2016, la sequía registrada a nivel nacional tuvo graves impactos respecto a la seguridad hídrica y la ganadería particularmente en provincias centrales, incluyendo la región de Azuero. Esta condición facilitó la generación de importantes medidas a diferentes horizontes de tiempo en la lucha contra la inseguridad hídrica; y
- En el 2019, la ACP reportó que los primeros 5 meses de ese año ha sido “la temporada más seca en toda la historia del canal, el cual tiene 105 años de historia”, teniendo restricciones severas en el calado de los barcos y otros impactos negativos de relevante consideración.

En Panamá como en otras regiones, el fenómeno de la sequía no se limita a fronteras geográficas. Al ser un fenómeno climático que se percibe de manera paulatina y no de manera inmediata como una tormenta o inundación, por ejemplo, lo hace una de las anomalías climáticas menos comprendidas, ya que para expresar el grado de severidad de la sequía deben también considerarse los impactos sociales, económicos y ambientales asociados al fenómeno, según Wilhite, (2002)” (MIAMBIENTE, 2020).

2.6 Definición de sequía

La Organización de Meteorológica Mundial y Global Water Partnership (2014)” (Cruz, 2021), consideran que la sequía es un peligro natural complejo y los impactos asociados con él; son el resultado de numerosos cambios climáticos y una amplia gama de factores sociales que definen el nivel de resiliencia social.

La convención de las Naciones Unidas de Lucha contra la Desertificación (CLD, 2004)” (Cruz, 2021), define la sequía como un fenómeno natural del clima, causado por el déficit de la precipitación en condiciones considerablemente inferior a los niveles normales registrados, causando un agudo desequilibrio hídrico que perjudica los sistemas de producción del recurso tierra.

La sequía se define como un desastre natural lento que no presenta trayectorias definidas y tiende a extenderse de manera irregular a través del tiempo y el espacio. La severidad de una sequía depende no solamente del grado de reducción de la lluvia, de su duración o de su extensión geográfica, sino también de las demandas del recurso hídrico para la permanencia de los sistemas naturales y para el desarrollo de las actividades humanas. La sequía es un fenómeno recurrente,

inherente a climas muy variables, presente normalmente en regiones semiáridas y subhúmedas donde la vegetación se encuentra casi siempre en un frágil equilibrio ecológico; la agricultura es más vulnerable.

2.7 Sequía Meteorológica o climatológica

Basada en datos climáticos, es una expresión de la desviación de la precipitación respecto a la media durante un período determinado. Ante la dificultad de establecer una duración y magnitud del déficit pluviométrico válidas para diferentes áreas geográficas, algunas definiciones de sequía optan por no especificar umbrales fijos.

Palmer (1965), define sequía meteorológica como el “intervalo de tiempo generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar cae consistentemente por debajo de lo del aporte de humedad climatológicamente apropiado”, mientras que Russel *et al* (1970), son más concisos “falta prolongada de precipitación, inferior a la media”.

La Organización Meteorológica Mundial (WCP, 1986)”, a petición del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, proporcionó el siguiente criterio: se dice que hay sequía en una región si la precipitación anual es inferior al sesenta por ciento de lo normal durante más de dos años consecutivos en más del cincuenta por ciento de la superficie de la región.

Por (MIAMBIENTE, 2020), la sequía en Centroamérica está relacionada con los siguientes factores y/o características:

- La prolongación del “Veranillo” o “Canícula”, la cual ocurre entre julio y agosto, que divide en dos partes la estación de lluvias sobre la vertiente del

Pacífico. La canícula es propia del patrón climático regional sobre esa vertiente;

- La distribución de las precipitaciones durante la estación lluviosa en pocos eventos de lluvia, entre períodos prolongados de días secos;
- El aumento en la temperatura del aire, mismo que su impacto depende del momento en que suceda o por cuánto tiempo se mantenga;
- La finalización temprana de la estación lluviosa respecto de lo que se considera como normal.

Se reconoce que las sequías presentan tres rasgos que la distinguen: la intensidad, asociada al déficit de precipitación y la gravedad de los efectos; la duración, en el que este fenómeno puede sobrevenir rápidamente en algunos regímenes climáticos, pero, por lo general, las sequías tardan como mínimo dos o tres meses en hacerse patentes. Una vez iniciada, ésta puede durar meses o años; y por último la extensión, debido a que las áreas afectadas por sequías graves evolucionan de manera gradual y las regiones de máxima intensidad, como los epicentros, cambian de una estación a otra y de año en año cuando las sequías persisten lo suficiente. (MIAMBIENTE, 2020).

Desde el punto de vista meteorológico, en Panamá suele hablarse de sequía durante el período seco o de “verano” que suele ocurrir como parte de su variabilidad interanual del clima y que abarca 4 meses, es decir, históricamente entre la segunda mitad de diciembre a la segunda mitad de abril dependiendo de la región. Esta concepción local no tiene relación con la definición de período de secas o de verano para el resto del hemisferio norte, el cual puede referirse entre los

meses de junio y septiembre. En dicho período en Panamá, las precipitaciones bajan o disminuyen tanto su frecuencia como en su intensidad respecto a su periodo lluvioso, el cual va desde mediados o finales de abril y hasta mediados del mes de diciembre. (MIAMBIENTE, 2020).

2.7.1 Caracterización de sequías

Se asume que los episodios de sequías comienzan cuando el índice considerado toma valores por debajo de un umbral dado y finalizan cuando nuevamente se supera dicho umbral. Por ejemplo, utilizan el índice estandarizado de precipitación (SPI) para detectar ocurrencia de sequías y consideran que una sequía moderada ocurre cuando $SPI < -1$ y en una sequía extrema el umbral correspondiente es -2 (Podestá *et al.* 2016)” (Cruz, 2021).

A continuación, se describen las características de la sequía (figura 5).

2.7.1.1 Duración de la sequía

La duración de un evento de sequía se define como el periodo consecutivo e interrumpido de tiempo con valores de SPI por debajo del umbral (meses) que dura un evento de sequía, registrado en un periodo de tiempo relativamente largo. Dependiendo de la región, la duración de la sequía puede variar entre una semana y algunos años. Debido a la naturaleza dinámica de la sequía, una región puede experimentar temporadas húmedas y secas simultáneamente al considerar varias escalas temporales.

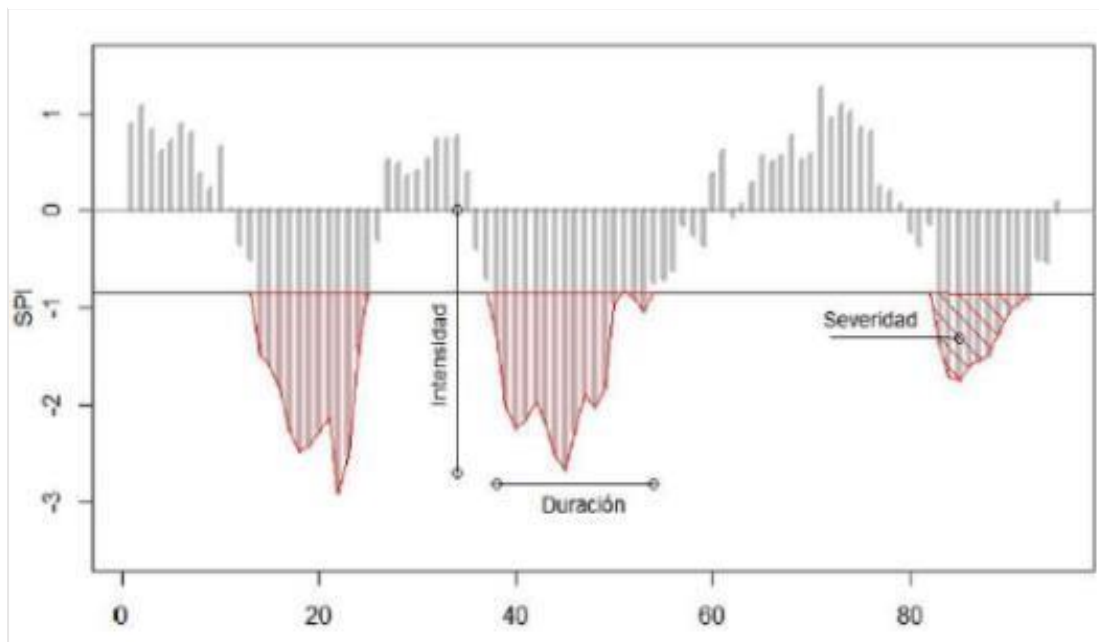
2.7.1.2 Severidad de la sequía

Este término hace referencia al déficit acumulado de agua (precipitación) por debajo de cierto umbral durante un periodo de sequía; el cual se cuantifica mediante la acumulación de la sucesión negativa de los déficits de precipitación en un evento de sequía.

2.7.1.3 Intensidad de la sequía

Es un parámetro muy usual que se utiliza en la caracterización de sequías, algunos autores la calculan como la magnitud entre la duración de la sequía y corresponde entonces a la intensidad promedio, en otros casos se define como el valor más bajo del SPI durante un evento de sequía, conocido como intensidad máxima.

FIGURA 4. CARACTERÍSTICAS DE LAS SEQUÍAS PARA EL SPI.



FUENTE: SEMANHI (2016).

2.8 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

El índice SPI se define como un valor numérico que representa el número de desviaciones estándar de la precipitación caída a lo largo del período de acumulación de que se trate, respecto de la media, una vez que la distribución original de la precipitación ha sido transformada a una distribución normal. De este modo se define una escala de valores que se agrupa en tramos relacionados con el carácter de la precipitación.

Este índice fue diseñado con objeto de dar cuenta de las distintas maneras en que el déficit de precipitación afecta a los diferentes sistemas de recursos hídricos (humedad del suelo, aguas superficiales, aguas subterráneas, etc.). Concretamente, el SPI fue desarrollado por el investigador estadounidense McKee en 1993 para poder cuantificar el déficit de precipitación para diferentes escalas temporales y, en base a ello, poder evaluar el impacto del déficit de precipitación sobre la disponibilidad de los distintos tipos de recursos hídricos. Así, por ejemplo, las condiciones de humedad de los suelos son sensibles a las anomalías (positivas o negativas) de la precipitación a corto plazo, en tanto que las reservas de aguas superficiales (embalses) y subterráneas (acuíferos), así como los caudales fluviales, responden a anomalías pluviométricas a largo plazo.

A través del uso del índice SPI es posible cuantificar y comparar las intensidades de los déficits de precipitación entre zonas con climas muy diferentes y tiene la propiedad de que puede integrarse sobre un amplio rango de escalas temporales, lo que hace que pueda ser utilizado como indicador de diferentes tipos de sequía, tanto aquellas que son de corta duración y que producen efectos principalmente

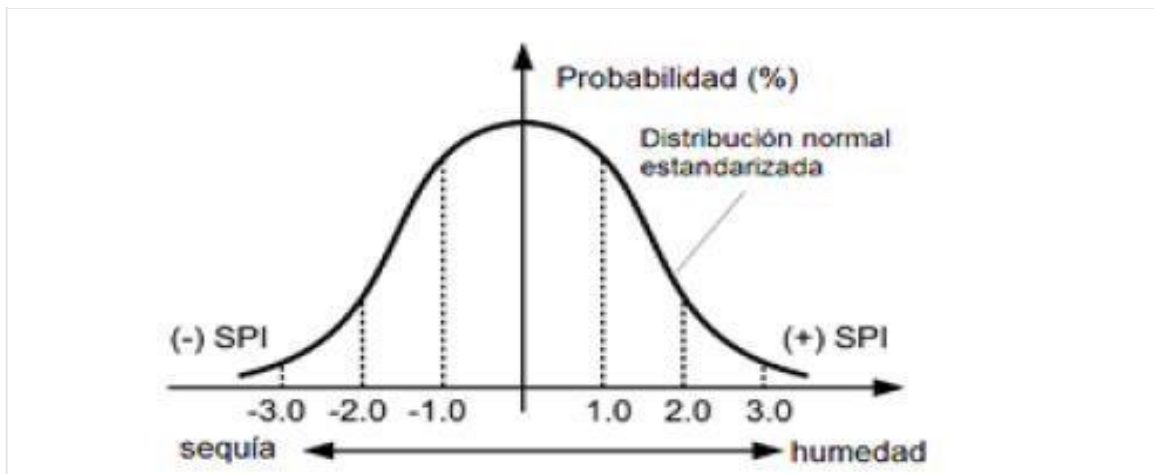
sobre los sectores agrícola, forestal y pecuario, como para caracterizar sequías climáticas de larga duración conducentes a sequías hidrológicas.

Para el cálculo del SPI para un lugar determinado, se parte de la serie histórica de precipitaciones mensuales correspondiente al período requerido, serie que es ajustada a la distribución teórica de probabilidad que se considere conveniente, que se transforma, a continuación, en una distribución normal, de manera que el valor medio del SPI para el lugar y el período elegidos sea 0 (Edwards y McKee, 1997). Como se observa en la figura 6, los valores positivos del SPI indican una precipitación superior a la media y los valores negativos del mismo, una precipitación inferior a la media. Dado que el SPI está normalizado, tanto los períodos húmedos como los secos se pueden representar de la misma manera y aplicando este índice se puede hacer un seguimiento de cualquier período, tenga éste un carácter u otro. Se puede determinar el carácter de un período dado (normal, más o menos húmedo, más o menos seco) en función del signo (positivo o negativo) y el valor absoluto del SPI (por encima o por debajo de 0), habida cuenta de que los valores del índice comprendidos entre -1 y +1 caracterizan un período como "normal" al indicar que se está en la parte central de la distribución (figura 6), la que se sitúa en torno a la media, a una distancia de ella igual o menor que la desviación estándar.

Los mismos autores que diseñaron este índice establecieron también el criterio para definir un período de sequía. Según el mismo, se dice que tiene lugar un período seco siempre y cuando el SPI presente una secuencia continua de valores negativos, tales que éstos sean iguales o inferiores a -1, si bien se considera que

este evento no llega a su fin hasta el momento en que dicho índice vuelve a tomar un valor positivo. Esta definición permite caracterizar cada período seco de acuerdo con su duración, intensidad y magnitud. La "duración" del evento la determina la longitud del período en el que los valores del SPI cumplen las condiciones requeridas por dicha definición. La "intensidad" del mismo viene determinada por el máximo valor negativo, a partir de -1, que el SPI alcance dentro del período seco analizado. Finalmente, su "magnitud" viene dada por la suma de los valores del SPI correspondientes a todos los meses comprendidos dentro del período seco considerado.

FIGURA 5. PROBABILIDAD DE LA ESCALA DEL SPI.



FUENTE: SEMANHI (2016).

2.9. Manejo de Datos Climáticos

2.9.1. Medidas Estadísticas para el Relleno de Datos

2.9.1.1. Mínimos cuadrados

Carl Friedrich Gauss, un joven de 24 años, desde 1795 había planteado los fundamentos de su enfoque, cuando aún tenía 18 años. Sin embargo, su método

de mínimos cuadrados no se publicó sino hasta 1809, y apareció en el segundo volumen de su trabajo sobre mecánica celeste, *Theoria Motus Corporum Coelestium in sectionibus conicis solem ambientium*. El francés Adrien-Marie Legendre desarrolló el mismo método de forma independiente en 1805.

En 1829, Gauss fue capaz de establecer la razón del éxito maravilloso de este procedimiento: simplemente, el método de mínimos cuadrados es óptimo en muchos aspectos. El argumento concreto se conoce como teorema de Gauss-Márkov.

Desde un punto de vista estadístico, un requisito implícito para que funcione el método de mínimos cuadrados es que los errores de cada medida estén distribuidos de forma aleatoria. El teorema de Gauss-Márkov prueba que los estimadores mínimos cuadráticos carecen de sesgo y que el muestreo de datos no tiene que ajustarse, por ejemplo, a una distribución normal.

2.9.1.1.1 Ajuste de una recta por mínimo de cuadrados

El método de los mínimos cuadrados se utiliza para calcular la recta de regresión lineal que minimiza los residuos, esto es, las diferencias entre los valores reales y los estimados por la recta. Se revisa su fundamento y la forma de calcular los coeficientes de regresión con este método.

La regresión lineal consiste en encontrar (aproximar) los valores de una variable a partir de los de otra, usando una relación funcional de tipo lineal, es decir, buscamos cantidades a (ordenada en el origen) y b (pendiente de la recta lineal) tales que se pueda escribir $\hat{Y} = a + bX$, con el menor error posible entre \hat{Y} e Y .

Para cada valor observado de la variable independiente x_i podemos considerar dos valores de la variable dependiente, el observado y_i y el estimado a partir de la ecuación de la recta, $\hat{y} = a + bx$.

2.9.1.1.2 Coeficiente de Correlación de Pearson

Originalmente desarrollado por Karl Pearson en 1895 quien se basó en las investigaciones de Sir Francis Galton publicadas diez años antes es ampliamente utilizado en diversos campos del quehacer humano. (Hernández, *et al*, 2018)

Pearson presentó por primera vez en 1895 esta importante medida en términos matemáticos como:

$$r = \frac{n \cdot \Sigma XY - \Sigma X \cdot \Sigma Y}{\sqrt{\{n \cdot \Sigma x^2 - (\Sigma X)^2\} \{n \cdot \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2\}}}$$

En la expresión, las barras indican las medias muestrales de X y Y, en tanto que s_{xx} , s_{yy} , s_{xy} , y corresponden a las sumas de cuadrados corregidas para X, Y, y el producto cruzado XY. Tal y como comentan Rodgers y Nicewander, existen otras formas de calcular el coeficiente de correlación, aunque la ecuación es la más común. Obsérvese que en el numerador las puntuaciones de las variables se centran al restarlas del promedio, para luego acumular tales valores en el producto cruzado. Por otra parte, el denominador sirve para ajustar la escala de las características involucradas y que estas se anulen.

Además, las dimensiones del numerador se cancelan con las del denominador por lo que el número resultante es adimensional y no es afectado por las unidades de medida. Por otro lado, conceptualmente, r^2 es la fracción de la variabilidad de Y que

queda explicada por su dependencia de la variable X. Así, un coeficiente de determinación de 0,64 significa que de la variabilidad total de Y, un 64% se explica por su relación con X y el resto por otros factores desconocidos. Sin embargo, esto puede prestarse a confusión por el vocablo, ya que una línea de regresión estrictamente explica nada, en una forma mecánica, entre las variables. (Dagnino, 2014)

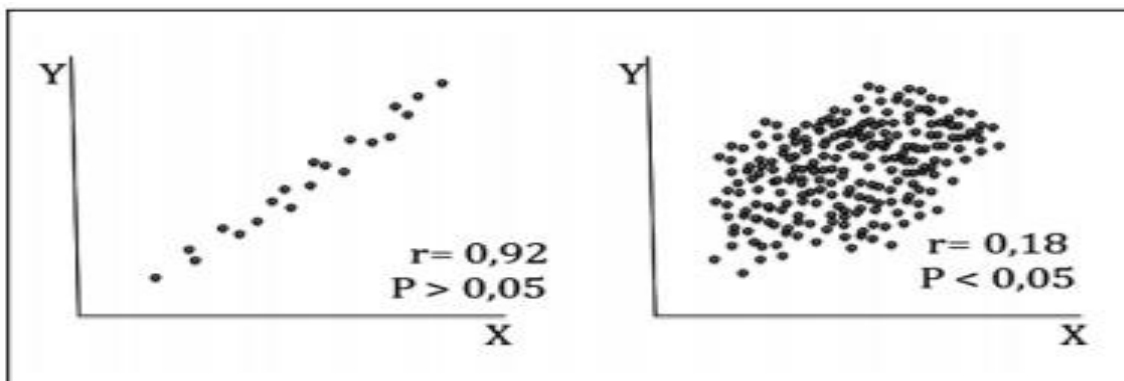
Como r^2 no contiene información respecto del signo de (XY), que es fundamental pues es el signo de la pendiente, se define como coeficiente de correlación lineal simple o coeficiente de correlación de Pearson a su raíz cuadrada:

$$r = \frac{(XY)}{\sqrt{(XX)(YY)}}$$

r es una cantidad que puede ser negativa o positiva que va de 0 a -1 o de 0 a +1. Cero indica ausencia de relación y mientras más cerca de 1, sin importar el signo, mayor es la fuerza de la asociación entre X e Y. En esencia, r mide la dispersión de los puntos en torno a una tendencia lineal subyacente (figura 7). El coeficiente de correlación se puede calcular para cualquier grupo de datos. (Dagnino, 2014).

La interpretación del coeficiente de correlación casi siempre exige información adicional, más allá del simple número. Un coeficiente de 0,7 puede ser importante o no dependiendo de las circunstancias. En cualquier caso, no está de más recordar que, al igual que la regresión, una correlación significativa jamás es prueba de causalidad. (Dagnino, 2014).

FIGURA 6. LA CORRELACIÓN SIGNIFICATIVA DE R.



FUENTE: Rev Chil Anest 2014; 43: 150-153

El hecho que r alcance significación estadística, es decir que sea diferente de cero, depende del tamaño de la muestra. Muestras pequeñas con r grandes pueden no alcanzar significación; a la inversa, muestras grandes con r pequeños pueden alcanzar significación estadística, aunque no la tengan clínicamente. En la figura la fuerza de la asociación es ostensiblemente mayor en la figura de la izquierda (“no significativa”) y menor en la de la derecha (“significativa”). (Dagnino, 2014)

2.9.1.1.3 Coeficiente de Regresión

La regresión está dirigida a describir cómo es la relación entre dos variables X e Y , de tal manera que incluso se pueden hacer predicciones sobre los valores de la variable Y , a partir de los de X . Cuando la asociación entre ambas variables es fuerte, la regresión nos ofrece un modelo estadístico que puede alcanzar finalidades predictivas. Se trata de una técnica estadística que analiza la relación entre dos variables cuantitativas, tratando de verificar si dicha relación es lineal. (Laguna, sf.)

Su objetivo es explicar el comportamiento de una variable Y, que denominaremos variable explicada (o dependiente o endógena), a partir de otra variable X, que llamaremos variable explicativa (o independiente o exógena). Una vez que hemos hecho el diagrama de dispersión y después de observar una posible relación lineal entre las dos variables, nos proponemos encontrar la ecuación de la recta que mejor se ajuste a la nube de puntos. Esta recta se denomina recta de regresión.

2.9.1.1.4 Distribución Teórica Gamma

Es una función que extiende el concepto de factorial a los números complejos. Fue presentada, en primera instancia, por Leonard Euler entre los años 1730 y 1731. La función gamma $\Gamma(\alpha)$ se define,

$$\Gamma(r) = \int_0^{\infty} e^{-s} s^{r-1} ds$$

La función gamma Se le conoce, también, como una generalización de la distribución exponencial, además de la distribución de Erlang y la distribución Ji-cuadrada. Es una distribución de probabilidad continua adecuada para modelizar el comportamiento de variables aleatorias con asimetría positiva y/o los experimentos en donde está involucrado el tiempo.

