



**UNIVERSIDAD TÉCNICA PARTICULAR DE LOJA**

*La Universidad Católica de Loja*

**ÁREA TÉCNICA**

**TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

**Determinación de Índices de Sequía en la Cuenca Transfronteriza del río  
Zarumilla**

**TRABAJO DE TITULACIÓN.**

**AUTOR:** Muñoz Vidal, Johan Vinicio, Sr.

**DIRECTOR:** Oñate Valdivieso, Fernando Rodrigo, Ph. D

**LOJA – ECUADOR**

**2019**



*Esta versión digital, ha sido acreditada bajo la licencia Creative Commons 4.0, CC BY-NY-SA: Reconocimiento-No comercial-Compartir igual; la cual permite copiar, distribuir y comunicar públicamente la obra, mientras se reconozca la autoría original, no se utilice con fines comerciales y se permiten obras derivadas, siempre que mantenga la misma licencia al ser divulgada. <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/deed.es>*

2019

## APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN

Ph.D.

Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso

### DOCENTE DE LA TITULACIÓN

De mi consideración:

El presente trabajo de titulación: “**Determinación de Índices de Sequía en la Cuenca Transfronteriza del río Zarumilla**” realizado por **Muñoz Vidal Johan Vinicio**, ha sido orientado y revisado durante su ejecución, por cuanto se aprueba la presentación del mismo.

Loja, abril de 2019

f) .....

## DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS

Yo, **Muñoz Vidal Johan Vinicio**, declaro ser autor del presente trabajo de titulación: **“Determinación de Índices de Sequía en la Cuenca Transfronteriza del río Zarumilla”**, de la Titulación Ingeniería Civil, siendo PhD. Fernando Rodrigo Oñate Valdivieso director del presente trabajo; y eximo expresamente a la Universidad Técnica Particular de Loja y a sus representantes legales de posibles reclamos o acciones legales. Además, certifico que las ideas, conceptos, procedimientos y resultados vertidos en el presente trabajo investigativo, es de mi exclusiva responsabilidad.

Adicionalmente declaro conocer y aceptar la disposición del Art. 88 del Estatuto Orgánico de la Universidad Técnica Particular de Loja que en su parte pertinente textualmente dice: “Forman parte del patrimonio de la Universidad la propiedad intelectual de investigaciones, trabajos científicos o técnicos y tesis de grado o trabajos de titulación que se realicen con el apoyo financiero, académico o institucional (operativo) de la Universidad”

f. ....  
Autor: Muñoz Vidal Johan Vinicio  
Cédula: 1103416275

## DEDICATORIA

Este trabajo de fin de titulación va dedicado de todo corazón:

En primer lugar, a Dios que es mi guía día tras día, a mi Padres: Gorky y Enith, que gracias al amor incondicional que me dan, confianza, apoyo y sus consejos diarios han creído en mis sueños de llegar a ser Ingeniero Civil.

A mi esposa Sonia y a mis hijos Gabriela Stephanie, Johann Isaac, Julián David y Emilio Daniel por toda la paciencia y el sacrificio que realizaron.

A mis sobrinos que siempre me dieron ánimo para continuar adelante

A mis familiares y amigos por apoyarme siempre.

***Johan Vinicio Muñoz Vidal***

## **AGRADECIMIENTO**

Deseo mis más sinceros agradecimientos a la Universidad Técnica Particular de Loja, a la Titulación de Ingeniería Civil, autoridades administrativas y académicas, a los docentes de la UCG por sus conocimientos impartidos.

Mi más sincero agradecimiento al Dr. Fernando Oñate Valdivieso Director de Tesis, que con sus valiosos conocimientos aportó y fue mi guía para que el presente trabajo de fin de titulación culmine de forma exitosa.

A mi Padre Gorky, mi Hermano Darwin quien por su experiencia en la rama de la Hidrología fue de mucha ayuda para el desarrollo de mi trabajo de titulación; y, a toda mi familia por ser mi motivación para llevar a feliz término el presente trabajo de titulación.

A mi querida Madre Enith, quien sin escatimar esfuerzo alguno, ha sido parte primordial de mi formación profesional, con su apoyo constante especialmente en los momentos de dura prueba, me enseñó que con fe y perseverancia se alcanza las metas propuestas.

***Johan Vinicio Muñoz Vidal***

## ÍNDICE DE CONTENIDOS

APROBACIÓN DEL DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN.....	ii
DECLARACIÓN DE AUTORÍA Y CESIÓN DE DERECHOS.....	iii
DEDICATORIA .....	iv
AGRADECIMIENTO .....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS.....	vi
ÍNDICE DE TABLAS.....	ix
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
RESUMEN.....	1
ABSTRACT .....	2
INTRODUCCIÓN.....	3
CAPÍTULO I: ESTADO DEL ARTE .....	5
1.1.    Sequía.....	6
1.1.1.    Sequía meteorológica.....	6
1.1.2.    Sequía hidrológica.....	6
1.1.3.    Sequía agrícola o hidroedáfica .....	6
1.1.4.    Sequía socioeconómica.....	6
1.2.    Índices de Sequia .....	7
1.2.1.    Índice de precipitación estándar (SPI) .....	7
1.2.2.    Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI).....	7
1.2.3.    Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI).....	8
1.2.4.    Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN) .....	8
1.3.    Precipitación.....	8
1.3.1.    Precipitación media mensual .....	9
1.4.    Temperatura.....	9
1.4.1.    Temperatura media mensual .....	9
CAPÍTULO II: MATERIALES Y MÉTODOS .....	10
2.1.    Descripción del área de estudio.....	11

2.1.1.	Clima .....	12
2.1.2.	Suelo .....	13
2.2.	Metodología.....	14
2.2.1.	Relleno de datos faltantes .....	14
2.2.1.1.	Método de las proporcionalidades .....	15
2.2.1.2.	Método de U.S Weather Service .....	15
2.2.1.3.	Método de la correlación ortogonal.....	16
2.2.1.4.	Estación Papayal.....	17
2.2.1.5.	Estación Matapalo .....	18
2.2.1.6.	Estación Arenillas .....	19
2.2.1.7.	Estación Rica Playa.....	20
2.2.2.	Índices de sequía .....	21
2.2.2.1.	Índice estandarizado de precipitación (SPI).....	21
2.2.2.2.	Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) .....	23
2.2.2.3.	Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI).....	27
2.2.2.4.	Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN) .....	31
CAPÍTULO III: ANÁLISIS Y RESULTADOS.....		33
3.1.	Análisis .....	34
3.1.1.	Arenillas.....	34
3.1.1.1.	Índice estandarizado de precipitación (SPI).....	34
3.1.1.2.	Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) .....	35
3.1.1.3.	Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN) .....	35
3.1.1.4.	Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI).....	35
3.1.2.	Matapalo.....	35
3.1.2.1.	Índice estandarizado de precipitación (SPI).....	35
3.1.2.2.	Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) .....	36
3.1.2.3.	Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN) .....	36
3.1.2.4.	Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI).....	36



3.1.3.	Papayal .....	36
3.1.3.1.	Índice estandarizado de precipitación (SPI).....	36
3.1.3.2.	Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) .....	36
3.1.3.3.	Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN) .....	37
3.1.3.4.	Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI).....	37
3.1.4.	Rica Playa .....	37
3.1.4.1.	Índice estandarizado de precipitación (SPI).....	37
3.1.4.2.	Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI) .....	37
3.1.4.3.	Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN) .....	37
3.1.4.4.	Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI).....	38
3.2.	Cartografía de índices de sequias .....	38
	CONCLUSIONES .....	42
	RECOMENDACIONES.....	43
	REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS.....	44
	ANEXOS.....	49

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Coordenadas UTM de la Zona de Estudio .....	11
Tabla 2. Estaciones Climatológicas de estudio .....	12
Tabla 3. Tipo de suelo en estaciones de estudio .....	14
Tabla 4. Condiciones Físicas de los Suelos de la Región Sur del Ecuador.....	14
Tabla 5. Condiciones físicas de los suelos.....	14
Tabla 6. Clasificación de la sequía.....	22
Tabla 7. Indicador del SPEI .....	26
Tabla 8. Indicador de Palmer .....	31
Tabla 9. Indicador de PPN.....	32

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Mapa de la zona de estudio y ubicación de estaciones.....	11
Figura 2. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Papayal .....	17
Figura 3. Gráfica de temperatura Media Mensual de la estación Papayal.....	18
Figura 4. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Matapalo .....	18
Figura 5. Gráfica de temperatura Media Mensual de la estación Matapalo .....	19
Figura 6. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Arenillas .....	19
Figura 7. Gráfica de temperatura Media Mensual de la estación Arenillas .....	20
Figura 8. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Rica Playa .....	20
Figura 9. Gráfica de temperatura Mensual de la estación Rica Playa .....	21
Figura 10. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método SPI.....	38
Figura 11. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método SPEI. ....	39
Figura 12. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método PPN.....	40
Figura 13. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método PSDI.....	41

## RESUMEN

Para clasificar cualitativa y cuantitativamente la sequía se han desarrollado métodos mediante los cuales se puede saber la intensidad, duración y frecuencia, que se expresan en un índice. Por lo tanto, el presente trabajo tuvo como finalidad determinar y cartografiar diferentes índices de sequía en la Cuenca Transfronteriza del río Zarumilla. Como zona de estudio se consideraron cuatro estaciones: Papayal, Matapalo, Arenillas y Rica Playa, de las cuales las dos primeras están dentro de la cuenca Zarumilla y las dos restantes fuera de ella. Para la determinación del índice de sequía se consideraron cuatro métodos, como son: Índice estandarizado de precipitación (SPI), Índice Estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI), Índice de severidad de sequía de Palmer (SPDI) y el Método de Precipitación Normal (PPN), con esta información se cartografiaron los resultados con cada uno de los métodos. Con a través de la comparación entre sus resultados y el régimen pluviométrico presente en los lugares de estudio se concluyó que el método que mejor refleja el comportamiento de la sequía en la cuenca Zarumilla es el PPN.

**Palabras claves:** sequía, precipitación, evaporación, índice, intensidad, duración, frecuencia, régimen pluviométrico.

## ABSTRACT

In Order To classify the drought qualitatively and quantitatively, methods have been developed by means of which the intensity, duration and frequency, which are expressed in an index, can be known. Therefore, the purpose of this study was to determine and map different drought rates in the Zarumilla River Cross-border Basin. As a study area, four stations were considered: Papayal, Matapalo, Arenillas y Rica Playa, of which the first two are within the Zarumilla basin and the remaining two outside. Four methods were considered for the determination of the drought index: Standard precipitation Index (SPI), Standardized Precipitation and Evaporation Index (SPEI), Palmer Drought Severity Index (SPDI) and the Normal Precipitation Method (PPN), with this information the results were mapped with each of the methods. Through the comparison between their results and the rainfall regime present in the study sites it was concluded that the method that best reflects the drought behavior in the Zarumilla Basin is the PPN.

**Keywords:** drought, precipitation, evaporation, index, intensity, duration, frequency, rainfall regimen.

## INTRODUCCIÓN

Existen diferentes fenómenos naturales que conforman un riesgo para la actividad humana, la sequía es uno de estos debido a que produce numerosas pérdidas materiales y, en casos excesivos, de vidas (García, 2008). Las sequías son parte normal del clima y pueden darse en todos los regímenes, pueden caracterizarse por su gravedad, localización, duración y su desarrollo cronológico (Ortíz, 2017). Además, es considerada como una anomalía climatológica transitoria en la que el agua no es suficiente para satisfacer la demanda y necesidades de los seres vivos que se desarrollan en un determinado lugar (Lozano, 2018). Según Valiente (2001), este fenómeno meteorológico se caracteriza por la marcada escasez de lluvias dentro de un tiempo, etapa o ciclo determinado en un lugar.

La sequias causan un desequilibrio hidrológico y ecológico; los efectos que provocan acarrear serias consecuencias que impactan directamente el desarrollo de las actividades productivas y económicas del hombre, así como en el desenvolvimiento y la prosperidad de vida en general (Landa, Magaña y Neri, 2008). Estos efectos dependen de los contextos socioeconómicos en los que se producen las sequías, en función a la población o los elementos que estén expuestos y vulnerabilidades específicas (Zambrano, 2014). De acuerdo con Pandey y Ramasastrri (2002), los efectos que resultan de interés para la vigilancia y el conocimiento de la sequía en una zona específica, suelen ser la elección de los indicadores que puede ser determinados por diferentes metodologías.

En Ecuador se presenta también este fenómeno debido a la ausencia de lluvias, donde una de las zonas más afectadas por el déficit hídrico se ha dado en el sur del país (Castellanos, 2013). Para intentar precautelar este problema es necesario determinar índices de sequía por zonas, los mismos que permitan conocer los meses más críticos y con ello tomar las respectivas precauciones (Gervacio, 2013). Existen diferentes metodologías para la determinación de los índices de sequía, pero estos deben ser elegidos de manera sigilosa de acuerdo con las características específicas de cada zona, sencillez y facilidad de cálculo, obtención rápida y verídica de resultados, simplicidad de interpretación de datos y resultados (Hispagua, 2018).

Por lo tanto, la presente investigación se ha planteado con la finalidad de determinar y cartografiar diferentes índices de sequía en la Cuenca Transfronteriza del río Zarumilla, para ello se han propuesto los siguientes objetivos específicos: Recopilar información climática y meteorológica en la cuenca del río Zarumilla; Identificar varios índices de sequía; Definir el índice de sequía óptimo para la cuenca del río Zarumilla; y Cartografiar los resultados.

Para determinar el índice de sequía primero se recolectó información tanto de temperatura y precipitación que fue proporcionada por el INAMHI de Ecuador y SENAMHI de Perú, se rellenaron los datos faltantes de acuerdo con diferentes metodologías como son método proporcional, distancia inversa y ortogonal. Luego para encontrar los índices de sequía se utilizaron cuatro métodos que son: Índice Estandarizado de Precipitación (SPI), Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI), Método Palmer (PDSI) y Método de Porcentaje de la Precipitación Normal (PPN). Finalmente, estos resultados se cartografiaron para determinar mapas característicos que represente la sequía en la cuenca Zarumilla.

La presente investigación consta de 4 capítulos, distribuidos de la siguiente manera: Estado del arte, Materiales y métodos, Análisis y resultados, Conclusiones y recomendaciones.

Capítulo I: en este capítulo se describen los conceptos y teorías aplicadas para el desarrollo de la investigación.

Capítulo II: este capítulo describe el área de estudio, la metodología utilizada para el relleno de datos y la determinación de índices de sequía por los cuatro métodos de estudio.

Capítulo III: aquí se detalla la información respecto a los resultados finales, como es la cartografía de los índices de sequía por los cuatro métodos y su respectiva interpretación.

Capítulo IV: en este capítulo se especifica las conclusiones de acuerdo con el alcance de los objetivos propuestos y las recomendaciones que se proponen luego de haber finalizado la investigación.

**CAPÍTULO I:  
ESTADO DEL ARTE**



## **1.1. Sequía**

La sequía es el tiempo donde el agua disponible de una determinada región geográfica se ubica por debajo de los parámetros habituales (Pérez y Gardey, 2010). Según Flores (2015), la ausencia de precipitaciones es el factor principal del origen, aquí se distinguen diferentes tipos de sequías una de las más críticas es la meteorológica que se da debido a que no llueve por períodos muy prolongados.

### **1.1.1. Sequía meteorológica**

La sequía meteorológica es cuando se produce escasez continua de precipitación y normalmente suele afectar a zonas de gran extensión. El origen de la escasez de precipitación está relacionado con el comportamiento global del sistema océano – atmósfera; donde, influyen tanto factores naturales como factores antrópicos, como la deforestación o el incremento de los gases de efecto invernadero. Además, este tipo de sequía también puede implicar temperaturas más altas, vientos de fuerte intensidad, humedad relativa baja, incremento de evapotranspiración, menor cobertura de nubes y mayor insolación; todo ello, puede traducirse finalmente en la reducción de la tasa de infiltración, menor escurrimiento, reducción en la percolación profunda y menor recarga de las aguas subterráneas (Monreal, 2006).

### **1.1.2. Sequía hidrológica**

Está relacionada con períodos de caudales circulares por los cursos de agua o de volúmenes embalsados por debajo de lo normal. También se conoce como la disminución en las disponibilidades de aguas superficiales y subterráneas en un sistema de gestión durante un plazo temporal dado, respecto a los valores medios, que puede impedir cubrir las demandas de agua al 100 %. La sequía hidrológica puede demorarse durante meses o algún año desde el inicio de la escasez pluviométrica o si las lluvias retornan en poco tiempo, no llegar a manifestarse (Fernández, 1997).

### **1.1.3. Sequía agrícola o hidroedáfica**

Es el déficit de humedad en la zona radicular para satisfacer las necesidades de un cultivo en un lugar en una época determinada. Dado que la cantidad de agua es diferente para cada cultivo, e incluso puede variar a lo largo del crecimiento de una misma planta, no es posible establecer umbrales de sequía agrícolas válidos, ni siquiera para un área geográfica (Gobierno de España, 2018).

### **1.1.4. Sequía socioeconómica**

La sequía socioeconómica tiene más que ver con la afectación de la escasez de agua a las personas y a la actividad económica como consecuencia de la sequía. Este tipo de sequía se

refiere cuando un sector económico se ve afectado por la escasez hídrica con consecuencias económicas desfavorables (Ortega, 2012).

## **1.2. Índices de Sequia**

De los varios índices que existen para medir la sequía, ninguno puede considerarse superior al resto, ya que su empleo o selección depende de lo conveniente que resulte para determinados usos. En las siguientes secciones se presentan características de los principales índices de sequía, a través de los cuales es posible determinar las anomalías de la precipitación para un período de tiempo dado (Velasco, Aparicio, Valdes, Velázquez y Kim, 2004).

Un índice de sequía es solamente un número que involucra a una gran cantidad de datos de precipitación, nieve, flujo de corriente y otros indicadores de suministro de agua. Hay varios índices que miden la cantidad de precipitación que, en un período de tiempo dado, se ha desviado de normas históricamente establecidas, lo que permite detectar los períodos húmedos y de sequía. A continuación, se muestran diferentes métodos para el cálculo de índices de sequía (Podestá, 2016).

- Índice de Precipitación Estándar (SPI)
- Índice Estandarizado de Precipitación y Evapotranspiración (SPEI)
- Índice de Palmer (SPDI)
- Porcentaje de Precipitación Normal (PPN)

### **1.2.1. Índice de precipitación estándar (SPI)**

Este índice se calcula restando a la precipitación total de un determinado período la media aritmética de ese período y dividiendo el resultado por la desviación típica. El resultado será próximo a cero para valores cercanos a la media, e igual a uno cuando la diferencia entre la lluvia registrada y la media del período sea próxima al valor de desviación típica.

La estandarización de los valores permite establecer comparaciones entre todo tipo de climas, presenta problemas en aquellas regiones con una elevada variedad pluviométrica; para la determinación de éste índice se debe tener en cuenta la precipitación media mensual (Campos, 2015).

### **1.2.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)**

Se basa en registros de precipitación y evapotranspiración potencial. Combina la sensibilidad de PDSI a los cambios de demanda de evaporización, con la simplicidad de cálculo y el carácter multi-temporal del SPI (Beguería y Serrano, 2009).

Los datos necesarios para el cálculo del SPEI son:

- Precipitación media mensual.
- Temperatura promedio mensual del aire
- Latitud de la estación

### **1.2.3. Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI)**

Propuesto en 1965 ha sido ampliamente usado para determinar cuándo conceder asistencia en emergencia por sequía. El SPDI es más adecuado para grandes áreas con topografía uniforme y su objetivo, es el de proporcionar medidas estandarizadas de condiciones de humedad de tal forma que permita hacer comparaciones entre condiciones locales y entre los meses. Este índice está basado en el concepto de suministro – demanda de la ecuación del balance del agua, tomando en consideración el déficit de precipitación y se calcula en base a los datos de temperatura, precipitación y datos locales del contenido de agua en el suelo (Aranda, 2018).

Los parámetros necesarios para el desarrollo del método son:

- Precipitación media mensual.
- Temperatura promedio mensual del aire
- Capacidad de campo
- Punto de marchitez.
- Latitud de la estación

### **1.2.4. Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN)**

Este método es una de las más simples de medir precipitaciones para una localidad y los análisis respectivos son muy efectivos cuando se usan para una estación o para una región. Este índice se calcula dividiendo la precipitación actual entre la precipitación normal obtenida por lo menos en un período de 30 años y se multiplica por 100%, el cálculo puede hacerse para una variedad de escalas temporales. Usualmente esos rangos de escalas temporales van desde un mes a un grupo de meses para una estación hasta un año. Una precipitación para una localidad se considera normal cuando se le asocia un porcentaje de 100 (Podestá, 2016).

Al igual que el método SPI sólo se requiere de la precipitación media mensual para su cálculo.

## **1.3. Precipitación**

La precipitación se define como el agua aportada al terreno en forma de líquido, sólido y vapor. Las nubes están formadas por corpúsculos o gotitas de agua con un diámetro medio de 0.02 mm. Estos corpúsculos se mantienen en el aire mientras su tamaño no aumente. La precipitación se mide con un aparato llamado pluviómetro, midiendo el agua que cae sobre

un metro cuadrado de superficie durante 24 horas y expresando esa cantidad en litros por metro cuadrado; un sencillo pluviómetro sería un cilindro con un embudo para recoger el agua (Villón, 2002).

#### **1.3.1. Precipitación media mensual**

La precipitación media mensual se define como la media aritmética de las precipitaciones mensuales, que corresponde a un cierto número de meses, para realizar el relleno de datos faltantes se puede utilizar el método de las proporcionalidades y el método de la correlación ortogonal (Martín y Fernández, 2001).

#### **1.4. Temperatura**

Según Monsalve (1999), es aquella relacionada directamente con la temperatura que puede tener la atmósfera y se refiere al nivel de calor que tiene el aire en un determinado sitio y un momento específico. A su vez también dependen de los valores o elementos que componen la cima, al igual que la humedad, las precipitaciones, el viento y la presión atmosférica.

Se puede considerar también que la temperatura es un índice que determina el calentamiento o enfriamiento del aire resultante del intercambio de calor entre la atmósfera y la tierra (INIA, 2018). Además, es una magnitud física que indica la intensidad de calor o frío de un cuerpo, de un objeto o del medio ambiente, en general, medido por un termómetro, cuyo concepto de calor está asociado con una temperatura más alta, mientras que el término frío se asocia con una temperatura más baja (Moran y Shapiro, 2004).

#### **1.4.1. Temperatura media mensual**

Es el valor de la media aritmética de las temperaturas medias diarias de un determinado mes, también se considera como el valor promedio de las temperaturas medias diarias de un mes determinado. Los valores estables representativos de un clima determinado se toman como valores medios de un número de años sucesivos, no inferior a treinta años (Villón, 2002).

**CAPÍTULO II:  
MATERIALES Y MÉTODOS**

## 2.1. Descripción del área de estudio

La cuenca del río Zarumilla (Figura 1) nace en la cordillera denominada Tahuin en territorio ecuatoriano, continua al oeste representando el límite entre Perú y Ecuador hasta su desembocadura al Océano Pacífico. El área de estudio se encuentra ubicada en la zona 17, América del Sur, compartida entre Ecuador y Perú, delimitada por las coordenadas UTM en sus extremos de cuenca, así como se muestra en la Tabla 1 (Consortio UTPL – Adeplam, 2018).

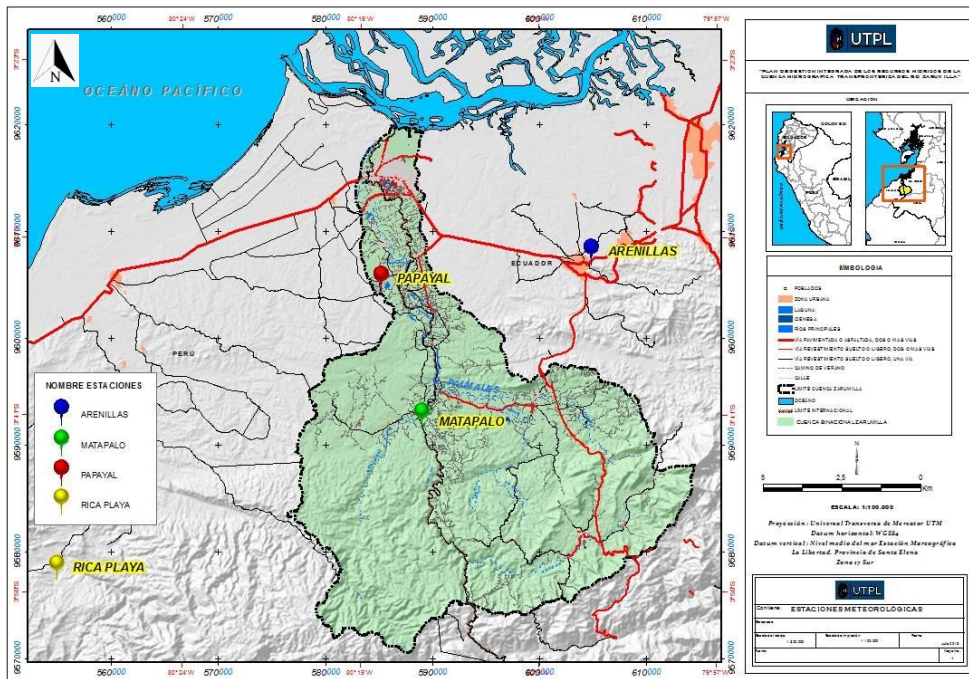


Figura 1. Mapa de la zona de estudio y ubicación de estaciones  
Fuente: Consortio UTPL-Adeplam, 2018  
Elaboración: El autor.

Tabla 1. Coordenadas UTM de la Zona de Estudio

Coordenadas UTM		
<b>Norte</b>	9'615.600 N	585.550 E
<b>Sur</b>	9'571.100 N	587.850 E
<b>Este</b>	9'590.000 N	611.050 E
<b>Oeste</b>	9'583.750 N	577.300 E

Fuente: Consortio UTPL-Adeplam, 2018  
Elaboración: El autor.

La cuenca del río Zarumilla con una extensión de 921.25 Km<sup>2</sup> (hasta el Puente Internacional) se encuentra compartido entre las repúblicas del Ecuador y del Perú en porcentajes del 55%

y 45%, respectivamente. En la Tabla 2 se describen las estaciones que se utilizaron en el estudio.

Tabla 2. Estaciones Climatológicas de estudio

<b>Estación</b>	<b>País</b>	<b>Tipo</b>	<b>UTM X</b>	<b>UTM Y</b>	<b>Elevación (msnm)</b>
Rica playa	Peru	C.O.	554887	9578654	61.00
Arenillas	Ecuador	C.O.	604839	9608205	26.00
Matapalo	Peru	P.L.	589015	9592900	118.0
Papayal	Peru	C.O.	585167	9605670	50.00

Fuente: Consorcio UTPL-Adeplam, 2018

Elaboración: El Autor

En la Tabla 1 y la Figura 1, se presentan las estaciones climatológicas que se encuentran en el área de estudio de las cuales pertenecen al Instituto nacional de Meteorología e Hidrología (INAMHI) de Ecuador y también al Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI) de Perú. En la Figura 1, se puede comprobar que la mayoría de las estaciones climatológicas se encuentran alrededor de la cuenca, existiendo cuatro estaciones dentro de la cuenca (Papayal, Arenillas, Matapalo y Rica Playa).

### **2.1.1. Clima**

El clima del área de estudio varía desde desértico en la zona costera al semiárido de las zonas montañosas en la parte fronteriza y el bosque húmedo en las nacientes de la cuenca. Está influenciado por la zona de convergencia intertropical (ZCIT) además de la interacción de las corrientes marinas de El Niño y de Humboldt (Vera et al., 2018). La mayor parte de la cuenca es árida y semiárida con precipitaciones anuales menores de 600 mm, hacia las partes altas las precipitaciones son mayores registrándose hasta 1200 mm por año.

En general la precipitación anual es menor en la parte peruana. Su variación interanual es muy importante, con períodos de sequía muy pronunciados. Normalmente el período húmedo se produce entre los meses de enero a mayo con una precipitación del 85% de la total anual, el periodo seco ocurre entre los meses de junio a diciembre. Se han presentado años totalmente secos como el año de 1968 y otros años con alta precipitación como los sucedidos durante el fenómeno meteorológico “El Niño” (SIAGUA, 2018), durante el siglo XX y hasta antes de El Niño extraordinario de 1997/98, ocurrieron unos 25 episodios El Niño de diferente intensidad. Las referencias bibliográficas indican que los eventos El Niño de 1891 y 1925, fueron eventos de intensidad comparable a los de 1982/83 y 1997/98. En lo que va del siglo XXI, se han presentado cinco episodios El Niño en el Pacífico central: dos de intensidad débil (años 2004/05 y 2006/07) y dos de intensidad moderada (años 2002/03 y 2009/10) (MINAM, 2017) (Consorcio UTPL-Adeplam, 2018).

En 2017 se presentó el denominado Niño Costero que afectó notablemente no solo a la cuenca Zarumilla sino a toda la costa Norte del Perú, afectando incluso a la ciudad de Lima, en el Ecuador sus efectos se pudieron sentir en toda la costa ecuatoriana.

La litosfera se divide en fragmentos conocidos como placas tectónicas que se mantienen en movimientos continuos, de velocidades muy lentas (en promedio 5 cm anuales) debidos a las corrientes del manto, estos producen cambios en su tamaño y forma. El grosor de las placas dependerá de la ubicación de las mismas, si se ubican en los océanos, el espesor puede variar desde unos pocos kilómetros a 100 kilómetros conforme se acerca a las cuencas oceánicas profundas, en la litosfera continental se puede llegar a grosores que van desde los 100 a 250 kilómetros (Tarbuck y Lutgens, 2005). La litósfera oceánica a pesar de ser relativamente más delgada que la continental presenta mayor densidad.

### **2.1.2. Suelo**

Todo lo que viene a continuación fue proporcionado por el Consorcio UTPL – Adeplam (2018).

Los suelos de la cuenca del rio Zarumilla están bajo condiciones de alto grado de meteorización debido a la alta temperatura, el color de los suelos va desde el pardo amarillento a pardo gris. Estos suelos corresponden a sustratos arenosos y lodosos preexistentes, como consecuencia de la actuación de un conjunto de factores ambientales. El subsuelo de la cuenca Zarumilla está formado geológicamente por suelos sedimentarios y metamórficos (arcillas, limos y arenas) suelos finos de origen aluvial. La textura general de estos suelos es de limo-arcillosa a arcillosa. Su pH oscila de neutro a moderadamente alcalino y su contenido en materia orgánica es generalmente bajo, de forma que no suele superar el 1.5% y suelen tener aproximadamente 15% de carbonato cálcico.

En términos de clasificación de suelos, los suelos de la cuenca del rio Zarumilla son principalmente de los tipos Inceptisol, Alfisol y Entisol.

El tipo Inceptisol corresponde a suelos formados sobre materiales residuales, superficiales y de topografía entre inclinada a muy empinada. Se encuentran bajo la influencia de una temperatura media anual superior a 25°C y se caracterizan principalmente por presentar una saturación básica inferior a un 40%.

El tipo Alfisol se define por su color rojo, su arcilla (tipo caolinita) y el pH acerca los 5.5 (ácido).

El tipo Entisol corresponde a suelos minerales derivados de materiales aluviales con textura moderadamente fina y, que están asociados a los cursos de los ríos principales.

Para este estudio es necesario conocer la capacidad para almacenar agua en los suelos correspondiente a las estaciones a analizar, por esta razón se ha obtenido la capacidad de



campo CC y el punto de marchitez PMP que posee la cuenca en estudio (Tabla 3 – 5) (Consortio UTPL – Adeplam, 2018).

Tabla 3. Tipo de suelo en estaciones de estudio

<b>Estación</b>	<b>Tipo de suelo</b>
Papayal	Franco-Arenoso
Matapalo	Franco-Arcilloso
Rica Playa	Franco-Arenoso
Arenillas	Franco-Arenoso

Fuente: Consortio UTPL-Adeplam, 2018

Elaboración: El autor

Tabla 4. Condiciones Físicas de los Suelos de la Región Sur del Ecuador

<b>Tipo de suelo</b>	<b>Profundidad (cm)</b>	<b>Prof (mm)</b>	<b>CC (%)</b>	<b>PM (%)</b>
<b>Franco arenoso</b>	0 a 12	120	31	7
	12 a 39	390	101	24
<b>Franco arcilloso</b>	0 a 18	180	74	46
	18 a 28	280	115	71

Fuente: Valarezo Manosalvas Carlos, 2018 – CC: capacidad de campo y PM: punto de marchitez

Elaboración: El autor

Tabla 5. Condiciones físicas de los suelos

<b>Tipo de suelo</b>	<b>CC (mm)</b>	<b>PM (mm)</b>
Franco arcilloso	41.1	25.5
Franco arenoso	26	6.1

Fuente: IILRI, 1983

Elaboración: El autor

## 2.2. Metodología

### 2.2.1. Relleno de datos faltantes

Al realizar estudios cronológicos de las series se presentan datos faltantes que limitan el uso de las mismas, aún si existen registros de otros años; por lo tanto, se recurre a métodos de relleno para estimar los datos faltantes. Es un plan adecuado de inspección y mantenimiento para garantizar la continuidad y la fiabilidad de los datos y la realización de medición de control y calibraciones periódicas para garantizar la exactitud requerida de los datos.

Para el relleno de los datos faltantes se realiza con los datos de la misma estación y utilizando datos de otras estaciones.

- **Con los datos de la misma estación**

### 2.2.1.1. Método de las proporcionalidades

Se considera que los resultados son más confiables pues se trabaja con los valores medios de los datos registrados durante el período analizado, en la Ecuación 1 se muestra la expresión con la que se calcula (Oñate, 2004).

$$\frac{X_1}{pm_1} = \frac{X_2}{pm_2} = \frac{X_n}{pm_n} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n + \sum(\text{datos existentes año incompleto})}{pa} \quad \text{Ecuación 1}$$

Dónde:

$pm$ : precipitación media mensual del período, determina con las precipitaciones mensuales existentes.

$pa$ : precipitación media total, determinada con las sumatorias anuales de precipitación de series completas

- **Con datos de otras estaciones**

### 2.2.1.2. Método de U.S Weather Service

Se conoce también como método de la distancia inversa y permite estimar la precipitación en un punto como un promedio ponderado de otras 4 estaciones cada una ubicada en un cuadrante formado por las líneas norte-sur y este-oeste, que pasa sobre un punto en cuestión, las estaciones deben ser las más cercanas al punto de interés. El factor de ponderación es el inverso del cuadrado de la distancia entre la estación y el punto de interés (Oñate, 2004).

Se define de acuerdo con la Ecuación 2.

$$X = \frac{\frac{X_a}{D_a^2} + \frac{X_b}{D_b^2} + \frac{X_c}{D_c^2} + \frac{X_d}{D_d^2}}{\frac{1}{D_a^2} + \frac{1}{D_b^2} + \frac{1}{D_c^2} + \frac{1}{D_d^2}} \quad \text{Ecuación 2}$$

Dónde:

$X_a, X_b, X_c, X_d$ : precipitación media mensual de cada estación.

$Da, Db, Dc, Dd$ : Distancia entre la estación base y la que se desea encontrar los datos.

### 2.2.1.3. Método de la correlación ortogonal

Este método utiliza parejas de datos para desarrollar gráficas que tanto el eje de las abscisas como ordenadas conservan la misma escala. La recta que se ajusta a la nube de puntos o recta de regresión tiene la particularidad de que la suma de los cuadrados de las distancias de cada punto a la recta es un valor mínimo, pudiéndose recurrir, para el cálculo de la ecuación, al método de los cuadrados; las distancias son medidas perpendicularmente del punto a la recta (Oñate, 2004, p. 28).

Se utiliza la Ecuación 3 y 4 para determinar la media aritmética.

$$X_m = \frac{\sum X_i}{N} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$Y_m = \frac{\sum Y_i}{N} \quad \text{Ecuación 4}$$

Para el cálculo de la varianza y covarianza la Ecuación 5 - 7

$$\sigma^2 X = \frac{\sum (X - X_m)^2}{N} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\sigma^2 Y = \frac{\sum (Y - Y_m)^2}{N} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$\sigma_{xy} = \frac{\sum (X - X_m) \times (Y - Y_m)}{N} \quad \text{Ecuación 7}$$

Continuamente se calcula las raíces con la Ecuación 8.

$$\lambda^2 - [(\sigma_x^2 + \sigma_y^2) \times \lambda] + [\sigma_x^2 \times \sigma_y^2 - (\sigma_{xy})^2] = 0 \quad \text{Ecuación 8}$$

Dónde:

$$\lambda_1 > \lambda_2 > 0$$

La pendiente de la recta se calcula con la Ecuación 9 y el coeficiente de correlación con la Ecuación 10.

$$m = \frac{\sigma_{xy}}{\lambda - \sigma_y^2} \quad \text{Ecuación 9}$$

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sqrt{\sigma_x^2 \times \sigma_y^2}} \quad \text{Ecuación 10}$$

Finalmente, para el tramo recto donde  $X_i > X_m$ , se utiliza la Ecuación 11.

$$Y = (Y_m - m \times X_m) + m \times X \quad \text{Ecuación 11}$$

En cambio, para el tramo parabólico donde  $X_i < X_m$ , se utiliza la Ecuación 12.

$$Y = Y_m \times \left( \frac{X}{X_m} \right)^{\left( \frac{m \times X_m}{Y_m} \right)} \quad \text{Ecuación 12}$$

Debido a que no existía datos de temperatura media en las estaciones de estudio, se procedió a realizar un promedio entre la máxima y mínima temperatura para cada mes y año.

Todos los cálculos realizados para precipitación y temperatura se adjuntan en el Anexo 1.

#### 2.2.1.4. Estación Papayal

Papayal es una estación Climatológica, pertenece a la red de estaciones de la República del Perú, se encuentra ubicada en la parte norte de la cuenca Zarumilla. Para el relleno de precipitación se ocupó el método de correlación ortogonal entre la estación Matapalo y Papayal y para la temperatura también se utilizó el método ortogonal con la estación Arenillas.

Los promedios mensuales resultantes se encuentran en la Figura 2 y 3.

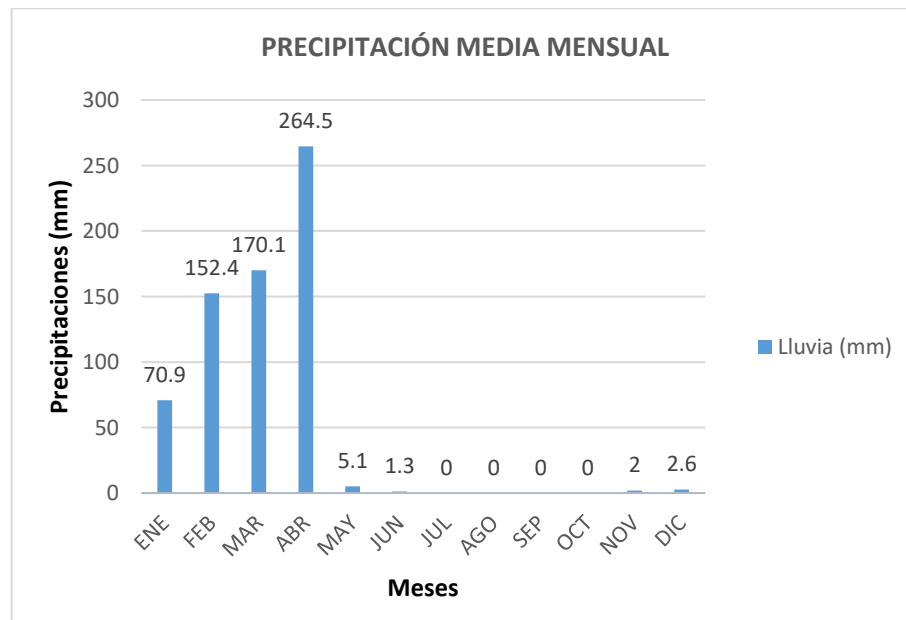


Figura 2. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Papayal  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

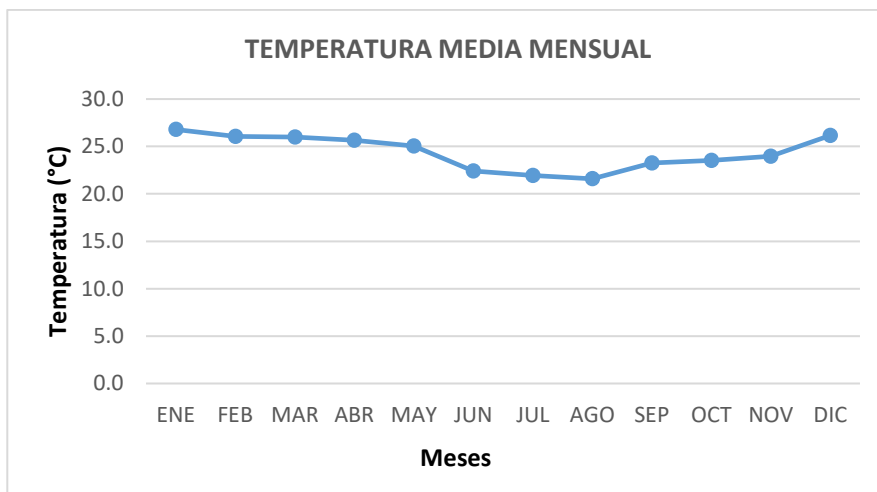


Figura 3. Gráfica de temperatura Media Mensual de la estación Papayal  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

### 2.2.1.5. Estación Matapalo

La estación pluviométrica Matapalo pertenece a la red de estaciones de Perú y se encuentra ubicada en la parte central de la cuenca Zarumilla cuyas coordenadas se pueden observar en la Tabla 2. Para el relleno de precipitaciones se utilizó el método de correlación ortogonal con la estación Papayal.

Debido a que es una estación pluviométrica no existen registros de temperatura por tal motivo se creó una estación virtual que se la relleno por medio del método de distancia inversa. Los promedios de precipitación y temperatura se encuentran en la Figura 4 y 5, respectivamente.

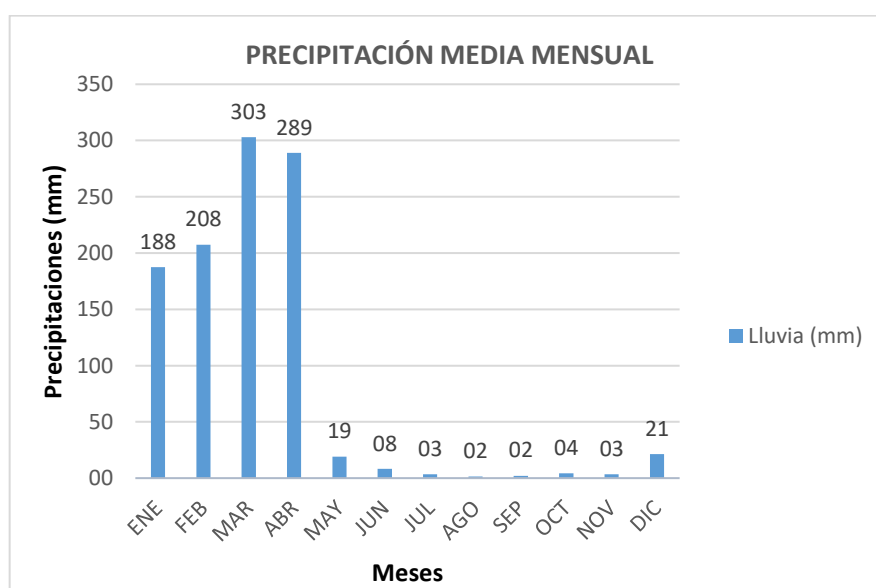


Figura 4. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Matapalo  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

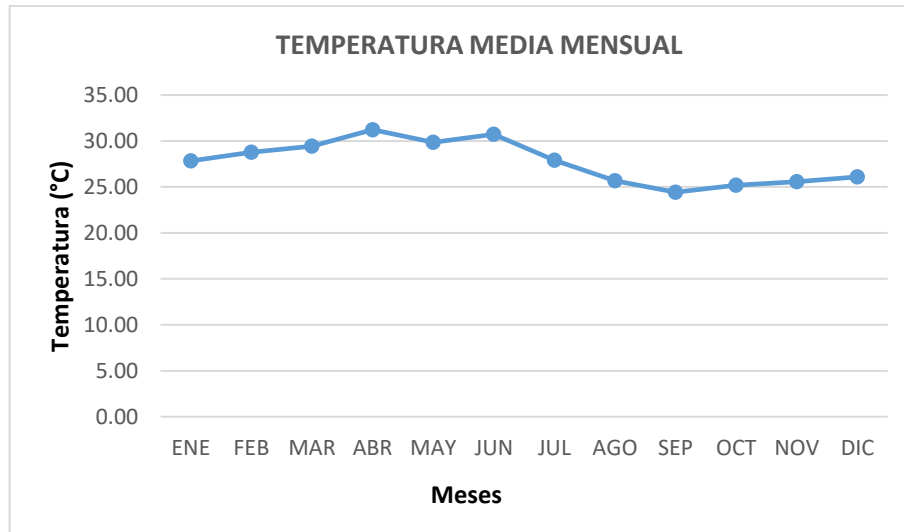


Figura 5. Gráfica de temperatura Media Mensual de la estación Matapalo  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

### 2.2.1.6. Estación Arenillas

Arenillas es una estación climatológica, pertenece a la red de estaciones de la República del Ecuador, se encuentra ubicada al noreste de la cuenca Zarumilla en la provincia del Oro. Se realizó un relleno de datos para precipitación y temperatura con la estación Papayal utilizando el método de correlación ortogonal.

En las Figuras 6 y 7 se encuentran los promedios de precipitación y temperatura.

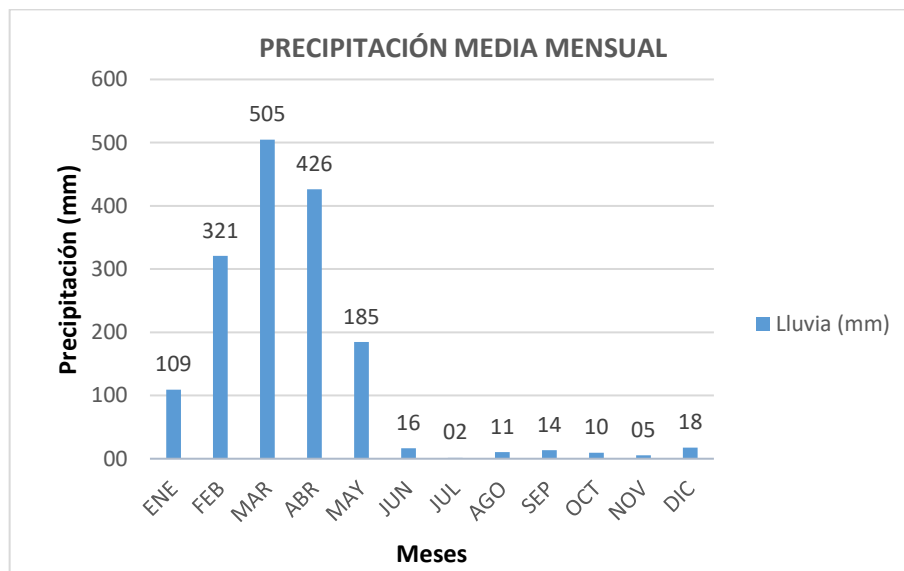


Figura 6. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Arenillas  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

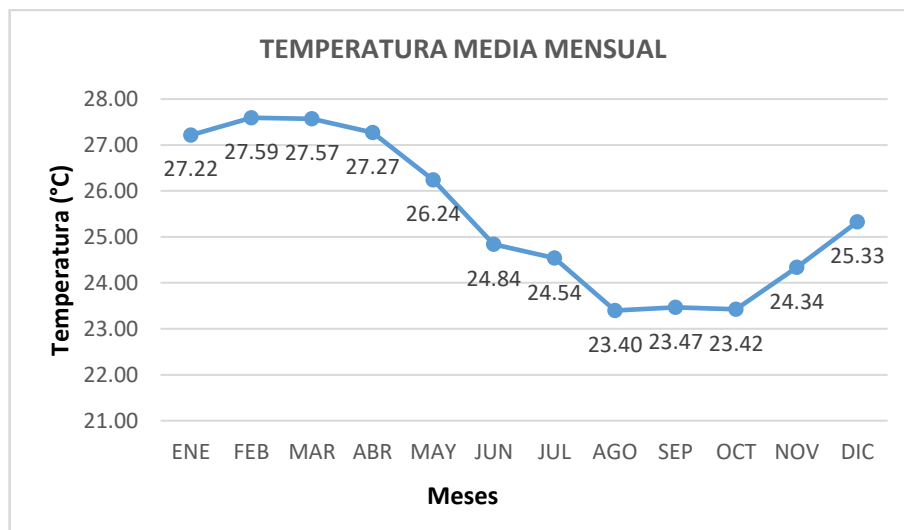


Figura 7. Gráfica de temperatura Media Mensual de la estación Arenillas  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

### 2.2.1.7. Estación Rica Playa

Rica Playa es una estación Climatológica, pertenece a la red de estaciones de la República del Perú, se encuentra ubicada en la parte este de la cuenca Zarumilla. Para el caso de relleno de precipitaciones se utilizó el método proporcional, debido a que existían pocos datos faltantes. En el caso de las temperaturas se utilizó el método de correlación ortogonal con la estación Arenilla, con la cual existe una buena homogeneidad. En las Figuras 8 y 9 se encuentran los promedios de precipitación y temperatura.

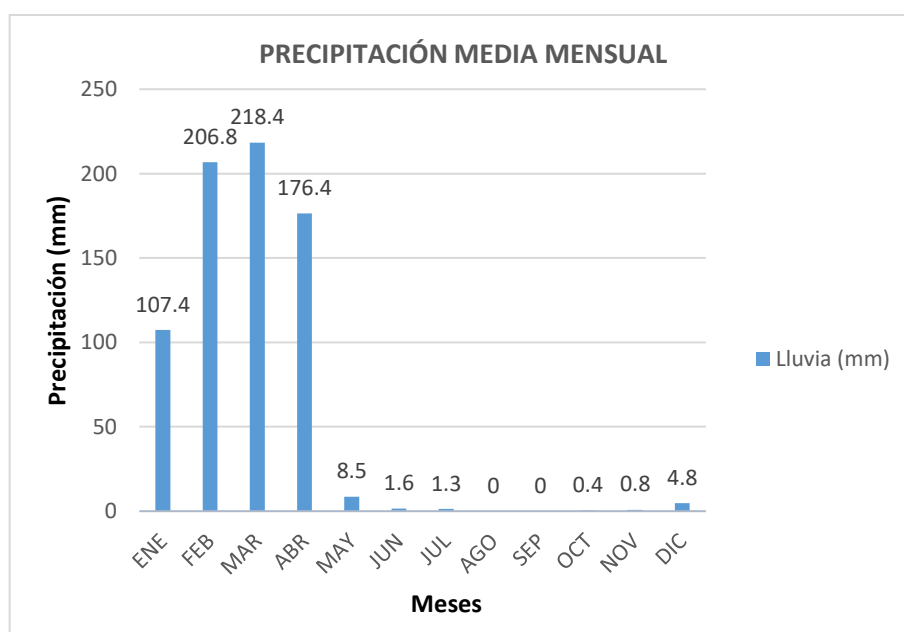


Figura 8. Gráfica de precipitación Media Mensual de la estación Rica Playa  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

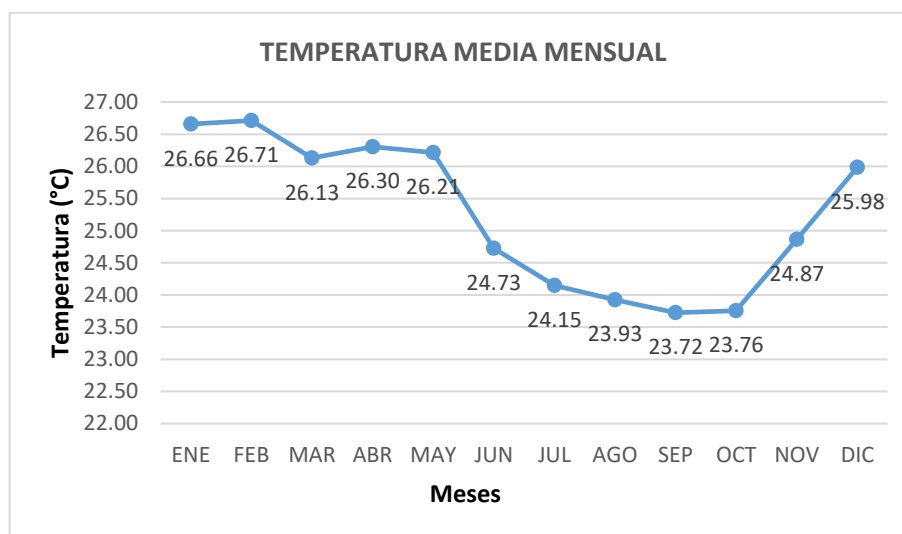


Figura 9. Gráfica de temperatura Mensual de la estación Rica Playa  
Fuente: INAMHI y SENAMHI, 2018  
Elaboración: El Autor

### 2.2.2. Índices de sequía

Las diversas concepciones de la sequía, sus causas y efectos, sumado a los diferentes niveles de disponibilidad de información para cada región o país, ha dado como resultado, diversas herramientas para evaluarla. Las variables que comúnmente están involucradas en los métodos de estimación son diversas y se han desarrollado métodos que emplean una sola variable hasta aquellos que emplean varios parámetros, dando una mayor confiabilidad en los resultados, pero requieren de complicados cálculos y con frecuencia no se dispone de datos suficientes para tal fin (Meza, Corso y Soza, 2010).