2.9.2 Modelación y Proyección de Mapas

2.9.2.1 ARCGIS

ARCGIS es actualmente la tecnología de referencia en los sistemas de información geográfica (SIG). Ha evolucionado desde una única herramienta para el análisis y el procesamiento de datos espaciales; a todo un conjunto de aplicaciones

relacionadas entre sí, destinadas al manejo y el tratamiento de la información geográfica, siendo su característica más reseñable el ser un SIG diseñado para trabajar a nivel multiusuario.

Entre todas estas herramientas encontramos funcionalidades que permiten:

- Crear datos geográficos con digitalización asistida.
- Dibujar y editar entidades en un mapa.
- Sintetizar datos de diferentes fuentes.
- Almacenar la información en base de datos geográficos.
- Realizar operaciones de análisis espacial.
- Automatizar geoprocursos.
- Maquetar mapas y controlar salidas de datos.
- Publicar la información geográfica para que esté accesible para cualquier usuario.

2.9.2.1.1 ArcMap

Es la aplicación central utilizada en ArcGIS. ArcMap es el lugar donde visualiza y explora los dataset SIG de su área de estudio, donde asigna símbolos y donde crea los diseños de mapa para imprimir o publicar. Es también la aplicación que utiliza para crear y editar los dataset.(ArcGis Desktop)

ArcMap representa la información geográfica como una colección de capas y otros elementos en un mapa. Los elementos de mapa comunes son el marco de datos,

que contiene las capas de mapa para una extensión determinada, más la barra de escala, la flecha de norte, el título, texto descriptivo, una leyenda de símbolos, etc.

ArcMap es la aplicación principal de ArcGIS. Se utiliza para realizar muchas de las tareas habituales de SIG, así como tareas especializadas, específicas del usuario. A continuación, se enumeran algunos flujos de trabajo habituales que puede realizar:

- **Trabajar con mapas** Puede abrir y utilizar documentos de ArcMap para explorar información, desplazarse por los documentos de mapa, activar y desactivar capas, realizar consultas en entidades para acceder a todos los datos de atributos que forman parte del mapa, y visualizar la información geográfica.
- **Imprimir mapas:** con ArcMap puede imprimir mapas, muy sencillos o cartografía compleja.
- **Compilar y editar datasets SIG:** ArcMap ofrece uno de los métodos principales que los usuarios emplean para automatizar los dataset de la geodatabase. ArcMap admite la edición completa de funciones escalable. Puede seleccionar capas en el documento de mapa para editarlas, y las entidades nuevas y actualizadas se guardan en el dataset de la capa.
- **Utilizar geoprocésamiento para automatizar el trabajo y realizar análisis:** SIG es visual y analítico. ArcMap tiene la capacidad de ejecutar cualquier modelo o secuencia de comandos de geoprocésamiento, así como de ver y trabajar con los resultados mediante la visualización de mapas.

El geoprocésamiento se puede utilizar para realizar análisis y para automatizar muchas tareas rutinarias, por ejemplo, la generación de libros de mapas, la reparación de vínculos de datos rotos en una colección de documentos de mapa, y el procesamiento de datos SIG.

- **Organizar y administrar geodatabases y documentos de ArcGIS:** ArcMap cuenta con la ventana Catálogo, en la que puede organizar todos los datasets y geodatabases SIG, documentos de mapa y otros archivos de ArcGIS, herramientas de geoprocésamiento, y muchos otros tipos de información SIG. En la ventana **Catálogo** también puede configurar y administrar esquemas de geodatabase.
- **Compartir mapas, capas, modelos de geoprocésamiento y geodatabases con otros usuarios:** ArcMap cuenta con herramientas que facilitan las tareas de empaquetar dataset SIG y compartirlos con otros usuarios. Además, ofrece la posibilidad de compartir mapas y datos SIG mediante ArcGIS Online.
- **Documentar la información geográfica:** Uno de los objetivos clave de las comunidades de SIG consiste en describir su información geográfica, de forma que ayude a documentar sus proyectos, así como a realizar consultas y compartir los datos. Utilizando la ventana Catálogo puede documentar todo el contenido de SIG. En el caso de organizaciones que utilizan metadatos basados en estándares, los datasets se pueden documentar mediante el editor de metadatos de ArcGIS.

3 MARCO METODOLÓGICO

3.1 Materiales

Para la realización de esta investigación, se utilizaron un total de 15 estaciones meteorológicas distribuidas en las provincias de Veraguas, Los Santos y Herrera que mantenían registros por un período máximo de 30 años (1989-2019) como se puede observar en los cuadros I y II. Las estaciones pertenecen en su gran mayoría a la Dirección de Hidrometeorología (ETESA) y en menor medida al Ministerio de Desarrollo Agropecuario (MIDA).

CUADRO I. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA N°128 RÍO LA VILLA

Número	Estación	Latitud S	Longitud O	Altitud (m)	Tipo	Período de registro
128-001	Los Santos	7° 56' 27"	80° 25' 03"	16	AC	1964
128-003	Las Minas	7° 47' 00"	80° 44' 00"	350	CC	1959-99
128-004	Macaracas	7° 44' 00"	80° 33' 00"	111	CC	1955-2013
128-005	La Mesa de Macaracas	7° 38' 00"	80° 37' 00"	180	CC	1959-98
128-006	Los Pozos	7° 47' 00"	80° 39' 00"	260	CC	1967-98
128-010	Pesé	7° 54' 00"	80° 37' 00"	80	CC	1972
128-011	Llano de Piedra	7° 39' 00"	80° 34' 00"	150	CC	1972-2000
128-012	Pitaloza Arriba	7° 38' 00"	80° 40' 00"	380	CC	1972-2000

CUADRO II. ESTACIONES METEOROLÓGICAS EN LA CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA

Número	Estación	Latitud S	Longitud O	Altitud (m)	Tipo	Período de registro
132-001	El Palmar	8° 32' 14"	81° 04' 40"	1000	CM	1958
132-003	Los Valles	8° 26' 40"	81° 11' 41"	550	CC	1958-2018
132-006	Laguna La Yeguada	8° 27' 22"	80° 51' 04"	640	BC	1960
132-008	Cerro Verde	8° 30' 16"	80° 50' 32"	800	CC	1959-2012
132-010	Calobre	8° 18' 50"	80° 50' 15"	120	CM	1959
132-012	Divisa	8° 08' 25"	80° 42' 15"	12	AA	1964-2012
132-033	Santa Fe	8° 30' 30"	81° 04' 23"	463	CM	1956-2017

3.2 Caracterización del sitio

3.2.1 Cuenca N°128 río La Villa

3.2.1.1 Localización y Extensión

La cuenca del río La Villa es una superficie de unos 1,284.3 km² y el río principal de 117 km de longitud conformada principalmente por el río La Villa. Dicha cuenca está ubicada en el arco seco panameño, en Azuero constituyendo la principal fuente de agua potable a unas 94,000 personas de las provincias de Los Santos y Herrera. Precisamente, en la región central de Azuero, entre el Montuoso en la cordillera occidental de Azuero, donde tiene su nacimiento y por la sierra del Canajagua. Con sus 1,284.3 km² se extiende entre las provincias de Los Santos y Herrera. El drenaje principal es de 276.1 Km de la cuenca inicia en El Montuoso, cerca de la localidad de Tres Piedras, conformada principalmente por el río La Villa, río Estivaná,

quebrada Grande, quebrada Pesé, río Toleta entre otros. Su desembocadura se encuentra en el golfo de Parita.

Las subcuencas y la longitud del río principal en cada una de las conforman las siguientes:

1. Río Estibaná 44.37 km
2. Quebrada Pesé 17.08 km
3. Río Tebario 22.69 km
4. Río La Villa 121.99 km
5. Quebrada Piedras 29.58 km
6. Quebrada Grande 13.73 km
7. Río El Gato 38.73 km
8. Quebrada Salitre 5.29 km
9. Río Esquiguita 22.23 km

3.2.1.2 Clima

La precipitación muestra condiciones variables: en la cuenca baja se da un promedio anual de 1 350 mm de precipitación; la cuenca media con una precipitación anual promedio de 1 760 mm; la cuenca alta con un promedio de precipitación de 2 325 mm; representa una precipitación promedio anual de 1 785 mm.

La distribución de la precipitación es de 91% entre los meses de mayo a noviembre y el 9% restante se registra entre los meses de diciembre a abril. Se tiene una evapotranspiración de 1 000 a 1 200 mm en la cuenca, se podría considerar que

existen rangos limitados en algunos espacios de la cuenca con menor posibilidad de escorrentía y almacenamiento de agua (inclusive un caudal ecológico limitado), existen otras zonas donde el rango de precipitación alto permite un potencial de balance climático favorable. (CATIE-ANAM, 2008)” (Diéguez, 2018).

El clima predominante según Köppen es Tropical de sabanas (Aw).

3.2.1.3 Capacidad de uso de suelo

La parte media y alta de la cuenca es dominada por suelos de la clase VI y VII, aptos para la conservación del bosque y desarrollo de sistemas forestales; sin embargo, gran parte de estas áreas están siendo utilizadas para el desarrollo de actividades agropecuarias mayormente de subsistencia, mientras que otras están cubiertas de matorrales/rastrojos. Ese tipo de uso no es acorde a la capacidad productiva de esa clase de suelos.

Por otro lado, en la parte baja es donde hay mayor abundancia de suelos con potencial para el desarrollo de actividades agropecuarias; y precisamente la actividad agropecuaria es la que ocupa la mayor superficie de terreno incluido dentro de la cuenca baja.

3.2.1.4 Zonas de Vida de Holdrige y Vegetación

Basado en el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, el doctor Joseph A. Tosi, en el año 1971, identificó y demarcó, en el mapa de Panamá, un total de doce zonas de vida, de las 120 que incluye este sistema. Las zonas de vida del área de estudio pertenecen al Bosque Seco Premontano, Bosque Húmedo Tropical, Bosque Húmedo Premontano y Bosque Seco Tropical.

En la cuenca del río La Villa sobresale el hecho de que solo el 2% de todo el territorio se mantiene bajo una cobertura de bosque, el resto del territorio de la cuenca está cubierto de pasto, cultivos, rastrojos y vegetación arbustiva. (MIAMBIENTE - SINIA, 2022).

3.2.2 Cuenca N°132 río Santa María

3.2.2.1 Localización y Extensión

La Cuenca del Río Santa María (identificada como el número 132 en el sistema hidrológico de América Central) se encuentra localizada en la vertiente del Pacífico en las provincias de Veraguas, Coclé y Herrera. El área de drenaje total de la cuenca es de 3,400.63 Km², desde su nacimiento hasta la desembocadura en el mar (Bahía de Parita) la longitud del río principal es de 168 Km. La elevación media de la cuenca es de 200 msnm, y el punto más alto se encuentra en la Cordillera Central con una elevación de 1,528 msnm.

- **Sub-Cuencas**

Número de sub-cuencas: 12

Parte Alta (5 sub-cuencas)

1. Río Gatú 489.62 km²
2. Río Corita 182.13 km²
3. Río Bulabá (Mulabá) 344.80 km²
4. Río Higuí – Cuay 130.41 km²
5. Zona de Intercuencas San Francisco 229.26 km²

Parte Media (2 sub-cuencas)

6. Río Cocobó – Río Las Guías 376.31 km²
7. Río Santa María Parte Media 199.17 km²

Parte Baja (5 sub-cuencas)

8. Río Cañazas 450.22 km²
9. Río Santa María Parte Baja 417.55 km²
10. Río Estereo Salado 97.21 km²
11. Río Escota 366.00 km²
12. Zona Marino Costera 117.95 km²

3.2.2.2 Clima

La precipitación a nivel global de la cuenca del río Santa María se puede mencionar que la misma registra una precipitación media anual de 2,900 mm. La distribución espacial de las lluvias es heterogénea y presentan dos núcleos de alta precipitación: el primero ubicado al norte registra precipitaciones entre 2,500 y 4,000 mm; y el segundo se ubica al este de la parte alta de la cuenca del río Santa María, en la zona de La Yeguada. Del centro de la cuenca hacia el litoral, las lluvias descienden hasta valores de 1,400 mm al año. El 90% de la lluvia ocurre durante los meses de mayo a noviembre, y el 10% restante de diciembre a abril, aproximadamente.

La temperatura promedio anual en la parte alta de la cuenca presenta valores entre los 23.5°C y 24.5°C, con valores para temperaturas máximas de 28.9°C y mínimas de 18.8 °C. Para la parte media-baja de la cuenca del río Santa María se registran valores promedio de 27°C anuales, con valores máximos de hasta 33.5°C y mínimos de 22°C.

La evaporación de manera general es mayor en los meses de la estación seca, promediando para estos meses (diciembre a abril) un valor de 4.5 mm diarios, mientras que para la estación húmeda los valores de evaporación del tanque disminuyen hasta 2.6 mm diarios. Todos estos resultados arrojan que la evaporación media anual acumulada para esta estación es de 1277.5 mm.

El clima según Köppen es Tropical de sábanas (Awi).

3.2.2.3 Capacidad de Uso de suelo

En la cuenca del río Santa María se aprecia claramente que los suelos de clase IV son los que cubren mayor territorio dentro del área de estudio ocupando en 28.76% de la superficie total. A este le siguen los suelos de la clase III con 22.77%. Los suelos de la clase II apenas representan el 5.06% de la cuenca.

Estas tres clases de suelos en conjunto abarcan el 56.59% del territorio; es decir, más de la mitad de los suelos de la cuenca se caracterizan por tener algún potencial para la producción agrícola y pecuaria intensiva a semi-intensiva, pero siempre aplicando técnicas de conservación de suelos que sean acordes con las limitaciones de cada clase.

En relación con el resto de la superficie, la misma está ocupada principalmente por suelos de la clase VI (17.11%) y suelos de la clase VII (14.81%), seguido por suelos de la clase VIII (6.35%) y suelos de la clase V (5.14%). En conjunto estas clases ocupan el 43.41% del territorio de la cuenca; lo cual significa que un poco menos de la mitad del área de estudio, presenta severas limitaciones para el desarrollo de actividades agrícolas o pecuarias, y en consecuencia se debe ocupar con el

establecimiento de sistemas agroforestales, pero principalmente con plantaciones forestales y la protección o regeneración del bosque.

3.2.2.4 Zonas de vida de Holdridge y Vegetación

Basado en el Sistema de Clasificación de Zonas de Vida de Holdridge, el doctor Joseph A. Tosi, en el año 1971, identificó y demarcó, en el mapa de Panamá, un total de doce zonas de vida, de las 120 que incluye este sistema.

Las zonas de vida del área de estudio pertenecen al bosque seco tropical, bosque seco premontano, bosque húmedo premontano, bosque muy húmedo tropical, bosque húmedo tropical y bosque muy húmedo premontano.

En la cuenca del río Santa María sobresale el hecho de que solo el 6.88% de todo el territorio se mantiene bajo una cobertura de bosque maduro, el cual se concentra únicamente en el extremo norte de la parte alta de la cuenca. El bosque secundario por su parte apenas cubre el 14.42% de la superficie total y el mismo se encuentra disperso en pequeños parches sobre el área de estudio, pero principalmente en la cuenca alta. (MIAMBIENTE - SINIA, 2022).

3.3 Metodología

La metodología aplicada en este trabajo consistió en cuatro fases consecutivas: a) recopilación de datos, b) procesamiento de datos, c) cálculo y análisis del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), d) modelación y proyección por medio de Microsoft Excel y el Software ArcGis.

En base a las estaciones meteorológicas que ya estaban ubicadas dentro de las cuencas se desarrolló este proyecto de tesis.

A continuación, se describe cada fase:

3.3.1 FASE 1: Recopilación de datos y consulta bibliográfica

Esta fase fue la base de la información documental que se utilizó de referencia para desarrollar la investigación. Documentos, revistas y artículos de universidades entre otras instituciones y organizaciones tanto nacionales como internacionales; fueron la fuente principal de información.

3.3.1.1 Selección de las estaciones meteorológicas y determinación del período de estudio.

Se realizó una selección de 15 estaciones meteorológicas distribuidas en las provincias de Veraguas, Los Santos y Herrera con 30 años de registro donde se describió su información básica: serial, nombre, latitud, longitud, altitud y período de registro. Los datos fueron obtenidos por la Dirección de Hidrometeorología (ETESA)., pero se rellenaron datos para estaciones después del año 2000, incluso antes en río La Villa (figura 7) y después del año 2010, para estaciones del río Santa María (figura 8).

FIGURA 7. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS - CUENCA N°128 RÍO LA VILLA

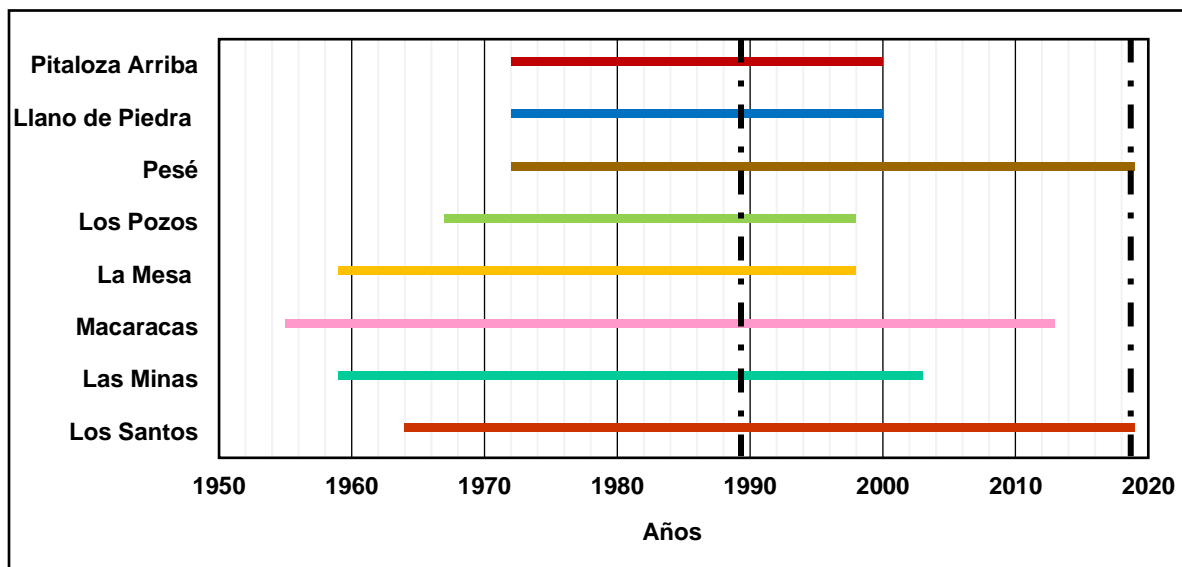
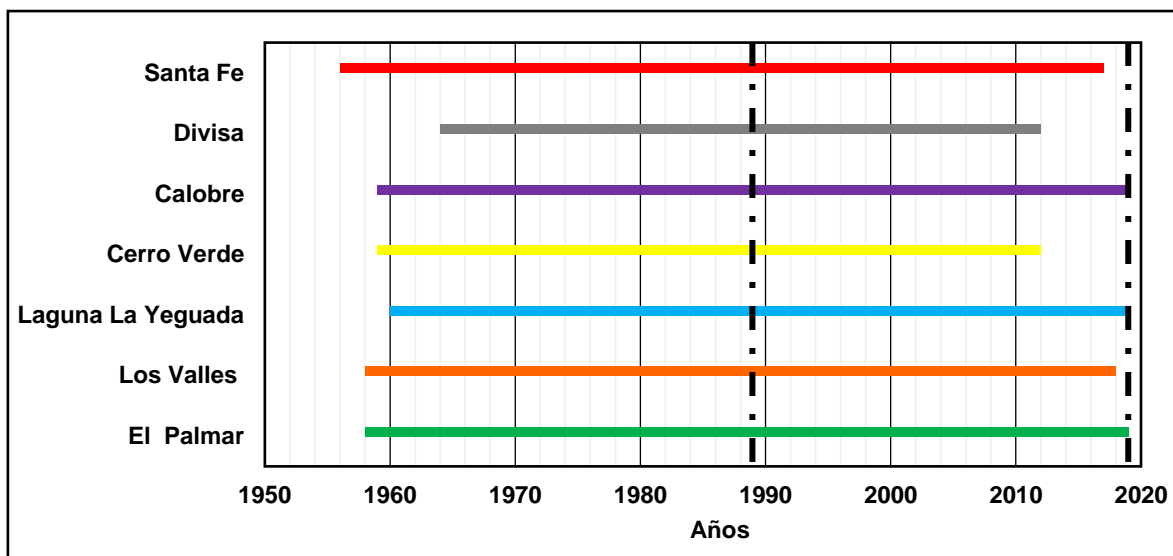


FIGURA 8. REGISTROS PLUVIOMÉTRICOS - CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA



3.3.2 FASE 2: Procesamiento de datos

Con la información obtenida de las estaciones meteorológicas seleccionadas se confeccionó la base de datos en Excel, donde se dispuso a ordenar la información de las estaciones de acuerdo con el número de menor a mayor.

Se procedió al análisis de los registros pluviométricos calculando para ambas cuencas el coeficiente de variación para la estimación de la calidad de los datos como se presentan en los cuadros III y IV.

De acuerdo con los valores de los coeficientes de variación, se deduce que las estaciones Las Minas 128-003 (Cv: 33.19), Macaracas 128-004 (Cv: 29.51), La Mesa de Macaracas 128-005 (Cv: 39.58), Los Pozos 128-006 (Cv: 37.69), Llano de Piedra 128-011 (Cv: 39.11) y Pitaloza Arriba 128-012 (Cv: 40.42) sobrepasan el límite permisible de 0.25, considerándolas como dudosas.

CUADRO III. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA CUENCA N°128 RÍO LA VILLA.

ESTACIÓN	PPT MEDIA (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	ELEVACIÓN (m)
Los Santos	229.9	37.00	16.09	15
Las Minas	212.4	70.5	33.19	350
Macaracas	248.0	73.2	29.51	111
La Mesa de Macaracas	184.4	73.0	39.58	180
Los Pozos	175.1	66.0	37.69	260
Pesé	262.0	36.73	14.01	80
Llano de Piedra	195.6	76.5	39.11	150
Pitaloza Arriba	215.2	87.0	40.42	380

CUADRO IV. COEFICIENTE DE VARIACIÓN DE LAS ESTACIONES DE LA CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA.