Para el desarrollo de los métodos ha sido necesario una amplia investigación del procedimiento adecuado, sus fórmulas, parámetros, condiciones, límites, etc. Al contar con la información necesaria se ha procedido a la implementación de su cálculo mediante Microsoft Excel, para los 41 años de datos históricos.

#### 2.2.2.1. Índice estandarizado de precipitación (SPI)

Este método parte del principio de condición de sequía como el número de veces que se presenta una desviación de la precipitación respecto a un comportamiento considerado normal. De acuerdo con McKee et al. (1993) utilizaron la distribución Gamma para transformar las series de precipitación a unidades estandarizadas. Sin embargo, la distribución tipo III de Pearson muestra una mejor capacidad de adaptación a las series de precipitación computadas a diferentes escalas temporales (Guttman, 1999; Vicente-Serrano, 2006; Quiring, 2009).



El cálculo se basa en el uso de registros de precipitación, de un lugar, ajustado a una función de probabilidad Pearson III. Komuscu (1999), destaca el método del SPI por su rapidez, gran aproximación en análisis de sequía, su simplicidad y requerimiento mínimo de datos. La función de probabilidad Pearson III de tres parámetros se expresa como:

$$f(x) = \frac{1}{|\alpha|\Gamma\beta} \left(\frac{x-\gamma}{\alpha}\right)^{\beta-1} \exp\left(-\frac{x-\gamma}{\alpha}\right) \quad \text{Ecuación 13}$$

Dónde:

$x$ : precipitación

$\alpha, \beta, \gamma$  : parámetro de escala, forma y origen.

Los parámetros  $\alpha$  y  $\beta$  y  $\gamma$  de la función Pearson III, se obtuvieron por medio del procedimiento L-momento.

La probabilidad normal estándar ( $Z$ ), se calcula de acuerdo a las siguientes expresiones:

Si  $P \geq \gamma$ :

$$Z = \left[ \left(\frac{P-\gamma}{\alpha \times \beta}\right)^{0.33} + \left(\frac{1}{9\beta}\right) - 1 \right] \times (9\beta)^{\frac{1}{2}} \quad \text{Ecuación 14}$$

Si  $P < \gamma$ :

$$Z = -3.09023 \quad \text{Ecuación 15}$$

La Tabla 6 nos indica la clasificación que alcanza el SPI con intensidades de sequía, en el cual se observa que los valores positivos representan diferentes clases de humedad y los valores negativos varias clases de sequía.

Tabla 6. Clasificación de la sequía

Valor del índice	Categoría de sequía
2 ó mayor	Extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	Muy húmedo
1.0 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Cercano a la normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.5 a 1.99	Severamente seco
-2.0 ó menor	Extremadamente seco

Fuente: Edwards y Mackee (1997, citado por Crespo, 2008)  
Elaboración: El Autor

### 2.2.2.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)

Según Beguería y Serrano (2008), este método cumple las exigencias de un índice de sequía ya que su carácter multi-escalar permite que sea utilizado por las diferentes disciplinas científicas para detectar, monitorear y analizar las sequías. Al igual que los métodos en estudio se puede medir la gravedad de la sequía de acuerdo a su intensidad y duración, y se puede identificar el inicio y final de los episodios de sequía. Este método permite la comparación de la gravedad de la sequía a través de tiempo y el espacio, ya que puede ser calculado sobre una amplia gama de climas, al igual que el SPI. Keyantash y Dracup (2002) manifiestan que los índices de sequía deben ser estadísticamente robustos y fáciles de calcular, y deben tener un procedimiento de cálculo claro y comprensible. Todos estos requisitos se cumplen por el SPEI. Sin embargo, una ventaja crucial del SPEI frente a otros índices de sequía usados, que tengan en cuenta el efecto de la evapotranspiración potencial en la severidad de la sequía, es que su característica de multi-escala permite la identificación de tipos diferentes de sequía y los impactos en el contexto del calentamiento global Beguería y Serrano (2008).

El cálculo de este método se basa en el procedimiento de cálculo original del Índice de Precipitación Estándar (SPI). El SPI se calcula con periodicidad mensual siendo las precipitaciones los datos de entrada. En cambio, el SPEI utiliza las precipitaciones los datos de entrada y la evapotranspiración potencial a nivel mensual como dato de entrada. Esto representa un simple balance hídrico climático que se calcula en diferentes escalas de tiempo para obtener el SPEI.

#### 1) Balance hídrico climático (precipitación menos la evapotranspiración)

Dado que no hay datos directos de la evapotranspiración que estén normalmente disponibles, este método se basa en una aproximación a la ET. La metodología utilizada, se estima la ETP por el método de Thornthwaite (1948). La fórmula es:

$$ETP = F_c \times 1.6 \left( 10 \times \frac{T}{1} \right)^a \quad \text{Ecuación 16}$$

$$I = \sum \text{de los 12 meses del año} \quad \text{Ecuación 17}$$

$$a = 0.000000675 \times I^3 - 0.0000771 \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239 \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

*ETP* : evapotranspiración potencial en un mes de 30 días en cm.

*T* : temperatura media del aire, en °C

*I* : índice de calor

*a*: constante del lugar

*F<sub>c</sub>* : factor de correlación por latitud.

$$F_c = N \left( \frac{d_{mes}}{365} \right)$$

Ecuación 19

Donde:

$d_{mes}$  : número de días del mes

$N$  : fotoperiodo promedio del mes

- *Cálculo de N*

El fotoperiodo es la expresión luminosa que recibe un espacio físico medido en tiempo y cantidad (EcuRed, 2010).

Paso 1: Determinación de la declinación del sol (dec)

$$dec = 23.5 \times \frac{\cos(2\pi(d - 172))}{365}$$

Ecuación 20

Donde:

$d$  : día del año, que va desde 1 hasta 365

El resultado está en grados, hay que llevarlo a radianes:

$$dec = \frac{(\text{Resultado} \times \pi)}{180}$$

Paso 2: Determinación del ángulo horario ( $h_o$ )

$$h_o = \arcsin \left( -\tan \left( \frac{\pi \times lat}{180} \right) \times \tan(dec) \right)$$

Ecuación 21

Donde:

$lat$  : latitud en estación

Paso 3: Determinación del Fotoperiodo (N, horas de luz)

$$N = \frac{h_o \times 24}{\pi}$$

Ecuación 22

Con un valor para la evapotranspiración potencial, la diferencia entre la precipitación (P) y ETP para el mes  $i$  se calcula:

$$D_i = P_i - ETP_i$$

Ecuación 23

Que proporciona una medida simple del superávit o déficit de agua para el mes analizado.

Los valores calculados  $D_i$  se agregan en diferentes escalas de tiempo, siguiendo el mismo procedimiento para el Índice de precipitación estándar.

## 2) Estandarización de la variable

La función de probabilidad Log-Logistic de tres parámetros se expresa como:

$$f(x) = \frac{\beta}{\alpha} \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta-1} \left( 1 + \left( \frac{x - \gamma}{\alpha} \right)^{\beta} \right)^{-2}, \text{ para } \gamma > X > \infty \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$x$  : precipitación

$\alpha, \beta, \gamma$  : parámetro de escala, forma y origen.

Los parámetros de la función Log – Logistic, se obtuvieron por medio del procedimiento L-momento. Cuando se calculan los momentos L, los parámetros de la distribución de Pearson III se pueden obtener siguiendo Singh et al. (1993):

$$\beta = \frac{2W_1 - W_0}{6W_1 - W_0 - 6W_2} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$\alpha = \frac{(W_0 - 2W_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)} \quad \text{Ecuación 26}$$

$$\gamma = W_0 - \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde  $\Gamma(\beta)$  es la función gamma de  $\beta$ .

En Vicente-Serrano et al. (2010), cuando se calcularon los parámetros log-logísticos de distribución  $\alpha, \beta$  y  $\gamma$ , se utilizó el método de probabilidad de momentos ponderados (PWM), basado en el enfoque de posición de trazado (Hosking, 1990),

La función de distribución de probabilidad de  $D$  de acuerdo con la distribución Log-Logistic viene dada por:

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^{\beta} \right]^{-1} \quad \text{Ecuación 28}$$

Con  $F(x)$ , el SPEI se puede obtener fácilmente como los valores estandarizados de  $F(x)$ . Por ejemplo, siguiendo la aproximación clásica de Abramowitz y Stegun (1965):

$$SPEI = W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W - d_2W^2 - d_3W^3}$$

Ecuación 29

Donde:

$$W = -2\ln(P)$$

Ecuación 30

Para  $P \leq 0.5$ ,  $P$  es la probabilidad de exceder un valor  $D$  determinado,  $P = 1-F(x)$ . En cambio, si  $P > 0.5$ ,  $P$  es reemplazado por  $1 - P$  y el signo de la SPEI resultante se invierte.

Las constantes son:

$$C_0 = 2.515517$$

$$C_1 = 0.802853$$

$$C_2 = 0.010328$$

$$d_1 = 1.432788$$

$$d_2 = 0.189269$$

$$d_3 = 0.001308$$

La SPEI es una variable estandarizada y, por lo tanto, se puede comparar con otros valores de SPEI a lo largo del tiempo y el espacio. Un SPEI de 0 indica un valor correspondiente al 50% de la probabilidad acumulativa de  $D$ , de acuerdo con una distribución Log – Logistic.

La Tabla 7 muestra el sistema de clasificación que enlaza el SPEI con intensidades de sequía, en el cual se observa que los valores positivos representan diferentes clases de humedad y los valores negativos diferentes clases de sequía.

Tabla 7. Indicador del SPEI

Valor del índice	Categoría de sequía
> 4.0	Extremadamente húmedo
3.0 a 3.99	Muy húmedo
2.0 a 2.99	Moderadamente húmedo
1.0 a 1.99	Ligeramente húmedo
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente
-0.4 a 0.4	Normal
-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
-1.0 a -1.99	Sequía reducida
-2.0 a -2.99	Sequía moderada
-3.0 a -3.99	Sequía severa
< -4.0	Sequía extrema

Fuente: Edwards y Mackee (1997 citado por Crespo, 2008)  
Elaboración: El Autor

### 2.2.2.3. Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI)

El índice de SPDI se basa en las anomalías hídricas del balance hídrico seriado; y determina períodos de sequías y excesos hídricos. Parte de un balance de humedad mensual, emplea para ello los requisitos de precipitación y temperatura, además considera la capacidad almacenamiento de agua en el suelo (Vicario, et al., 2007).

Hamidi (1979, citado por Decker 1983), para el estado de Missouri, analizó las frecuencias de valores de PDSI y períodos de retorno para cada valor de índice; el autor concluye que este método es una herramienta adecuada en la valoración del impacto de deficiencias de agua en el suelo. Crespo (2008) expone el siguiente procedimiento para el cálculo del índice de palmer.

#### 1) Cálculo de balance hídrico en el suelo

El modelo de balance hídrico considera dos capas de suelo: la capa superficial (S<sub>s</sub>) capa de arada o zona radicular, en esta capa cae la lluvia y en ella se lleva a cabo la evaporación. La capa (S<sub>s</sub>) contiene 25 mm de agua útil a capacidad de campo en función de la profundidad considerada y las características del suelo. También se asume que no hay recarga de la zona inferior de la zona radicular hasta la capa superficial (S<sub>s</sub>), sea llenada a capacidad de campo. La capa subsuperficial (S<sub>u</sub>) almacenada el resto del agua en el perfil. Se asume que la pérdida de humedad en esta capa depende del contenido de humedad inicial y de la evapotranspiración potencial (ETP) o evapotranspiración de referencia y de la capacidad disponible del sistema del suelo (AWC) (Curipoma, 2012). Con la Ecuación 31 se determina la pérdida de contenido de humedad de la capa superficial:

$$L_s = S_s \text{ ó } ETP - P \quad \text{Ecuación 31}$$

Donde:

$P$  : precipitación del período.

Para el cálculo de la ETP se procede según lo propuesto por Thornthwaite (1948) y se utilizan las Ecuaciones 14-20.

La capa subsuperficial (S<sub>u</sub>), pierde humedad (L<sub>u</sub>) de acuerdo a la Ecuación 32:

$$L_u = \frac{(ETP - P - L_s) \times S_{uAnt}}{AWC} \quad \text{Ecuación 32}$$

Donde:

$S_{uAnt}$  : humedad del día anterior.

$AWC$  : agua útil total en las dos capas.

Entonces con la Ecuación 33 se puede determinar el agua útil en las dos capas.

$$AWC = CC - PMP \quad \text{Ecuación 33}$$

Donde:

CC la capacidad de campo, definida como la cantidad de agua retenida en una muestra de suelo después de drenar el exceso de agua de gravedad (GHI) y PMP el punto de marchitez permanente entendido como el valor límite del agua absorbida por lo tanto no aprovechable por las raíces.

Se utiliza la siguiente expresión para el agua total presente en el suelo en un período determinado.

$$S = S_s - S_u \quad \text{Ecuación 34}$$

Y para las pérdidas totales ocurridas en las dos capas del suelo, se utiliza la siguiente expresión:

$$L = L_s - L_u \quad \text{Ecuación 35}$$

## 2) Cálculo de variables potenciales.

El método define una serie de variables que asumen valores potenciales, Ecuaciones 36 y 37.

Recarga Potencial (PR)

$$PR = AWC - S_{Ant} \quad \text{Ecuación 36}$$

Pérdida Potencial (PL)

$$PL = PL_s + PL_u \quad \text{Ecuación 37}$$

Mostrada como otra media que existiría en condiciones máximas que se perderían desde el suelo (Ecuación 38 y 39).

Donde:

$$PL_s = PE \text{ ó } S_{S_{Ant}} \quad \text{Ecuación 38}$$

$$PL_u = \frac{(PE - PL_s) \times S_{U_{Ant}}}{AWC} \quad \text{Ecuación 39}$$

Se toma el menor resultado de las ecuaciones

Escorrimento Potencial (PRO)

$$(PRO) = AWC - PR = S_{Ant} \text{ ó } 3P - PR \quad \text{Ecuación 40}$$

3) Determinación de los coeficientes

Para la determinación de los coeficientes se ocupan las Ecuaciones 41 – 44.

$$\text{Coeficiente de evapotranspiración } (\alpha) = \frac{ET}{PE} \quad \text{Ecuación 41}$$

$$\text{Coeficiente de recarga } (\beta) = \frac{R}{PR} \quad \text{Ecuación 42}$$

$$\text{Coeficiente de escurrimiento } (\Gamma) = \frac{RO}{PRO} \quad \text{Ecuación 43}$$

$$\text{Coeficiente de pérdidas } (\delta) = \frac{L}{PL} \quad \text{Ecuación 44}$$

4) Cálculo de valores climáticamente apropiados.

Valores climáticamente apropiados para las condiciones existentes (Ecuaciones 45 – 49):

$$ET = \alpha PE \quad \text{Ecuación 45}$$

$$R = \beta PR \quad \text{Ecuación 46}$$

$$RO = \Gamma PRO \quad \text{Ecuación 47}$$

$$L = \delta PL \quad \text{Ecuación 48}$$

$$P = ET + R + RO + L \quad \text{Ecuación 49}$$

5) Cálculo de deficiencias hídricas

El análisis de la serie se efectúa a partir de la precipitación característica P, calculando para cada mes o década de la serie la desviación de la precipitación real con respecto a P. entonces, las deficiencias hídricas en determinados períodos estarán señaladas por el valor de la Ecuación 50:

$$d = PE - P \quad \text{Ecuación 50}$$

6) Determinación del factor climático (K)



La serie de desviaciones obtenidas deben ser transformadas a índices de anomalías. Este índice es definido por palmer como el producto de la desviación  $d$  para cada período y un factor ponderado  $K$  que es función de las desviaciones promedio en cada período considerado y de la relación de oferta vs demanda. Una primera aproximación del valor de  $K$  para cada localidad está dada por la relación que se presenta en la Ecuación 51 (Relación demanda/Oferta de agua):

$$K = \frac{(PE + R)}{P + L} \quad \text{Ecuación 51}$$

Un ajuste de la relación anterior está dado por:

$$K = 1.5 \text{ Log} \left[ \frac{\left( \left( \frac{PE + R + RO}{P + L} \right) + 2.80 \right)}{D} \right] + 0.50 \quad \text{Ecuación 52}$$

Donde:

$D$  : promedio de los valores absolutos de  $d$ .

#### 7) Determinación del índice de anomalía hídrica ( $Z$ )

El índice de anomalía ( $z$ ), expresa una desviación relativa del tiempo actual en un mes determinado, con respecto a las condiciones del tiempo promedio. Sin embargo, para la derivación de un índice de sequía, es fundamental tener en cuenta el factor tiempo; generalmente no es el primer período de bajas precipitaciones el que ocasiona daños serios a la agricultura, sino los períodos prolongados. La diferencia en cuanto a duración de diferentes períodos de sequía determina que la sequía sea clasificada como leve, fuerte o extrema.

$$Z = dK \quad \text{Ecuación 53}$$

- Índice de sequía Palmer

Se establece que el índice final de sequía dependerá de la sucesión de aportes individuales  $Z$ . Palmer derivó una ecuación empírica para determinar el valor del índice:

$$X_i = X_{(i-1)} + \left( \frac{1}{3} \right) (Z_i) - 0.103X_{(i-1)} \quad \text{Ecuación 54}$$

Evidentemente para un mes inicial, en un período seco o húmedo no hay mes anterior, es decir:

$$X_i = \left( \frac{1}{3} \right) Z_i \quad \text{Ecuación 55}$$

En la Tabla 8, se muestran los indicadores del índice de Palmer que parte desde extremadamente húmedo hasta sequía extrema.

Tabla 8. Indicador de Palmer

Valor del índice	Categoría de sequía
> 4.0	Extremadamente húmedo
3.0 a 3.99	Muy húmedo
2.0 a 2.99	Moderadamente húmedo
1.0 a 1.99	Ligeramente húmedo
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente
-0.4 a 0.4	Normal
-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
-1.0 a -1.99	Sequía reducida
-2.0 a 2.99	Sequía moderada
-3.0 a -3.99	Sequía severa
< -4.0	Sequía extrema

Fuente: Palmer (citado por Crespo, 2008)  
Elaboración: El Autor

#### 2.2.2.4. Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN)

En este método se considera un índice básico para el análisis de la lluvia, se refiere a la relación que existe entre la precipitación acumulada en un período de tiempo determinado y la precipitación normal para una región, y se expresa de manera porcentual. La precipitación media anual histórica se conoce como precipitación normal y se obtiene a partir del valor promedio de las precipitaciones anuales ocurridas en un período no menor a 30 años. Los valores porcentuales estimados para cada año indican el déficit y el excedente, en la precipitación anual ocurrida (DelaVega, 2018).

La determinación de los años con sequía en este estudio se lleva a cabo en principio, estimando valores del PPN en cada estación climatológica para lo cual se utilizan las series históricas de precipitación mensual acumulada del período de registro de cada estación.

$$PPN_{IJ} = \left( 100 - \frac{P_{IJ}}{PN_j} \times 100 \right) \quad \text{Ecuación 56}$$

Donde:

$PPN_{IJ}$  : Porcentaje de la precipitación normal del año i en la estación j, en %

$P_{IJ}$  : Precipitación mensual del año i, mm

$PN_j$  : Precipitación normal de la estación j (promedio histórico), mm

i = Índice de años, adim.

j = Índice de estaciones climatológicas, adim.

Para realizar la caracterización de la sequía meteorológica con base en los valores del PPN, se considera que una precipitación menor al 80% de la lluvia media anual constituye un año de sequía, y se utiliza además la clasificación propuesta por la CONAGUA (1997), la cual se resume en la Tabla 9.

Tabla 9. Indicador de PPN

<b>Valor del índice</b>	<b>Categoría de sequia</b>
$0\% \leq \text{PPN} < 25\%$	Sequía extrema
$25\% \leq \text{PPN} < 50\%$	Sequía severa
$50\% \leq \text{PPN} < 75\%$	Sequía moderada
$75\% \leq \text{PPN} < 125\%$	Normal
$125\% \leq \text{PPN} < 150\%$	Moderadamente húmedo
$150\% \leq \text{PPN} < 250\%$	Severamente húmedo
$150\% \leq \text{PPN} < 250\%$	Extremadamente húmedo

Fuente: Podestá, 2016.  
Elaboración: El Autor

**CAPÍTULO III:  
ANÁLISIS Y RESULTADOS**

### **3.1. Análisis**

De acuerdo con los datos obtenidos de temperatura y precipitación (Anexo 1), proporcionados por la institución INAMHI y SENAMHI, se procedió mediante los métodos SPI, SPEI, SPDI y PPN a determinar el índice de sequía de las estaciones Arenillas, Matapalo, Papayal y Rica playa que pertenecen a la cuenca transfronteriza Zarumilla, los resultados se muestran en el Anexo 2.

Además, se cartografiaron los resultados para cada una de las estaciones tomando en cuenta el año 2000, el mismo que representa un año característico de los 41 años en análisis.

Los métodos antes mencionados fueron seleccionados de acuerdo con las siguientes características:

**SPI:** Según la Organización meteorológica mundial (2012), es uno de los métodos más utilizados a nivel mundial por la sencillez y facilidad de cálculo. Además, los datos para el análisis cumplían con los requisitos mínimos para aplicar este método ya que necesita por lo menos 30 años para utilizarlo y se puede aplicar tanto en climas húmedos como secos.

**SPEI:** Al igual que el SPI, es un método fácil en el proceso de cálculo debido a que requiere las mismas características, se ajusta en climas húmedos como secos y por lo tanto es ideal para esta investigación ya que requiere datos de fácil obtención como la precipitación y la temperatura que en este caso fueron proporcionados por el INAMHI y SENAMHI (Serrano, 2018).

**SPDI:** Fue utilizado porque de acuerdo con Hispagua (2018), este método es adecuado para aplicarlo en zonas con topografías uniformes y por lo tanto es ideal para la cuenca Zarumilla porque las cotas de las estaciones en análisis no varían en gran medida.

**PPN:** Según el Centro regional del clima para el sur de América del Sur (2015), este método es utilizado en gran medida por su simplicidad en los cálculos y facilidad de interpretación ya que se pueden obtener resultados de manera rápida, lo que permite generar una primera idea de como será el índice de sequía en la zona de estudio. En muchas ocasiones los resultados son suficientes para caracterizar la sequía.

#### **3.1.1. Arenillas**

##### **3.1.1.1. Índice estandarizado de precipitación (SPI)**

De acuerdo con los resultados obtenidos en este método se tiene que durante los 41 años de estudio existen tres categorías que predominan, que son: moderadamente húmedo, cercano a lo normal y extremadamente seco; donde el de mayor de incidencia es cercano a lo normal. Cabe destacar que esta categoría es la que sobresale en todos los meses.

Además, en eventos particulares como por ejemplo el fenómeno del niño (generalmente cada 10 años) el índice varía debido a que se producen mayores precipitaciones categorizándose entre moderadamente y extremadamente húmedo durante todo el año.

#### **3.1.1.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)**

Para este método existen cinco categorías que sobresalen en el período de estudio, estas son: ligeramente húmedo, húmedo incipiente, normal, sequía incipiente y sequía reducida.

Se considera que el método es conservador debido a que existe mayor humedad que sequías, aun cuando existen meses con precipitaciones escasas.

En los años en donde se produjo el fenómeno del niño se puede observar que las categorías son similares estando en un rango de muy húmedo, lo cual concuerda con el registro de precipitaciones proporcionados por el INAMHI y SENAMHI (2018).

#### **3.1.1.3. Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN)**

En este caso entre los meses de enero a abril predomina la categoría cercana a lo normal, mientras que para los meses restantes las precipitaciones disminuyen considerablemente por lo que el índice de sequía de mayor incidencia se categoriza como extremadamente seco. Al realizar un análisis global durante el periodo de estudio se puede observar que el mayor grado de índice de sequía es extremadamente seco.

#### **3.1.1.4. Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI)**

En este método se observó que en años donde no existe el fenómeno del niño casi la sequía se categorizo entre extremadamente seca hasta húmedo incipiente. En cambio, en años donde se produce el fenómeno del niño la sequía se categorizo en extremadamente húmedo hasta moderadamente húmedo. Esto se debió a las elevadas precipitaciones que existieron en dichos años.

### **3.1.2. Matapalo**

#### **3.1.2.1. Índice estandarizado de precipitación (SPI)**

Existen cuatro categorías que predominan, que son: extremadamente húmedo, moderadamente húmedo, cercano a lo normal y extremadamente seco; en esta estación también prevalece la categoría cercana a lo normal. Únicamente en el mes de marzo la categoría cambia sobresaliendo extremadamente húmedo.

Durante el tiempo que ocurrió el fenómeno del niño el índice varía debido a que se producen mayores precipitaciones entre los meses de enero a julio categorizándose entre extremadamente húmedo. Como se observa este método no se ajusta a los datos de

precipitación ya que, entre los meses de enero a mayo, exceptuando marzo, la categoría se encuentra cercano a lo normal, lo cual según los datos de precipitación la categoría debería estar entre muy húmedo y extremadamente húmedo.

#### **3.1.2.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)**

En este método existen cinco categorías que sobresalen en el período de estudio, estas son: ligeramente húmedo, húmedo incipiente, normal, sequía incipiente y sequía reducida. Este método no se ajusta, ya que en época de lluvias los índices están por debajo de húmedo insipiente, mientras que en meses de menos precipitación los valores del índice son mayores a sequía reducida.

#### **3.1.2.3. Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN)**

De acuerdo al desarrollo de este método para la estación Matapalo se logró diferenciar que para los meses de enero hasta abril predomina la categoría entre muy húmedo y extremadamente húmedo, en cambio para los meses entre mayo y diciembre la categoría que sobre sale es extremadamente seca. Por lo tanto, de manera general, es decir para todos los años de análisis la condición que predomina es extremadamente seco.

#### **3.1.2.4. Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI)**

La categoría que predomina es la de sequía extrema con un 67% con respecto al tiempo total de estudio. El 33% faltante varía entre las categorías de extremadamente húmedo a ligeramente húmedo, dándose en años donde se produce el fenómeno del niño y sus precipitaciones son elevadas.

### **3.1.3. Papayal**

#### **3.1.3.1. Índice estandarizado de precipitación (SPI)**

Al realizar el análisis existen tres categorías que sobresalen, las cuales son: moderadamente húmedo, cercano a lo normal y extremadamente seco; están representando el 93% del total de los índices analizados para los 41 años de estudio.

En este método los índices son variables y no se distinguen estaciones del año ya que en épocas lluviosas existen índices extremadamente húmedos.

#### **3.1.3.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)**

En base a este método se puede deducir que las categorías parten desde moderadamente húmedo hasta sequía moderada, es decir no existen valores que sean críticos tanto para húmedo como para sequía. De acuerdo con el registro de precipitación debería existir meses

en donde el índice debe estar categorizado como sequía extrema o por lo contrario muy o extremadamente húmedo.

#### **3.1.3.3. Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN)**

De la misma manera que para la estación Matapalo se distinguen dos temporadas climatológicas que son desde el mes de enero hasta abril, donde existen lluvias, los rangos de índices de sequía se categorizan desde extremadamente húmedo hasta cercano a lo normal; en cambio desde mayo hasta el mes de diciembre las precipitaciones son escasas por lo que el índice en su mayoría se categoriza como extremadamente seco.

#### **3.1.3.4. Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI)**

Para este método a excepción de los años en los que se produjo el fenómeno del niño se puede distinguir que los rangos de índices durante todo el periodo de estudio varían entre extremadamente seco hasta húmedo incipiente. Se debe tener en cuenta que uno de los factores a tomarse en cuenta para el desarrollo del método son las condiciones del suelo lo cual influye de manera notoria en los resultados.

#### **3.1.4. Rica Playa**

##### **3.1.4.1. Índice estandarizado de precipitación (SPI)**

Existen tres categorías que predominan, que son: moderadamente húmedo, cercano a lo normal y extremadamente seco los cuales representan el 93% de los índices totales. Además, se puede decir que para los meses enero, febrero, marzo, abril y diciembre los índices se categorizan como cercano a lo normal. Por otra parte, para los meses desde mayo hasta noviembre la condición que sobresale es la de extremadamente seco. Este método se ajusta de manera conservadora con el registro de precipitaciones de la estación.

##### **3.1.4.2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)**

Para este método las categorías que prevalecen en la cuenca Rica Playa van desde ligeramente húmedo hasta sequía insipiente. A nivel general durante los 41 años de análisis predomina la categoría normal, que representa el 45% de los índices totales.

##### **3.1.4.3. Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN)**

La categoría extremadamente seca representa el 69% del total de los índices. Es el método que mayor ajuste tiene con los registros de precipitación, dando entre los meses de enero-abril valores de índices que parten desde moderadamente húmedo hasta extremadamente húmedos, siendo estos meses los de mayores precipitaciones, mientras que para los meses de precipitaciones escasas (mayo-diciembre) los rangos se encuentran entre severamente seco hasta extremadamente seco.



### 3.1.4.4. Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI)

La categoría que predomina es la de sequía extrema con un 18% con respecto a los índices totales. En cambio, cuando se produjo el fenómeno del niño las precipitaciones fueron elevadas, y se categoriza como extremadamente húmedo con un 17%.

### 3.2. Cartografía de índices de sequías

Para lograr una mejor representación de los resultados de índice de sequía para la cuenca transfronteriza Zarumilla se realizaron mapas para los métodos SPI, SPEI, PPN, SPDI con cada una de las estaciones en estudio. Se tomó en cuenta un año representativo para cartografiar los resultados.

En la Figura 10 se representa el método SPI para el año característico, donde se puede apreciar los valores de índice de sequía en cada estación para cada uno de los meses. Para los meses de enero, febrero, junio, agosto y septiembre los índices se categorizan superiores a cercano a lo normal; en cambio para los meses de marzo, abril, mayo, julio, octubre, noviembre y diciembre la condición varía desde moderadamente seco hasta extremadamente seco siendo el mes de diciembre el más crítico. Al comparar los índices con las precipitaciones del registro de la estación no se ajustan con los resultados del método, ya que en meses lluviosos existen índices con categoría severa o extremadamente seco.

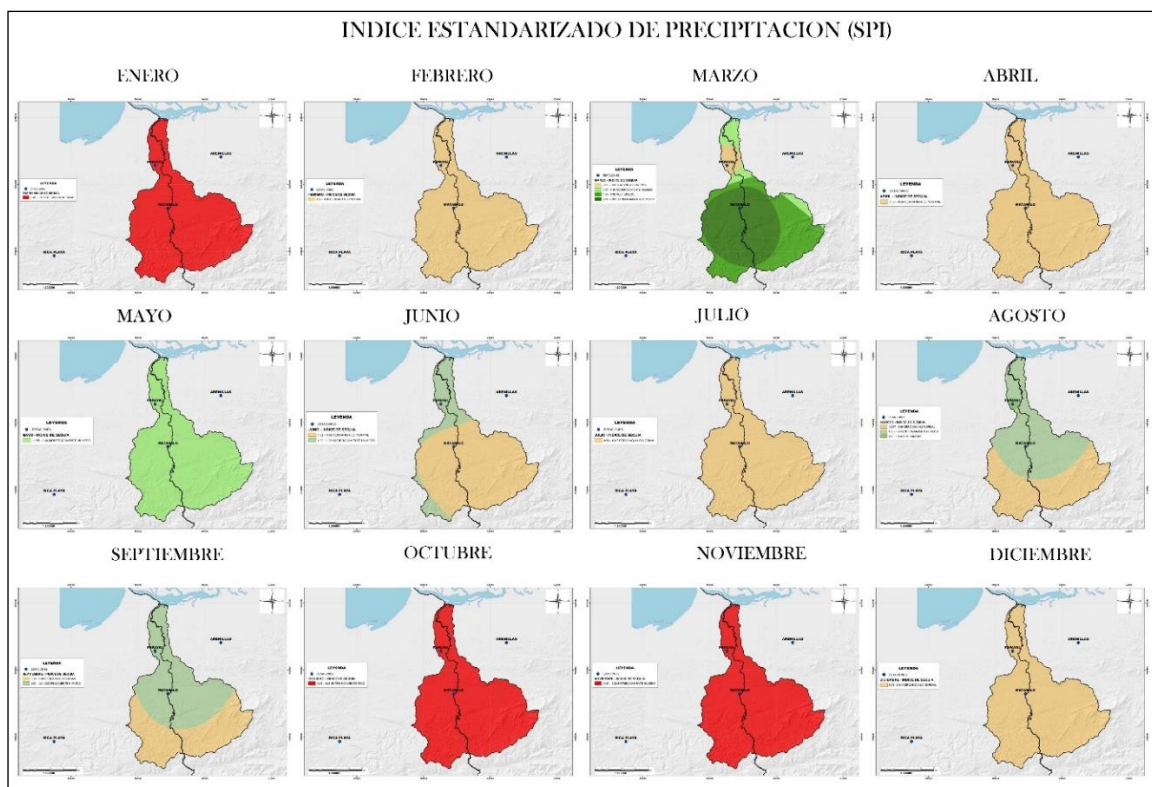


Figura 10. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método SPI.  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

Se representa el método SPEI para el año característico en la Figura 11, donde se aprecia que los valores de índice de sequía se encuentran entre cercano a lo normal y humedad extrema, exceptuando los meses de marzo, abril, mayo y diciembre donde la estación de papayal y arenillas tienen caracterización de sequía incipiente hasta sequía extrema. Este método considera que durante todo el año las sequías se mantienen casi constantes sin poder distinguir estaciones del año, lo cual es incorrecto al compararlo con los registros de precipitaciones.

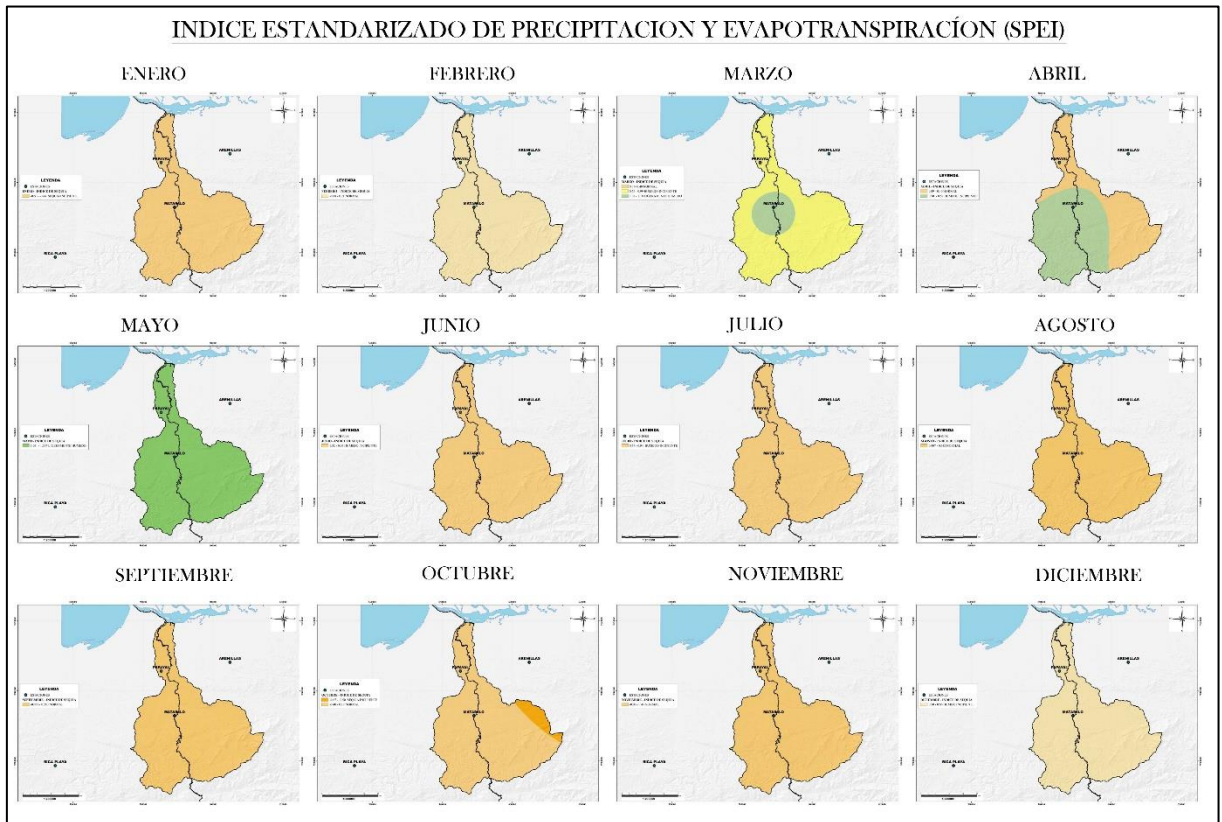


Figura 11. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método SPEI.

Fuente: El Autor

Elaboración: El Autor

En la Figura 12 se muestra el mapa que representa las sequías por el método PPN. Aquí se puede deducir que están marcadas dos estaciones del año, la primera que parte desde el mes de enero hasta abril representando una condición que va desde cercano a lo normal hasta extremadamente húmedo y la segunda entre los meses de mayo hasta diciembre con una condición de severamente y extremadamente seco en su mayoría. La categorización de cada una de las estaciones es similar en todos los meses del año.

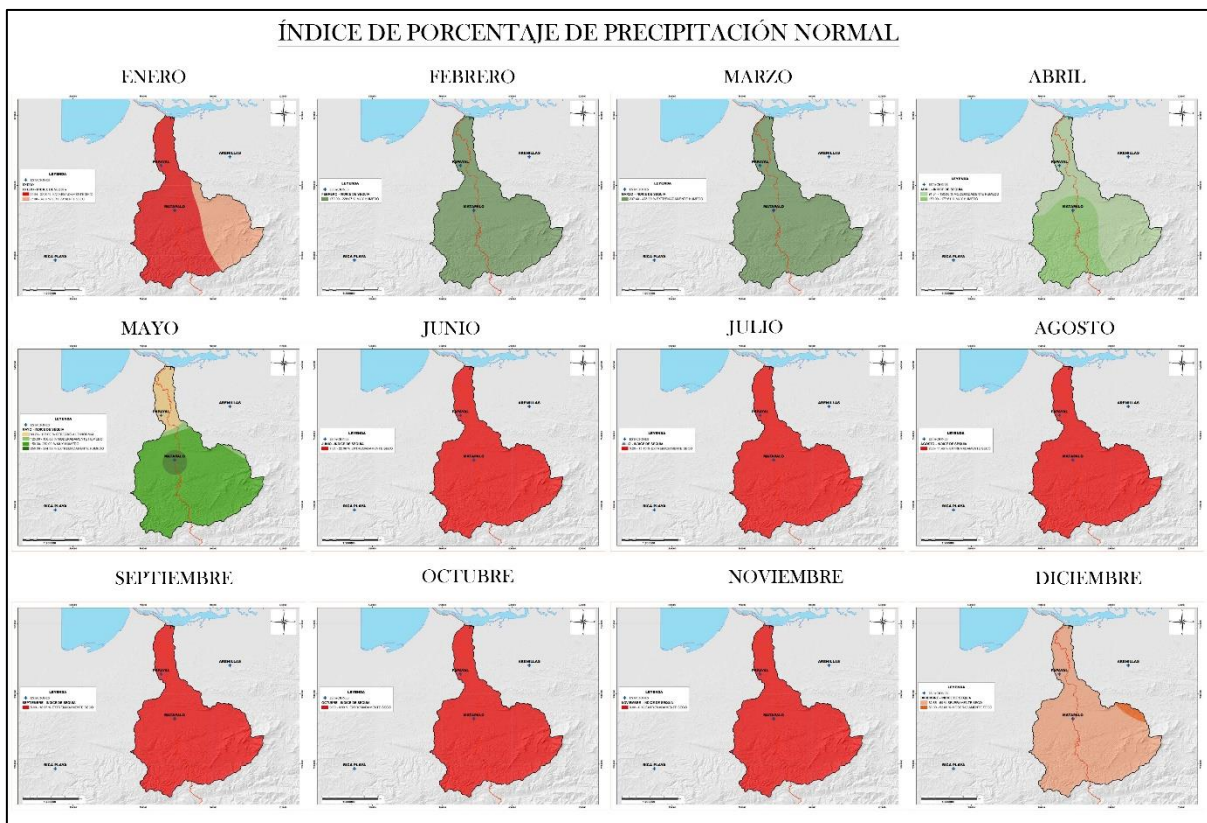


Figura 12. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método PPN.  
 Fuente: El Autor  
 Elaboración: El Autor

En cuanto a la Figura 13 se realiza la cartografía del método SPDI para el año característico, siendo el método que más se ajusta a las condiciones meteorológicas de las estaciones, debido a que se distingue claramente las estaciones y los años donde se produce el fenómeno del niño.

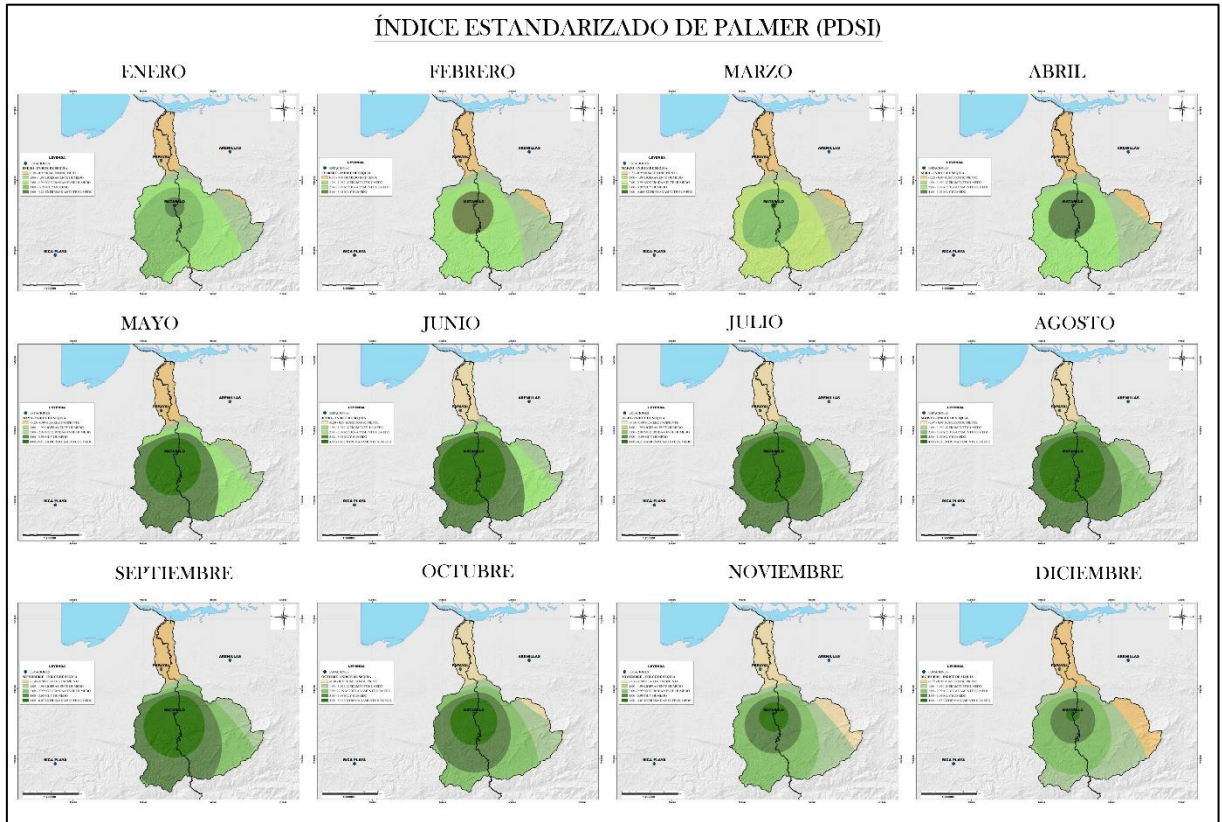


Figura 13. Cartografía del índice de sequía de la cuenca transfronteriza Zarumilla por el método PSDI.  
Fuente: El Autor  
Elaboración: El Autor

## CONCLUSIONES

- De acuerdo con el registro de precipitaciones se puede concluir que las estaciones del año se encuentran claramente definidas, donde los meses de lluvia pertenecen desde enero hasta abril dándose precipitaciones medias para cada estación: Arenillas con 70.5 mm, Matapalo con 47.4 mm, Papayal 49.2 mm y Rica Playa con 32.45 mm, el resto de los meses se consideran secos.
- Las precipitaciones anuales de todas las estaciones son inferiores a 800 mm, por lo tanto, se establece que el clima de la cuenca Zarumilla es seco.
- De acuerdo con los métodos SPI, SPEI, SPDI en la cuenca predomina la sequía cercana a lo normal o normal con un rango entre 30% a 45%; en cambio el método PPN categoriza la cuenca como extremadamente seco con un rango promedio del 50%.
- Comparando los cuatro métodos utilizados en el estudio para la determinación del índice de sequía, se deduce que el método PPN es el óptimo ya que se ajusta a todas las estaciones de estudio, en donde los meses de lluvia la categorización del índice se encuentra en rangos de humedad, lo cual es correcto debido a la cantidad precipitaciones existentes, mientras que en meses secos su categorización es de extremadamente seco.
- Debido a que las estaciones se encuentran en una misma zona climática y sus elevaciones son similares, el comportamiento de temperaturas y precipitaciones es semejante.

## RECOMENDACIONES

- Luego de haber desarrollado la presente investigación se recomienda que para que los estudios sean más precisos y sus resultados sean más fiables se debe mejorar la base de datos de los registros de precipitaciones y temperatura.
- Cuando las estaciones en análisis se encuentran muy distanciadas con respecto a la cuenca, se recomienda crear estaciones virtuales con el fin de generar valores más fiables con respecto a las características climáticas de la cuenca, esto se puede realizar por medio de métodos como distancia inversa, polígono de Thiessen, entre otros.

## REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Almanza R., López, S. (1975). Radiación solar global en la República Mexicana mediante datos de insolación. UNAM, Ciudad Universitaria, p. 20
- A.K. Mishra,V.P. Singh. (2010). A review of drought concepts. Journal of Hydrology, pp. 202-216
- A.K. Mishra,V.P. Singh. (2011). Drought modeling–A review. Journal of Hydrology, pp. 157-175
- Aranda, D. F. C. (2018). Contrastes del Índice de Sequías de Palmer Estandarizado (SPDI) en tres ubicaciones climáticas de San Luis Potosí, México-Comparison of the Standardized Palmer Drought Index (SPDI) in three climatic locations in San Luis Potosi, Mexico. Tecnología y Ciencias del Agua, 9(5), 246-279.
- Beguiría, S., & Vicente Serrano, S. M. (2009). SPEI calculator.
- Campos-Aranda, D. F. (2015). Contraste de los índices DPP, SPI y RDI para clasificación de sequías, en la estación climatológica Zacatecas, México. Tecnología y ciencias del agua, 6(1), 183-193.
- Castellanos, D. (2013). *Ecuador: Sequía deja agricultores con dificultades financieras*. Recuperado de <https://www.ifrc.org/es/noticias/noticias/americas/ecuador/ecuador-sequia-deja-agricultores-con-dificultades-financieras/>
- Centro regional del clima para el sur de América del Sur (2015). Descripción de índices para el monitoreo de sequía meteorológica implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur. Argentina: Buenos Aires.
- Curipoma Fernández Johanna Elizabeth. (2012). Propuesta metodológica de detección y evaluación de sequías. (Trabajo de titulación de Ingeniero Civil). UTPL. Loja. 272 pp.
- DelaVega, J. (2018). Manual Capacitación Agro – Pecuaria: Producción de Alimentos y Agro-Energía. Recuperado de <https://vdocuments.mx/manual-agropecuario.html>

- D.F. Campos Aranda. (2015a). Contraste de los índices DPP, SPI y RDI para clasificación de Sequías, en la estación climatológica Zacatecas, México. Tecnología y Ciencias del Agua, pp. 183-193
- D.F. Campos Aranda. (2015b). Búsqueda de tendencias en la precipitación anual del estado de Zacatecas, México; en 30 registros con más de 50 años. Ingeniería. Investigación y Tecnología, pp. 357-370
- D. Machiwal, M.K. Jha (2008). Comparative evaluation of statistical tests for time series analysis: Applications to hydrological time series. Hydrological Sciences Journal, pp. 353-366
- Fernández Larrañaga, B. (1997). Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile central. Ingeniería del agua, 1997, vol. 4, núm. 4.
- Flores, A. (2015). Desastres naturales: Sequía. Recuperado de <http://desastresnaturales601cesun.blogspot.com/2015/06/sequia.html>
- García Marín, R. (2008). *Riesgo de sequía y vulnerabilidad socioeconómica en la cuenca del Guadalentín* (Doctoral dissertation, Universidad de Murcia).
- Gobierno de España. (2018). Tipos de sequía. Recuperado de [https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/observatorio\\_nacional\\_sequia\\_1\\_1\\_tipos\\_sequia.aspx](https://www.miteco.gob.es/es/agua/temas/observatorio-nacional-de-la-sequia/que-es-la-sequia/observatorio_nacional_sequia_1_1_tipos_sequia.aspx)
- G.H. Hargreaves, Z.A. Samani. (1982). Estimating Potential Evapotranspiration Journal of the Irrigation and Drainage Division, pp. 225-230
- Gervasio, S. G. (2013). Índice para la evaluación de áreas de uso recreacional asociadas a zonas costeras.
- Hispagua (2018). Sistema Español de Información sobre el Agua. Recuperado de [http://hispagua.cedex.es/?fbclid=IwAR2vxiWWc2fMSolDjtT4MYvvcDLGZ9nws7knqhUeShWDrvZmMyOV0\\_sN4CQ](http://hispagua.cedex.es/?fbclid=IwAR2vxiWWc2fMSolDjtT4MYvvcDLGZ9nws7knqhUeShWDrvZmMyOV0_sN4CQ)
- H.R. Byun, D.A. Wilhite. (1999). Objective quantification of drought severity and duration Journal of Climate, pp. 2747-2756



INIA. (8 de julio de 2018). Recuperado de [http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc\\_tempe.htm](http://www.inia.org.uy/disciplinas/agroclima/le/cc_tempe.htm).