ESTACIÓN	PPT MEDIA (mm)	DESVIACIÓN ESTÁNDAR	COEFICIENTE DE VARIACIÓN	ELEVACIÓN (m)
El Palmar	338.1	65.39	19.34	1000
Los Valles	338.3	65.58	19.38	550
Laguna La Yeguada	403.0	59.71	14.81	640
Cerro Verde	434.0	96.67	22.27	800
Calobre	351.5	46.08	13.1	120
Divisa	280.1	35.53	12.68	12
Santa Fe	314.4	46.97	14.94	463

Luego, se relacionó la información de la variable precipitación de la estación Pesé 128-010 con las estaciones Los Santos 128-001, Las Minas 128-003, Macaracas 128-004, La Mesa de Macaracas 128-005, Los Pozos 128-006 y Pitaloza Arriba 128-011. De igual manera en la cuenca N°132 río Santa María se relacionó la información de la estación Laguna La Yeguada 132-006 con las estaciones El Palmar 132-001, Los Valles 132-003, Calobre 132-010, Cerro Verde 12-008, Divisa 132-012 y Santa Fe 132-033; por medio de las siguientes ecuaciones:

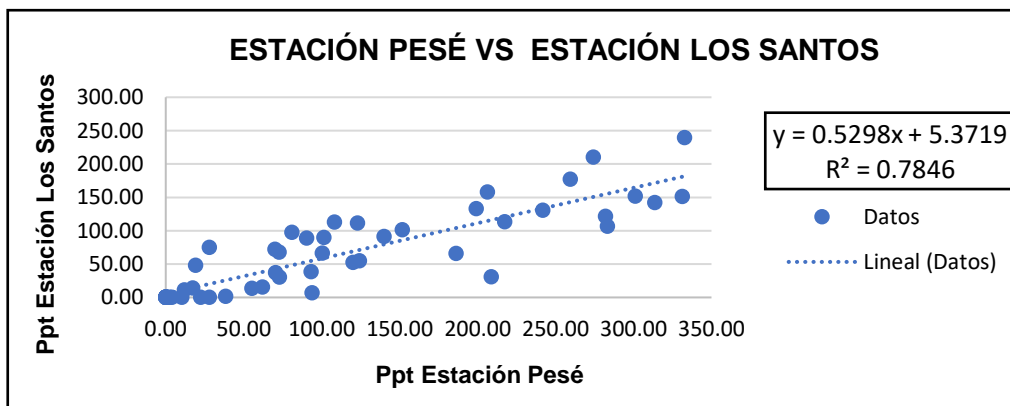


Gráfico 1. Los Santos vs Pesé

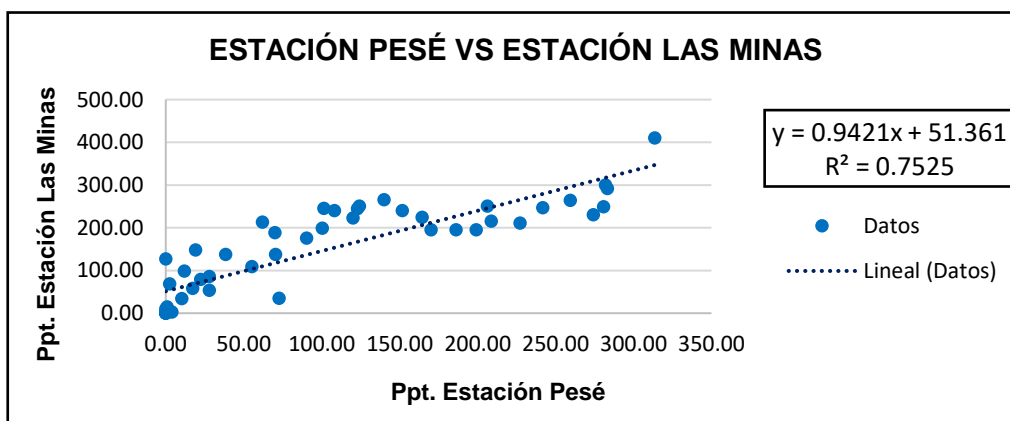


Gráfico 2. Las Minas vs Pesé

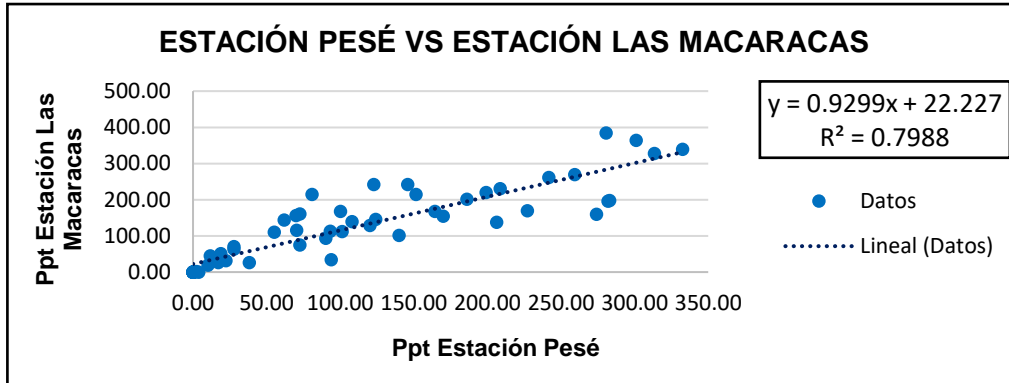


Gráfico 3. Macaracas vs Pesé

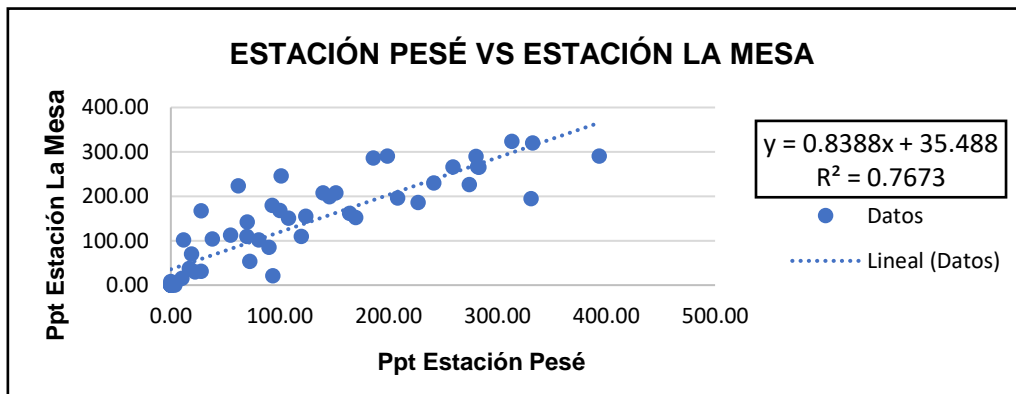


Gráfico 4. La Mesa vs Pesé

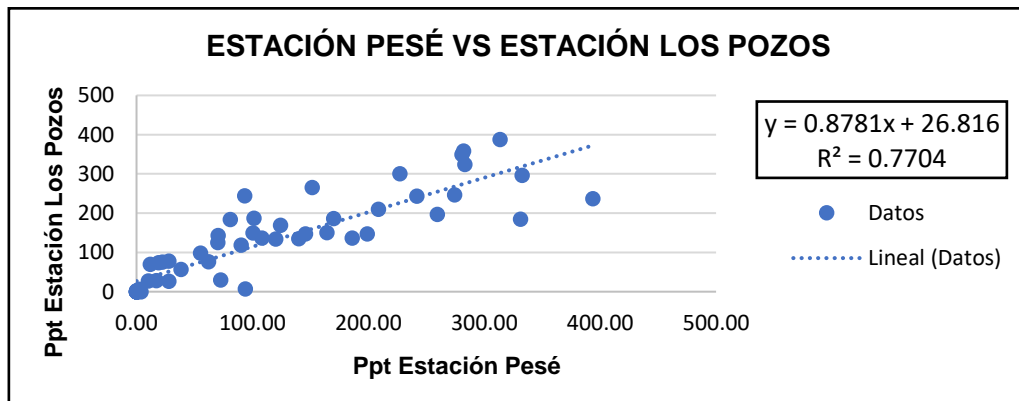


Gráfico 5. Los Pozos vs Pesé

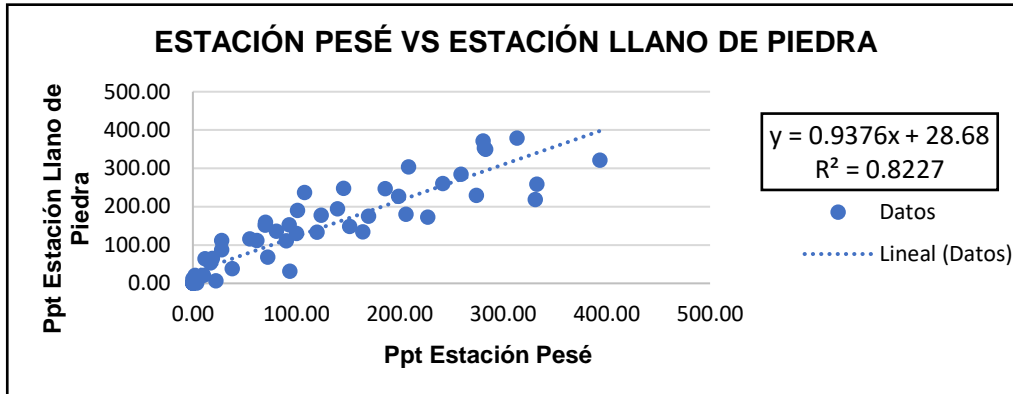


Gráfico 6. Llano de Piedra vs Pesé

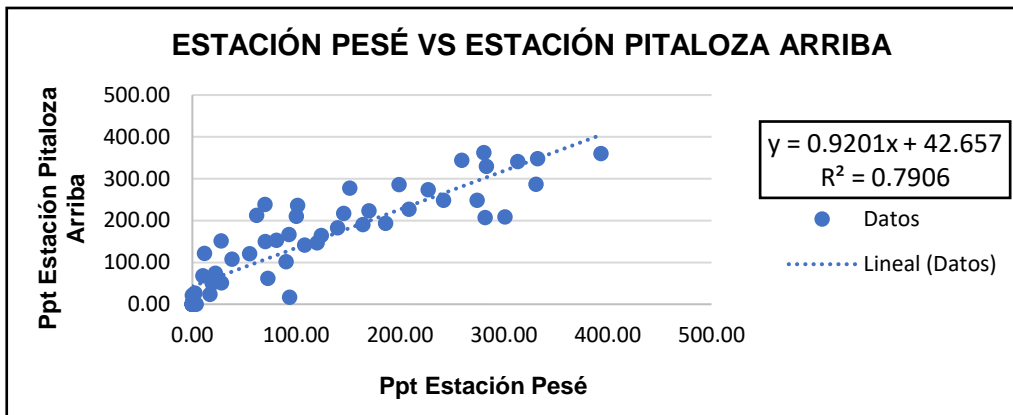


Gráfico 7. Pitaloza Arriba vs Pesé

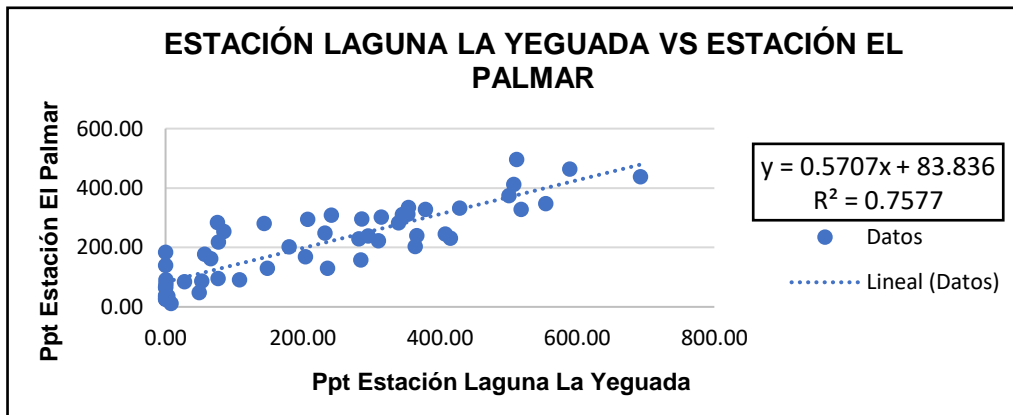


Gráfico 8. El Palmar vs Laguna La Yeguada

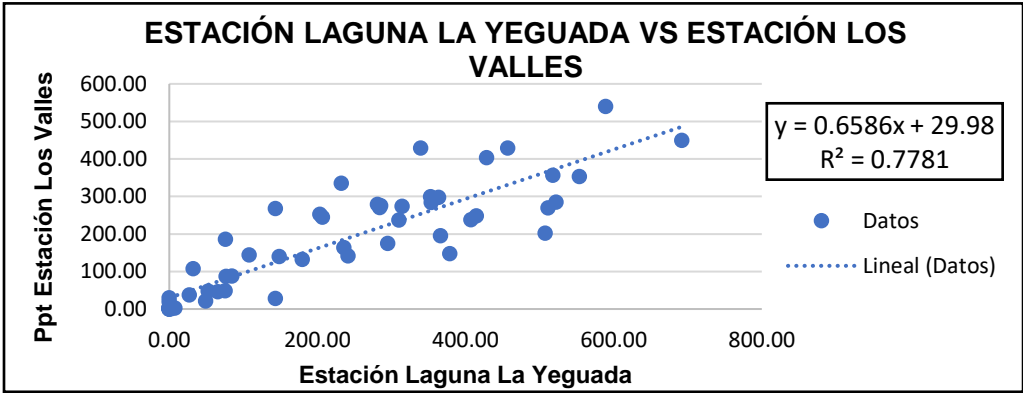


Gráfico 9. Los Valles vs Laguna La Yeguada

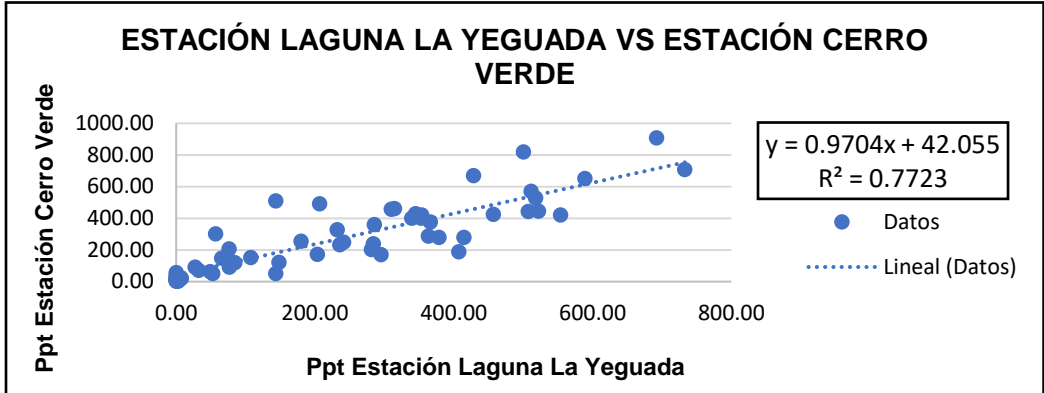


Gráfico 10. Cerro Verde vs Laguna La Yeguada

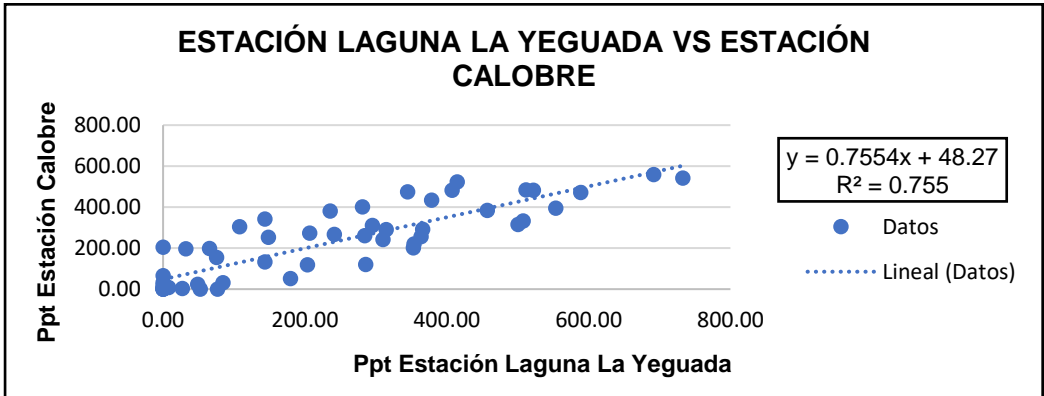


Gráfico 11. Calobre vs Laguna La Yeguada

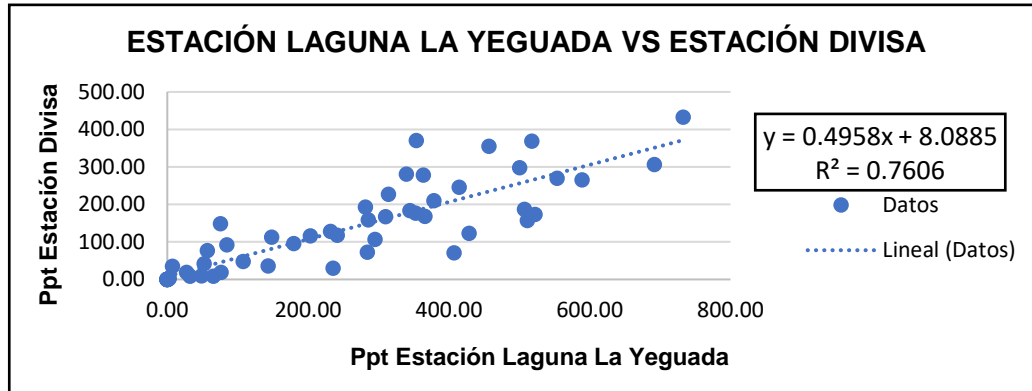


Gráfico 12. Divisa vs Laguna La Yeguada

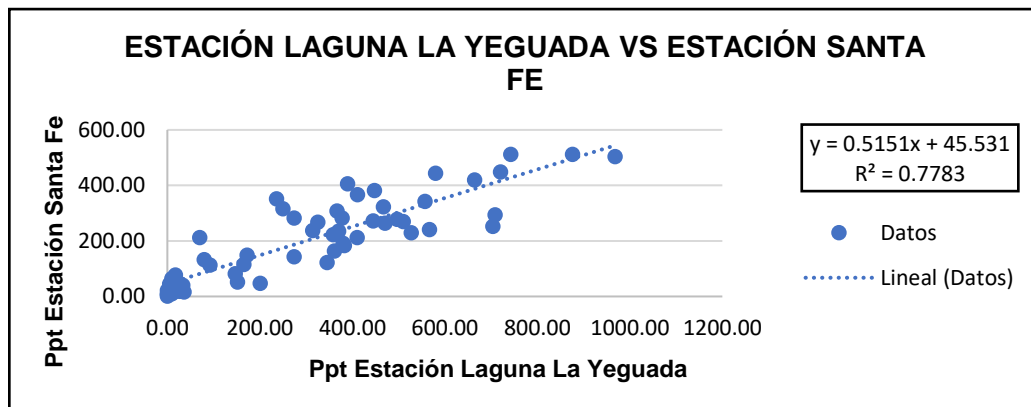


Gráfico13. Santa Fe vs Laguna La Yeguada

Para llevar a cabo este procedimiento de relleno y extensión de datos se emplearon las siguientes medidas estadísticas:

- Coeficiente de Regresión

$$B = \frac{n \cdot \sum XY - \sum X \cdot \sum Y}{\sum X^2 - (\sum X)^2}$$

- Término constante

$$A = \frac{\Sigma Y - B. \Sigma X}{n}$$

- Coeficiente de Correlación

$$r = \frac{n. \Sigma XY - \Sigma X. \Sigma Y}{\sqrt{\{n. \Sigma x^2 - (\Sigma X)^2\} \{n. \Sigma Y^2 - (\Sigma Y)^2\}}}$$

Donde n= número de pares

Coeficiente de determinación;

$r^2 = 0.75$ a 0.80 aceptable

0.80 a 0.90 buena

> 0.90 muy buena

3.3.3 FASE 3. Cálculo y análisis del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI).

Esta fase es la más esencial de la investigación e inicia utilizando los datos procesados de precipitación en la fase dos, proporcionados por la Dirección de Hidrometeorología (ETESA). A través de ellos, se determinó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), utilizando la aplicación Microsoft Office Excel 365.

- **Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)**

3.3.3.1 Método para calcular de Índice Estandarizado de Precipitación (SPI)

- Para cada estación se procedió a la elaboración de la hoja de cálculo en Excel para el registro de datos de precipitación.
- Luego se estimaron los parámetros α (alfa) y β (beta) de la Distribución de Probabilidad Gamma, (Thom, 1958):

$$\alpha = \frac{1 \pm \sqrt{1 + \frac{4}{3}A}}{4A}$$

$$\beta = \frac{x}{2\alpha}$$

Donde:

α : es el parámetro de escala $X > 0$

β : es el parámetro de forma de la curva $X > 0$

x : es la media aritmética de la serie anual de lluvia acumulada, expresada en mm.

Además, se calculó la desviación estándar de los datos de precipitación.

- Una vez obtenidos los parámetros α y β se determinó la función de densidad de probabilidad gamma para las variables x , α y β .
- Luego, se transformó a la distribución normal estándar y finalmente se obtuvo el índice estandarizado de precipitación (SPI).
- El valor del SPI representa la probabilidad de ocurrencia de una determinada precipitación acumulada. Es decir, el número de veces que un valor concreto de la precipitación acumulada en un periodo temporal se separa de la media de la serie, medido en unidades de desviación típica. OMM N°1090, (2012)

McKee y otros (1993) utilizaron el sistema de clasificación mostrado en el cuadro de valores del SPI que figura a continuación (cuadro 3) para definir las distintas intensidades de la sequía según distintos valores del SPI. Los episodios tienen lugar siempre que el SPI sea continuamente negativo y alcance una intensidad de -1,0 o inferior. El episodio finaliza cuando el SPI alcanza valores positivos. Por consiguiente, todos los episodios de sequía tienen una duración definida por su comienzo y final, y una intensidad para cada mes en el continúa el episodio. La suma positiva del SPI para todos los meses de un episodio de sequía se puede denominar la "magnitud de la sequía". En la figura 7 se resumen los pasos para calcular la magnitud de la sequía.