Landa, R., Magaña, V., & Neri, C. (2008). *Agua y clima: elementos para la adaptación al cambio climático* (No. Sirsi) a453952). Semarnat.

Lozano-Rivas, W. A. (2018). *Clima, hidrología y meteorología.: Para ciencias ambientales e ingeniería*. Universidad Piloto de Colombia.

Machiwal D. y Jha M. K. (2012). *Hydrologic Time Series Analysis: Theory and Practice*, Chapter 4: Methods for Time Series Analysis, pp. 51-84, Dordrecht, The Netherlands, Springer, 303 p.

Martín Vide, J., & Fernández Belmonte, D. (2001). El índice NAO y la precipitación mensual en la España peninsular. *Investigaciones geográficas*, nº 26, 2001; pp. 41-58.

Meza, L., Corso, S., y Soza, S. (2010). *Gestión del riesgo de sequía y otros eventos climáticos extremos en Chile*. Chile: Santiago.

Montoya-restrepo, E. C. (2008). Estimación estadística de valores faltantes en series históricas de lluvia, *59*(3), 260–273.

Monreal, T. E. (2006). La gestión de las sequías en España. *INGENIERÍA Y TERRITORIO*. 74, 52.

Monsalve Sáenz, G. (1999). *Hidrología en la Ingeniería*. Alfaomega, Colombia.

Moran, M. J., & Shapiro, H. N. (2004). *Fundamentos de termodinámica técnica*. Reverté.

N.A. Elagib. (2009). Assessment of drought across central Sudan using UNEP dryness ratio *Hydrology Research*, pp. 481-494

Organización meteorológica mundial (2012). *Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario*. Suiza: Ginebra.

Ortega-Gaucin, D. (2012). *Sequía en Nuevo León: vulnerabilidad, impactos y estrategias de mitigación*. INSTITUTO DEL AGUA DE NL.

- Ortiz Vásquez, R. O. (2017). Caracterización de sequías en la cuenca Puyango-Tumbes en base a los índices de flujo base y precipitación estandarizada.
- Palmer W.C. (1965). Meteorological Drought. Research Paper No. 45, US, Weather Bureau, Washington, USA, 58 p.
- Pandey R.P., Sharma K.D., Mishra S.K., Singh R., Agarwal A. (2008). Drought Characterization. Chapter 21, pp. 761-792, en: Hydrology and Hydraulics, editado por Vijay P. Singh, Highlands Ranch, Colorado, Water Resources Publications.
- Pérez, J., y Gardey, A. (2010). Definición de sequía. Recuperado de <https://definicion.de/sequia/>
- Podestá, G. (2016). Descripción de índices para el monitoreo de sequía meteorológica implementados por el Centro Regional del Clima para el Sur de América del Sur.
- R.P. Pandey, K.S. Ramasastri. (2002). Incidence of droughts in different climatic regions. Hydrological Science Journal, pp. S31-S40
- S. Dogan, A. Berktaş, V.P. Singh. (2012). Comparison of multi-monthly rainfall-based drought severity indices, with application to semi-arid Konya closed basin, Turkey. Journal of Hydrology, pp. 255-268
- S. Morid, V. Smakhtin, M. Moghaddast. (2006). Comparison of seven meteorological indices for drought monitoring in Iran. International Journal of Climatology, pp. 971-985
- Serrano, V. (2018). Tools. Recuperado de [http://spei.csic.es/tools.html?fbclid=IwAR0F\\_36pJJGGL6BQTidGY1DLeZqhuV78s0FJfeGw0Y4RUXcr-d6Ncjfa-L8](http://spei.csic.es/tools.html?fbclid=IwAR0F_36pJJGGL6BQTidGY1DLeZqhuV78s0FJfeGw0Y4RUXcr-d6Ncjfa-L8)
- Tsakiris G., Tsigas D., Vangelis H., Pangalou D. (2007). Regional drought identification and assessment. Case study in Crete, Chapter 9, pp. 169-191, en: Methods and tools for drought analysis and management, editado por Rossi G., Vega T. and Bonaccorso B. Dordrecht, The Netherlands, Springer, 418 p.
- United Nations Environment Programme (UNEP). (1992). World Atlas of Desertification, Edward Arnold, Londres, Inglaterra, 69 plates.

- United Nations Environment Programme (UNEP). (2006). Global Deserts Outlook. Edited by E. Ezcurra, Division of Early Warning and Assessment, Nairobi, Kenya, 148 p.
- Valiente, Ó. M. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones geográficas*, (26), 59-80.
- Velasco Velasco, I., Aparicio Mijares, J., Valdes, J. B., Velázquez Álvarez, J., & Kim, T. W. (2004). Evaluación de índices de sequía en las cuencas de afluentes del río Bravo/Grande.
- Villón, M. (2002). *Hidrología*. Editorial Tecnológica de Costa Rica, Cartago
- V.M. Ponce,R.P. Pandey,S. Ercan. (2000). Characterization of drought across climatic spectrum. *Journal of Hydrological Engineering*, pp. 222-224
- World Meteorological Organization (WMO). (1971). Climatic Change. Annexed III: Standard tests of significance to be recommended in routine analysis of climatic fluctuations, pp. 58-71, Technical Note Núm. 79, WMO-Núm. 195, Genova, Suiza, Secretariat of the WMO, 79 p.
- Zambrano Zavala, L. E. (2014). *Vulnerabilidad socioeconómica y ambiental ante eventos de sequías en la Isla Puná* (Master's thesis, Universidad de Guayaquil. Facultad de Ingeniería Industrial. Maestría en Gestión de Riesgos y Desastres.).

## ANEXOS

### Anexo 1. Relleno de Datos de precipitación y temperatura

#### ➤ Precipitación

##### • ESTACIÓN ARENILLAS

LATITUD: 9608205.00

LONGITUD: 604839.00




ELEVACIÓN: 26 msnm

AÑOS	VALORES MENSUALES												VALORES ANUALES	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1975	58.9	151.3	207.7	79.0	19.9	0.0	15.5	18.4	0.0	16.8	15.5	11.9	594.9	49.6
1976	143.2	112.3	129.5	44.2	48.8	63.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	541.3	45.1
1977	107.2	62.9	53.9	56.9	0.0	21.0	0.0	0.0	42.1	0.0	0.0	19.9	363.8	30.3
1978	26.8	112.8	101.3	36.5	12.9	6.2	5.4	4.3	11.8	2.9	8.0	6.6	335.5	28.0
1979	19.8	25.1	72.3	108.5	20.5	3.0	9.0	6.1	8.4	18.4	0.9	3.7	295.7	24.6
1980	43.7	38.5	84.3	220.8	11.3	0.9	9.3	4.2	8.4	20.3	23.4	19.5	484.6	40.4
1981	0.8	125.2	216.3	52.8	7.0	9.4	3.3	8.3	5.9	9.9	5.2	13.9	458.0	38.2
1982	54.8	25.5	0.0	45.7	27.5	8.3	4.4	8.3	4.6	19.6	26.6	183.6	408.9	34.1
1983	472.7	378.7	402.6	490.1	289.8	293.4	114.6	15.5	61.6	25.5	9.3	93.0	2646.8	220.6
1984	3.8	260.2	163.3	62.1	11.7	29.5	9.7	11.0	10.6	19.0	2.7	37.5	621.1	51.8
1985	14.5	28.6	94.7	3.1	18.8	2.3	6.4	7.2	7.8	6.0	0.8	17.9	208.1	17.3
1986	199.4	97.4	3.0	124.6	18.6	3.0	6.2	6.9	8.1	7.5	9.6	39.6	523.9	43.7
1987	175.5	293.4	323.2	330.7	16.1	0.0	15.8	10.7	8.0	7.9	1.1	0.0	1182.4	98.5
1988	129.6	112.3	26.4	39.8	12.5	1.7	0.7	0.0	5.1	11.1	15.8	10.4	365.3	30.4
1989	180.8	437.8	122.2	49.7	9.4	9.8	6.1	9.4	5.2	12.1	3.9	3.1	849.5	70.8
1990	16.2	97.1	60.0	38.9	14.1	10.3	6.5	4.3	8.4	17.8	6.4	13.7	293.7	24.5
1991	19.6	102.4	152.6	20.2	30.6	8.2	9.3	3.4	6.8	7.0	2.3	20.0	382.4	31.9
1992	109.4	320.7	504.8	426.4	184.7	16.3	1.6	10.7	13.6	9.5	5.4	17.7	1620.8	135.1
1993	57.1	252.4	241.7	151.3	22.3	3.1	10.4	3.4	7.1		7.1	44.0	799.9	66.7
1994	143.7	97.1	164.4	70.7	19.1	9.6	8.4	5.4	18.1	3.1	3.9	23.7	567.2	47.3

... Continúa

1995	121.7	154.8	70.4	23.3	10.5	0.0		5.5	1.7	29.7	42.3	19.9	479.8	40.0
1996	42.9	100.5	74.8	8.5	4.0	14.4	0.0	1.0	0.0	7.5	0.0	12.4	266.0	22.2
1997	33.3	57.7	117.7	100.5	46.6	18.4	18.2	0.0	27.1	27.8	143.9	328.1	919.4	76.6
1998	286.1	504.5	229.9	136.7	94.4	20.5	14.8	0.0	0.0	19.2	9.5	31.0	1346.4	112.2
1999	36.7	139.2	126.0	95.6	32.2	9.2	13.3	0.0	10.6	14.8	0.0	29.3	506.9	42.2
2000	23.6	94.3	101.4	56.6	53.1	16.4	10.6	8.8	14.5	0.0	0.0	32.8	412.1	34.3
2001	61.5	79.5	151.5	120.1	9.9	0.0	0.0	0.0	10.3	7.5	18.6	24.6	483.6	40.3
2002	26.2	158.5	270.1	120.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	18.6	13.0	39.4	646.6	53.9
2003	61.3	69.5	51.1	35.7	8.4	24.7	13.5	0.0	0.0	0.0	11.2	48.2	323.7	27.0
2004	50.2	75.6	68.4	62.0	26.8	0.0	0.0	0.0	0.0	11.6	0.0	9.5	304.1	25.3
2005	19.6	59.6	130.4	40.7	4.5	5.9	0.0	0.0	0.0	7.9	0.0	29.0	297.6	24.8
2006	79.1	274.0	158.0	9.1	3.5		20.4	7.8	35.7	47.9	46.4	38.4	720.3	60.0
2007	145.7	37.0	117.3	66.8	35.4	6.0	35.0	59.0	44.0	34.1	29.0	19.5	628.8	52.4
2008	246.7	386.9	317.9	145.1	32.4	56.0	0.0	22.7		43.5	36.3		1287.5	107.3
2009	145.1	220.6	129.7	59.2	31.0	10.6	0.0	0.0	11.2	0.0	27.2	36.3	671.0	55.9
2010	73.4	124.7	135.9	195.4	19.0	9.5	4.0	6.2	3.6	10.0	18.5	13.3	613.6	51.1
2011	49.7	82.9	26.7	61.0	31.9	11.9	33.7	19.4	0.0	0.0	0.0	17.7	334.8	27.9
2012	115.4	174.0	109.7	121.2	30.2	0.0	0.0	0.0	6.5	12.4	12.7	20.5	602.7	50.2
2013	69.1	53.7	91.7	41.7	13.0	5.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.3	280.3	23.4
2014	88.4	57.4	10.3	27.5	72.1	34.4	5.9	7.5	0.0	16.0	0.0	23.6	342.8	28.6
2015	41.1	55.9	162.2	64.0	76.5	12.4	5.9	7.9	6.5	24.9	9.9	18.8	486.0	40.5

suma	1066.0	1727.8	2024.0	1386.7	423.2	171.0	75.8	70.7	148.2	139.6	115.3	272.6	7620.7	635.1
media	48.5	78.5	92.0	63.0	19.2	7.8	3.4	3.2	6.7	6.3	5.2	12.4	346.4	28.9

	Relleno de ceros
	Método proporcional
	Método de regresión ortogonal

Fuente: El autor

• ESTACIÓN MATAPALO

LATITUD: 9592900.00




LONGITUD: 589015.00

ELEVACIÓN: 118 msnm

VALORES MENSUALES													VALORES ANUALES	
AÑOS	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1976	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.0	0.9
1977	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1980	93.4	0.0	68.4	166.2	16.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	11.7	43.5	400.1	33.3
1981	13.3	80.6	190.5	93.8	2.1	1.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	381.5	31.8
1982	0.0	11.0	0.0	53.1	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	176.1	242.5	20.2
1983	937.1	778.0	715.7	1260.5	1502.2	328.8	36.1	0.0	2.1	0.0	0.0	2.1	5562.6	463.6
1984	0.0	410.8	27.7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	13.9	452.4	37.7
1985	21.1	60.7	165.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.1	0.0	0.0	249.0	20.8
1986	32.7	65.1	0.0	0.0	15.2	0.5	0.2	21.1	0.0	11.5	7.8	44.9	199.0	16.6
1987	192.2	344.1	223.3	154.6	41.2	1.3	5.3	3.2	1.9	1.5	0.3	8.8	977.7	81.5
1988	102.2		7.4	23.1	9.4	0.0	2.1	0.0	0.0	0.0	1.7	8.3	154.2	12.9
1989	276.0	376.0	99.6	57.0	6.2	9.1	2.4	3.5	2.2	5.5	1.1	0.9	839.5	70.0
1990	29.5	117.8	33.9	30.5	4.5	4.8	1.6	1.4	0.4	7.8	1.6	11.5	245.3	20.4
1991	15.5	197.2	106.5	30.6	21.0	15.0	0.0	0.0	0.0	3.1	3.5	20.3	412.7	34.4
1992	90.2	127.8	103.1	311.4	225.5	5.5	0.9	0.0	1.4	2.3	14.4	10.7	893.1	74.4
1993	27.2	235.5	148.8	91.2	74.0	3.1	8.9	1.7	3.1	9.6	2.8	18.0	623.9	52.0
1994	214.3	131.2	122.7	112.3	9.6	4.7	1.5	0.9	3.7	1.5	3.1	48.2	653.7	54.5
1995	121.6	357.7	59.9	32.9	9.3	0.0	4.0	2.4	0.9	6.8	41.6	47.7	684.8	57.1
1996	81.2	118.2	51.0	8.5	1.0	4.1	1.0	1.4	1.6	4.9	1.9	7.5	282.3	23.5
1997	22.5	46.8	167.7	140.9	52.4	38.5	4.6	0.0	13.2	41.3	140.2	512.2	1180.3	98.4

... Continúa

1998	705.1	935.2	543.8	220.6	129.4	11.8	21.9	0.6	1.4	7.8	4.2	17.3	2599.1	216.6
1999	27.7	346.6	147.3	170.5	34.4	3.6	1.9	2.1	3.0	3.9	2.3	21.4	764.7	63.7
2000	14.1	104.5	279.9	94.6	154.6	6.2	2.4	3.5	2.8	0.4	0.1	27.3	690.4	57.5
2001	81.3	121.1	298.9	64.3	13.1	2.8	2.2	0.3	0.4	2.7	8.4	12.2	607.7	50.6
2002	61.5	233.8	246.2	152.9	7.3	0.2	0.6	3.6	3.2	14.0	2.5	74.7	800.5	66.7
2003	101.4	121.6	36.8	23.5	7.4	4.7	5.4	1.7	3.5	1.6	3.6	55.9	367.1	30.6
2004	72.6	148.5	122.7	89.0	9.0	3.5	3.1	2.0	3.1	3.9	3.0	8.6	469.0	39.1
2005	27.3	47.2	143.9	29.9	1.8	3.7	0.6	1.4	1.7	5.4	1.5	7.6	272.0	22.7
2006	67.0	496.6	154.1	14.1	2.5	6.6	2.9	3.0	3.2	1.1	17.4	34.2	802.7	66.9
2007	227.7	18.8	244.6	58.6	14.6	1.7	2.6	2.1	1.3	2.4	3.5	5.0	582.9	48.6
2008	269.0	409.7	229.6	75.3	7.9	15.6	3.5	2.2	1.8	6.3	7.3	0.7	1028.9	85.7
2009	270.3	229.4	117.6	29.6	16.2	2.1	0.9	3.4	5.5	1.5	9.0	27.7	713.2	59.4
2010	187.6	207.5	303.1	289.0	19.2	8.3	3.3	1.5	2.1	4.4	3.3	21.4	1050.7	87.6
2011	41.0	202.4	21.9	114.9	6.2	7.3	4.9	2.4	1.6	3.4	5.5	15.3	426.8	35.6
2012	253.7	224.2	94.3	187.0	55.4	25.6	3.5	2.1	1.5	8.0	7.6	14.1	877.0	73.1
2013	115.8	97.1	356.1	21.0	12.9	3.3	2.6	2.7	0.8	12.6	0.7	14.5	640.1	53.3
2014	158.1	116.3	15.4	24.5	113.9	50.9	3.6	2.6	2.6	9.8	3.0	19.5	520.2	43.4
2015	76.4	120.5	465.1	107.2	211.6	5.2	9.0	2.7	2.5	11.8	8.6	10.8	1031.4	86.0
suma	740.0	1491.7	1050.0	888.4	378.9	38.9	18.1	28.9	11.1	49.6	88.4	252.3	5036.3	419.7
media	33.6	67.8	47.7	40.4	17.2	1.8	0.8	1.3	0.5	2.3	4.0	11.5	228.9	19.1

	Relleno de ceros
	Método proporcional
	Método de regresión ortogonal

Fuente: El autor

• ESTACIÓN PAPAYAL

LATITUD: 9605670.00  
 LONGITUD: 585167.00  
 ELEVACIÓN: 50 msnm




AÑOS	VALORES MENSUALES												VALORES ANUALES	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1975	48.0	194.5	283.9	79.8	5.6	0.0	3.4	4.8	0.0	4.0	3.4	2.0	629.4	52.5
1976	181.7	132.6	160.0	27.1	33.1	54.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	589.4	49.1
1977	124.5	54.3	40.2	44.8	0.0	6.2	0.0	0.0	24.6	0.0	0.0	5.6	300.2	25.0
1978	4.9	2.1	47.4	0.0	0.0	0.0	0.3	0.0	2.8	0.0	0.0	0.0	57.5	4.8
1979	6.5	50.4	57.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	113.9	9.5
1980	0.0	8.2	73.2	104.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	5.2	0.0	10.0	201.5	16.8
1981	0.0	31.0	184.6	129.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	352.6	29.4
1982	22.0	0.0	0.0	49.7	4.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	214.8	290.5	24.2
1983	566.8	555.9	657.1	1167.0	1393.2	295.1	22.9	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	4658.6	388.2
1984	0.0	70.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.8	76.8	6.4
1985	11.5	44.1	141.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	0.0	0.0	198.2	16.5
1986	20.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	17.2	37.3	3.1
1987	601.0	919.7	662.8	271.4	0.0	0.0	2.0	1.1	0.5	0.4	0.0	0.0	2458.9	204.9
1988	114.6	132.6	0.0	22.0	5.0	0.0	0.6	0.0	0.0	0.0	0.5	3.5	278.8	23.2
1989	245.6	339.2	80.6	40.8	2.4	4.0	0.7	1.2	0.7	2.1	0.3	0.2	717.8	59.8
1990	17.7	97.6	21.1	18.4	1.6	1.8	0.4	0.4	0.1	3.3	0.4	5.3	168.1	14.0
1991	7.8	171.9	87.0	18.5	11.5	7.5	0.0	0.0	0.0	1.0	1.2	11.0	317.4	26.4
1992	71.7	106.9	83.8	278.7	198.3	2.1	0.2	0.0	0.4	0.7	7.1	4.9	754.9	62.9
1993	15.9	328.6	375.5	138.8	17.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.2	880.0	73.3
1994	93.7	80.8	106.8	69.8	10.7	0.0	0.0	0.0	11.0	0.0	0.9	26.4	400.1	33.3
1995	92.6	194.2	43.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	7.2	18.0	14.9	370.2	30.9
1996	16.2	39.6	65.5	2.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	2.2	127.2	10.6
1997	15.5	46.1	141.2	113.9	30.2	4.8	4.7	0.0	10.3	10.8	182.7	475.0	1035.2	86.3
1998	408.3	754.7	319.2	171.3	104.2	5.9	3.1	0.0	0.0	5.2	1.3	13.4	1786.6	148.9



... Continúa

1999	18.8	175.3	154.4	106.2	14.5	1.2	2.5	0.0	1.6	3.1	0.0	12.0	489.6	40.8
2000	7.8	104.1	115.4	44.4	39.0	3.8	1.6	1.1	3.0	0.0	0.0	15.0	335.2	27.9
2001	52.1	80.7	194.9	145.1	1.4	0.0	0.0	0.0	1.5	0.8	4.9	8.5	489.9	40.8
2002	9.6	206.0	382.9	146.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	4.9	2.4	21.6	773.5	64.5
2003	51.8	64.7	36.2	17.8	1.0	8.6	2.6	0.0	0.0	0.0	1.8	32.2	216.7	18.1
2004	35.0	74.4	63.0	52.8	10.1	0.0	0.0	0.0	0.0	1.9	0.0	1.3	238.5	19.9
2005	5.4	28.0	69.5	19.8	0.0	1.8	0.0	0.0	0.0	0.9	0.0	8.2	133.6	11.1
2006	50.0	373.6	84.7	10.5	0.0	0.0	2.3	0.0	0.0	0.5	8.2	9.9	539.7	45.0
2007	87.1	36.5	124.3	18.1	7.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.6	276.5	23.0
2008	202.4	272.6	169.4	54.1	9.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	707.9	59.0
2009	184.7	144.1	42.2	26.5	13.4	1.6	0.0	0.0	1.8	0.0	10.4	18.4	443.1	36.9
2010	70.9	152.4	170.1	264.5	5.1	1.3	0.0	0.0	0.0	0.0	2.0	2.6	668.9	55.7
2011	34.3	86.0	10.0	51.3	14.2	2.0	15.9	5.3	0.0	0.0	0.0	4.4	223.4	18.6
2012	137.6	230.6	128.6	146.7	12.8	0.0	0.0	0.0	0.6	2.2	2.3	5.9	667.3	55.6
2013	64.1	39.9	100.0	24.2	2.4	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.4	231.5	19.3
2014	94.7	45.5	1.5	10.6	68.9	16.5	0.5	0.8	0.0	3.6	0.0	7.8	250.4	20.9
2015	23.5	43.3	211.8	56.1	75.8	2.2	0.5	0.9	0.6	8.7	1.4	5.0	429.8	35.8

suma	664.9	1342.3	1487.3	833.0	272.3	72.4	1.0	0.4	38.8	18.8	27.6	109.7	4868.5	405.7
media	30.2	61.0	67.6	37.9	12.4	3.3	0.0	0.0	1.8	0.9	1.3	5.0	221.3	18.4

	Relleno de ceros
	Método proporcional
	Método de regresión ortogonal

Fuente: El autor




• ESTACIÓN RICA PLAYA

LATITUD: 9578654.00  
 LONGITUD: 554887.00  
 ELEVACIÓN: 61 msnm

AÑOS	VALORES MENSUALES												VALORES ANUALES	
	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SEP	OCT	NOV	DIC	SUMA	MEDIA
1975	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1976	0.0	0.0	0.0	6.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.0	0.5
1977	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1978	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1979	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
1980	78.9	0.0	55.0	148.5	10.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	6.5	31.8	330.7	27.6
1981	0.0	62.5	64.5	47.9	0.8	0.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	176.1	14.7
1982	0.0	6.0	0.0	40.5	0.9	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	157.9	205.3	17.1
1983	885.2	733.2	673.6	1194.3	1425.3	303.9	25.4	0.0	0.8	0.0	0.0	0.8	5242.5	436.9
1984	0.0	382.2	18.4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	8.0	408.6	34.1
1985	13.2	47.6	147.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.0	0.0	209.1	17.4
1986	22.5	51.8	0.0	96.4	1.6	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	3.6	2.9	178.8	14.9
1987	141.5	221.2	352.6	44.3	0.0	0.0	4.4	3.8	0.1	0.0	0.0	1.6	769.5	64.1
1988	21.8	34.8	10.0	15.4	0.0	0.0	0.9	0.2	0.2	0.5	4.3	3.6	91.7	7.6
1989	77.8	341.5	122.0	64.6	0.2	7.6	0.0	0.4	0.2	2.1	0.0	0.0	616.4	51.4
1990	11.3	26.6	27.5	11.3	0.4	1.8	0.4	0.0	0.0	1.2	2.6	1.4	84.5	7.0
1991	0.4	71.4	89.7	2.6	19.7	8.7	0.0	0.0	0.0	1.3	1.5	12.6	207.9	17.3
1992	75.8	111.7	88.1	287.2	205.1	2.6	0.3	0.0	0.5	0.9	8.3	5.8	786.3	65.5
1993	18.0	214.7	131.8	76.8	39.0	1.3	4.6	0.6	0.0	12.4	0.0	1.6	500.9	41.7
1994	116.1	155.2	83.5	96.9	0.0	1.7	0.5	0.0	0.0	1.7	0.0	21.3	477.0	39.7
1995	46.1	96.5	46.9	3.8	21.5	0.0	1.8	0.0	0.0	0.5	5.9	22.2	245.2	20.4
1996	41.6	25.4	33.1	23.9	1.1	0.3	0.0	0.0	0.0	0.4	0.1	3.1	129.0	10.8