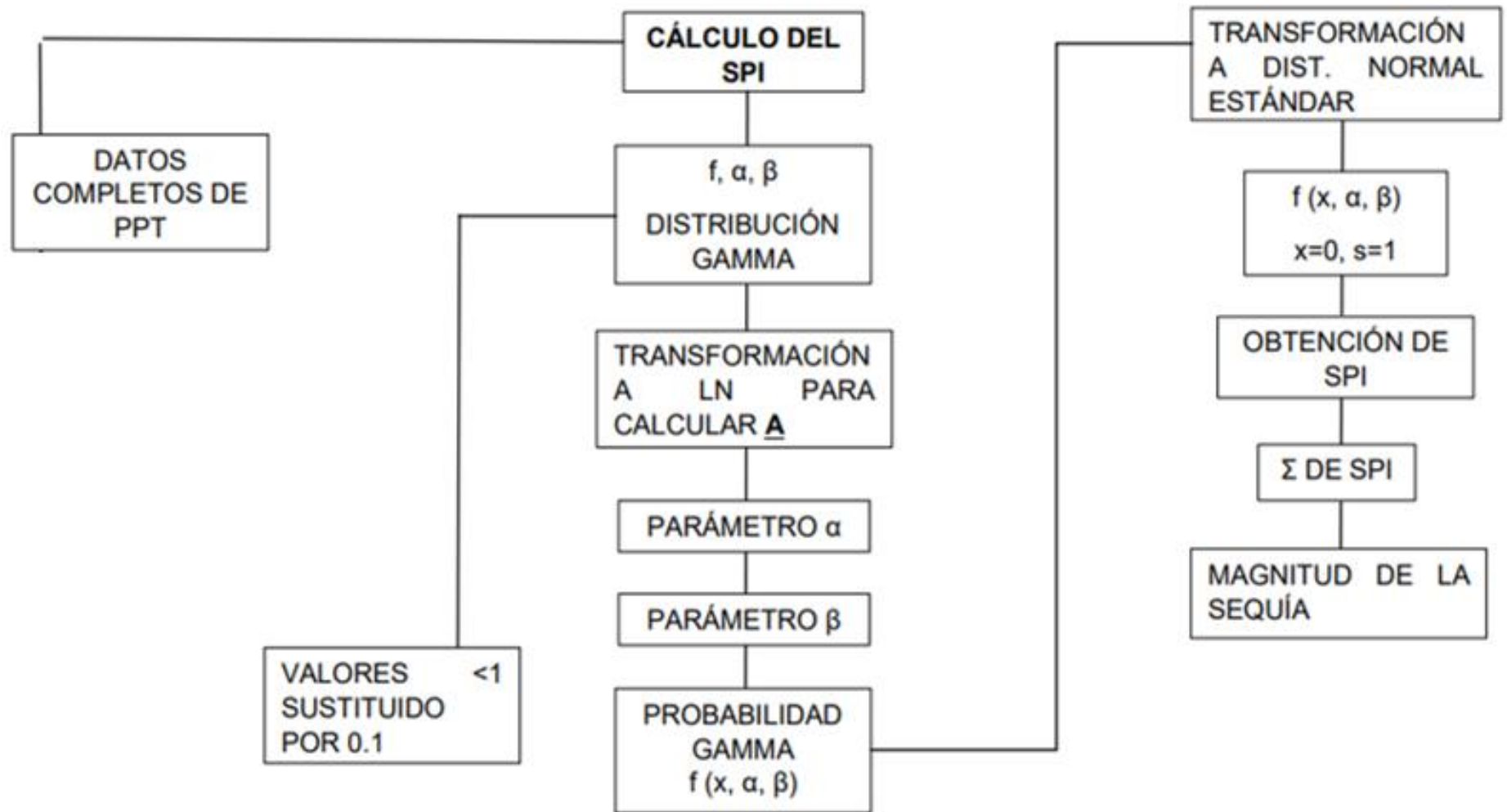
CUADRO V. VALORES DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI)

SPI	CATEGORÍA
< -1.50	Extremadamente Seco
-0.50 a -1.49	Ligeramente Seco
-0.49 a 0.49	Normal
0.50 a 1.49	Ligeramente húmedo
> 1.50	Extremadamente húmedo

FUENTE: Adaptada de McKee *et al* (1993)

Estas intensidades están referidas al fenómeno de la sequía meteorológica (aquellas cuyo valor de SPI es negativo) y, por tanto, corresponden a eventos secos coyunturales, mas no constituyen una condición de aridez.

FIGURA 9. CÁLCULO DEL ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACIÓN (SPI).



FUENTE: Collotti *et al* (2013).

3.3.4 FASE 4. Modelación y proyección por medio de Microsoft Excel y software ARCGIS

En esta fase para realizar la modelación y las proyecciones se empleó las herramientas Microsoft Excel y ArcGis 10.5 que cuenta con datasets con un sistema de coordenadas que se utiliza con otras capas de datos geográficos dentro de un marco de trabajo de coordenadas.

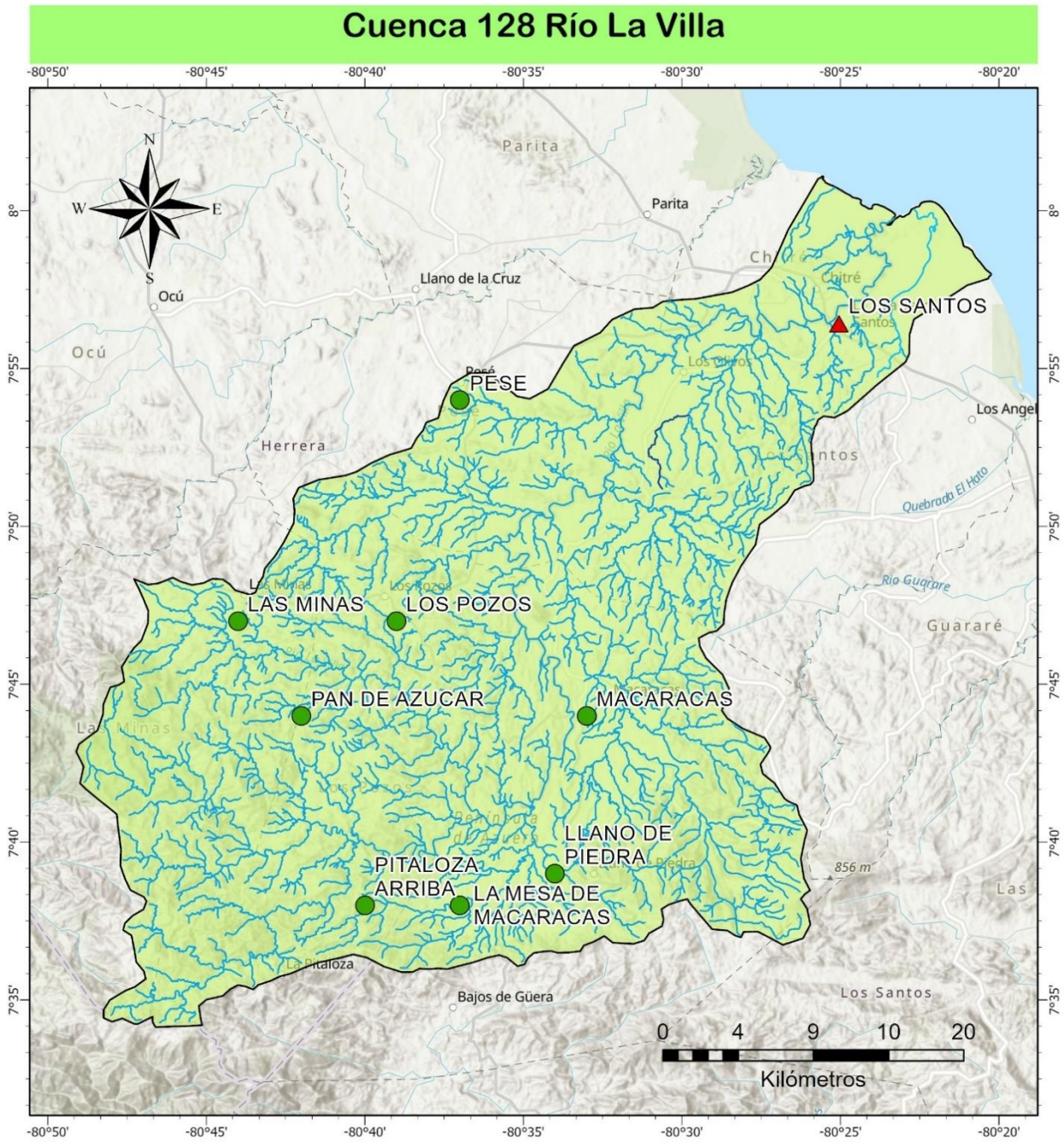
Por medio de estas herramientas proyectamos, a través de mapas y gráficos los resultados de la determinación de los índices para la existencia de las sequías dentro de las cuencas en estudio.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Determinación del índice estandarizado de precipitación (SPI) e identificación de los eventos acontecidos en la cuenca N°128 río La Villa y cuenca N°132 río Santa María. Variabilidad (1989-2019)

Para la identificación de los eventos climáticos acontecidos se utilizaron datos de un período de 30 años, tanto de la cuenca N°128 río La Villa y cuenca N°132 río Santa María. Por lo que se contó con 15 estaciones meteorológicas que cuentan con criterios fijados y que se encuentran detallados en la metodología.

FIGURA 10. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA N°128 RÍO LA VILLA.



Ubicación de la cuenca



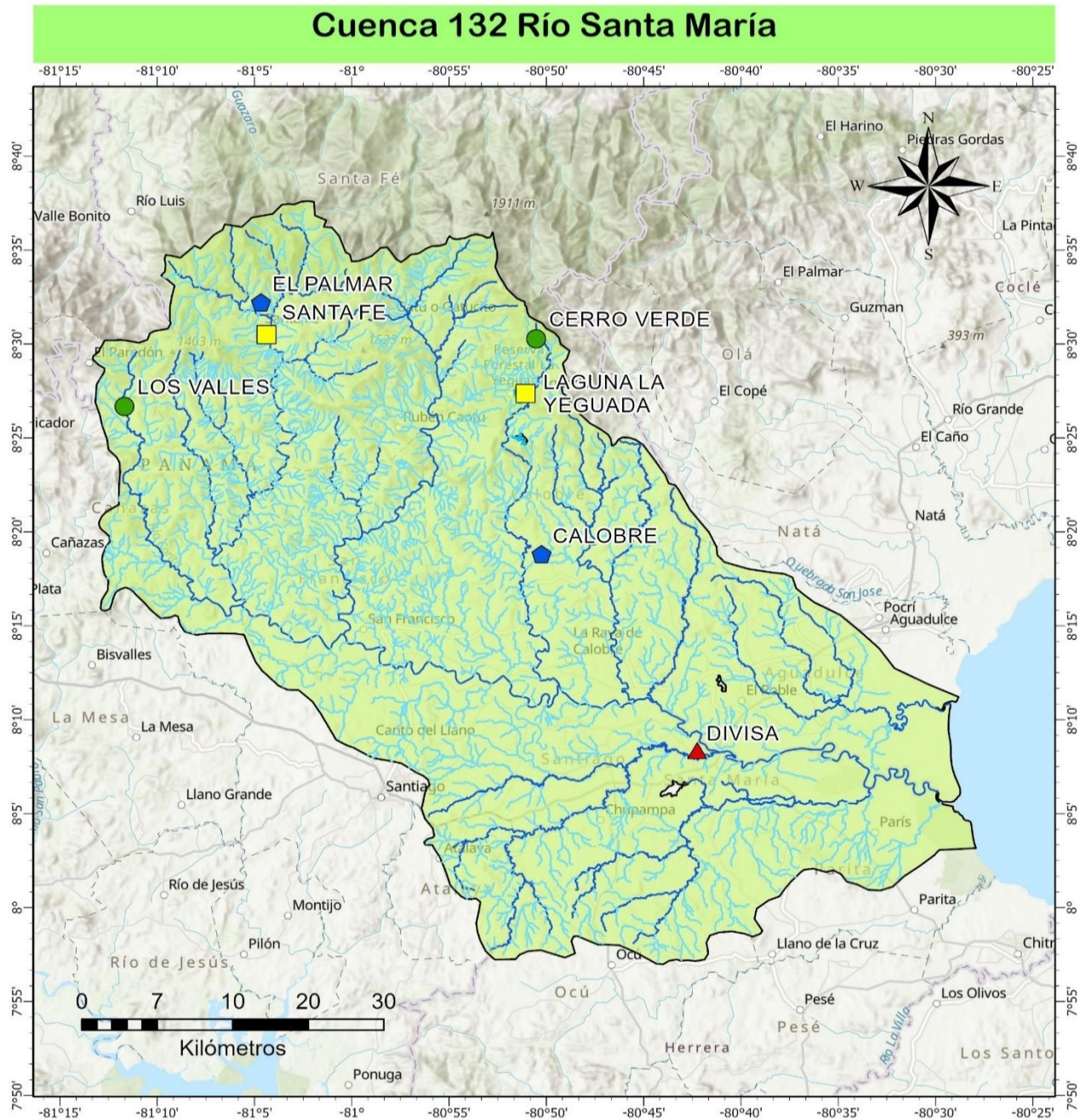
Leyenda

- Tipo de Estación**
- ▲ AC
 - CC
- Ríos**
- Quebrada Grande
 - Quebrada Gutiérrez
 - Río La Villa
 - Limite de la cuenca

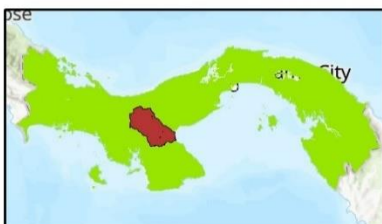
Universidad de Panamá
Ingeniería en Manejo de Cuencas y Ambiente



FIGURA 11. LOCALIZACIÓN DE LAS ESTACIONES METEOROLÓGICAS DE LA CUENCA N°132 RÍO SANTA MARÍA



Ubicación de la cuenca



Leyenda

Tipo de Estación	Ríos
▲ AA	↳ Río
■ BC	↳ Quebrada
● CC	↳ Lago
⬠ CM	↳ Laguna
	↳ Límite de la cuenca

Universidad de Panamá
Ingeniería en Manejo de Cuencas y Ambiente



4.1.1 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) para las estaciones de la cuenca N°128 río La Villa

Corresponde a las estaciones ubicadas en Los Santos, Las Minas, Macaracas, La Mesa de Macaracas, Los Pozos, Pese, Llano de Piedra y Pitaloza Arriba. Todas pertenecientes a la Dirección de Hidrometeorología (ETESA), y aunque presentan algunos vacíos en sus datos, permitieron caracterizar el comportamiento de la precipitación.

Su ubicación entrega información importante sobre el comportamiento de la precipitación en la península de Azuero, y sus variaciones durante los 30 años de estudio.

4.1.1.1 Estación Los Santos 128-001

De acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), donde se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos acontecidos fueron escasos durante el período de estudio en la estación; una muestra es el comportamiento que tendió a ser normal (años neutros).

Destacándose, en el año 1999 como ligeramente húmedo (0.50 – 1.49) y en el año 2015-16 se presentó una sequía severa con valores de <1.50 (extremadamente seco).

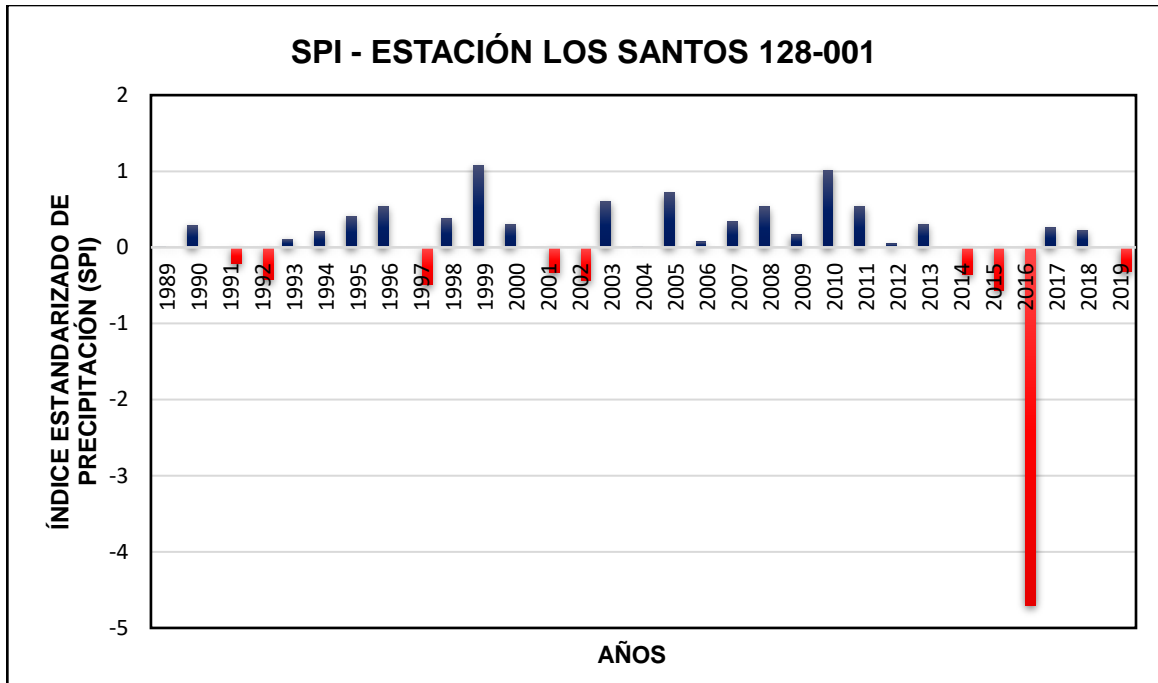


Gráfico 14. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Los Santos

4.1.1.2 Estación Las Minas 128-003

De acuerdo con la tendencia, en el gráfico se puede apreciar que los eventos climáticos acontecidos, se presentaron según el comportamiento de la precipitación en los primeros años desde el año 1989 a 1998 donde tendieron ser años secos (años niño). Luego, desde el año 1999 a 2019 tuvo un comportamiento variado de normal a seco sobresaliendo eventos climáticos extremos con valores de -0.50 – 1.49 (ligeramente seco). Considerándose, que en el período de estudio sobresalieron los eventos de sequías en el 2002, 2015 y 2019 siendo años secos.

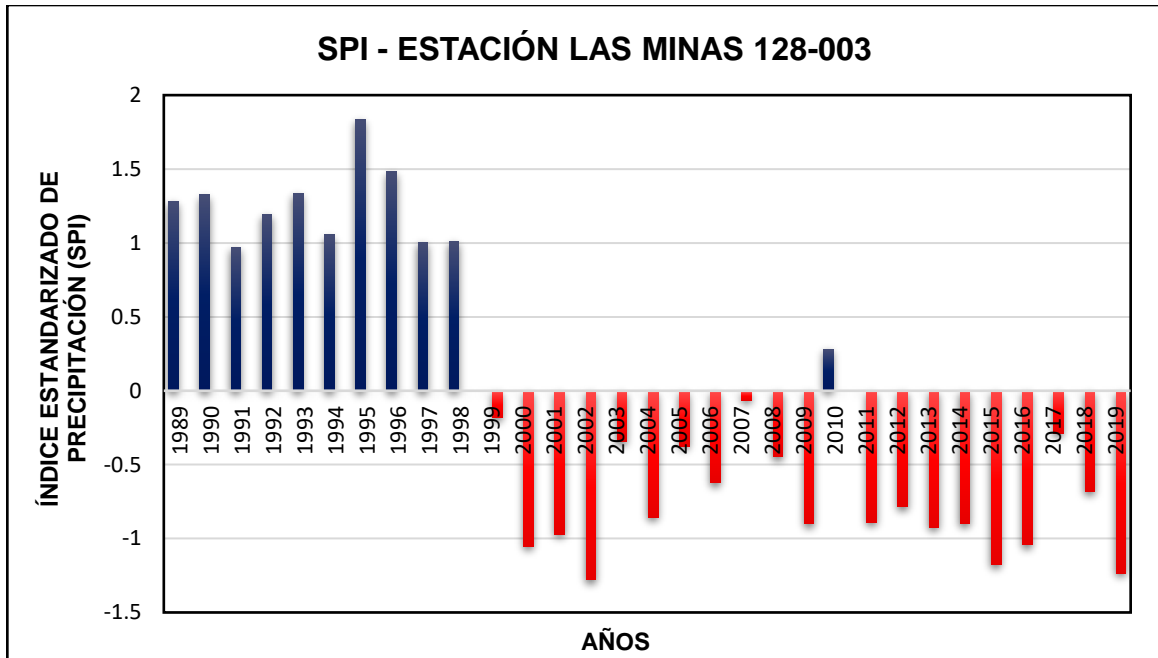


Gráfico 15. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Las Minas

4.1.1.3 Estación Macaracas 128-004

De acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), donde se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos acontecidos se presentaron en menor escala desde el año 1989 a 2012 con un comportamiento que muestra que se registraron de normal a húmedo; luego desde el año 2013 hasta el año 2019 fueron años secos (años niño) según los valores obtenidos del SPI de <1.50 (sequía severa). Destacándose, como 2013, 2015 y 2019 por ser años secos.

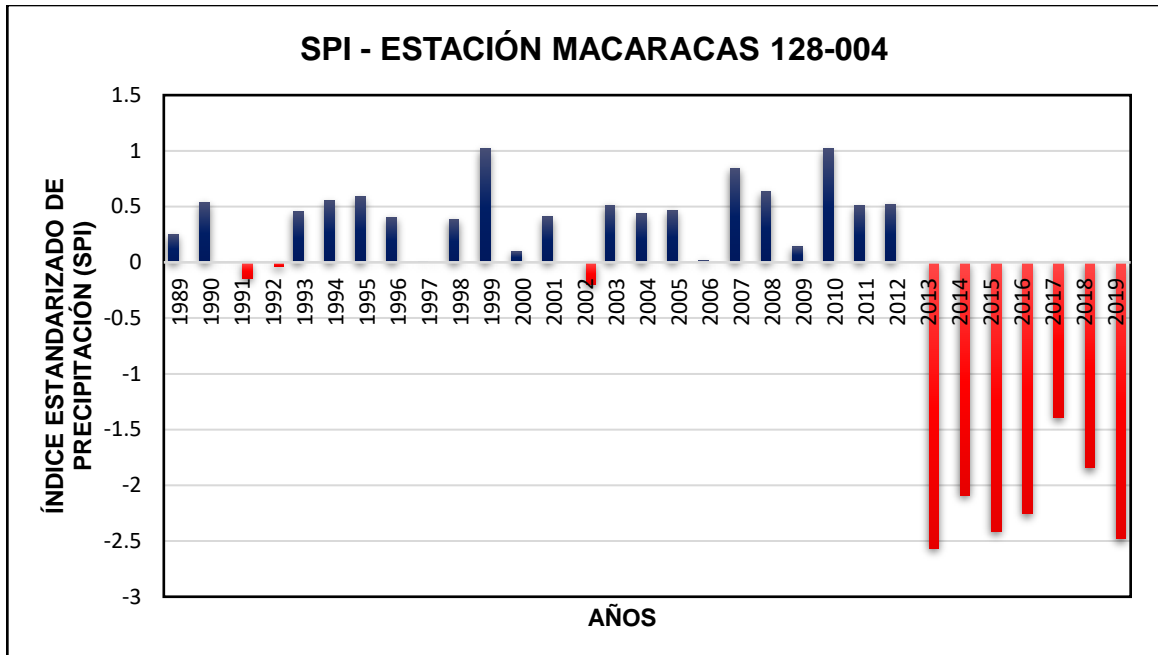


Gráfico 16. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Macaracas

4.1.1.4 Estación La Mesa de Macaracas 128-005

De acuerdo con la tendencia, en el gráfico se puede apreciar que los eventos climáticos acontecidos fueron variados, que desde el año 1989 a 1997 muestran un comportamiento húmedo, el resto de los años se comportan de normal a seco.

Destacándose, los eventos climáticos extremos se presentaron en el año 1992, 1994, 1995 y 1996 con valores >1.50 (extremadamente húmedo); además, en el año 2002, 2015 y 2019 con valores <1.00 presentándose eventos de sequías.