... Continúa

1997	11.5	60.6	118.6	101.5	52.0	19.2	7.0	0.7	43.0	6.2	110.3	611.7	1142.3	95.2
1998	650.0	903.4	622.7	304.3	94.4	7.3	0.7	1.1	2.7	6.4	0.2	1.6	2594.8	216.2
1999	10.0	123.6	95.0	299.3	55.8	1.0	0.5	0.2	1.7	0.2	0.6	4.4	592.3	49.4
2000	1.7	156.0	133.3	133.6	90.4	4.2	0.2	0.0	0.0	0.0	0.2	4.0	523.6	43.6
2001	95.3	83.9	354.8	65.8	13.9	0.2	0.3	0.1	0.0	0.0	4.3	7.9	626.5	52.2
2002	14.5	310.2	344.7	197.4	1.5	0.0	0.0	0.8	1.1	1.4	1.0	17.3	889.9	74.2
2003	61.2	64.7	40.3	7.8	1.1	2.2	1.8	0.6	0.0	0.0	0.5	31.0	211.2	17.6
2004	18.5	145.3	61.7	34.3	5.2	0.0	1.9	0.0	3.0	1.1	0.4	0.7	272.1	22.7
2005	2.6	16.1	139.6	6.0	0.0	0.9	0.0	0.2	0.0	0.8	2.1	5.4	173.7	14.5
2006	92.9	403.7	188.7	6.6	0.2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.6	4.3	4.5	701.5	58.5
2007	107.8	8.1	117.0	34.3	0.8	0.0	0.0	0.2	0.0	0.0	1.5	2.8	272.5	22.7
2008	152.4	513.4	311.9	38.6	17.9	3.5	1.6	0.0	0.0	4.3	1.0	0.0	1044.6	87.1
2009	298.0	183.4	138.4	39.8	4.9	0.0	0.0	0.5	1.6	0.5	2.6	11.0	680.7	56.7
2010	107.4	206.8	218.4	176.4	8.5	1.6	1.3	0.0	0.0	0.4	0.8	4.8	726.4	60.5
2011	16.6	68.9	8.6	139.4	2.1	0.2	4.2	0.0	0.0	1.8	1.0	8.2	251.0	20.9
2012	135.9	289.8	309.5	145.3	29.2	5.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	1.3	916.0	76.3
2013	39.5	46.3	223.8	21.9	21.3	0.2	0.5	0.0	0.0	6.8	0.0	1.8	362.1	30.2
2014	65.3	57.5	13.2	15.8	41.5	25.3	1.0	0.0	0.0	0.0	1.5	7.0	228.1	19.0
2015	41.8	166.4	301.4	174.2	114.2	12.4	0.0	0.5	0.0	6.3	3.9	5.9	827.0	68.9
suma	423.9	863.4	767.6	801.3	299.2	16.8	7.7	0.6	0.5	19.2	28.5	102.7	3331.5	277.6
media	19.3	39.2	34.9	36.4	13.6	0.8	0.3	0.0	0.0	0.9	1.3	4.7	151.4	12.6

	Relleno de ceros
	Método proporcional
	Método de regresión ortogonal

Fuente: El autor

➤ **Temperatura**

• **ESTACIÓN ARENILLAS**

**LATITUD:** 9608205.00  
**LONGITUD:** 604839.00  
**ELEVACIÓN:** 26 msnm

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	26.26	26.37	26.34	26.65	26.03	25.43	24.53	24.35	24.59	24.86	24.98	25.72
1971	26.10	26.12	26.31	26.06	25.69	25.18	24.74	0.00	24.65	24.59	25.10	25.74
1972	26.27	26.21	26.07	25.88	26.07	25.97	26.01	25.88	25.60	25.68	25.92	26.46
1973	26.31	26.36	26.48	26.23	26.00	25.33	24.72	24.59	25.03	24.97	24.96	25.34
1974	25.93	26.20	26.45	26.48	26.27	25.48	24.86	24.72	24.61	24.70	25.28	25.93
1975	26.81	26.66	27.42	26.89	26.49	24.45	24.81	23.52	23.71	23.97	23.63	24.64
1976	25.82	25.49	27.18	27.14	26.95	26.24	25.16	25.17	24.48	24.67	25.62	26.70
1977	26.60	26.93	27.54	26.52	26.83	25.51	24.82	23.98	24.22	24.24	24.93	27.09
1978	27.84	27.96	27.65	26.40	27.08	25.47	24.48	24.43	24.36	24.39	25.47	27.06
1979	27.69	28.82	28.09	28.22	27.08	25.57	23.66	23.72	24.07	24.36	25.37	26.14
1980	27.01	27.22	27.42	27.53	27.68	26.44	24.08	24.24	24.25	24.31	24.89	26.69
1981	27.41	26.80	27.86	27.30	25.83	23.87	23.87	23.51	23.55	23.73	24.36	26.16
1982	26.62	27.24	27.50	27.19	25.83	24.77	24.78	24.24	24.94	25.91	27.79	28.17
1983	27.14	28.47	27.73	28.67	27.95	28.40	26.92	25.76	25.10	23.90	25.63	25.78
1984	27.07	26.84	26.82	26.94	25.74	24.33	23.53	23.78	23.47	23.68	24.81	26.04
1985	26.26	27.11	26.60	26.60	25.52	24.49	22.50	22.56	22.92	23.49	24.46	25.00
1986	25.99	26.48	26.77	27.26	25.78	23.96	23.88	23.68	24.01	24.03	25.14	26.07
1987	27.44	27.60	26.90	27.42	26.90	26.35	25.21	25.99	24.94	20.78	26.19	22.66
1988	27.09	27.27	27.12	22.84	27.33	25.40	24.82	20.24	24.56	24.54	24.51	26.26
1989	26.62	26.52	27.28	27.39	26.15	24.13	24.08	22.64	23.20	23.68	25.25	25.88
1990	27.23	27.48	27.70	27.83	27.01	25.99	24.17	22.97	23.23	23.47	24.29	25.97
1991	27.77	27.73	28.00	27.71	27.53	25.69	24.40	22.47	23.15	24.40	25.40	26.92
1992	26.70	27.66	28.20	28.30	27.96	26.43	24.99	24.52	23.77	24.61	24.95	25.60
1993	26.93	27.06	27.50	27.88	27.29	25.01	25.25	24.16	24.19	22.09	24.82	26.19

... Continúa

1994	26.97	27.16	27.03	27.11	26.51	24.92	23.28	23.08	23.62	24.81	25.26	27.22
1995	27.52	27.38	27.66	27.59	27.33	26.52	25.35	24.63	25.14	25.09	25.16	26.40
1996	26.32	25.98	25.94	27.57	25.49	24.19	23.96	23.77	24.61	24.75	24.97	26.02
1997	26.32	26.73	26.78	26.60	26.82	26.62	26.62	26.72	26.68	26.83	26.58	26.74
1998	26.72	26.80	26.86	26.99	26.81	26.44	26.04	25.49	25.59	25.32	25.65	17.20
1999	26.53	26.17	26.36	26.34	25.77	25.13	24.73	24.65	24.85	25.19	25.49	26.00
2000	26.15	26.15	26.04	26.40	26.00	25.11	24.58	24.65	24.79	25.00	25.05	25.82
2001	26.17	26.41	26.30	26.20	25.47	24.55	24.37	24.57	24.60	24.57	25.28	25.66
2002	26.56	26.33	26.46	26.38	26.39	25.51	25.14	24.78	25.00	25.36	25.69	26.08
2003	26.45	26.38	26.88	26.87	26.43	25.30	24.98	25.03	24.67	25.15	25.56	26.27
2004	26.39	26.60	26.75	26.56	26.10	25.29	24.70	24.62	25.17	25.21	25.35	26.15
2005	26.78	26.94	27.22	27.94	26.17	23.38	24.76	24.49	24.49	24.48	25.08	25.50
2006	25.41	26.12	26.12	26.46	26.03	25.08	25.06	25.22	25.43	24.58	24.90	26.11
2007	27.22	27.59	27.57	27.27	26.24	24.84	24.54	23.40	23.47	23.42	24.34	25.33
2008	26.15	27.91	27.47	27.50	26.47	25.57	25.66	24.77	25.65	24.44	24.57	26.40
2009	26.34	26.15	26.56	26.54	26.74	26.03	25.82	25.30	25.31	25.40	25.75	26.49
2010	26.63	26.80	26.89	26.89	26.18	25.76	25.64	25.29	25.21	25.48	25.34	26.19
2011	26.84	26.92	27.37	24.86	26.72	26.04	25.91	25.22	25.22	26.08	23.88	26.40
2012	26.54	26.48	26.77	26.78	26.76	26.47	25.99	25.16	25.32	25.32	26.05	26.58
2013	26.76	26.90	26.88	26.92	26.23	25.60	24.96	25.04	25.36	25.61	25.56	26.60
2014	26.68	26.86	27.29	27.39	26.77	26.53	26.20	25.58	25.67	25.73	25.95	26.61
2015	26.95	26.91	26.84	26.87	27.00	26.53	26.44	26.00	26.35	26.43	26.76	25.29

	Método de regresión ortogonal
	Método proporcional

Fuente: El autor


- ESTACIÓN MATAPALO

**LATITUD:** 9592900.00  
**LONGITUD:** 589015.00  
**ELEVACIÓN:** 118 msnm    msnm

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	26.67	26.90	26.77	27.37	26.24	25.11	23.56	23.28	23.73	24.22	24.40	25.70
1971	26.38	26.40	26.68	26.23	25.58	24.67	23.88	22.64	23.78	23.70	24.56	25.71
1972	26.65	26.59	26.32	26.06	26.39	26.10	26.15	25.92	25.41	25.57	26.03	27.02
1973	26.74	26.79	26.97	26.52	26.09	24.91	23.81	23.63	24.35	24.21	24.20	24.87
1974	25.90	26.51	26.97	27.07	26.65	25.27	24.20	23.89	23.72	23.70	24.77	26.01
1975	26.67	26.80	27.12	26.73	26.35	7.94	23.90	23.27	22.98	23.55	23.47	24.33
1976	25.75	25.71	26.97	26.96	26.96	26.22	25.37	25.10	24.48	24.50	25.65	26.55
1977	26.41	26.47	27.14	27.45	26.85	25.55	24.96	23.91	24.15	24.56	24.83	26.18
1978	27.64	27.85	27.61	26.94	26.95	25.31	24.44	24.34	24.05	24.12	25.28	26.53
1979	27.41	27.90	27.59	27.54	26.83	25.56	24.23	24.35	24.12	24.77	24.86	26.39
1980	27.77	27.58	27.54	27.22	27.12	25.81	22.87	23.08	23.12	24.70	25.13	26.30
1981	26.96	27.35	28.24	27.45	26.39	23.88	23.91	23.81	24.22	24.12	24.77	26.51
1982	27.26	28.16	28.20	27.54	26.32	24.93	24.88	22.86	25.05	25.67	27.32	28.41
1983	27.83	28.76	29.43	31.23	29.87	30.73	27.90	25.67	24.43	25.18	25.56	26.10
1984	27.33	26.91	27.22	27.06	26.18	24.89	24.06	23.91	21.52	21.89	23.91	26.20
1985	26.63	28.25	27.27	27.27	25.22	23.31	24.58	24.92	20.58	21.56	23.27	24.25
1986	26.46	26.83	27.23	27.28	25.99	24.28	24.15	23.76	24.26	25.14	25.67	26.55
1987	27.69	27.67	27.71	27.82	27.30	26.86	24.79	26.06	25.37	24.97	26.67	26.63
1988	27.86	27.99	27.57	26.99	28.11	25.12	24.10	17.41	23.73	23.73	23.68	26.58
1989	27.23	27.02	28.31	28.48	26.36	23.07	22.93	20.69	21.56	22.38	24.94	25.90
1990	28.49	28.96	29.38	29.62	28.07	26.12	22.75	20.67	21.12	21.52	22.96	26.07
1991	29.52	29.44	29.96	29.40	29.06	25.54	23.15	19.84	20.98	23.16	25.00	27.89
1992	27.47	29.31	30.34	30.52	29.88	26.95	24.23	23.38	22.04	23.54	24.15	25.37
1993	27.78	26.45	26.91	27.01	26.79	25.74	25.20	24.06	24.41	24.15	24.94	26.33
1994	27.14	26.69	26.65	26.89	26.76	24.81	21.02	22.91	23.58	24.78	25.25	27.00
1995	27.28	26.81	27.34	27.70	27.27	26.33	24.99	24.31	24.64	24.58	24.93	25.93
1996	26.76	26.23	26.13	26.37	25.37	23.12	22.68	22.37	23.73	23.97	24.37	26.22
1997	26.80	27.53	27.59	27.27	27.71	27.31	27.34	27.50	27.43	27.71	27.28	27.54

... Continúa

1998	27.47	27.62	27.71	27.95	27.59	26.94	26.20	25.26	25.47	24.95	25.61	13.86
1999	27.14	26.47	26.81	26.75	25.70	24.62	23.92	23.78	24.19	24.75	25.29	26.21
2000	26.48	26.44	26.23	26.86	26.13	24.59	23.67	23.83	24.07	24.43	24.50	25.88
2001	26.45	26.87	26.69	26.50	25.23	23.59	23.31	21.49	23.71	23.68	24.54	25.61
2002	27.21	26.71	26.95	26.79	26.82	25.23	24.59	23.95	24.39	25.03	25.65	26.40
2003	27.08	26.93	27.77	27.79	27.01	24.95	24.39	24.46	23.85	24.77	25.44	26.71
2004	26.94	27.30	27.58	27.23	26.39	24.94	23.90	23.76	24.71	24.86	25.05	26.50
2005	27.65	27.40	27.37	28.19	26.53	23.95	24.01	23.54	23.57	23.55	24.55	25.33
2006	25.38	26.45	26.41	27.00	26.25	24.59	24.49	24.77	25.16	25.22	25.34	26.73
2007	27.25	27.83	27.70	27.71	27.04	25.46	24.87	23.65	23.78	23.54	24.94	25.60
2008	26.57	26.82	27.10	27.54	26.52	25.72	25.51	25.11	25.53	25.01	25.22	26.88
2009	26.78	26.41	27.13	27.15	27.49	26.26	25.83	24.93	24.94	24.94	25.78	27.12
2010	27.37	27.66	27.81	27.77	26.54	25.77	25.52	24.88	24.76	25.23	24.99	26.51
2011	27.74	27.77	28.59	24.43	27.44	26.29	25.98	24.75	24.73	26.17	22.70	26.92
2012	27.08	26.99	27.51	27.56	27.52	26.98	26.11	24.59	24.96	24.96	26.28	27.19
2013	27.58	27.80	27.74	27.82	26.57	25.45	24.32	24.43	25.00	25.47	25.37	27.25
2014	27.40	27.69	28.50	28.44	27.62	27.14	26.53	25.39	25.59	25.77	26.14	27.34
2015	27.90	27.80	27.66	27.68	27.91	27.07	26.93	26.11	26.78	26.96	27.56	24.92

 Método de distancia inversa

Fuente: El autor

• ESTACIÓN PAPAYAL



LATITUD: 9605670.00  
 LONGITUD: 585167.00  
 ELEVACIÓN: 50 msnm

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	26.65	26.89	26.82	27.48	26.16	24.92	23.08	22.73	23.21	23.75	23.99	25.51
1971	26.33	26.37	26.76	26.24	25.45	24.39	23.50	0.00	23.32	23.20	24.24	25.55
1972	26.69	26.55	26.25	25.86	26.26	26.04	26.14	25.86	25.26	25.43	25.93	27.08
1973	26.76	26.88	27.13	26.60	26.10	24.71	23.46	23.21	24.09	23.96	23.94	24.72
1974	25.97	26.54	27.05	27.13	26.68	25.02	23.75	23.47	23.25	23.42	24.60	25.97
1975	26.31	26.62	26.52	26.34	26.07	0.00	23.64	23.60	23.04	23.70	23.82	24.40
1976	25.67	25.85	26.48	26.49	26.64	26.06	25.59	25.18	24.74	24.64	25.67	26.21
1977	26.08	26.40	27.24	27.69	26.98	25.65	25.03	23.87	24.17	24.70	24.83	25.82
1978	27.69	27.95	27.79	27.23	27.00	25.33	24.46	24.35	23.98	24.06	25.27	26.40
1979	27.42	27.78	27.52	27.32	26.73	25.45	24.50	24.46	24.49	24.82	24.59	26.43
1980	28.01	27.66	27.51	26.99	26.83	25.48	22.19	22.51	22.53	25.19	25.06	25.90
1981	26.54	27.33	27.87	27.10	26.62	24.27	24.32	24.42	25.01	24.73	25.26	26.55
1982	27.34	28.22	28.08	27.33	26.51	25.20	25.12	22.50	25.27	25.49	26.55	27.90
1983	27.80	28.20	29.76	31.75	30.24	31.19	28.06	25.59	24.23	26.20	25.53	26.22
1984	27.11	26.64	27.12	26.79	26.38	25.47	24.77	24.38	21.01	21.43	23.65	26.18
1985	26.66	28.45	27.37	27.37	25.09	22.99	26.25	26.71	19.98	21.06	22.94	24.03
1986	26.61	26.79	27.17	26.88	26.06	24.81	24.66	24.22	24.75	25.25	25.58	26.49
1987	27.62	27.43	27.79	27.83	27.39	27.01	24.46	26.08	25.34	26.21	26.79	27.80
1988	27.99	28.11	27.61	28.20	28.31	24.85	23.67	15.37	23.14	23.11	23.04	26.66
1989	27.42	27.22	28.82	29.04	26.41	22.29	22.20	19.47	20.52	21.43	24.53	25.85
1990	28.72	29.24	29.70	29.97	28.25	26.09	22.37	20.09	20.58	21.01	22.60	26.04
1991	29.85	29.77	30.34	29.73	29.34	25.45	22.82	19.17	20.43	22.82	24.86	28.05
1992	27.58	29.63	30.77	30.96	30.25	27.01	24.01	23.07	21.59	23.25	23.92	25.27
1993	28.08	26.16	26.65	26.60	26.62	25.89	25.10	23.88	24.36	24.69	24.87	26.21
1994	27.12	26.46	26.44	26.80	26.81	24.65	22.92	22.70	23.40	24.64	25.05	26.82



... Continúa

1995	27.15	26.54	27.10	27.63	27.16	26.22	24.75	24.06	24.31	24.21	24.64	25.60
1996	26.79	26.07	25.98	25.66	25.04	22.42	21.95	21.59	23.24	23.53	23.96	26.15
1997	26.78	27.65	27.75	27.37	27.85	27.43	27.42	27.63	27.55	27.86	27.33	27.68
1998	27.62	27.80	27.93	28.20	27.82	27.03	26.19	25.05	25.25	24.68	25.37	10.89
1999	27.24	26.48	26.87	26.83	25.61	24.29	23.48	23.32	23.73	24.42	25.03	26.11
2000	26.43	26.43	26.20	26.96	26.10	24.24	23.18	23.33	23.61	24.03	24.13	25.72
2001	26.46	26.98	26.75	26.53	25.00	23.11	22.76	23.15	23.22	23.16	24.61	25.39
2002	27.29	26.80	27.07	26.92	26.93	25.09	24.32	23.59	24.04	24.77	25.46	26.28
2003	27.05	26.91	27.97	27.95	27.02	24.63	23.99	24.09	23.36	24.34	25.18	26.67
2004	26.93	27.38	27.69	27.29	26.32	24.62	23.43	23.26	24.37	24.46	24.74	26.42
2005	27.77	27.38	27.29	28.11	26.42	23.89	23.55	23.01	23.01	22.98	24.20	25.06
2006	24.87	26.35	26.35	27.07	26.17	24.19	24.16	24.48	24.91	25.26	25.30	26.71
2007	27.08	27.79	27.63	27.75	27.09	25.60	24.90	23.54	23.71	23.39	24.97	25.49
2008	26.63	26.42	27.15	27.51	26.43	25.69	25.40	25.10	25.37	25.00	25.23	26.95
2009	26.83	26.42	27.29	27.25	27.68	26.18	25.73	24.64	24.67	24.86	25.58	27.14
2010	27.44	27.80	27.99	27.99	26.48	25.61	25.35	24.63	24.45	25.02	24.72	26.50
2011	27.89	28.06	29.01	23.74	27.63	26.20	25.93	24.48	24.48	26.27	21.81	26.96
2012	27.24	27.12	27.74	27.76	27.72	27.11	26.10	24.36	24.68	24.69	26.21	27.33
2013	27.73	28.00	27.97	28.06	26.59	25.27	23.95	24.10	24.76	25.28	25.18	27.38
2014	27.55	27.92	28.84	29.04	27.75	27.22	26.54	25.22	25.41	25.55	26.00	27.41
2015	28.12	28.03	27.89	27.94	28.22	27.22	27.04	26.11	26.84	27.01	27.72	24.61

 Método de regresión ortogonal  
 Método proporcional

Fuente: El autor



• ESTACIÓN RICA PLAYA

LATITUD: 9578654.00  
 LONGITUD: 554887.00  
 ELEVACIÓN: 61 msnm

AÑOS	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SEPTIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
1970	28.01	28.44	27.68	28.51	27.42	25.66	24.49	24.46	25.30	26.04	25.88	27.09
1971	27.57	27.41	27.17	26.55	26.36	25.40	24.32	24.12	24.89	25.03	25.53	26.83
1972	27.40	28.02	27.58	28.11	28.29	27.00	26.64	26.48	26.08	26.42	27.10	28.15
1973	27.80	27.35	27.08	26.77	26.25	25.27	23.96	24.22	24.46	23.96	24.10	24.78
1974	25.22	27.11	27.81	28.22	27.48	26.57	25.78	24.80	24.81	23.03	24.62	26.49
1975	29.05	28.61	30.85	29.30	28.13	22.38	23.32	20.02	20.48	21.14	20.29	22.87
1976	26.15	25.21	30.14	30.03	29.46	27.39	24.28	24.30	22.45	22.96	25.57	28.75
1977	28.45	25.67	25.22	28.22	25.87	24.88	24.84	24.06	23.83	24.38	24.52	26.37
1978	26.66	26.71	26.13	26.30	26.21	24.73	24.15	23.93	23.72	23.76	24.87	25.98
1979	26.52	26.22	26.76	27.34	26.85	26.47		25.22	21.39	25.50	25.51	26.76
1980	28.07	28.02	28.16	28.10	27.78	26.53	24.69	24.27	24.50	22.00	26.34	28.23
1981	28.95	29.03	32.13	30.50	26.19	20.88	20.88	19.99	20.09	20.53	22.14	27.15
1982	28.50	30.33	31.08	30.17	26.19	23.23	23.25	21.81	23.67	26.41	31.92	33.04
1983	30.03	33.92	31.75	34.50	32.41	33.73	29.40	25.97	24.12	20.95	25.61	26.06
1984	29.82	29.16	29.08	29.44	25.93	22.07	20.04	20.66	19.88	20.42	23.34	26.79
1985	27.45	29.94	28.44	28.43	25.29	22.46	17.63	17.76	18.57	19.94	22.40	23.85
1986	26.66	28.09	28.96	30.39	26.04	21.11	20.90	20.41	21.24	27.36	27.93	28.35
1987	28.97	29.68	29.40	28.83	27.70	27.17	26.14	26.12	26.80	27.27	27.08	28.81
1988	28.99	29.03	28.58	29.41	28.76	26.47	25.44	25.15	25.89	26.23	26.33	26.93
1989	27.53	26.90	27.23	27.30	26.58	26.04	25.36	24.55	24.90	25.95	27.20	26.33
1990	30.30	31.03	31.66	32.04	29.66	26.66	21.64	18.70	19.32	19.88	21.94	26.59
1991	31.87	31.76	32.55	31.70	31.17	25.78	22.23	17.56	19.13	22.24	24.97	29.38
1992	28.73	31.56	33.14	33.42	32.43	27.94	23.82	22.56	20.62	22.80	23.70	25.53
1993	27.84	26.95	27.32	27.71	26.68	26.59	25.82	25.11	25.44	25.72	25.89	27.63

... Continúa

1994	27.75	27.11	27.16	26.96	27.08	25.76	0.00	24.06	24.82	25.81	26.76	27.76
1995	27.53	27.25	28.30	28.54	27.99	26.60	25.90	25.34	25.78	25.95	26.51	27.15
1996	27.79	28.08	27.83	28.40	27.55	25.48	24.64	24.50	25.02	25.12	25.74	27.32
1997	28.28	28.87	28.66	28.32	29.11	28.40	28.77	28.61	28.69	29.08	28.88	28.77
1998	28.40	28.55	28.50	28.74	27.99	27.61	26.76	26.25	26.78	26.03	27.37	27.21
1999	28.11	27.26	27.66	27.30	26.20	25.75	25.00	24.89	25.89	26.08	26.72	27.62
2000	27.78	27.28	27.01	27.44	26.74	25.80	24.80	25.31	25.58	25.90	25.78	27.25
2001	27.21	27.31	27.32	27.15	26.35	24.55	24.60	0.00	25.07	25.20	21.86	27.22
2002	28.45	27.13	27.41	26.95	27.23	25.56	25.08	24.39	25.34	26.11	26.99	28.26
2003	29.05	28.64	28.69	29.12	28.59	26.44	25.76	25.69	25.29	26.97	27.11	28.30
2004	28.64	28.64	29.01	28.59	27.82	26.45	25.26	25.23	26.01	26.92	26.50	28.17
2005	29.16	28.83	28.40	29.53	28.33	26.03	25.47	24.86	25.29	25.26	25.74	26.85
2006	29.30	28.10	27.64	27.98	27.47	26.22	25.35	25.81	26.39	26.79	26.95	28.67
2007	28.65	28.82	28.58	28.61	28.88	26.09	25.55	25.21	25.22	25.03	26.33	27.20
2008	27.33	26.84	25.72	27.81	27.35	26.31	25.87	26.14	26.44	26.75	26.99	27.70
2009	27.65	27.12	27.45	28.10	28.16	27.53	26.59	26.13	25.95	24.23	27.37	28.78
2010	28.83	28.92	29.03	28.53	28.09	27.00	26.52	25.65	25.94	26.14	26.09	27.45
2011	29.06	27.99	28.81	28.52	28.06	27.75	26.55	25.54	25.27	25.72	26.25	28.12
2012	27.42	27.38	27.82	28.17	28.11	27.37	26.58	24.76	26.10	26.10	27.50	27.83
2013	28.76	28.83	28.42	28.46	27.35	26.42	25.31	25.29	25.80	26.56	26.20	28.12
2014	28.28	28.26	29.23	26.76	28.98	28.25	27.42	26.18	26.75	27.57	27.73	28.88
2015	28.91	28.59	28.16	27.92	28.01	27.46	27.46	26.39	27.55	28.12	28.61	26.22

 Método de regresión ortogonal  
 Método proporcional

Fuente: El autor

## Anexo 2. Índices de Sequía

### ➤ Arenillas

#### • SPI

> 2	Extremadamente húmedo	-1 a -1.49	Moderadamente seco
1.5 a 1.99	Muy húmedo	-1.5 a -1.99	Severamente seco
1 a 1.49	Moderadamente húmedo	< -2	Extremadamente seco
-0.99 a 0.99	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	0.694	1.022	1.255	0.675	0.406	-3.090	0.997	1.423	-3.090	0.928	0.828	-0.124
1976	1.259	0.800	0.915	0.062	0.971	1.498	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1977	1.087	-3.090	-3.090	0.407	-3.090	0.853	-3.090	-3.090	1.679	-3.090	-3.090	0.381
1978	-3.090	0.804	0.697	-3.090	0.069	0.293	0.426	0.615	0.893	-3.090	0.494	-3.090
1979	-3.090	-3.090	-3.090	0.898	0.425	-0.156	0.694	0.797	0.710	0.995	-3.090	-3.090
1980	0.331	-3.090	0.452	1.390	-0.096	-3.090	0.711	0.602	0.710	1.068	1.060	0.366
1981	-3.090	0.887	1.283	0.331	-3.090	0.478	0.151	0.959	0.515	0.520	0.284	0.088
1982	0.633	-3.090	-3.090	0.133	0.611	0.423	0.317	0.959	0.362	1.042	1.137	1.967
1983	2.040	1.622	1.716	2.019	2.401	2.841	2.576	1.315	1.969	1.240	0.567	1.411
1984	-3.090	1.376	1.087	0.486	-0.045	1.031	0.734	1.114	0.835	1.019	-0.126	0.792
1985	-3.090	-3.090	0.623	-3.090	0.367	-3.090	0.515	0.883	0.670	-0.090	-3.090	0.304
1986	1.458	0.667	-3.090	0.993	0.360	-0.156	0.498	0.861	0.690	0.260	0.583	0.827
1987	1.380	1.454	1.560	1.694	0.257	-3.090	1.008	1.098	0.683	0.315	-3.090	-3.090
1988	1.199	0.800	-3.090	-3.090	0.035	-3.090	-3.090	-3.090	0.428	0.613	0.839	-3.090
1989	1.398	1.721	0.868	0.260	-3.090	0.496	0.490	1.026	0.440	0.680	0.134	-3.090
1990	-3.090	0.664	-3.090	-3.090	0.151	0.518	0.523	0.615	0.710	0.970	0.386	0.073
1991	-3.090	0.718	1.038	-3.090	0.677	0.417	0.711	0.488	0.595	0.179	-3.090	0.384
1992	1.099	1.512	1.884	1.901	1.971	0.729	-3.090	1.098	0.971	0.485	0.303	0.296
1993	0.668	1.356	1.359	1.125	0.479	-0.116	0.771	0.488	0.618	-3.090	0.436	0.895
1994	1.261	0.664	1.092	0.592	0.378	0.487	0.657	0.733	1.134	-3.090	0.134	0.498
1995	1.162	1.038	-3.090	-3.090	-0.267	-3.090	0.529	0.743	-3.090	1.359	1.440	0.380

... Continúa

1996	0.274	0.699	-3.090	-3.090	-3.090	0.671	-3.090	-3.090	-3.090	0.255	-3.090	-0.044
1997	-3.090	-3.090	0.836	0.846	0.941	0.789	1.095	-3.090	1.381	1.306	2.475	2.535
1998	1.688	1.820	1.324	1.056	1.424	0.840	0.970	-3.090	-3.090	1.026	0.580	0.670
1999	-3.090	0.964	0.893	0.811	0.709	0.467	0.907	-3.090	0.835	0.832	-3.090	0.635
2000	-3.090	0.632	0.699	0.403	1.025	0.732	0.782	0.989	1.009	-3.090	-3.090	0.707
2001	0.727	0.322	1.033	0.968	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.817	0.255	0.929	0.523
2002	-3.090	1.054	1.435	0.971	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	1.004	0.736	0.824
2003	0.725	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.937	0.918	-3.090	-3.090	-3.090	0.662	0.954
2004	0.547	-3.090	-3.090	0.484	0.596	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.645	-3.090	-3.090
2005	-3.090	-3.090	0.920	-3.090	-3.090	0.270	-3.090	-3.090	-3.090	0.318	-3.090	0.629
2006	0.901	1.409	1.063	-3.090	-3.090	0.649	1.165	0.926	1.564	1.753	1.505	0.808
2007	1.269	-3.090	0.834	0.547	0.767	0.278	1.531	2.300	1.712	1.469	1.190	0.366
2008	1.592	1.636	1.548	1.096	0.712	1.416	-3.090	1.559	1.528	1.670	1.335	1.288
2009	1.266	1.270	0.916	0.444	0.684	0.531	-3.090	-3.090	0.867	-3.090	1.151	0.772
2010	0.852	0.884	0.952	1.303	0.375	0.484	0.265	0.805	0.166	0.529	0.925	0.041
2011	0.536	0.438	-3.090	0.471	0.702	0.582	1.504	1.455	-3.090	-3.090	-3.090	0.293
2012	1.131	1.116	0.775	0.974	0.670	-3.090	-3.090	-3.090	0.566	0.702	0.725	0.400
2013	0.811	-3.090	0.583	-0.196	0.076	0.270	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
2014	0.970	-3.090	-3.090	-3.090	1.231	1.117	0.472	0.903	-3.090	0.889	-3.090	0.494
2015	-3.090	-3.090	1.082	0.512	1.272	0.603	0.472	0.934	0.566	1.222	0.599	0.338

Fuente: El autor

• **SPEI**

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.49	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-0.205	0.404	0.822	0.161	-0.043	0.248	0.455	1.214	0.154	0.751	1.236	0.417
1976	1.034	0.205	0.090	-0.589	0.674	1.325	-0.809	-0.993	-0.383	-0.699	-1.030	-3.172
1977	0.547	-0.738	-1.057	-0.093	-1.974	0.522	-0.453	0.139	1.745	-0.303	-0.173	-1.130
1978	-1.328	-0.284	-0.391	-0.445	-1.099	-0.125	0.316	0.065	0.495	-0.187	-0.135	-3.152
1979	-1.437	-2.233	-0.955	0.210	-0.563	-0.436	1.157	0.728	0.540	0.714	-0.544	-0.997
1980	-0.553	-1.245	-0.564	1.365	-3.406	-2.460	0.860	0.212	0.377	0.821	1.030	-0.620
1981	-1.821	0.116	0.823	-0.462	-0.104	0.902	0.564	0.819	0.627	0.594	0.530	-0.444
1982	-0.198	-1.506	-1.956	-0.569	0.680	0.548	0.008	0.500	-0.449	-0.668	-2.685	1.819
1983	2.313	1.550	1.882	2.186	2.443	2.676	2.631	-0.441	2.013	1.416	-0.068	1.504
1984	-1.543	1.156	0.523	-0.141	0.152	1.221	1.104	0.754	0.891	1.025	0.025	0.527
1985	-0.923	-1.401	-0.218	-1.515	0.490	0.269	1.433	1.178	0.990	0.444	0.130	0.402
1986	1.395	-0.152	-1.660	0.663	0.378	0.650	0.693	0.622	0.393	0.220	0.156	0.568
1987	1.054	1.261	1.612	1.840	-0.636	-2.413	0.172	-1.235	-0.347	1.849	-2.054	0.814
1988	0.693	-0.126	-1.371	0.445	-1.624	-0.499	-0.537	1.799	-0.277	-0.010	0.867	-0.777
1989	1.206	1.856	-0.023	-0.568	-0.260	0.796	0.528	1.298	0.790	0.711	-0.335	-0.838
1990	-1.288	-0.373	-1.011	-1.078	-0.927	-0.506	0.560	1.006	0.994	1.156	0.672	-0.263
1991	-1.483	-0.364	0.163	-1.636	-0.503	-0.245	0.599	1.277	1.032	0.034	-0.504	-0.869
1992	0.559	1.381	2.190	2.061	2.009	-0.558	-0.438	0.371	1.015	0.035	0.237	0.209
1993	-0.273	1.094	1.069	0.811	-0.722	0.058	-0.231	0.167	0.291	1.318	0.357	0.643
1994	0.857	-0.298	0.497	-0.040	-0.076	0.420	1.259	0.984	1.185	-0.698	-0.282	-1.038
1995	0.513	0.324	-0.844	-1.432	-1.857	-2.970	-0.472	0.020	-0.857	0.751	1.455	-0.263
1996	-0.342	-0.021	-0.328	-2.005	0.005	0.910	0.281	0.257	-0.651	-0.416	-0.311	-0.405

... Continúa

1997	-0.476	-0.747	0.055	0.547	0.708	-0.599	-1.241	-2.748	-0.913	-1.228	2.448	2.461
1998	1.764	2.015	1.073	0.834	1.480	-0.338	-0.875	-1.416	-1.649	-0.172	-0.326	1.726
1999	-0.526	0.364	0.222	0.522	0.783	0.254	0.457	-0.518	-0.113	-0.317	-0.903	0.323
2000	-0.664	-0.124	-0.004	-0.066	1.113	0.560	0.409	0.001	0.165	-1.129	-0.365	0.507
2001	0.023	-0.372	0.497	0.807	0.258	0.196	-0.088	-0.493	0.052	-0.232	0.530	0.337
2002	-0.750	0.521	1.377	0.789	-1.102	-0.658	-0.809	-0.607	-0.949	-0.207	-0.085	0.581
2003	-0.046	-0.499	-0.902	-0.672	-0.556	0.779	0.282	-0.857	-0.589	-1.218	-0.055	0.712
2004	-0.219	-0.465	-0.609	-0.016	0.494	-0.395	-0.336	-0.454	-1.142	-0.524	-0.677	-0.652
2005	-0.998	-0.795	0.090	-1.090	-0.531	1.010	-0.430	-0.363	-0.464	-0.062	-0.374	0.551
2006	0.449	1.286	0.593	-1.213	-0.450	0.478	0.554	-0.603	0.802	1.635	1.573	0.530
2007	0.831	-1.400	-0.154	-0.166	0.652	0.292	1.576	2.342	2.029	1.696	1.360	0.351
2008	1.638	1.623	1.531	0.823	0.474	1.407	-1.371	0.761	0.596	1.624	1.499	1.200
2009	0.976	0.998	0.230	-0.049	0.252	-0.473	-1.563	-1.109	-0.454	-1.453	0.664	0.299
2010	0.094	0.116	0.228	1.289	0.204	-0.230	-1.069	-0.693	-0.869	-0.864	0.571	-0.440
2011	-0.375	-0.435	-1.445	0.403	0.297	-0.407	0.567	0.192	-1.152	-2.244	0.690	-0.420
2012	0.660	0.635	-0.050	0.726	0.219	-2.760	-1.745	-0.924	-0.759	-0.490	-0.475	-0.422
2013	-0.011	-0.876	-0.312	-0.548	-0.090	-0.289	-0.551	-0.818	-1.291	-1.680	-0.907	-1.647
2014	0.306	-0.796	-1.694	-1.160	1.213	0.402	-1.567	-0.842	-1.572	-0.673	-1.465	-0.273
2015	-0.572	-0.832	0.520	-0.060	1.212	-0.980	-1.860	-1.301	-1.949	-0.909	-2.047	0.446

Fuente: El autor

• PPN

$\geq 250$	Extremadamente húmedo	$50 \leq X < 75$	Moderadamente seco
$150 \leq X < 250$	Muy húmedo	$25 \leq X < 50$	Severamente seco
$125 \leq X < 150$	Moderadamente húmedo	$0 \leq X < 25$	Extremadamente seco
$75 \leq X < 125$	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	113	290	399	152	38	0	30	35	0	32	30	23
1976	275	215	249	85	94	121	0	0	0	0	0	0
1977	206	121	103	109	0	40	0	0	81	0	0	38
1978	51	216	194	70	25	12	10	8	23	6	15	13
1979	38	48	139	208	39	6	17	12	16	35	2	7
1980	84	74	162	424	22	2	18	8	16	39	45	37
1981	2	240	415	101	13	18	6	16	11	19	10	27
1982	105	49	0	88	53	16	8	16	9	38	51	352
1983	907	727	773	941	556	563	220	30	118	49	18	178
1984	7	499	313	119	22	57	19	21	20	36	5	72
1985	28	55	182	6	36	4	12	14	15	12	2	34
1986	383	187	6	239	36	6	12	13	16	14	18	76
1987	337	563	620	635	31	0	30	21	15	15	2	0
1988	249	215	51	76	24	3	1	0	10	21	30	20
1989	347	840	235	95	18	19	12	18	10	23	7	6
1990	31	186	115	75	27	20	12	8	16	34	12	26
1991	38	197	293	39	59	16	18	7	13	13	4	38
1992	210	615	969	818	354	31	3	21	26	18	10	34
1993	110	484	464	290	43	6	20	7	14	9	14	84
1994	276	186	316	136	37	18	16	10	35	6	7	45
1995	234	297	135	45	20	0	13	11	3	57	81	38
1996	82	193	144	16	8	28	0	2	0	14	0	24
1997	64	111	226	193	90	35	35	0	52	53	276	630



... Continúa

1998	549	968	441	262	181	39	28	0	0	37	18	59
1999	70	267	242	184	62	18	25	0	20	28	0	56
2000	45	181	195	109	102	31	20	17	28	0	0	63
2001	118	153	291	231	19	0	0	0	20	14	36	47
2002	50	304	518	232	0	0	0	0	0	36	25	76
2003	118	133	98	69	16	48	26	0	0	0	22	92
2004	96	145	131	119	52	0	0	0	0	22	0	18
2005	38	114	250	78	9	11	0	0	0	15	0	56
2006	152	526	303	17	7	26	39	15	69	92	89	74
2007	280	71	225	128	68	12	67	113	84	65	56	37
2008	473	743	610	278	62	107	0	44	65	83	70	151
2009	279	423	249	114	59	20	0	0	22	0	52	70
2010	141	239	261	375	36	18	8	12	7	19	36	26
2011	95	159	51	117	61	23	65	37	0	0	0	34
2012	222	334	211	233	58	0	0	0	12	24	24	39
2013	133	103	176	80	25	11	0	0	0	0	0	10
2014	170	110	20	53	138	66	11	14	0	31	0	45
2015	79	107	311	123	147	24	11	15	12	48	19	36

Fuente: El autor

• SPDI

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.4	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-0.165	0.458	1.054	1.420	1.530	1.061	1.192	1.555	1.056	1.144	1.208	0.608
1976	2.816	2.573	2.348	1.138	0.812	1.796	0.970	0.470	-0.008	-0.598	-1.180	-2.035
1977	-1.131	-1.888	-2.175	-2.545	-3.971	-3.739	-3.967	-3.898	-2.379	-2.691	-3.002	-3.207
1978	-5.339	-5.188	-4.846	-5.298	-6.096	-6.099	-5.842	-5.457	-4.884	-4.825	-4.616	-4.989
1979	-7.120	-8.102	-7.687	-6.897	-7.299	-7.289	-6.703	-6.133	-5.597	-4.819	-4.903	-5.216
1980	-6.265	-6.861	-6.433	-3.109	-3.905	-4.317	-4.014	-3.775	-3.484	-2.835	-2.124	-2.383
1981	-5.318	-4.808	-3.773	-4.117	-4.823	-4.647	-4.551	-4.102	-3.841	-3.555	-3.515	-3.722
1982	-4.408	-5.369	-5.633	-6.002	-6.004	-5.867	-5.693	-5.178	-4.931	-4.307	-3.586	0.318
1983	13.905	15.923	16.153	22.766	32.810	43.021	47.512	45.617	43.787	40.659	36.659	34.409
1984	27.940	26.818	24.449	21.851	19.318	17.943	16.197	14.767	13.314	12.260	10.551	9.509
1985	6.179	4.188	3.613	1.596	0.566	-0.166	-0.363	-0.377	-0.415	-0.645	-1.112	-1.360
1986	3.038	2.538	1.567	1.998	0.985	0.331	0.013	-0.074	-0.177	-0.396	-0.557	-0.405
1987	2.464	4.327	5.310	10.168	9.930	8.508	7.854	7.111	6.243	5.620	4.404	3.345
1988	4.287	3.563	2.579	2.012	0.390	-0.430	-0.983	-1.080	-1.228	-1.235	-1.000	-1.567
1989	1.949	5.977	5.497	4.469	3.384	2.890	2.414	2.303	1.925	1.734	1.115	0.185
1990	-2.433	-2.699	-2.879	-3.808	-4.712	-4.797	-4.615	-4.292	-3.907	-3.269	-3.200	-3.421
1991	-5.748	-5.648	-4.970	-6.016	-6.303	-6.249	-5.822	-5.377	-4.928	-4.697	-4.739	-4.743
1992	-3.507	-0.730	1.810	8.743	16.998	16.961	15.545	14.566	13.360	11.943	10.423	8.948
1993	6.920	7.822	7.858	8.971	8.769	7.743	7.001	6.234	5.490	4.749	4.005	3.792

... Continúa

1994	5.210	4.210	4.047	3.179	1.820	1.161	0.870	0.659	0.867	0.298	-0.184	-0.598
1995	0.332	0.560	0.120	-1.362	-2.698	-3.370	-3.421	-3.252	-3.321	-2.368	-0.923	-1.259
1996	-2.530	-2.509	-2.467	-3.958	-4.854	-4.609	-4.688	-4.507	-4.490	-4.326	-4.479	-4.610
1997	-5.812	-6.111	-5.486	-4.683	-4.440	-4.363	-3.985	-4.065	-3.235	-2.539	3.643	10.804
1998	si	21.059	19.741	19.456	22.407	21.155	19.423	17.300	15.072	13.703	12.062	11.296
1999	8.465	7.843	7.126	6.575	5.419	4.353	3.807	3.040	2.655	2.354	1.475	1.165
2000	-0.953	-1.198	-1.129	-1.591	-1.316	-1.463	-1.503	-1.435	-1.213	-1.714	-2.139	-1.971
2001	-2.489	-2.810	-2.272	-1.326	-2.307	-2.811	-3.106	-3.160	-2.906	-2.890	-2.423	-2.419
2002	-4.201	-3.282	-1.886	-0.278	-0.568	-0.937	-1.298	-1.435	-1.726	-1.410	-1.356	-1.123
2003	-1.810	-2.322	-2.523	-3.334	-4.335	-3.922	-3.623	-3.643	-3.711	-3.962	-3.715	-3.035
2004	-3.884	-4.139	-4.033	-4.123	-4.408	-4.765	-4.879	-4.749	-4.736	-4.410	-4.578	-4.781
2005	-6.621	-6.858	-6.122	-6.710	-7.433	-7.103	-6.984	-6.632	-6.384	-5.978	-5.965	-5.466
2006	-4.795	-2.256	-1.591	-2.502	-3.073	-2.878	-2.289	-2.108	-1.055	0.472	1.823	1.699
2007	3.313	1.648	1.395	0.683	0.133	-0.461	0.339	1.939	2.965	3.569	3.887	3.145
2008	8.793	11.394	11.579	12.237	12.638	13.551	12.023	11.558	11.232	11.418	11.296	11.196
2009	12.186	12.303	11.218	9.848	8.796	7.558	6.168	5.174	4.581	3.463	3.614	3.216
2010	2.432	2.143	2.017	4.061	3.061	2.324	1.617	1.286	0.818	0.493	0.614	-0.029
2011	-1.352	-1.822	-2.272	-2.223	-2.676	-2.923	-2.033	-1.585	-1.898	-2.419	-2.674	-2.892
2012	-1.587	-0.750	-0.697	0.074	-0.432	-1.269	-1.831	-2.027	-2.060	-1.973	-1.906	-2.148
2013	-2.570	-3.292	-3.136	-3.779	-4.545	-4.734	-4.867	-4.757	-4.753	-4.934	-5.062	-5.370
2014	-4.767	-5.204	-5.400	-6.185	-4.998	-4.354	-4.412	-4.129	-4.205	-3.788	-4.064	-4.006
2015	-5.238	-5.652	-4.792	-4.812	-3.683	-3.862	-3.994	-3.764	-3.693	-3.027	-3.037	-3.061

Fuente: El autor

➤ **Matapalo**

• **SPI**

> 2	Extremadamente húmedo	-1 a 1.49	Moderadamente seco
1.5 a 1.99	Muy húmedo	-1.5 a -1.99	Severamente seco
1 a 1.49	Moderadamente húmedo	< -2	Extremadamente seco
-0.99 a 0.99	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1976	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1977	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1978	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1979	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1980	0.643	-3.090	2.542	1.017	0.677	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	1.052	0.949
1981	-3.090	0.421	2.852	0.695	-3.090	0.423	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1982	-3.090	-3.090	-3.090	0.399	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	1.806
1983	2.212	1.832	3.153	2.654	2.796	2.852	2.464	-3.090	1.119	-3.090	-3.090	-3.090
1984	-3.090	1.437	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.447
1985	-3.090	-3.090	2.822	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.403	-3.090	-3.090
1986	0.001	-3.090	-3.090	-3.090	0.655	-3.090	-3.090	2.573	-3.090	1.341	0.873	0.964
1987	1.043	1.336	2.885	0.974	0.906	0.450	0.984	1.144	1.072	0.167	-3.090	0.260
1988	0.690	-3.090	-3.090	-0.150	0.549	-3.090	0.503	-3.090	-3.090	-3.090	0.339	0.235
1989	1.267	1.386	2.706	0.436	0.457	0.935	0.567	1.197	1.144	0.918	0.193	-3.090
1990	-0.131	0.740	-3.090	0.087	0.375	0.763	0.373	0.700	-3.090	1.110	0.319	0.370
1991	-3.090	1.033	2.723	0.089	0.730	1.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.622	0.575	0.601
1992	0.624	0.790	2.715	1.424	1.536	0.798	0.104	-3.090	0.927	0.459	1.149	0.340
1993	-3.090	1.129	2.799	0.681	1.087	0.657	1.304	0.800	1.318	1.231	0.500	0.551
1994	1.109	0.806	2.757	0.793	0.554	0.757	0.342	0.469	1.411	0.167	0.533	1.000
1995	0.784	1.358	-3.090	0.135	0.547	-3.090	0.828	0.983	0.678	1.034	1.768	0.995
1996	0.568	0.742	-3.090	-3.090	-3.090	0.724	0.143	0.700	0.987	0.857	0.374	0.191
1997	-3.090	-3.090	2.825	0.920	0.977	1.458	0.904	-3.090	2.211	2.296	2.793	2.766

... Continúa

1998	1.961	1.959	3.084	1.192	1.293	1.013	1.990	0.220	0.921	1.110	0.638	0.535
1999	-0.325	1.340	2.797	1.033	0.856	0.693	0.455	0.911	1.301	0.738	0.436	0.624
2000	-3.090	0.660	2.933	0.700	1.366	0.828	0.567	1.197	1.265	-3.090	-3.090	0.730
2001	0.569	0.758	2.947	0.498	0.622	0.634	0.525	-3.090	-3.090	0.546	0.904	0.393
2002	0.420	1.125	2.905	0.968	0.494	-3.090	-0.223	1.213	1.334	1.466	0.463	1.239
2003	0.686	0.760	-3.090	-0.129	0.497	0.757	0.995	0.800	1.381	0.223	0.584	1.078
2004	0.509	0.878	2.757	0.668	0.540	0.686	0.695	0.885	1.318	0.738	0.522	0.250
2005	-3.090	-3.090	2.792	0.074	-3.090	0.699	-0.223	0.700	1.017	0.909	0.298	0.197
2006	0.466	1.548	2.807	-3.090	-3.090	0.845	0.661	1.107	1.334	-3.090	1.245	0.832
2007	1.146	-3.090	2.904	0.450	0.646	0.518	0.607	0.911	0.883	0.482	0.574	-0.028
2008	1.251	1.435	2.891	0.580	0.511	1.104	0.757	0.936	1.045	0.992	0.846	-3.090
2009	1.254	1.115	2.747	0.067	0.670	0.567	0.086	1.180	1.632	0.167	0.934	0.736
2010	1.029	1.061	2.950	1.372	0.709	0.908	0.727	0.735	1.121	0.801	0.554	0.624
2011	0.182	1.047	-3.090	0.805	0.457	0.872	0.940	0.983	0.987	0.667	0.736	0.485
2012	1.213	1.102	2.691	1.089	0.994	1.286	0.757	0.911	0.955	1.125	0.863	0.452
2013	0.757	0.606	2.985	-0.341	0.618	0.672	0.607	1.048	0.597	1.398	-0.032	0.463
2014	0.930	0.732	-3.090	-0.085	1.243	1.589	0.772	1.027	1.228	1.243	0.522	0.585
2015	0.536	0.755	3.046	0.767	1.506	0.783	1.312	1.048	1.208	1.357	0.914	0.346