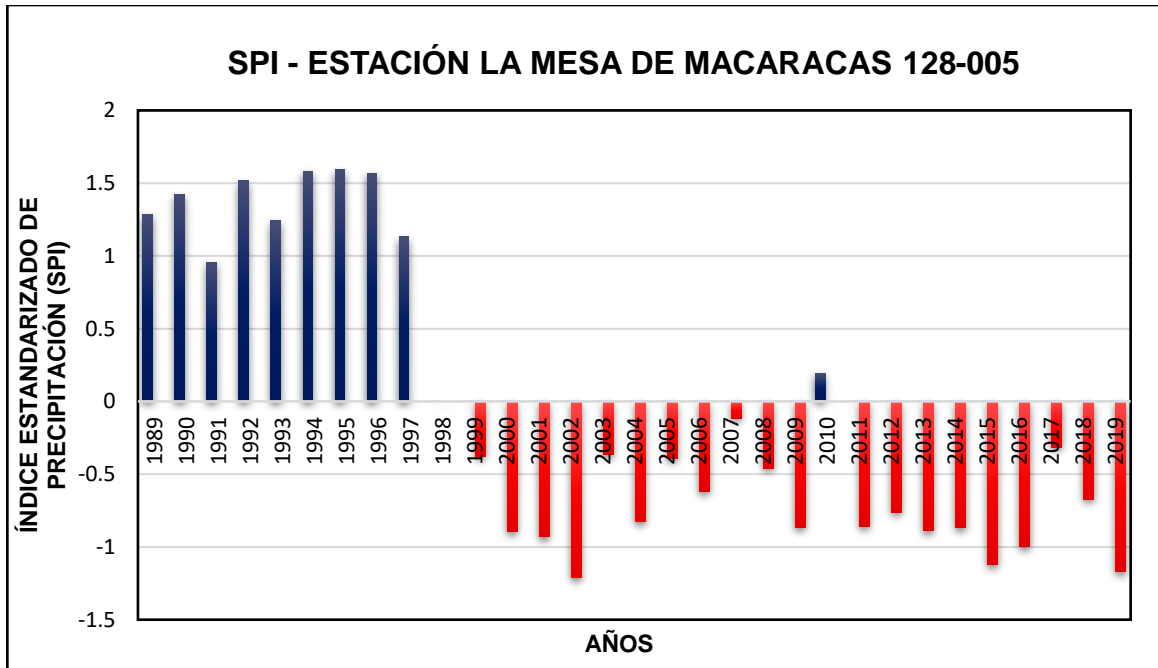


Gráfico 17. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación La Mesa de Macaracas

4.1.1.5 Estación Los Pozos 128-006

De acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), donde se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos acontecidos que se presentaron en la estación de manera variada; siendo así una muestra en el comportamiento húmedo desde el año 1989 a 1997; mientras que el resto de los años (1998 a 2019) se comportaron de normal a seco. Considerándose, como 2002, 2015 y 2019 como años secos por presentar eventos de sequías con valores <1.50 en resultados del SPI.

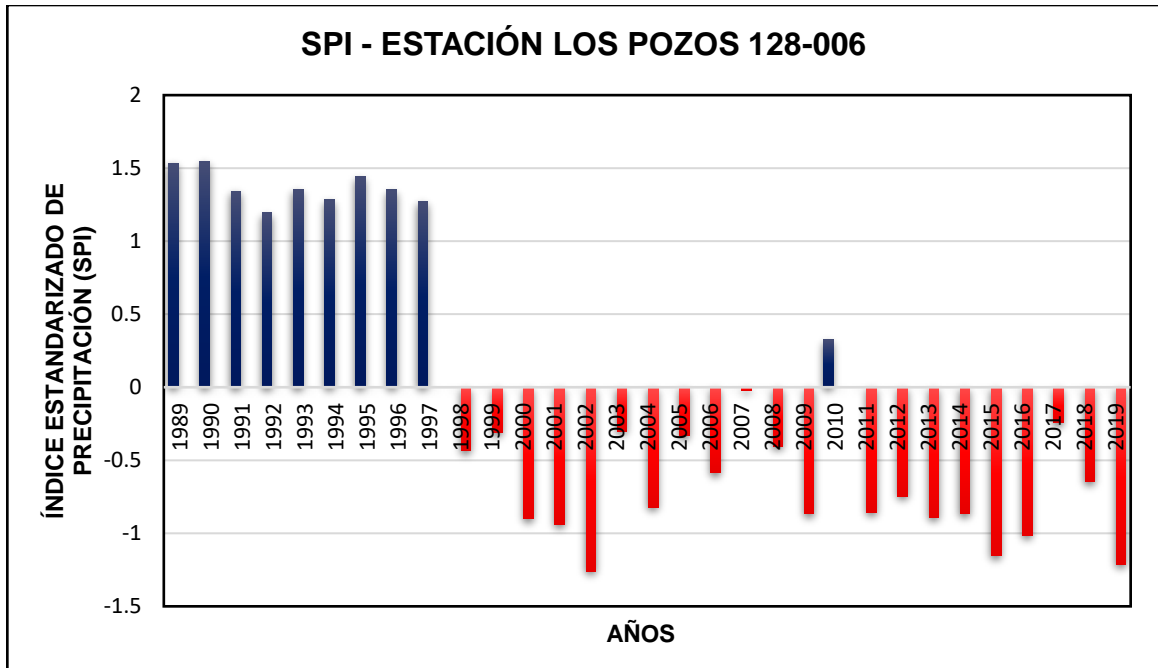


Gráfico 18. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Los Pozos

4.1.1.6 Estación Pesé 128-010

De acuerdo con la tendencia, en el gráfico se puede apreciar que los eventos climáticos acontecidos durante el período de estudio fueron escasos el comportamiento fue en su mayoría normal (años neutro).

Destacándose, los años 2002, 2015 y 2016 por demostrar que los valores del índice estandarizado de precipitación (SPI) son de -0.50 presentándose eventos de sequía.

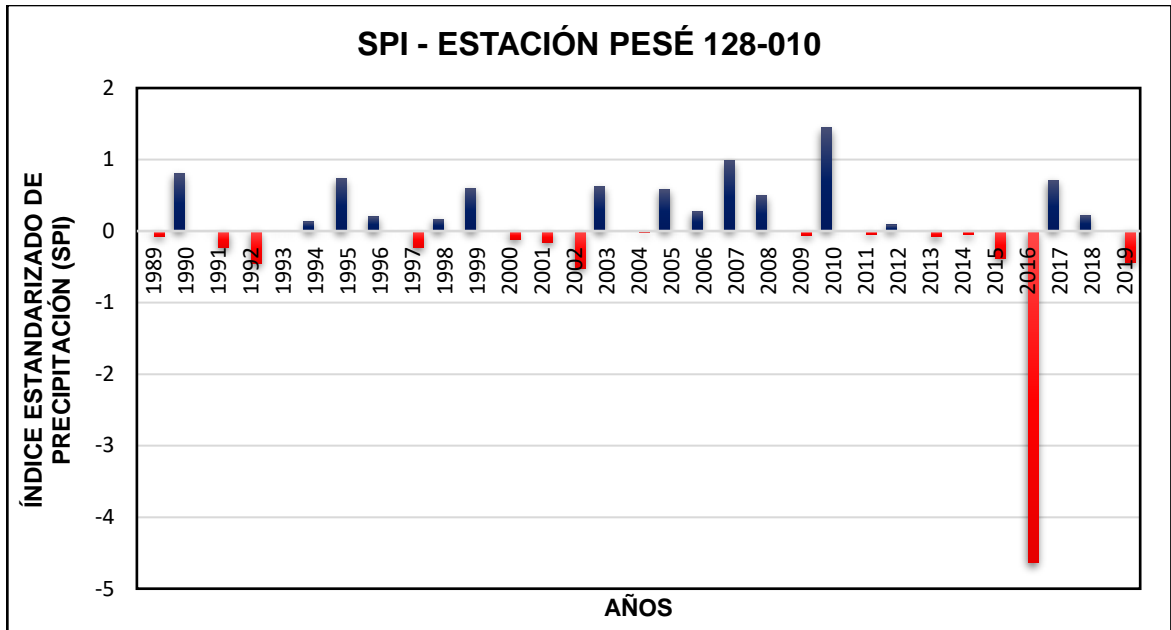


Gráfico 19. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Pesé

4.1.1.7 Estación Llano de Piedra 128-011

De acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos acontecidos que se presentaron en el período de estudio fueron variados; donde una muestra fue el comportamiento húmedo desde el año 1989 a 1997 (años niña); mientras que el resto de los años (1998 a 2019) se comportaron de normal a seco. Destacándose, 2002 y 2015 como los años más secos.

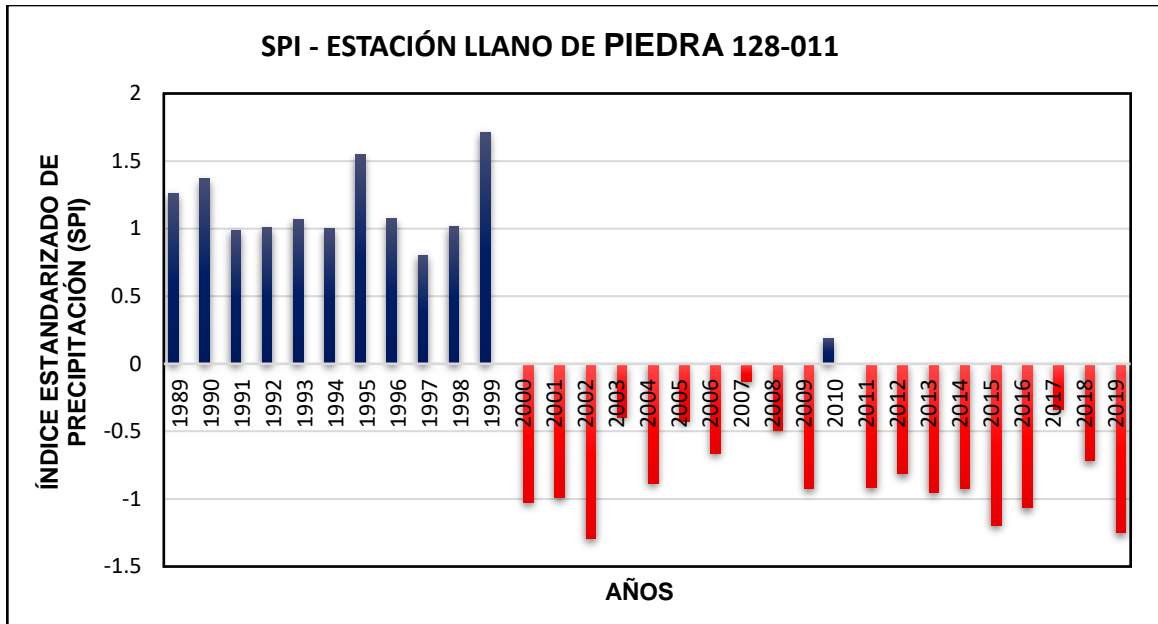


Gráfico 20. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Llano de Piedra

4.1.1.8 Estación Pitaloza Arriba 128-012

De acuerdo con la tendencia, en el gráfico se puede apreciar que los eventos climáticos acontecidos que se presentaron durante el período de estudio fueron variados; siendo así, una muestra en el comportamiento húmedo del año 1989 a 1997; mientras que el resto de los años (1998 a 2019) se comportaron de normal a seco. Destacándose, el año 2019 como el más seco.

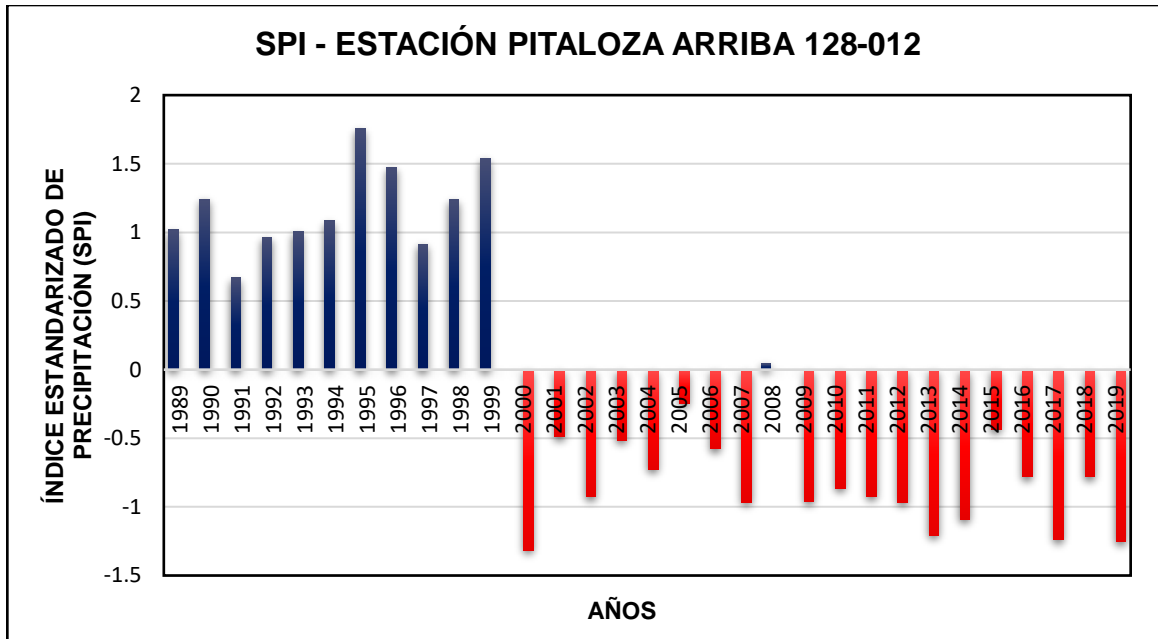


Gráfico 21. Índice Estandarizado de precipitación (SPI) estación Pitaloza Arriba

4.1.2 Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) en las estaciones de la cuenca N°132 río Santa María

Corresponden a las estaciones ubicadas en El Palmar, Los Valles, Laguna La Yeguada, Cerro Verde, Calobre, Divisa y Santa Fe. Todas ellas pertenecientes a la Empresa de Trasmisión Eléctrica- Dirección de Hidrometeorología (ETESA) y en menor medida al Ingenio Santa Rosa, y son las que poseen mayor extensión en los registros de precipitación de la región del Arco Seco, por lo que su información fue indispensable para identificar períodos de mayor y menor sensibilidad donde los eventos climáticos representaron un alto índice de incidencias o resección.

4.1.2.1 Estación El Palmar 132-001

De acuerdo con la gráfica es posible observar que la estación ha tenido un comportamiento en cuanto a los valores del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) donde se ha presentado un aumento en sus precipitaciones que va de los años de 1989 a 1996 y luego de 1997 a 2004. Pero a la vez se ha observado que la precipitación ha disminuido provocando la mayor cantidad de eventos secos que va desde 2005 a 2014 y luego en el 2016 siendo años secos (niños).

Destacando según los valores del índice Estandarizado de Precipitación (SPI) por encima del rango de >1.50 (extremadamente húmedo) los años 1996, 1999 y 2003. Y <-1.50 (extremadamente seco) los años de 2012 y 2013 donde se ha alcanzado el grado de sequía severa.

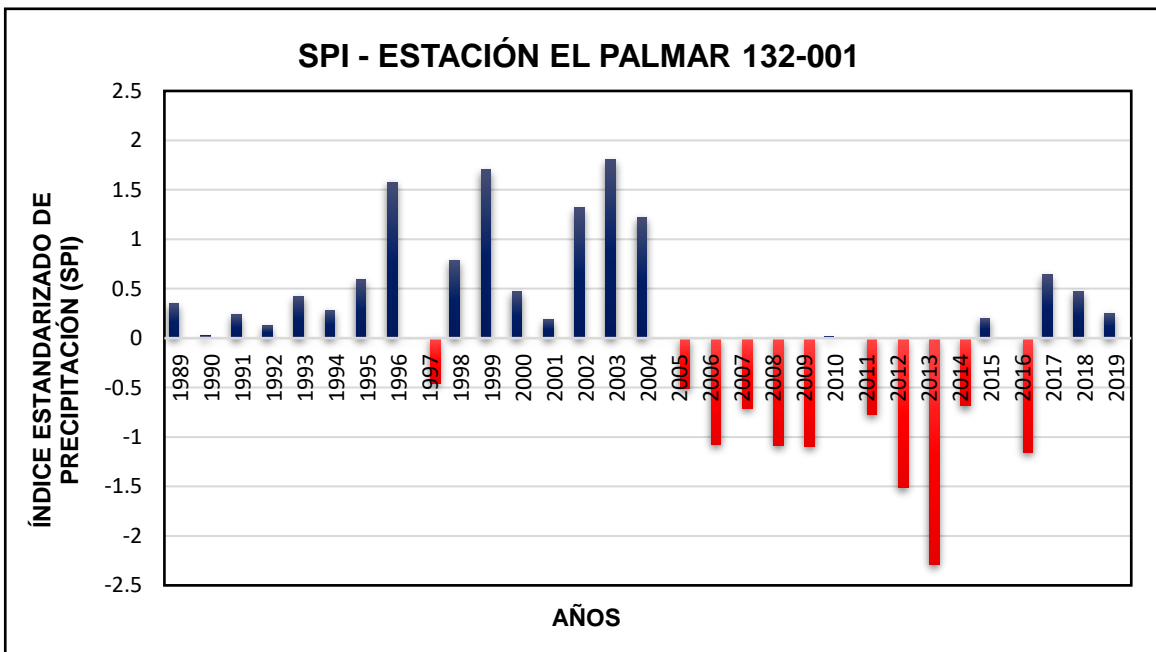


Gráfico 22. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación El Palmar

4.1.2.2 Estación Los Valles 132-003

Con respecto a la tendencia, el gráfico muestra que la estación tiene un comportamiento variado, así mismo, se puede señalar que los eventos climáticos acontecidos son pocos continuos; que de acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI) se muestra que se comportaron en su mayoría los años dentro del período de estudio están dentro del rango de años normales (-0.40 a 0.49) donde influyen factores climáticos diferentes como el relieve y el viento.

Destacándose, los años 1999 y 2010 como años húmedos (> 1.50 extremadamente húmedo) y 2015-16 como años secos (<1.50 extremadamente seco).

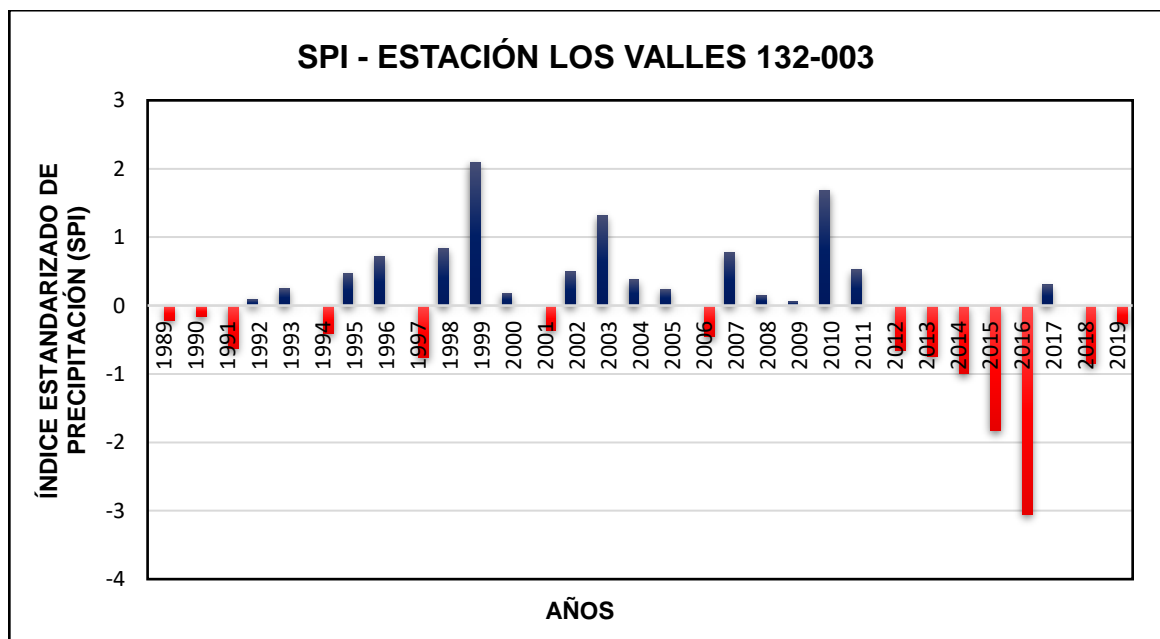


Gráfico 23. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Los Valles

4.1.2.3 Estación Laguna La Yeguada 132-006

De acuerdo con los valores obtenidos del cálculo del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos acontecidos son concurridos dentro de los años del período de estudio, siendo así los primeros años de 1989 a 1994 tienden a ser un período de seco a normal. Luego, desde el año 1995 a 2013 se observa una variación donde sobresalen los eventos climáticos húmedos. Entonces, desde el año 2014 a 2019 tiende nuevamente a producirse una variación entre años secos y normales. Destacándose, 1999 y 2010 como años húmedos (> 1.50 extremadamente húmedo) y 2015-16 como años secos (< 1.50 extremadamente seco).

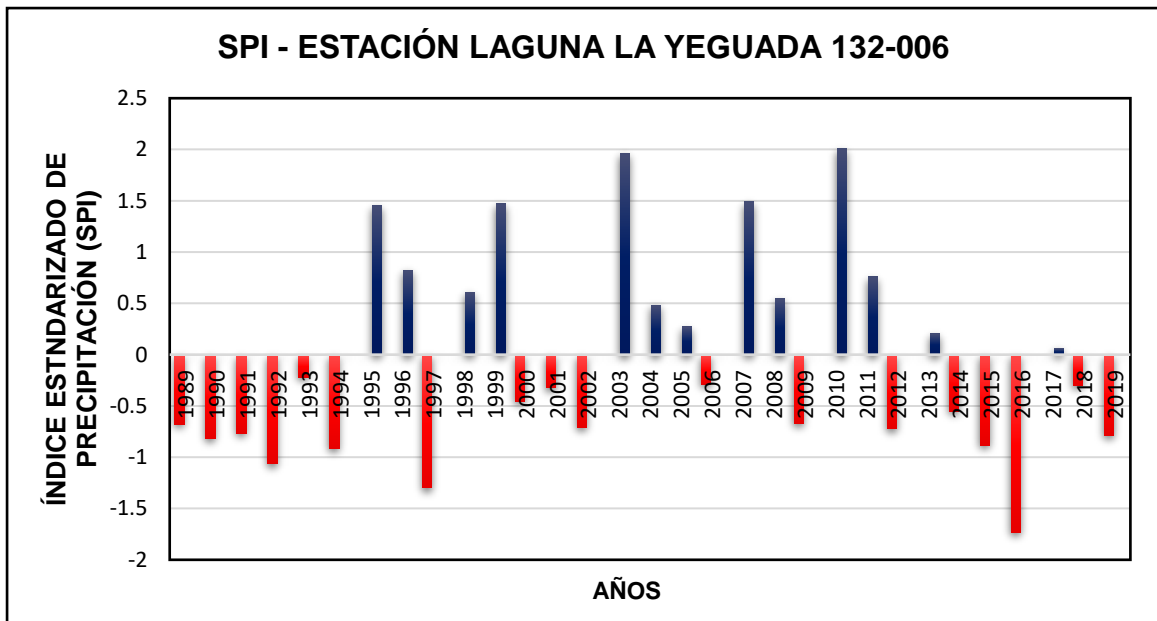


Gráfico 24. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Laguna La Yeguada

4.1.2.4 Estación Cerro Verde 132-008

De acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), donde se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos acontecidos fueron poco continuos donde se presentaron en forma muy variada, ya que durante el período de estudio se pudo observar que en 1995 y 1996 tendieron a ser años húmedos (>1.50 extremadamente húmedo) y en 2002 y 2015-16 como los años más secos dentro de la estación por estar en el rango de (<1.50 extremadamente seco) alcanzando el grado de producirse una sequía severa.

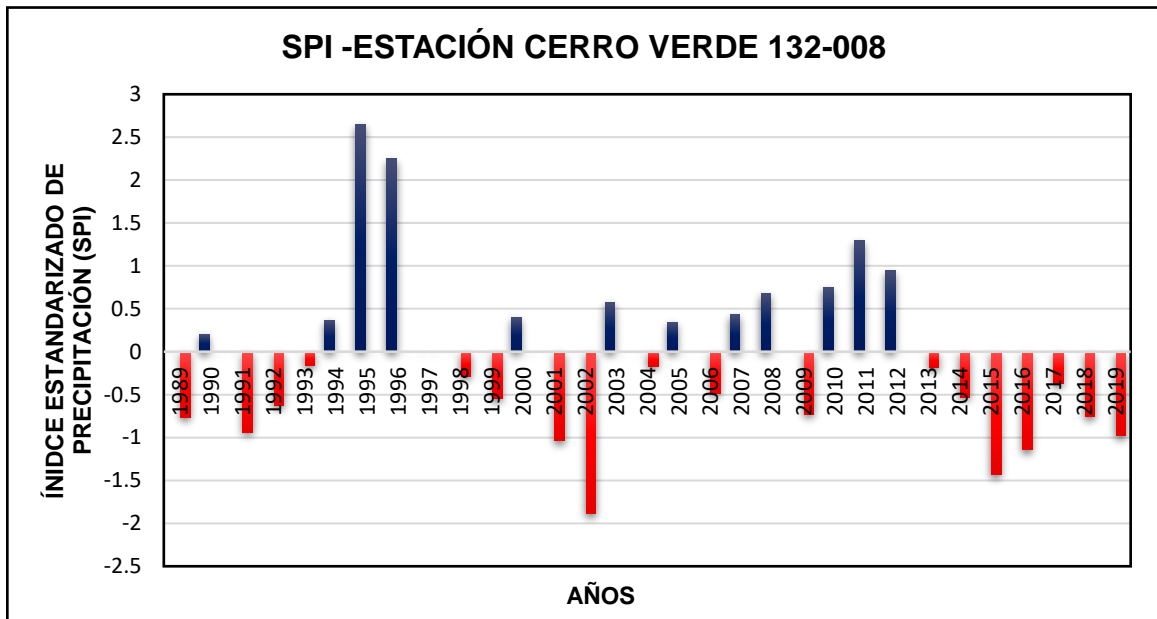


Gráfico 25. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Cerro Verde

4.1.2.5 Estación Calobre 132-010

De acuerdo con la tendencia, en el gráfico se puede apreciar los eventos climáticos acontecidos que se presentaron fueron escasos dentro del período de estudio. Considerándose, como 1995, 2003, 2007 y 2010 como años húmedos; siendo así 1991-92, 1997, 2015-16 como los años más secos por presentar

valores del índice estandarizado de precipitación (SPI) de -1.00 alcanzando el grado de sequía severa; mientras que los años restantes tendieron a ser normal.

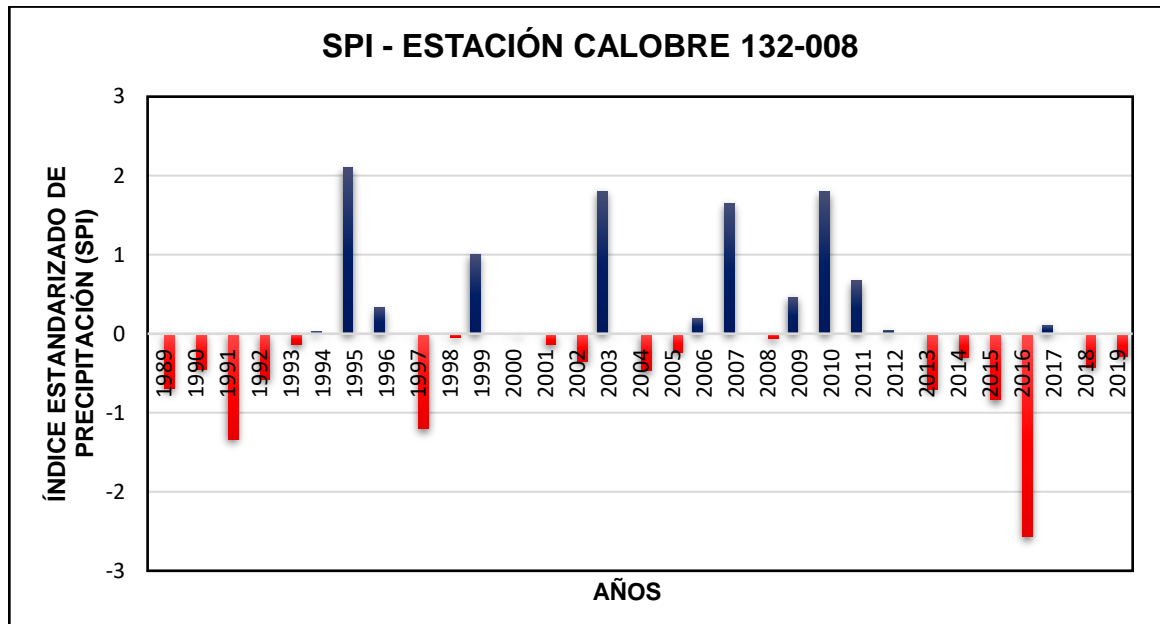


Gráfico 26. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Calobre

4.1.2.6 Estación Divisa 132-012

De acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), donde se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos extremos acontecidos fueron mínimos dentro de la estación por lo que en el período de estudio se muestra un comportamiento normal. Destacándose, como el año 2003 como el año más húmedo; y el año 2016 como el año más seco.

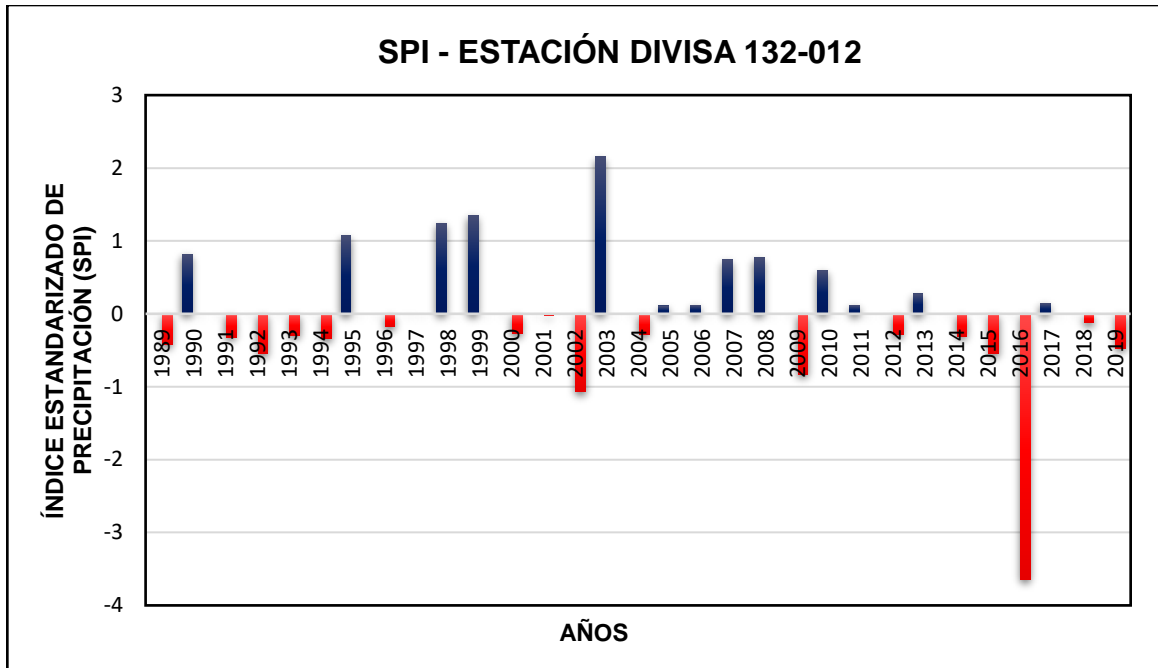


Gráfico 27. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Divisa

4.1.2.7 Estación Santa Fe 132-033

De acuerdo con los valores obtenidos del Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), donde se aprecia en la gráfica que los eventos climáticos acontecidos fueron variados, se muestra un comportamiento seco a húmedo durante los años de estudio dentro de la estación.

Considerándose, el año 1999, 2002, 2003, 2010 y 2011 como los años más húmedos y a la vez el año 2015 y 2016 como los años más secos.

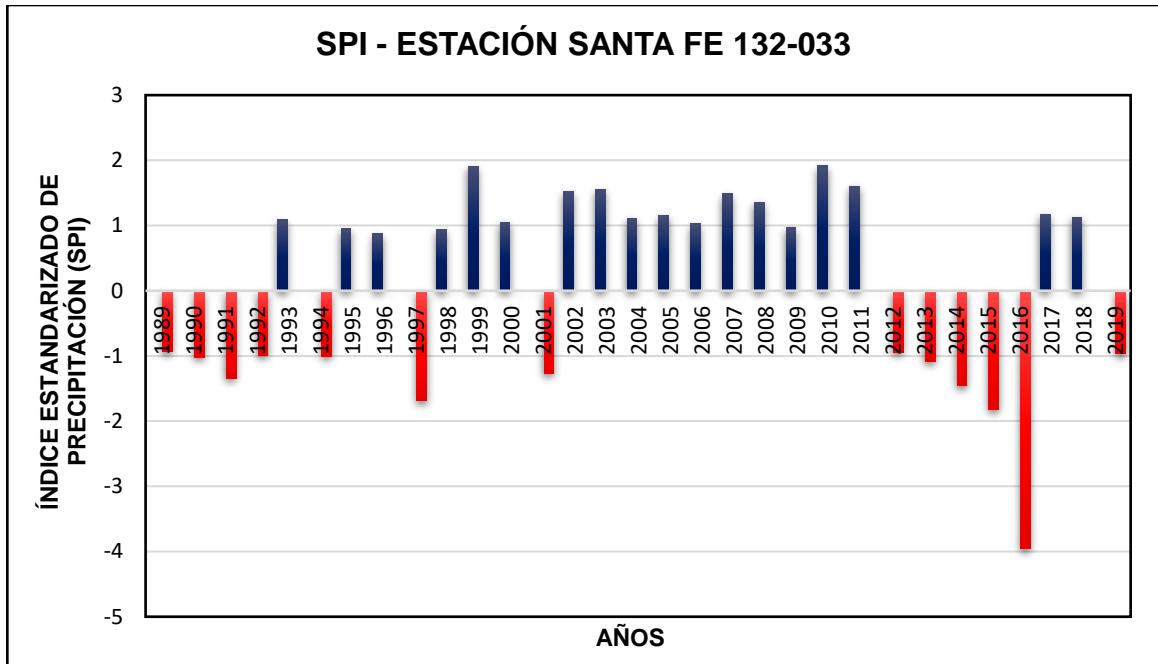


Gráfico 28. Índice estandarizado de precipitación (SPI) estación Santa Fe

4.2 DISCUSIÓN

La sequía está relacionada directamente con el déficit de precipitación; en este sentido para el período 1989-2019, las precipitaciones en el área de estudio presentaron variaciones de acuerdo con fenómenos naturales como el Fenómeno El Niño y por otro lado a los ciclos temporales determinados por los movimientos de rotación y traslación terrestres y por la localización geográfica. En cuanto, el análisis de la sequía se dividió por cuencas: cuenca N°128 río La Villa y cuenca N°132 río Santa María. En ambas cuencas las estaciones meteorológicas, se encuentran distribuidas en relieves de valles y montañas donde influyen diferentes factores climáticos.

En base a los datos de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration-**NOAA** por sus siglas en

inglés), se realizó una validación con los resultados obtenidos del índice estandarizado de precipitación (SPI) donde se tomaron en cuenta entre ambas cuencas dos estaciones meteorológicas con menos datos faltantes dado que al principio en el procesamiento de datos se seleccionó una estación base por cada cuenca para relacionar su información con las demás estaciones que presentaban registros discontinuos y así realizar el relleno y extensión de datos faltantes. Como resultado al observar los gráficos 6 y 13, se muestran los resultados negativos de SPI en la parte alta de la cuenca N°128 río La Villa en la estación Pesé (128-010) y en la parte media de la cuenca N°132 río Santa María en la estación Calobre (132-010) coincidiendo en su mayoría con los años clasificados como El Niño que indican sobre la intensidad fuerte del fenómeno los años: 1991, 1992, 1997, 2002, 2004, 2009, 2015 y 2019.

A partir de los resultados obtenidos se confirma que el índice estandarizado de precipitación (SPI) es fundamental para la caracterización de sequías meteorológicas en el contexto tropical; ya que en Panamá de acuerdo con el registro de las precipitaciones cuando disminuyen se considera como período seco o de verano que abarca cuatro meses que van desde la segunda mitad de diciembre a la segunda mitad de abril, esto se ve influenciado por la ubicación geográfica del país que se encuentra en la región Niño 3.4 que sirve de referencia principal para evidenciar los eventos climáticos de El Niño, La Niña o neutro.

Por lo consiguiente, esta caracterización de sequías meteorológicas en la región del Arco Seco de Panamá da espacio a nuevas líneas de investigación, que permitan dimensionar acciones para mitigar sus efectos siendo parte fundamental

para los programas y proyectos de sostenibilidad y desarrollo del país que buscan la adaptabilidad y resiliencia climática.

5 CONCLUSIONES

- Fundamentalmente la variación de las precipitaciones y las condiciones naturales en períodos húmedos y secos contribuyen a la incidencia e intensificación de eventos climáticos extremos pues se presentan descensos marcados y continuos de la precipitación y de las condiciones de humedad en el transcurso del tiempo. Por lo que se determinó el Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), en el período de (1989-2019) aplicado a la cuenca N°128 río La Villa y la cuenca N°132 río Santa María, donde determinó el comportamiento de las sequías meteorológicas, en base a las fluctuaciones considerada como características de períodos secos y húmedos.
- Se reconocieron los eventos de sequía para la escala anual, en los cuales coincidieron con los años clasificados como El Niño, en la cuales la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA por sus siglas en inglés) indica sobre la intensidad fuerte del fenómeno, siendo el año 1991-92 de mayor magnitud de sequía en la cuenca N°128 río La Villa y la cuenca N°132 río Santa María.
- Según la determinación del índice estandarizado de precipitación (SPI), la sequía disminuye su magnitud en el transcurso del tiempo considerándose una región extremadamente seca en períodos mensuales, mientras que en períodos anuales se categoriza por ser normal presentándose esporádicamente eventos climáticos extremos ya sean húmedos o secos.

- La utilidad práctica de los resultados de este estudio considerando la corta serie empleada en el desarrollo del índice sirve como indicador para evaluar el impacto del déficit de precipitación sobre la disponibilidad en los recursos hídricos y los efectos que se producen para los diferentes sectores de ambas cuencas.

6 RECOMENDACIONES

- Esta investigación es una fuente útil para la toma de decisión y planificación, que permite mejor la administración del abastecimiento del recurso hídrico para las diferentes actividades productivas, y el desarrollo de la capacidad institucional en temas de prevención por medio de un sistema de alerta temprana ante eventos de sequías.
- Para investigaciones futuras en temas de sequías, se recomienda emplear y comparar la información con otros índices de sequías (ISSP, SPEI, Porcentaje de la Precipitación Normal, etc.), de la misma forma realizar un análisis con otras variables climatológicas y tendencia del balance hídrico a fin de tener una idea precisa de los impactos que ha ocasionado los eventos de sequía meteorológica.
- Se recomienda continuar los estudios del índice estandarizado de precipitación (SPI) considerando la precipitación media histórica para diferentes sectores de ambas cuencas.
- Es recomendable realizar una zonificación de la vulnerabilidad a la sequía en las cuencas, usando información socioeconómica y ambiental, teniendo en cuenta diferentes criterios: zonas de producción agrícola y ganadera, centros poblados, zonas forestales, entre otras, así como establecer los indicadores para clasificar los rangos de vulnerabilidad a la sequía de los sectores social, hídrico y agrícola.
- Capacitar a los gobiernos regionales, locales y a la población con temas referentes a la vulnerabilidad en la evaluación y determinación de las

sequías, a fin de que colabore a prever daños irreversibles y ayudar a la toma de decisiones para la reducción de los impactos negativos de las sequías en la zona.

7 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Araya E, C. (2014). Configuración espacial, variabilidad y tendencias del índice de concentración de las precipitaciones (CI) en Chile Central. Tesis. Licenciatura en geografía. Santiago. Chile. Universidad de Chile. 104p.

ArcGis Desktop. Sf. Qué es ArcMap. Consultado el 13 de noviembre de 2021. Disponible en: <https://desktop.arcgis.com/es/arcmap/latest/map/main/what-is-arcmap-.htm>

Barrera, K. (2015). Análisis de la temperatura ambiental y la precipitación pluvial en relación con el índice oceánico del niño (ONI), en seis zonas de vida de Guatemala. (en línea). Tesis Ing. Ambiental. Guatemala, Universidad Rafael Landívar. Consultado el 11 de diciembre de 2019. Disponible en: <http://recursosbiblio.url.edu.gt/tesisjcem/2015/06/15/Barrera-Karen.pdf>

Brendel, A. (2015). Aplicación del índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración en la región semiárida bonaerense (1970-2012). Consultado el 02 de abril de 2021. Disponible en: https://repositoriodigital.uns.edu.ar/bitstream/handle/123456789/3253/tesis_brendel%20A..pdf?sequence=1&isAllowed=y

Campos, D. (2018). Cuantificación con el SPEI de Sequías históricas y bajo cambio climático probable en la estación climatológica Zacatecas, México. Consultado el 02 de abril de 2021. Disponible en: http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_abstract&pid=S2007-24222018000200210&lng=es&nrm=iso#:~:text=Para%20las%20sequ%C3

[%ADas%20hist%C3%B3ricas%2C%20los,%2C%205.0%25%20y%201.3%25.](#)

Capel M, J. (1999). El fenómeno ENSO (El Niño/Oscilación del Sur) en 1997-1998: Alteraciones climáticas inducidas en el mundo. (en línea). Consultado el 21 de marzo del 2020. Disponible en: [Dialnet-EIFenomenoENSOEINinoOscilacionDelSurEn19971998-199687.pdf](#)

Cárdenas, G. (2019). El fenómeno de EL Niño. (en línea). Consultado el 1 de marzo de 2020. Disponible en: https://www.prensa.com/opinion/fenomeno-Nino_0_5251724824.html

Carrasco J, J. (2018). Caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca Alto Jequetepeque mediante índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración. Consultado el 07 de septiembre de 2021. Disponible en: <https://repositorio.unc.edu.pe/handle/UNC/2581>

CATHALAC (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe). (2018). Fortalecimiento de la Resiliencia de los Recursos Hídricos. Consultado el 13 de enero del 2020. Disponible en: <http://www.cathalac.int/resiliencia/>

CATHALAC (Centro del Agua del Trópico Húmedo para América Latina y el Caribe). sf. Cuencas Hidrográficas de Panamá río La Villa - Cuenca 128. Consultado el 15 de agosto de 2021. Disponible en: <http://cuencas.cathalac.org/home-2/la-villa/80-ficha-tecnica-128/file>

CATIE-ANAM. (2008). Plan de Ordenamiento Territorial de la cuenca del río La Villa. Consultado el 13 de enero de 2022. Disponible en: https://apronadpanama.files.wordpress.com/2014/07/plan_de_ordenamiento_territorial_cuenca_la-villa.pdf

Cerón, WL; Carvajal E, Y; Baquero M, O. (2015). Índice estandarizado de precipitación (SPI) para la caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua-Colombia. Consultado el 13 de marzo de 2020. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/292943866_Indice_estandarizado_de_precipitacion_SPI_para_la_caracterizacion_de_sequias_meteorologicas_en_la_cuenca_del_rio_Dagua-Colombia

Colotti, E; Cedeño, M; Montañez, C. (2013). La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela. Consultado el 13 de marzo de 2020. Disponible en: <https://www.redalyc.org/pdf/721/72130180002.pdf>

Cruz C, G. (2021). Análisis de sequías meteorológicas, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizado (SPI), en el período (1964 - 2018) en la región de Puno. Consultado el 07 de septiembre de 2021. Disponible en: http://repositorio.unap.edu.pe/bitstream/handle/UNAP/15865/Cruz_Chagua_Gyorgy_Niwdel.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Dagnino, J. (2014). Correlación. Revista Chile Anest 2014; 43: 150-153.

Consultado el 12 de noviembre de 2021. Disponible en:

<https://revistachilenadeanestesia.cl/PII/revchilanestv43n02.15.pdf>

Diéguez, M. (2018). Escasez De Agua En La Cuenca Del Río La Villa Debido Al

Cambio Climático. Consultado el 15 de agosto de 2021. Disponible en:

<https://piraguamdp.com/2018/07/25/escasez-de-agua-en-la-cuenca-del-rio-la-villa-debido-al-cambio-climatico/>

Dirección de Hidrometeorología (ETESA). (2001). El Fenómeno de El Niño y sus

efectos en Panamá. (en línea). Consultado el 27 de febrero de 2020.

Disponible en: <http://www.hidromet.com.pa/documentos/ninoynina.pdf>

Dirección de Hidrometeorología (ETESA).sf. Índice Estandarizado de

Precipitación. Consultado el 13 de marzo de 2020. Disponible en:

<https://www.hidromet.com.pa/es/indice-estandarizado-precipitación>

Dirección de Hidrometeorología (ETESA). sf. ENOS. Consultado el 10 de

septiembre de 2021. Disponible en: <https://www.hidromet.com.pa/es/enos>

Esquivel B, G. (2017). Análisis de sequías mediante el índice estandarizado de

precipitación (SPI) en dos cuencas de la Sierra Madre Occidental.

Consultado el 10 de septiembre de 2021. Disponible en:

<https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=6512478>

Fernández, R. (2010). El Fenómeno del niño en la Región del Arco Seco y sus

efectos en el Sector Agropecuario. Tesis. Ing. En Manejo de Cuencas y

Ambiente. Panamá, Universidad de Panamá.

Frente al Cambio Climático en dos ciudades de la Cuenca del Río La Villa del Arco Seco de Panamá. Consultado el 13 de enero de 2020. Disponible en: <http://www.cathalac.int/resiliencia/>

Hernández L, *et al.* (2018). Sobre el uso adecuado del coeficiente de correlación de Pearson: definición, propiedades y suposiciones. Consultado el 12 de noviembre de 2021. Disponible en: https://www.revistaavft.com/images/revistas/2018/avft_5_2018/25sobre_uso_adecuado_coeficiente.pdf

Hernández, R.; Fernández, C.; Baptista, P. (2021). Metodología de la Investigación. México, Mc Graw Hill Education. Consultado: 1 de febrero de 2021. Disponible en: https://www.esup.edu.pe/descargas/dep_investigacion/Metodologia%20de%20la%20investigaci%C3%B3n%205ta%20Edici%C3%B3n.pdf

IPCC. (2007, 2013). Climate Change 2007 - The Physical Science Basis: Working Group I Contribution to the Fourth Assessment *Report of the IPCC (Climate Change 2007)*, Cambridge University Press Cambridge United Kingdom and New York NY USA.

IPCC. (2019). Las decisiones que adoptemos ahora son fundamentales para el futuro de los océanos y la criósfera. *Grupo Intergubernamental de expertos sobre el cambio climático*, 7. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>

Laguna, C. sf. Correlación y regresión lineal. Instituto Aragonés de las Ciencias de Salud. [Archivo PDF]

Lorenzo, J. (2012). Las sequías hidrológicas en la Península Ibérica: Análisis y caracterización espacio temporal, influencias climáticas y el efecto de la gestión hidrológica en un contexto de cambio global. Tesis Ph.D. Zaragoza, España.

Marcos, Óscar. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas (Esp)*, (26),59-80. ISSN: 0213-4691. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=17602604>

Mckee, *et al.* 1993. The relationship of drought frequency and duration to time scales. Consultado el 18 de octubre de 2019. Disponible en: https://www.droughtmanagement.info/literature/AMS_Relationship_Drought_Frequency_Duration_Time_Scales_1993.pdf

Mendoza, V., (2012). Información climatológica y meteorológica para pronosticar y poder mitigar los efectos de una sequía. *s.l., s.e.* Disponible en http://www.inegi.org.mx/eventos/2012/Sequías_Inundaciones/doc/P2_Efectos_Sequía_2012VictorMendoza.pdf.

Merg, C. *et al.* (2011). Mapas digitales regionales de lluvias, índice estandarizado de precipitación e índice verde. Consultado el 07 de octubre de 2021. Disponible en: https://scholar.google.com/scholar?hl=es&as_sdt=0%2C5&q=%C3%ADndice+estandarizado+de+precipitaci%C3%B3n&oq=Indice+estanda#d=gs_qa bs&u=%23p%3D0Bg-ouPSNloJ

MIAMBIENTE (Ministerio de Ambiente). (2009). Plan de Manejo Integral de la parte alta, media y baja de la cuenca del río Santa María. Consultado el 7 de octubre de 2021. [ARCHIVO PDF]

MIAMBIENTE (Ministerio de Ambiente). (2020). Plan Nacional contra la sequía. Consultado el 10 de octubre de 2021. Disponible en: https://www.unccd.int/sites/default/files/country_profile_documents/Plan%20Nacional%20contra%20la%20Sequia.pdf

MIAMBIENTE (Ministerio de Ambiente), SINIA (Sistema Nacional de Información Ambiental). (2022). Cobertura boscosa y Uso de suelo en la República de Panamá 2022. Consultado el 17 de septiembre de 2022. Disponible en: <https://www.sinia.gob.pa/index.php/cobertura-boscosa/comparaciones-de-cobertura-boscosa>

Miró, J; Estrela, M; Pastor, F; Millán, M., (2010). Análisis comparativo de tendencias en la precipitación, por distintos INPUTS, entre los dominios hidrológicos e *la Segura y del Júcar (1958-2008)*. 49(2009):129-157. Disponible en http://www.cervantesvirtual.com/downloadPdf/a_nalisis_-_comparativo-de-tendencias-en-la-precipitacion-por-distintos-inputs-entre-losdominios-hidrologicos-del-segura-y-del-jucar-1958

NOAA (Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration). 2022. Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (National Oceanic and Atmospheric Administration-NOAA). Consultado el 07 de octubre de 2021. Disponible en: <https://www.clima.com/noaa>

OMM (Organización Meteorológica Mundial). 2012. OMM N°1090 – Índice normalizado de precipitación (Guía del Usuario). 16p.

Olivares, B. *et al.* (2016). Estudio de la Sequía Meteorológica en Localidades de los Llanos de Venezuela Mediante el Índice de Precipitación Estandarizado. Consultado el 10 de septiembre de 2021. Disponible: http://www.scielo.org.bo/scielo.php?pid=S1683-07892016000100004&script=sci_arttext

Palmer, W.C. (1965): Meteorological drought. Consultado el 10 de septiembre de 2021. Disponible en: https://www.droughtmanagement.info/literature/USWB_Meteorological_Drought_1965.pdf

Peña G, M. (2016). Análisis comparativo de índices de sequía en Andalucía para el período 1901-2012. Disponible en: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5607393>

Podestá, G., Skansi, M., Herrera, N., & Veiga, H., (2016). Descripción de índices para el monitoreo de sequía meteorológica implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. *Reporte Técnico CRC-SAS*, 1, 21. http://www.crc-sas.org/es/content/monitoreo/reporte_sequias.pdf

Rotondo, V; Seiler, R. (1999). USO DEL INDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACION PARA CARACTERIZAR SEQUIAS AGROMETEOROLOGICAS EN RIO CUARTO (ARGENTINA). Consultado

el 10 de septiembre de 2021. Disponible en:
<http://sbagro.org/files/biblioteca/505.pdf>

Scordo, F; Piccolo, M; Perillo, G. (2018). Aplicación del índice de precipitación evapotranspiración estandarizada (SPEI) para identificar períodos húmedos y secos en la Patagonia Andina y extra andina Argentina. Consultado el 02 de abril de 2021. Disponible en: <https://ri.conicet.gov.ar/handle/11336/86159>

USGS (*Science for changing world*). 2021. Ciclo del agua. Consultado el 17 de mayo de 2022. Disponible en: <https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Ciclo-del-agua.jpg>

Villalobos T, D. (2016). Análisis actual y proyecciones de la temperatura y precipitación del Norte Grande y su Altiplano en Chile. Variabilidad (1970-2013) y Cambio Climático en el escenario futuro RCP 8.5 (2080). Tesis. Lic. En Geografía. Santiago. Chile. Universidad de Chile.115p.

World Meteorological Organization, & Atmosphere Watch Global. (2017). The State of Greenhouse Gases in the Atmosphere Based on Global Observations through 2016. World Meteorological Organization Bulletin, 13, 1-4. <https://doi.org/ISSN 2078-0796>

8 ANEXOS

ANEXO A. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN LOS SANTOS

CALCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	226.8	5.42	0.50	1.18	0.01
1990	240.9	5.48	0.61	1.38	0.29
1991	216.1	5.38	0.42	1.33	-0.21
1992	206.2	5.33	0.33	1.48	-0.43
1993	231.9	5.45	0.54	1.25	0.11
1994	236.8	5.47	0.58	1.32	0.21
1995	247.2	5.51	0.66	1.47	0.41
1996	253.9	5.54	0.71	1.56	0.54
1997	203.2	5.31	0.31	1.53	-0.49
1998	245.4	5.50	0.65	1.44	0.38
1999	283.4	5.65	0.86	1.98	1.08
2000	241.6	5.49	0.62	1.39	0.30
2001	210.4	5.35	0.37	1.41	-0.33
2002	205.5	5.33	0.33	1.49	-0.44
2003	257.5	5.55	0.73	1.61	0.61
2004	226.7	5.42	0.50	1.18	0.01
2005	263.6	5.57	0.76	1.70	0.72
2006	230.1	5.44	0.53	1.23	0.07
2007	243.5	5.50	0.63	1.42	0.34
2008	253.5	5.54	0.70	1.56	0.53
2009	234.7	5.46	0.57	1.29	0.17
2010	279.9	5.63	0.84	1.93	1.01
2011	254.0	5.54	0.71	1.56	0.54
2012	228.9	5.43	0.52	1.21	0.05
2013	241.6	5.49	0.62	1.39	0.30
2014	209.4	5.34	0.36	1.43	-0.36
2015	199.9	5.30	0.29	1.58	-0.56
2016	66.7	4.20	0.00	5.21	-4.70
2017	239.3	5.48	0.60	1.36	0.26
2018	237.7	5.47	0.59	1.33	0.22
2019	211.1	5.35	0.37	1.40	-0.32

MEDIAS	229.98	5.41	c0	2.515517
DESVESTP	38.07		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	-2.78		c2	0.010328
U	0.02		d1	1.432788
ALFA	21.61		d2	0.189269
BETA	10.64		d3	0.001308

ANEXO B. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN LAS MINAS

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T -Transform	SPI- Trans
1989	309.1	5.73	0.90	2.15	1.28
1990	313.0	5.75	0.91	2.18	1.33
1991	282.8	5.64	0.83	1.90	0.97
1992	301.4	5.71	0.88	2.07	1.19
1993	313.8	5.75	0.91	2.19	1.33
1994	289.8	5.67	0.85	1.96	1.06
1995	360.0	5.89	0.97	2.61	1.84
1996	326.8	5.79	0.93	2.31	1.48
1997	285.7	5.65	0.84	1.92	1.01
1998	286.1	5.66	0.84	1.93	1.01
1999	198.1	5.29	0.43	1.30	-0.18
2000	147.0	4.99	0.15	1.96	-1.05
2001	151.3	5.02	0.17	1.89	-0.97
2002	135.3	4.91	0.10	2.14	-1.28
2003	187.8	5.24	0.37	1.42	-0.34
2004	157.6	5.06	0.20	1.81	-0.86
2005	185.8	5.22	0.35	1.44	-0.38
2006	170.8	5.14	0.27	1.63	-0.62
2007	205.9	5.33	0.47	1.22	-0.06
2008	181.4	5.20	0.33	1.49	-0.45
2009	155.2	5.04	0.18	1.84	-0.90
2010	229.9	5.44	0.61	1.37	0.28
2011	155.6	5.05	0.19	1.83	-0.89
2012	161.6	5.09	0.22	1.75	-0.78
2013	153.8	5.04	0.18	1.86	-0.92
2014	155.1	5.04	0.18	1.84	-0.90
2015	140.4	4.94	0.12	2.06	-1.18
2016	147.4	4.99	0.15	1.95	-1.04
2017	191.4	5.25	0.39	1.38	-0.29
2018	167.3	5.12	0.25	1.67	-0.68
2019	137.5	4.92	0.11	2.11	-1.23

MEDIAS	217.44	5.33	co	2.515517
DESVESTP	70.80		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.54		c2	0.010328
U	0.05		d1	1.432788
ALFA	9.95		d2	0.189269
BETA	21.85		d3	0.001308

ANEXO C. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN MACARACAS

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	272.3	5.61	0.60	1.35	0.25
1990	296.0	5.69	0.71	1.56	0.54
1991	241.5	5.49	0.44	1.28	-0.14
1992	249.5	5.52	0.48	1.20	-0.04
1993	288.6	5.67	0.67	1.50	0.45
1994	297.1	5.69	0.71	1.57	0.55
1995	300.2	5.70	0.72	1.60	0.59
1996	284.7	5.65	0.66	1.46	0.41
1997	252.8	5.53	0.50	1.18	0.00
1998	283.2	5.65	0.65	1.45	0.39
1999	338.5	5.82	0.85	1.93	1.02
2000	260.1	5.56	0.54	1.25	0.10
2001	284.9	5.65	0.66	1.47	0.41
2002	237.8	5.47	0.42	1.31	-0.19
2003	293.5	5.68	0.70	1.54	0.51
2004	287.1	5.66	0.67	1.49	0.43
2005	289.7	5.67	0.68	1.51	0.47
2006	253.9	5.54	0.51	1.19	0.02
2007	322.5	5.78	0.80	1.80	0.84
2008	304.1	5.72	0.74	1.64	0.64
2009	263.2	5.57	0.56	1.27	0.14
2010	338.3	5.82	0.85	1.93	1.02
2011	293.1	5.68	0.69	1.54	0.51
2012	294.4	5.69	0.70	1.55	0.52
2013	103.7	4.64	0.01	3.24	-2.56
2014	124.6	4.83	0.02	2.83	-2.09
2015	110.1	4.70	0.01	3.11	-2.41
2016	117.0	4.76	0.01	2.97	-2.26
2017	160.5	5.08	0.08	2.24	-1.39
2018	136.7	4.92	0.03	2.61	-1.84
2019	107.3	4.68	0.01	3.17	-2.48

MEDIAS	260.09	5.52	c0	2.515517
DESVESTP	64.62		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	-1.53		c2	0.010328
U	0.05		d1	1.432788
ALFA	11.20		d2	0.189269
BETA	23.22		d3	0.001308

ANEXO D. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN LA MESA

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	283.4	5.65	0.90	2.15	1.28
1990	296.5	5.69	0.92	2.26	1.43
1991	254.1	5.54	0.83	1.88	0.95
1992	305.3	5.72	0.94	2.34	1.52
1993	279.6	5.63	0.89	2.11	1.24
1994	311.6	5.74	0.94	2.40	1.58
1995	312.7	5.75	0.94	2.40	1.59
1996	310.3	5.74	0.94	2.38	1.57
1997	269.5	5.60	0.87	2.02	1.13
1998	180.8	5.20	0.50	1.18	0.00
1999	156.4	5.05	0.35	1.44	-0.37
2000	126.3	4.84	0.19	1.84	-0.90
2001	124.5	4.82	0.18	1.86	-0.93
2002	110.2	4.70	0.11	2.09	-1.21
2003	157.0	5.06	0.36	1.43	-0.37
2004	130.0	4.87	0.20	1.78	-0.83
2005	155.1	5.04	0.35	1.46	-0.39
2006	141.8	4.95	0.27	1.62	-0.62
2007	173.1	5.15	0.45	1.26	-0.12
2008	151.3	5.02	0.32	1.50	-0.46
2009	127.9	4.85	0.19	1.81	-0.87
2010	194.5	5.27	0.58	1.31	0.19
2011	128.3	4.85	0.20	1.81	-0.86
2012	133.6	4.90	0.22	1.73	-0.76
2013	126.7	4.84	0.19	1.83	-0.89
2014	127.9	4.85	0.19	1.81	-0.87
2015	114.7	4.74	0.13	2.01	-1.12
2016	121.0	4.80	0.16	1.92	-1.00
2017	160.2	5.08	0.38	1.40	-0.31
2018	138.7	4.93	0.25	1.66	-0.67
2019	112.2	4.72	0.12	2.06	-1.17

MEDIAS	189.43	5.17	c0	2.515517
DESVESTP	73.49		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.69		c2	0.010328
U	0.07		d1	1.432788
ALFA	7.28		d2	0.189269
BETA	26.03		d3	0.001308

ANEXO E. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN LOS POZOS

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	286.2	5.66	0.94	2.35	1.53
1990	287.3	5.66	0.94	2.36	1.55
1991	270.0	5.60	0.91	2.20	1.34
1992	257.7	5.55	0.88	2.08	1.20
1993	271.0	5.60	0.91	2.21	1.36
1994	264.9	5.58	0.90	2.15	1.28
1995	278.3	5.63	0.93	2.28	1.44
1996	270.7	5.60	0.91	2.20	1.35
1997	264.0	5.58	0.90	2.14	1.27
1998	146.4	4.99	0.33	1.48	-0.43
1999	153.4	5.03	0.38	1.40	-0.31
2000	121.9	4.80	0.18	1.84	-0.90
2001	120.0	4.79	0.17	1.87	-0.94
2002	105.0	4.65	0.10	2.13	-1.26
2003	154.0	5.04	0.38	1.39	-0.30
2004	125.8	4.83	0.21	1.78	-0.82
2005	152.1	5.02	0.37	1.41	-0.33
2006	138.1	4.93	0.28	1.60	-0.58
2007	170.8	5.14	0.49	1.19	-0.02
2008	148.1	5.00	0.34	1.46	-0.40
2009	123.6	4.82	0.19	1.81	-0.87
2010	193.2	5.26	0.63	1.41	0.33
2011	124.0	4.82	0.20	1.81	-0.86
2012	129.6	4.86	0.23	1.72	-0.75
2013	122.3	4.81	0.19	1.83	-0.89
2014	123.5	4.82	0.19	1.81	-0.87
2015	109.8	4.70	0.12	2.04	-1.15
2016	116.3	4.76	0.16	1.93	-1.02
2017	157.4	5.06	0.40	1.35	-0.24
2018	134.9	4.90	0.26	1.64	-0.65
2019	107.1	4.67	0.11	2.09	-1.21

MEDIAS	179.57	5.13	c0	2.515517
DESVESTP	66.44		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.62		c2	0.010328
U	0.06		d1	1.432788
ALFA	7.89		d2	0.189269
BETA	22.76		d3	0.001308

ANEXO F. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN PESÉ

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	255.7	5.54	0.47	1.23	-0.07
1990	296.5	5.69	0.79	1.76	0.80
1991	248.5	5.52	0.41	1.34	-0.23
1992	238.8	5.48	0.32	1.50	-0.46
1993	259.1	5.56	0.50	1.18	0.01
1994	264.8	5.58	0.55	1.27	0.13
1995	293.4	5.68	0.77	1.71	0.74
1996	268.1	5.59	0.58	1.32	0.20
1997	248.5	5.52	0.41	1.34	-0.23
1998	266.4	5.59	0.57	1.29	0.17
1999	286.8	5.66	0.73	1.61	0.60
2000	253.8	5.54	0.46	1.25	-0.11
2001	251.9	5.53	0.44	1.28	-0.16
2002	236.2	5.46	0.30	1.55	-0.52
2003	287.8	5.66	0.73	1.62	0.62
2004	258.2	5.55	0.49	1.19	-0.01
2005	285.9	5.66	0.72	1.59	0.58
2006	271.3	5.60	0.61	1.37	0.27
2007	305.8	5.72	0.84	1.91	0.98
2008	281.9	5.64	0.69	1.53	0.50
2009	256.3	5.55	0.48	1.22	-0.06
2010	329.6	5.80	0.93	2.28	1.44
2011	256.8	5.55	0.48	1.21	-0.04
2012	262.8	5.57	0.53	1.24	0.09
2013	255.2	5.54	0.47	1.23	-0.08
2014	256.6	5.55	0.48	1.21	-0.05
2015	242.2	5.49	0.35	1.44	-0.38
2016	101.9	4.62	0.00	5.15	-4.64
2017	292.4	5.68	0.76	1.70	0.71
2018	268.8	5.59	0.59	1.33	0.22
2019	239.7	5.48	0.33	1.49	-0.43

MEDIAS	261.46	5.55	c0	2.515517
DESVESTP	37.33		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	-2.59		c2	0.010328
U	0.02		d1	1.432788
ALFA	33.24		d2	0.189269
BETA	7.87		d3	0.001308

ANEXO G. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN LLANO DE PIEDRA

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	300.0	5.70	0.90	2.13	1.26
1990	310.7	5.74	0.91	2.22	1.37
1991	274.1	5.61	0.84	1.91	0.99
1992	275.6	5.62	0.84	1.92	1.01
1993	281.5	5.64	0.86	1.97	1.07
1994	275.4	5.62	0.84	1.92	1.00
1995	328.8	5.80	0.94	2.36	1.55
1996	281.9	5.64	0.86	1.98	1.07
1997	257.1	5.55	0.79	1.76	0.80
1998	276.6	5.62	0.85	1.93	1.02
1999	346.7	5.85	0.96	2.51	1.71
2000	126.3	4.84	0.15	1.94	-1.03
2001	128.2	4.85	0.16	1.91	-0.99
2002	112.2	4.72	0.10	2.15	-1.29
2003	164.5	5.10	0.35	1.46	-0.39
2004	134.4	4.90	0.19	1.83	-0.88
2005	162.4	5.09	0.34	1.48	-0.43
2006	147.5	4.99	0.25	1.65	-0.66
2007	182.4	5.21	0.45	1.27	-0.13
2008	158.1	5.06	0.31	1.53	-0.49
2009	132.0	4.88	0.18	1.86	-0.92
2010	206.4	5.33	0.58	1.31	0.19
2011	132.4	4.89	0.18	1.85	-0.92
2012	138.4	4.93	0.21	1.77	-0.81
2013	130.6	4.87	0.17	1.88	-0.95
2014	131.9	4.88	0.18	1.86	-0.93
2015	117.3	4.76	0.12	2.07	-1.19
2016	124.2	4.82	0.14	1.97	-1.06
2017	168.1	5.12	0.37	1.42	-0.34
2018	144.1	4.97	0.24	1.70	-0.72
2019	114.4	4.74	0.11	2.12	-1.25

MEDIAS	201.34	5.23	c0	2.515517
DESVESTP	76.73		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.45		c2	0.010328
U	0.07		d1	1.432788
ALFA	7.13		d2	0.189269
BETA	28.25		d3	0.001308

ANEXO H. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN PITALOZA ARRIBA

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	307.4	5.73	0.85	1.93	1.02
1990	330.9	5.80	0.89	2.11	1.24
1991	272.5	5.61	0.75	1.66	0.67
1992	301.9	5.71	0.83	1.89	0.97
1993	305.7	5.72	0.84	1.92	1.00
1994	314.4	5.75	0.86	1.99	1.09
1995	390.1	5.97	0.96	2.54	1.76
1996	356.8	5.88	0.93	2.30	1.47
1997	296.7	5.69	0.82	1.85	0.91
1998	330.7	5.80	0.89	2.11	1.24
1999	364.3	5.90	0.94	2.36	1.54
2000	123.2	4.81	0.09	2.17	-1.32
2001	175.9	5.17	0.31	1.52	-0.49
2002	146.4	4.99	0.18	1.86	-0.93
2003	173.9	5.16	0.30	1.55	-0.52
2004	159.3	5.07	0.23	1.71	-0.73
2005	193.6	5.27	0.40	1.35	-0.25
2006	169.7	5.13	0.28	1.59	-0.58
2007	144.1	4.97	0.17	1.89	-0.96
2008	217.0	5.38	0.52	1.21	0.05
2009	144.4	4.97	0.17	1.89	-0.96
2010	150.3	5.01	0.19	1.81	-0.87
2011	146.5	4.99	0.18	1.86	-0.93
2012	144.0	4.97	0.17	1.89	-0.97
2013	129.6	4.86	0.11	2.08	-1.21
2014	136.4	4.92	0.14	1.99	-1.09
2015	179.5	5.19	0.33	1.49	-0.44
2016	155.9	5.05	0.22	1.75	-0.78
2017	127.7	4.85	0.11	2.11	-1.24
2018	155.9	5.05	0.22	1.75	-0.78
2019	126.8	4.84	0.11	2.12	-1.25

MEDIAS	223.61	5.34	c0	2.515517
DESVESTP	85.79		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.52		c2	0.010328
U	0.07		d1	1.432788
ALFA	7.13		d2	0.189269
BETA	31.37		d3	0.001308

ANEXO I. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN EL PALMAR

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	354.8	5.87	0.64	1.42	0.35
1990	332.6	5.81	0.51	1.19	0.02
1991	347.2	5.85	0.59	1.34	0.24
1992	339.4	5.83	0.55	1.26	0.12
1993	360.3	5.89	0.66	1.48	0.42
1994	350.4	5.86	0.61	1.38	0.28
1995	372.1	5.92	0.72	1.60	0.59
1996	448.3	6.11	0.94	2.39	1.58
1997	301.3	5.71	0.32	1.50	-0.46
1998	386.8	5.96	0.79	1.75	0.79
1999	458.6	6.13	0.96	2.50	1.70
2000	363.7	5.90	0.68	1.51	0.47
2001	344.0	5.84	0.58	1.31	0.19
2002	427.3	6.06	0.91	2.18	1.32
2003	467.3	6.15	0.96	2.59	1.81
2004	419.9	6.04	0.89	2.10	1.22
2005	298.4	5.70	0.31	1.54	-0.50
2006	264.3	5.58	0.14	1.98	-1.07
2007	285.7	5.65	0.24	1.69	-0.71
2008	263.6	5.57	0.14	1.99	-1.08
2009	263.1	5.57	0.14	1.99	-1.09
2010	331.8	5.80	0.50	1.19	0.01
2011	282.1	5.64	0.22	1.74	-0.77
2012	239.8	5.48	0.07	2.34	-1.51
2013	200.5	5.30	0.01	3.00	-2.29
2014	287.4	5.66	0.25	1.67	-0.68
2015	344.9	5.84	0.58	1.32	0.20
2016	259.6	5.56	0.12	2.04	-1.15
2017	375.8	5.93	0.74	1.64	0.64
2018	363.6	5.90	0.68	1.51	0.47
2019	348.1	5.85	0.60	1.35	0.25

MEDIAS	335.54	5.80	co	2.515517
DESVESTP	67.07		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.23		c2	0.010328
U	0.02		d1	1.432788
ALFA	24.68		d2	0.189269
BETA	13.60		d3	0.001308

ANEXO J. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN LOS VALLES

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI_trans
1989	321.0	5.77	0.41	1.33	-0.22
1990	324.7	5.78	0.44	1.29	-0.16
1991	293.9	5.68	0.26	1.63	-0.63
1992	342.0	5.83	0.54	1.24	0.09
1993	353.5	5.87	0.60	1.35	0.25
1994	308.4	5.73	0.34	1.46	-0.41
1995	369.5	5.91	0.68	1.51	0.47
1996	387.7	5.96	0.76	1.70	0.72
1997	286.4	5.66	0.23	1.73	-0.75
1998	397.1	5.98	0.80	1.79	0.84
1999	501.8	6.22	0.98	2.83	2.09
2000	348.5	5.85	0.57	1.30	0.18
2001	311.4	5.74	0.36	1.43	-0.36
2002	370.9	5.92	0.69	1.53	0.49
2003	434.8	6.07	0.91	2.17	1.32
2004	362.3	5.89	0.65	1.44	0.38
2005	352.6	5.87	0.60	1.35	0.24
2006	305.0	5.72	0.32	1.50	-0.46
2007	392.2	5.97	0.78	1.74	0.78
2008	346.1	5.85	0.56	1.28	0.15
2009	339.9	5.83	0.52	1.22	0.06
2010	465.9	6.14	0.95	2.48	1.69
2011	373.1	5.92	0.70	1.55	0.52
2012	292.4	5.68	0.26	1.65	-0.66
2013	286.9	5.66	0.23	1.72	-0.74
2014	271.9	5.61	0.16	1.91	-0.99
2015	224.8	5.42	0.03	2.60	-1.83
2016	166.6	5.12	0.00	3.68	-3.05
2017	357.0	5.88	0.62	1.39	0.30
2018	280.3	5.64	0.20	1.80	-0.85
2019	317.9	5.76	0.40	1.36	-0.26

MEDIAS	340.41	5.81	c0	2.515517
DESVESTP	66.76		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	-0.03		c2	0.010328
U	0.02		d1	1.432788
ALFA	23.91		d2	0.189269
BETA	14.23		d3	0.001308

ANEXO K. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN LAGUNA LA YEGUADA

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	363.2	5.89	0.25	1.67	-0.68
1990	355.5	5.87	0.21	1.78	-0.82
1991	358.4	5.88	0.22	1.74	-0.77
1992	342.3	5.84	0.14	1.97	-1.06
1993	389.4	5.96	0.41	1.33	-0.22
1994	350.3	5.86	0.18	1.85	-0.91
1995	495.0	6.20	0.93	2.29	1.45
1996	453.3	6.12	0.80	1.78	0.82
1997	329.9	5.80	0.10	2.16	-1.30
1998	439.6	6.09	0.73	1.62	0.61
1999	496.1	6.21	0.93	2.30	1.47
2000	375.9	5.93	0.33	1.50	-0.45
2001	383.4	5.95	0.37	1.40	-0.32
2002	361.6	5.89	0.24	1.69	-0.71
2003	530.4	6.27	0.98	2.72	1.96
2004	431.6	6.07	0.69	1.52	0.48
2005	418.7	6.04	0.61	1.37	0.27
2006	385.2	5.95	0.39	1.38	-0.29
2007	497.5	6.21	0.93	2.32	1.49
2008	435.5	6.08	0.71	1.57	0.54
2009	363.8	5.90	0.25	1.66	-0.67
2010	533.6	6.28	0.98	2.76	2.01
2011	449.0	6.11	0.78	1.73	0.76
2012	360.8	5.89	0.23	1.70	-0.72
2013	414.7	6.03	0.58	1.32	0.21
2014	370.3	5.91	0.29	1.57	-0.55
2015	352.1	5.86	0.19	1.83	-0.88
2016	308.0	5.73	0.04	2.52	-1.73
2017	406.1	6.01	0.53	1.22	0.06
2018	384.8	5.95	0.38	1.39	-0.30
2019	357.5	5.88	0.22	1.75	-0.78

MEDIAS	405.18	5.99	c0	2.515517
DESVESTP	61.07		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.68		c2	0.010328
U	0.01		d1	1.432788
ALFA	46.05		d2	0.189269
BETA	8.80		d3	0.001308

ANEXO L. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN CERRO VERDE

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma - Transform	T - Transform	SPI - Trans
1989	367.5	5.91	0.22	1.73	-0.76
1990	453.2	6.12	0.58	1.32	0.21
1991	353.4	5.87	0.17	1.87	-0.94
1992	378.5	5.94	0.26	1.63	-0.63
1993	419.5	6.04	0.44	1.29	-0.16
1994	468.8	6.15	0.64	1.44	0.37
1995	726.0	6.59	1.00	3.32	2.65
1996	675.3	6.52	0.99	2.97	2.25
1997	434.7	6.07	0.50	1.18	0.01
1998	408.1	6.01	0.39	1.38	-0.29
1999	385.3	5.95	0.29	1.57	-0.55
2000	472.1	6.16	0.66	1.46	0.40
2001	345.3	5.84	0.15	1.95	-1.04
2002	282.7	5.64	0.03	2.65	-1.89
2003	489.2	6.19	0.72	1.59	0.58
2004	418.2	6.04	0.43	1.30	-0.17
2005	466.6	6.15	0.64	1.42	0.35
2006	391.0	5.97	0.31	1.52	-0.48
2007	474.9	6.16	0.67	1.48	0.43
2008	499.9	6.21	0.75	1.67	0.68
2009	370.1	5.91	0.23	1.71	-0.73
2010	506.9	6.23	0.77	1.72	0.75
2011	564.6	6.34	0.90	2.16	1.30
2012	526.6	6.27	0.83	1.87	0.94
2013	416.7	6.03	0.42	1.31	-0.19
2014	386.9	5.96	0.30	1.56	-0.53
2015	315.1	5.75	0.08	2.27	-1.43
2016	337.1	5.82	0.13	2.03	-1.14
2017	400.3	5.99	0.35	1.44	-0.38
2018	367.9	5.91	0.22	1.73	-0.76
2019	350.2	5.86	0.16	1.90	-0.98

MEDIAS	440.51	6.07	c0	2.515517
DESVESTP	97.59		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	1.20		c2	0.010328
U	0.02		d1	1.432788
ALFA	22.45		d2	0.189269
BETA	19.62		d3	0.001308

ANEXO M. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN CALOBRE

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma -Transform	T -Transform	SPI - Trans
1989	319.0	5.77	0.24	1.68	-0.69
1990	329.7	5.80	0.33	1.50	-0.45
1991	291.5	5.68	0.09	2.19	-1.34
1992	324.2	5.78	0.28	1.59	-0.57
1993	344.2	5.84	0.45	1.27	-0.14
1994	352.1	5.86	0.51	1.20	0.03
1995	458.5	6.13	0.98	2.84	2.10
1996	366.3	5.90	0.63	1.41	0.33
1997	297.1	5.69	0.11	2.08	-1.20
1998	348.6	5.85	0.48	1.21	-0.04
1999	399.9	5.99	0.84	1.92	1.01
2000	349.8	5.86	0.49	1.19	-0.02
2001	344.1	5.84	0.44	1.27	-0.14
2002	334.5	5.81	0.36	1.42	-0.35
2003	442.2	6.09	0.96	2.58	1.80
2004	328.9	5.80	0.32	1.51	-0.47
2005	339.7	5.83	0.41	1.34	-0.23
2006	359.9	5.89	0.58	1.31	0.20
2007	434.0	6.07	0.95	2.46	1.65
2008	347.7	5.85	0.48	1.22	-0.06
2009	372.7	5.92	0.68	1.51	0.46
2010	441.8	6.09	0.96	2.58	1.80
2011	383.0	5.95	0.75	1.66	0.67
2012	352.7	5.87	0.52	1.21	0.05
2013	318.7	5.76	0.24	1.69	-0.70
2014	336.8	5.82	0.38	1.39	-0.30
2015	312.8	5.75	0.20	1.79	-0.84
2016	243.5	5.49	0.01	3.25	-2.57
2017	355.6	5.87	0.54	1.25	0.11
2018	330.9	5.80	0.33	1.48	-0.43
2019	337.3	5.82	0.39	1.38	-0.29

MEDIAS	352.63	5.86	c0	2.515517
DESVESTP	47.45		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	0.49		c2	0.010328
U	0.01		d1	1.432788
ALFA	56.05		d2	0.189269
BETA	6.29		d3	0.001308

ANEXO N. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN DIVISA

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma -Transform	T -Transform	SPI -Trans
1989	264.8	5.58	0.34	1.48	-0.42
1990	314.7	5.75	0.79	1.77	0.82
1991	268.7	5.59	0.37	1.40	-0.32
1992	260.0	5.56	0.29	1.57	-0.55
1993	269.6	5.60	0.38	1.38	-0.30
1994	267.9	5.59	0.37	1.42	-0.34
1995	325.8	5.79	0.86	1.98	1.08
1996	274.2	5.61	0.43	1.30	-0.18
1997	281.4	5.64	0.50	1.18	0.01
1998	333.1	5.81	0.89	2.11	1.24
1999	338.1	5.82	0.91	2.21	1.36
2000	270.5	5.60	0.39	1.37	-0.27
2001	280.2	5.64	0.49	1.19	-0.02
2002	241.0	5.48	0.14	1.97	-1.07
2003	375.0	5.93	0.98	2.88	2.15
2004	270.3	5.60	0.39	1.37	-0.28
2005	285.4	5.65	0.54	1.25	0.11
2006	286.0	5.66	0.55	1.26	0.12
2007	311.6	5.74	0.77	1.72	0.75
2008	312.8	5.75	0.78	1.74	0.77
2009	249.6	5.52	0.20	1.79	-0.83
2010	305.5	5.72	0.73	1.61	0.60
2011	285.9	5.66	0.55	1.26	0.12
2012	270.0	5.60	0.39	1.38	-0.29
2013	292.1	5.68	0.61	1.37	0.27
2014	269.2	5.60	0.38	1.39	-0.31
2015	260.2	5.56	0.29	1.57	-0.55
2016	160.8	5.08	0.00	4.22	-3.64
2017	287.0	5.66	0.56	1.28	0.15
2018	276.5	5.62	0.45	1.26	-0.12
2019	263.0	5.57	0.32	1.51	-0.47

MEDIAS	283.02	5.64	c0	2.515517
DESVESTP	37.68		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	-0.52		c2	0.010328
U	0.01		d1	1.432788
ALFA	50.95		d2	0.189269
BETA	5.56		d3	0.001308

ANEXO O. CÁLCULO DE SPI - ESTACIÓN SANTA FE

CÁLCULO DE SPI					
Año	P(Anual)	Ln (P. Anual)	Gamma -Transform	T -Transform	SPI -Trans
1989	303.5	5.72	0.45	1.27	-0.14
1990	297.0	5.69	0.40	1.36	-0.26
1991	274.9	5.62	0.24	1.69	-0.71
1992	299.7	5.70	0.42	1.32	-0.21
1993	329.5	5.80	0.64	1.43	0.35
1994	298.6	5.70	0.41	1.34	-0.23
1995	318.8	5.76	0.56	1.29	0.16
1996	312.1	5.74	0.51	1.20	0.03
1997	253.6	5.54	0.12	2.05	-1.16
1998	317.5	5.76	0.55	1.27	0.13
1999	391.6	5.97	0.92	2.27	1.43
2000	327.0	5.79	0.62	1.39	0.31
2001	279.8	5.63	0.27	1.61	-0.61
2002	363.0	5.89	0.83	1.88	0.95
2003	365.3	5.90	0.84	1.91	0.99
2004	331.3	5.80	0.65	1.45	0.39
2005	334.8	5.81	0.67	1.50	0.45
2006	324.6	5.78	0.60	1.36	0.26
2007	360.5	5.89	0.82	1.84	0.90
2008	350.4	5.86	0.77	1.71	0.73
2009	319.8	5.77	0.57	1.30	0.17
2010	392.2	5.97	0.92	2.27	1.44
2011	369.0	5.91	0.85	1.96	1.05
2012	303.2	5.71	0.44	1.27	-0.14
2013	292.8	5.68	0.37	1.42	-0.34
2014	267.3	5.59	0.19	1.81	-0.86
2015	246.3	5.51	0.09	2.18	-1.32
2016	153.7	5.04	0.00	4.29	-3.72
2017	335.9	5.82	0.68	1.51	0.47
2018	332.6	5.81	0.66	1.47	0.41
2019	301.5	5.71	0.43	1.30	-0.17

MEDIAS	313.49	5.73	c0	2.515517
DESVESTP	48.26		c1	0.802853
COEFICIENTE. ASI	-1.09		c2	0.010328
U	0.01		d1	1.432788
ALFA	35.22		d2	0.189269
BETA	8.90		d3	0.001308

ANEXO P. EPISODIOS FRÍOS Y CÁLIDOS POR TEMPORADA SEGÚN LA NOAA

Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1950	-1.5	-1.3	-1.2	-1.2	-1.1	-0.9	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8
1951	-0.8	-0.5	-0.2	0.2	0.4	0.6	0.7	0.9	1	1.2	1	0.8
1952	0.5	0.4	0.3	0.3	0.2	0	-0.1	0	0.2	0.1	0	0.1
1953	0.4	0.6	0.6	0.7	0.8	0.8	0.7	0.7	0.8	0.8	0.8	0.8
1954	0.8	0.5	0	-0.4	-0.5	-0.5	-0.6	-0.8	-0.9	-0.8	-0.7	-0.7
1955	-0.7	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-1.1	-1.4	-1.7	-1.5
1956	-1.1	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.5	-0.6	-0.6	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4
1957	-0.2	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.3	1.3	1.3	1.4	1.5	1.7
1958	1.8	1.7	1.3	0.9	0.7	0.6	0.6	0.4	0.4	0.4	0.5	0.6
1959	0.6	0.6	0.5	0.3	0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1	0	0	0
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1960	-0.1	-0.1	-0.1	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0.1	0.1
1961	0	0	0	0.1	0.2	0.3	0.1	-0.1	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2
1962	-0.2	-0.2	-0.2	-0.3	-0.3	-0.2	0	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.4
1963	-0.4	-0.2	0.2	0.3	0.3	0.5	0.9	1.1	1.2	1.3	1.4	1.3
1964	1.1	0.6	0.1	-0.3	-0.6	-0.6	-0.6	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8
1965	-0.6	-0.3	-0.1	0.2	0.5	0.8	1.2	1.5	1.9	2	2	1.7
1966	1.4	1.2	1	0.7	0.4	0.2	0.2	0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3
1967	-0.4	-0.5	-0.5	-0.4	-0.2	0	0	-0.2	-0.3	-0.4	-0.3	-0.4
1968	-0.6	-0.7	-0.6	-0.4	0	0.3	0.6	0.5	0.4	0.5	0.7	1
1969	1.1	1.1	0.9	0.8	0.6	0.4	0.4	0.5	0.8	0.9	0.8	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1970	0.5	0.3	0.3	0.2	0	-0.3	-0.6	-0.8	-0.8	-0.7	-0.9	-1.1
1971	-1.4	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.9	-1	-0.9
1972	-0.7	-0.4	0.1	0.4	0.7	0.9	1.1	1.4	1.6	1.8	2.1	2.1

1973	1.8	1.2	0.5	-0.1	-0.5	-0.9	-1.1	-1.3	-1.5	-1.7	-1.9	-2
1974	-1.8	-1.6	-1.2	-1	-0.9	-0.8	-0.5	-0.4	-0.4	-0.6	-0.8	-0.6
1975	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.8	-1	-1.1	-1.2	-1.4	-1.4	-1.6	-1.7
1976	-1.6	-1.2	-0.7	-0.5	-0.3	0	0.2	0.4	0.6	0.8	0.9	0.8
1977	0.7	0.6	0.3	0.2	0.2	0.3	0.4	0.4	0.6	0.7	0.8	0.8
1978	0.7	0.4	0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.1	0
1979	0	0.1	0.2	0.3	0.2	0	0	0.2	0.3	0.5	0.5	0.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1980	0.6	0.5	0.3	0.4	0.5	0.5	0.3	0	-0.1	0	0.1	0
1981	-0.3	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1
1982	0	0.1	0.2	0.5	0.7	0.7	0.8	1.1	1.6	2	2.2	2.2
1983	2.2	1.9	1.5	1.3	1.1	0.7	0.3	-0.1	-0.5	-0.8	-1	-0.9
1984	-0.6	-0.4	-0.3	-0.4	-0.5	-0.4	-0.3	-0.2	-0.2	-0.6	-0.9	-1.1
1985	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.6	-0.5	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4
1986	-0.5	-0.5	-0.3	-0.2	-0.1	0	0.2	0.4	0.7	0.9	1.1	1.2
1987	1.2	1.2	1.1	0.9	1	1.2	1.5	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1
1988	0.8	0.5	0.1	-0.3	-0.9	-1.3	-1.3	-1.1	-1.2	-1.5	-1.8	-1.8
1989	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
1990	0.1	0.2	0.3	0.3	0.3	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.4	0.4
1991	0.4	0.3	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.6	0.6	0.8	1.2	1.5
1992	1.7	1.6	1.5	1.3	1.1	0.7	0.4	0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
1993	0.1	0.3	0.5	0.7	0.7	0.6	0.3	0.3	0.2	0.1	0	0.1
1994	0.1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4	0.6	0.7	1	1.1
1995	1	0.7	0.5	0.3	0.1	0	-0.2	-0.5	-0.8	-1	-1	-1
1996	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.5
1997	-0.5	-0.4	-0.1	0.3	0.8	1.2	1.6	1.9	2.1	2.3	2.4	2.4

1998	2.2	1.9	1.4	1	0.5	-0.1	-0.8	-1.1	-1.3	-1.4	-1.5	-1.6
1999	-1.5	-1.3	-1.1	-1	-1	-1	-1.1	-1.1	-1.2	-1.3	-1.5	-1.7
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2000	-1.7	-1.4	-1.1	-0.8	-0.7	-0.6	-0.6	-0.5	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7
2001	-0.7	-0.5	-0.4	-0.3	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.2	-0.3	-0.3	-0.3
2002	-0.1	0	0.1	0.2	0.4	0.7	0.8	0.9	1	1.2	1.3	1.1
2003	0.9	0.6	0.4	0	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.4	0.4
2004	0.4	0.3	0.2	0.2	0.2	0.3	0.5	0.6	0.7	0.7	0.7	0.7
2005	0.6	0.6	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.1	-0.1	-0.1	-0.3	-0.6	-0.8
2006	-0.9	-0.8	-0.6	-0.4	-0.1	0	0.1	0.3	0.5	0.8	0.9	0.9
2007	0.7	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1.1	-1.3	-1.5	-1.6
2008	-1.6	-1.5	-1.3	-1	-0.8	-0.6	-0.4	-0.2	-0.2	-0.4	-0.6	-0.7
2009	-0.8	-0.8	-0.6	-0.3	0	0.3	0.5	0.6	0.7	1	1.4	1.6
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2010	1.5	1.2	0.8	0.4	-0.2	-0.7	-1	-1.3	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6
2011	-1.4	-1.2	-0.9	-0.7	-0.6	-0.4	-0.5	-0.6	-0.8	-1	-1.1	-1
2012	-0.9	-0.7	-0.6	-0.5	-0.3	0	0.2	0.4	0.4	0.3	0.1	-0.2
2013	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.3
2014	-0.4	-0.5	-0.3	0	0.2	0.2	0	0.1	0.2	0.5	0.6	0.7
2015	0.5	0.5	0.5	0.7	0.9	1.2	1.5	1.9	2.2	2.4	2.6	2.6
2016	2.5	2.1	1.6	0.9	0.4	-0.1	-0.4	-0.5	-0.6	-0.7	-0.7	-0.6
2017	-0.3	-0.2	0.1	0.2	0.3	0.3	0.1	-0.1	-0.4	-0.7	-0.8	-1
2018	-0.9	-0.9	-0.7	-0.5	-0.2	0	0.1	0.2	0.5	0.8	0.9	0.8
2019	0.7	0.7	0.7	0.7	0.5	0.5	0.3	0.1	0.2	0.3	0.5	0.5
Year	DJF	JFM	FMA	MAM	AMJ	MJJ	JJA	JAS	ASO	SON	OND	NDJ
2020	0.5	0.5	0.4	0.2	-0.1	-0.3	-0.4	-0.6	-0.9	-1.2	-1.3	-1.2