Fuente: El autor

• **SPEI**

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.4	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-0.925	-1.210	-1.060	-0.775	-0.190	2.081	0.023	0.137	0.497	0.339	0.669	0.463
1976	-0.588	-0.986	-1.027	-0.595	-0.761	-1.252	-0.915	-0.935	-0.320	-0.158	-0.828	-1.378
1977	-0.811	-1.134	-1.071	-1.137	-0.608	-0.374	-0.571	0.046	-0.038	-0.273	-0.004	-0.673
1978	-1.366	-1.458	-1.196	-0.854	-0.743	-0.105	-0.025	-0.241	0.112	0.316	-0.407	-1.289
1979	-1.240	-1.470	-1.190	-1.194	-0.574	-0.376	1.798	-0.276	0.015	-0.518	-0.015	-1.012
1980	0.167	-1.387	-0.366	1.027	-0.034	-0.674	1.286	0.611	0.807	-0.453	0.416	0.863
1981	-0.746	-0.421	0.528	0.474	-0.069	0.777	0.400	0.111	-0.124	0.226	0.040	-1.303
1982	-1.158	-1.394	-1.377	-0.034	0.037	0.280	-0.336	0.888	-0.783	-1.674	-3.260	1.720
1983	2.316	1.956	2.111	2.570	2.660	2.556	-1.463	-1.066	0.447	-0.378	-0.256	-0.065
1984	-1.196	1.316	-0.745	-0.921	-0.040	0.108	0.138	-0.074	1.557	1.657	0.598	0.073
1985	-0.507	-0.772	0.491	-1.024	0.386	0.863	-0.393	-0.945	1.852	1.815	0.912	0.560
1986	-0.270	-0.484	-1.094	-1.035	0.476	0.571	0.194	1.104	-0.161	-0.075	-0.348	0.805
1987	0.903	1.068	0.789	0.888	0.517	-2.472	0.145	-1.555	-0.951	-0.396	-2.042	-0.499
1988	0.243	-0.883	-1.083	-0.365	-	-0.040	0.276	2.241	0.239	0.525	0.845	-0.618
1989	1.293	1.209	-0.196	-0.249	0.063	1.169	1.186	1.621	1.600	1.631	-0.167	-0.362
1990	-1.046	-0.355	-1.246	-1.717	-	-0.725	1.433	1.655	1.812	2.127	1.236	0.092
1991	-2.530	0.174	-0.563	-1.604	-	0.451	1.207	1.915	1.953	1.358	0.149	-
1992	0.196	-0.360	-0.744	1.328	1.492	-2.091	0.397	0.608	1.662	1.137	1.274	0.542
1993	-0.783	0.716	0.425	0.528	1.039	-0.357	-0.245	0.050	-0.052	0.895	0.084	0.189
1994	1.062	0.084	0.268	0.719	-0.055	0.394	2.379	0.673	0.593	-0.545	-0.278	0.700

... Continúa

1995	0.507	1.165	-0.414	-0.436	-0.530	-1.409	-0.301	-0.067	-0.384	0.335	1.680	1.044
1996	0.234	0.038	-0.289	-0.448	0.354	1.029	1.246	0.878	0.218	0.509	0.325	-0.291
1997	-0.472	-0.787	0.469	0.883	0.567	0.116	-2.160	-3.212	-2.562	-1.475	2.698	2.554
1998	2.100	2.178	1.874	1.221	1.308	-1.390	-0.514	-1.077	-1.282	-0.128	-0.521	1.730
1999	-0.544	1.145	0.427	1.093	0.832	0.480	0.470	0.202	0.064	-0.256	-0.343	0.360
2000	-0.577	-0.087	1.186	0.579	1.538	0.568	0.673	0.200	0.110	-0.210	0.201	0.663
2001	0.285	-0.012	1.228	0.343	0.626	0.845	0.847	1.228	0.161	0.624	0.550	0.342
2002	-0.069	0.687	0.984	0.998	-0.177	-0.047	-0.156	0.228	-0.023	0.298	-0.659	1.269
2003	0.372	-0.012	-0.768	-0.680	-0.339	0.388	0.374	-0.247	0.514	-0.337	-0.329	0.952
2004	0.117	0.135	0.129	0.469	0.163	0.324	0.644	0.276	-0.361	-0.314	-0.005	-0.453
2005	-0.727	-0.766	0.326	-0.710	-0.191	0.805	0.307	0.343	0.518	1.052	0.281	0.384
2006	0.327	1.545	0.523	-0.548	0.034	0.628	0.047	-0.509	-0.854	-1.106	0.527	0.476
2007	1.110	-1.197	0.904	-0.001	-0.050	-0.169	-0.311	0.364	0.399	0.963	0.130	0.165
2008	1.313	1.319	0.888	0.259	0.076	0.348	-0.806	-0.763	-1.249	-0.212	0.158	-2.824
2009	1.304	0.693	0.162	-0.289	-0.384	-1.049	-1.212	-0.512	-0.325	-0.487	-0.286	-0.006
2010	0.914	0.465	1.159	1.482	0.371	-0.024	-0.812	-0.570	-0.371	-0.644	0.154	0.222
2011	-0.519	0.423	-1.190	1.009	-1.095	-0.692	-1.160	-0.422	-0.391	-2.239	1.537	-0.499
2012	1.227	0.620	-0.107	1.101	0.672	-0.288	-1.303	-0.219	-0.561	0.101	-0.951	-1.040
2013	0.411	-0.347	1.365	-0.758	0.202	-0.003	0.342	-0.104	-0.708	-0.280	-0.382	-1.164
2014	0.747	-0.161	-1.267	-1.057	1.214	0.715	-1.600	-0.837	-1.076	-0.772	-1.004	-0.760
2015	-0.061	-0.145	1.694	0.557	1.615	-2.389	-1.703	-1.546	-2.424	-2.695	-2.823	0.777

\* — : Valor que esta fuera de los rangos del método de probabilidad utilizado

Fuente: El autor

• PPN

$\geq 250$	Extremadamente húmedo	$50 \leq X < 75$	Moderadamente seco
$150 \leq X < 250$	Muy húmedo	$25 \leq X < 50$	Severamente seco
$125 \leq X < 150$	Moderadamente húmedo	$0 \leq X < 25$	Extremadamente seco
$75 \leq X < 125$	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	0	19	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	160	0	117	285	29	0	0	0	0	0	20	74
1981	23	138	326	161	4	2	0	0	0	0	0	0
1982	0	19	0	91	4	0	0	0	0	0	0	301
1983	1604	1332	1225	2158	2572	563	62	0	4	0	0	4
1984	0	703	47	0	0	0	0	0	0	0	0	24
1985	36	104	283	0	0	0	0	0	0	4	0	0
1986	56	111	0	0	26	1	0	36	0	20	13	77
1987	329	589	382	265	71	2	9	5	3	3	1	15
1988	175	80	13	40	16	0	4	0	0	0	3	14
1989	473	644	171	98	11	16	4	6	4	9	2	2
1990	51	202	58	52	8	8	3	2	1	13	3	20
1991	27	338	182	52	36	26	0	0	0	5	6	35
1992	154	219	176	533	386	9	2	0	2	4	25	18
1993	47	403	255	156	127	5	15	3	5	16	5	31
1994	367	225	210	192	16	8	3	2	6	3	5	83
1995	208	612	103	56	16	0	7	4	2	12	71	82



... Continúa

1996	139	202	87	15	2	7	2	2	3	8	3	13
1997	39	80	287	241	90	66	8	0	23	71	240	877
1998	1207	1601	931	378	222	20	37	1	2	13	7	30
1999	47	593	252	292	59	6	3	4	5	7	4	37
2000	24	179	479	162	265	11	4	6	5	1	0	47
2001	139	207	512	110	22	5	4	1	1	5	14	21
2002	105	400	422	262	12	0	1	6	5	24	4	128
2003	174	208	63	40	13	8	9	3	6	3	6	96
2004	124	254	210	152	15	6	5	3	5	7	5	15
2005	47	81	246	51	3	6	1	2	3	9	3	13
2006	115	850	264	24	4	11	5	5	5	2	30	59
2007	390	32	419	100	25	3	4	4	2	4	6	9
2008	461	701	393	129	14	27	6	4	3	11	12	1
2009	463	393	201	51	28	4	2	6	9	3	15	47
2010	321	355	519	495	33	14	6	3	4	8	6	37
2011	70	347	37	197	11	12	8	4	3	6	9	26
2012	434	384	161	320	95	44	6	4	3	14	13	24
2013	198	166	610	36	22	6	4	5	1	22	1	25
2014	271	199	26	42	195	87	6	4	4	17	5	33
2015	131	206	796	184	362	9	15	5	4	20	15	19

Fuente: El autor

• SPDI

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.4	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-0.700	-1.180	-1.621	-2.146	-2.635	-2.416	-2.595	-2.596	-2.511	-2.507	-2.546	-2.875
1976	-3.546	-3.769	-3.967	-4.190	-4.524	-5.822	-5.732	-5.476	-5.127	-4.874	-4.749	-4.984
1977	-5.505	-5.565	-5.587	-5.773	-5.934	-6.937	-6.707	-6.300	-5.857	-5.532	-5.301	-5.450
1978	-6.055	-6.137	-6.126	-6.211	-6.336	-7.238	-6.938	-6.523	-6.052	-5.688	-5.461	-5.619
1979	-6.180	-6.252	-6.229	-6.356	-6.455	-7.405	-6.961	-6.545	-6.075	-5.735	-5.484	-5.630
1980	-5.183	-5.338	-5.109	-3.974	-4.141	-5.387	-5.190	-4.907	-4.579	-4.391	-3.805	-3.103
1981	-3.725	-3.644	-3.086	-2.800	-3.200	-4.093	-4.089	-3.949	-3.751	-3.627	-3.589	-3.941
1982	-4.657	-4.853	-5.012	-4.855	-5.027	-5.960	-5.813	-5.448	-5.116	-4.908	-4.873	-1.152
1983	8.551	10.776	12.336	20.438	37.531	61.994	60.554	55.939	51.063	46.014	41.150	36.304
1984	31.438	29.488	26.196	22.869	19.890	16.522	14.461	12.735	11.308	9.966	8.647	7.381
1985	5.797	4.757	4.392	3.199	2.244	0.787	0.235	-0.125	-0.240	-0.308	-0.558	-1.076
1986	-1.638	-1.815	-2.228	-2.744	-2.956	-3.984	-4.000	-2.951	-2.857	-2.339	-2.156	-1.611
1987	-0.408	0.608	1.175	2.026	2.339	1.813	1.881	1.816	1.656	1.338	0.813	0.211
1988	0.148	-0.361	-0.911	-1.360	-1.983	-3.318	-3.344	-3.099	-2.977	-2.922	-2.843	-3.085
1989	-0.639	0.684	0.651	0.401	-0.106	-0.389	-0.418	-0.241	-0.111	0.032	-0.219	-0.855
1990	-1.698	-1.750	-2.152	-2.668	-3.214	-4.388	-4.238	-3.914	-3.621	-3.069	-2.947	-3.063
1991	-3.982	-3.465	-3.413	-3.787	-4.135	-4.552	-4.447	-4.130	-3.826	-3.511	-3.346	-3.366
1992	-3.154	-3.044	-3.098	-1.178	1.494	1.141	1.110	1.092	1.116	1.017	1.299	0.792
1993	-0.164	0.338	0.520	0.672	1.135	0.407	0.518	0.483	0.523	0.717	0.452	0.120
1994	1.490	1.389	1.292	1.422	0.749	-0.322	-0.424	-0.489	-0.368	-0.516	-0.680	-0.246

... Continúa

1995	0.018	1.065	0.850	0.399	-0.200	-1.720	-1.807	-1.755	-1.711	-1.484	0.063	0.496
1996	0.282	0.183	-0.161	-0.752	-1.300	-2.154	-2.264	-2.208	-2.098	-1.923	-1.973	-2.299
1997	-2.866	-3.038	-2.608	-1.978	-1.977	-1.854	-2.172	-2.406	-1.786	-0.134	5.225	16.108
1998	21.724	23.396	23.006	22.118	22.062	21.559	20.671	18.879	17.081	15.522	13.782	12.587
1999	10.497	10.428	9.690	9.820	9.399	9.415	9.086	8.718	8.232	7.502	6.566	5.692
2000	4.222	3.644	4.010	3.917	5.538	6.169	6.240	6.286	6.072	5.423	4.652	4.136
2001	3.581	3.125	3.613	3.334	2.840	2.288	2.162	2.057	1.917	1.714	1.621	1.079
2002	0.541	0.949	1.529	2.362	2.105	1.797	1.767	1.877	1.895	2.179	1.740	2.593
2003	2.362	2.032	1.351	0.602	-0.140	-1.368	-1.496	-1.573	-1.423	-1.487	-1.551	-0.824
2004	-1.014	-0.891	-0.879	-0.842	-1.360	-2.527	-2.582	-2.507	-2.309	-2.183	-2.182	-2.477
2005	-3.081	-3.223	-2.875	-3.176	-3.554	-4.305	-4.269	-4.040	-3.727	-3.339	-3.261	-3.384
2006	-3.220	-1.180	-0.676	-0.939	-1.272	-1.614	-1.527	-1.362	-1.184	-1.273	-0.763	-0.625
2007	0.972	0.344	0.831	0.589	0.084	-1.102	-1.248	-1.211	-1.159	-1.141	-1.205	-1.616
2008	0.668	2.030	2.504	2.477	1.971	1.913	1.701	1.530	1.342	1.251	1.096	0.251
2009	2.337	2.710	2.620	2.089	1.464	0.068	-0.306	-0.364	-0.219	-0.396	-0.353	-0.439
2010	0.631	0.891	1.683	3.524	3.407	3.661	3.585	3.399	3.174	2.856	2.407	1.942
2011	1.025	1.169	0.512	0.903	0.106	-1.245	-1.487	-1.531	-1.503	-1.534	-1.389	-1.641
2012	0.403	0.896	0.843	1.893	2.316	3.322	3.136	2.947	2.692	2.585	2.270	1.592
2013	1.568	1.154	2.066	1.479	0.979	-0.005	-0.139	-0.146	-0.227	0.106	-0.217	-0.637
2014	0.076	-0.082	-0.688	-1.291	-0.608	0.036	-0.439	-0.618	-0.662	-0.465	-0.688	-0.947
2015	-1.191	-1.213	0.429	0.928	4.125	5.902	6.170	5.877	5.365	5.059	4.437	3.652

Fuente: El autor

➤ Papayal

• SPI

> 2	Extremadamente húmedo	-1 a 1.49	Moderadamente seco
1.5 a 1.99	Muy húmedo	-1.5 a -1.99	Severamente seco
1 a 1.49	Moderadamente húmedo	< -2	Extremadamente seco
-0.99 a 0.99	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	0.420	0.935	1.350	0.660	0.906	-3.090	1.279	2.307	-3.090	1.243	1.365	0.330
1976	1.153	0.703	1.010	0.107	1.220	1.992	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1977	0.927	-0.037	-3.090	0.370	-3.090	1.378	-3.090	0.378	2.521	-3.090	-3.090	0.651
1978	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.532	0.378	1.321	-3.090	-3.090	-3.090
1979	-3.090	-3.090	0.236	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1980	-3.090	-3.090	0.515	0.804	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	1.412	-3.090	0.803
1981	-3.090	-3.090	1.093	0.919	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	0.743
1982	-0.056	-3.090	-3.090	0.422	0.859	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	2.123
1983	1.996	1.641	1.916	2.655	2.860	2.881	2.463	0.378	0.872	-3.090	-3.090	-3.090
1984	-3.090	0.270	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	0.702
1985	-3.090	-3.090	0.941	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	0.339	-3.090	-3.090
1986	-0.151	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	0.960
1987	2.048	2.050	1.923	1.384	-3.090	-3.090	1.061	1.491	0.845	0.179	-3.090	-3.090
1988	0.880	0.703	-3.090	-0.028	0.890	-3.090	0.697	0.378	-3.090	-3.090	1.087	0.531
1989	1.351	1.290	0.588	0.324	0.791	1.298	0.741	1.539	0.887	0.879	1.032	-3.090
1990	-3.090	0.511	-3.090	-0.196	0.726	1.177	0.613	1.125	0.523	1.121	1.079	0.639
1991	-3.090	0.860	0.642	-0.190	1.016	1.415	-3.090	0.378	-3.090	0.544	1.196	0.829
1992	0.627	0.570	0.616	1.402	1.763	1.201	0.471	0.378	0.768	0.387	1.521	0.615
1993	-3.090	1.269	1.526	0.961	1.084	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	0.577
1994	0.769	0.382	0.773	0.591	1.004	-3.090	-3.090	0.378	1.974	-3.090	1.161	1.100
1995	0.762	0.934	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	1.643	1.781	0.916
1996	-3.090	-3.090	0.416	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	0.444	-3.090	0.379

... Continúa

1997	-3.090	-3.090	0.938	0.849	1.200	1.331	1.431	0.378	1.935	1.966	2.912	2.731
1998	1.723	1.882	1.422	1.085	1.531	1.369	1.238	0.378	-3.090	1.412	1.209	0.885
1999	-0.272	0.872	0.990	0.811	1.056	1.130	1.148	0.378	1.129	1.091	-3.090	0.854
2000	-3.090	0.553	0.819	0.366	1.258	1.291	0.981	1.509	1.348	-3.090	-3.090	0.918
2001	0.462	0.381	1.125	0.986	0.693	-3.090	-3.090	0.378	1.109	0.444	1.438	0.759
2002	-3.090	0.970	1.539	0.990	-3.090	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	1.373	1.303	1.033
2003	0.459	0.199	-3.090	-0.248	-3.090	1.445	1.164	0.378	-3.090	-3.090	1.257	1.171
2004	0.253	0.320	0.376	0.452	0.995	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	0.830	-3.090	-3.090
2005	-3.090	-3.090	0.472	-0.116	-3.090	1.180	-3.090	0.378	-3.090	0.492	-3.090	0.750
2006	0.441	1.355	0.623	-3.090	-3.090	-3.090	1.115	0.378	-3.090	0.261	1.556	0.800
2007	0.729	-3.090	0.863	-0.222	0.956	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	0.441
2008	1.222	1.146	1.043	0.464	0.983	-3.090	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
2009	1.164	0.753	-3.090	0.094	1.042	1.165	-3.090	0.378	1.167	-3.090	1.618	0.981
2010	0.621	0.787	1.046	1.366	0.893	1.139	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	1.273	0.441
2011	0.242	0.426	-3.090	0.438	1.052	1.194	2.176	2.377	-3.090	-3.090	-3.090	0.589
2012	0.985	1.040	0.883	0.993	1.034	-3.090	-3.090	0.378	0.867	0.904	1.296	0.664
2013	0.568	-3.090	0.732	0.038	0.789	1.036	-3.090	0.378	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
2014	0.774	-3.090	-3.090	-3.090	1.405	1.601	0.645	1.383	-3.090	1.179	-3.090	0.736
2015	0.001	-3.090	1.174	0.482	1.433	1.208	0.645	1.428	0.867	1.788	1.220	0.620

Fuente: El autor

• **SPEI**

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.4	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	0.189	0.781	1.281	0.587	0.437	2.173	0.400	0.114	0.217	0.392	0.596	0.657
1976	1.253	0.499	0.683	-0.029	0.815	1.251	-0.914	-0.903	-0.624	-0.175	-0.804	-0.194
1977	0.915	-0.270	-0.528	-0.103	-0.344	0.009	-0.500	0.076	1.082	-0.239	0.051	0.320
1978	-1.042	-1.680	-0.576	-0.809	-0.355	-0.001	0.038	-0.214	0.199	0.368	-0.313	-0.363
1979	-0.857	-0.640	-0.389	-0.853	-0.065	-0.090	-0.009	-0.297	-0.372	-0.301	0.294	-0.402
1980	-1.376	-1.375	-0.203	0.714	-0.183	-0.174	1.692	0.826	0.891	-0.419	-0.188	0.400
1981	-0.622	-0.818	0.666	0.875	0.021	0.591	0.111	-0.287	-0.843	-0.241	-0.329	-0.090
1982	-0.477	-1.916	-1.374	0.075	0.266	0.131	-0.470	0.981	-0.991	-0.872	-2.018	1.981
1983	2.097	1.733	2.037	2.573	2.720	2.407	-1.760	-0.824	0.415	-1.266	-0.098	0.106
1984	-0.870	-0.141	-1.053	-0.630	0.156	-0.208	-0.389	-0.390	1.474	1.698	0.748	0.102
1985	-0.447	-0.920	0.443	-0.872	0.677	0.971	-1.392	-2.194	1.772	1.833	1.049	0.804
1986	-0.262	-1.225	-1.065	-0.655	0.365	0.306	-0.191	-0.154	-0.627	-0.742	-0.693	0.321
1987	2.148	2.190	2.135	1.479	-1.018	-1.691	0.351	-1.465	-0.919	-1.473	-2.397	-
1988	0.579	0.220	-1.195	-0.719	-	0.207	0.529	2.363	0.451	0.865	1.049	-0.494
1989	1.386	1.299	-0.395	-0.636	0.206	1.217	1.515	1.738	1.595	1.704	0.139	0.025
1990	-1.275	-0.369	-1.618	-2.351	-	-0.603	1.596	1.679	1.687	2.027	1.259	0.163
1991	-	0.243	-0.870	-2.198	-	0.250	1.441	1.956	1.835	1.307	0.190	-
1992	0.211	-0.410	-1.138	1.194	1.480	-1.577	0.578	0.744	1.532	1.122	1.089	0.627
1993	-0.952	1.318	1.581	0.996	0.531	-0.486	-0.544	0.080	-0.304	-0.225	0.029	0.013
1994	0.537	0.001	0.300	0.426	0.260	0.338	1.123	0.698	0.871	-0.259	-0.159	0.412
1995	0.522	0.791	-0.456	-1.017	-0.588	-0.802	-0.256	-0.035	-0.259	0.603	1.006	0.677
1996	-0.403	-0.410	-0.013	-0.232	0.666	1.075	1.554	1.027	0.241	0.479	0.465	-0.120

... Continúa

1997	-0.340	-0.657	0.380	0.741	0.234	-1.933	-1.842	-2.918	-2.518	-2.558	2.798	2.538
1998	1.827	2.019	1.317	1.008	1.293	-1.391	-1.217	-0.830	-1.100	0.052	-0.414	1.798
1999	-0.504	0.694	0.597	0.745	0.793	0.556	0.827	0.346	0.172	0.104	-0.202	0.344
2000	-0.443	0.214	0.398	0.092	1.001	0.633	0.946	0.343	0.281	0.191	0.459	0.594
2001	0.219	-0.084	0.856	1.034	0.719	0.914	1.102	0.348	0.411	0.798	0.341	0.547
2002	-0.722	0.828	1.579	1.004	-0.278	0.128	0.088	0.263	-0.054	-0.010	-0.399	0.557
2003	0.090	-0.245	-0.773	-0.724	-0.318	0.685	0.533	-0.058	0.451	0.091	-0.142	0.646
2004	-0.119	-0.228	-0.359	0.124	0.494	0.389	0.799	0.441	-0.349	0.055	0.104	-0.338
2005	-1.053	-0.882	-0.198	-0.735	0.135	0.742	0.617	0.516	0.561	1.011	0.448	0.685
2006	0.482	1.429	0.123	-0.509	0.290	0.585	0.302	-0.399	-0.818	-0.764	0.082	-0.155
2007	0.483	-0.866	0.261	-0.623	-0.030	-0.241	-0.388	0.302	0.203	0.818	-0.065	0.397
2008	1.273	1.130	0.663	0.083	0.447	-0.273	-0.733	-0.784	-1.124	-0.444	-0.248	-1.226
2009	1.176	0.520	-0.513	-0.260	-0.382	-0.620	-0.966	-0.394	-0.370	-0.285	0.062	-0.104
2010	0.235	0.408	0.550	1.444	0.312	-0.130	-0.677	-0.388	-0.288	-0.438	0.338	-0.299
2011	-0.460	-0.241	-1.567	0.712	-0.266	-0.635	-0.411	-0.030	-0.336	-1.642	1.543	-0.792
2012	0.866	0.919	0.276	0.906	-0.489	-1.899	-1.191	-0.107	-0.377	0.083	-1.206	-1.396
2013	0.076	-0.880	-0.028	-0.638	0.153	0.089	0.521	0.019	-0.550	-0.684	-0.177	-
2014	0.472	-0.762	-1.701	-1.854	0.994	-0.853	-1.428	-0.658	-0.968	-0.563	-0.965	-1.281
2015	-0.814	-0.836	0.826	-0.016	0.941	-1.819	-1.739	-1.432	-2.290	-1.809	-	0.908

\* — : Valor que esta fuera de los rangos del método de probabilidad utilizado

Fuente: El autor

• PPN

$\geq 250$	Extremadamente húmedo	$50 \leq X < 75$	Moderadamente seco
$150 \leq X < 250$	Muy húmedo	$25 \leq X < 50$	Severamente seco
$125 \leq X < 150$	Moderadamente húmedo	$0 \leq X < 25$	Extremadamente seco
$75 \leq X < 125$	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	99	400	584	164	12	0	7	10	0	8	7	4
1976	374	273	329	56	68	113	0	0	0	0	0	0
1977	256	112	83	92	0	13	0	0	51	0	0	12
1978	10	4	98	0	0	0	1	0	6	0	0	0
1979	13	104	117	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	0	17	151	216	0	0	0	0	0	11	0	21
1981	0	64	380	265	0	0	0	0	0	0	0	16
1982	45	0	0	102	8	0	0	0	0	0	0	442
1983	1166	1144	1352	2401	2866	607	47	0	1	0	0	0
1984	0	144	0	0	0	0	0	0	0	0	0	14
1985	24	91	292	0	0	0	0	0	0	1	0	0
1986	41	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	35
1987	1236	1892	1363	558	0	0	4	2	1	1	0	0
1988	236	273	0	45	10	0	1	0	0	0	1	7
1989	505	698	166	84	5	8	2	2	1	4	1	0
1990	36	201	43	38	3	4	1	1	0	7	1	11
1991	16	354	179	38	24	15	0	0	0	2	2	23
1992	148	220	172	573	408	4	0	0	1	1	15	10
1993	33	676	772	286	35	0	0	0	0	0	0	9
1994	193	166	220	144	22	0	0	0	23	0	2	54



... Continúa

1995	190	399	89	0	0	0	0	0	0	15	37	31
1996	33	81	135	6	0	0	0	0	0	2	0	5
1997	32	95	290	234	62	10	10	0	21	22	376	977
1998	840	1553	657	352	214	12	6	0	0	11	3	28
1999	39	361	318	218	30	2	5	0	3	6	0	25
2000	16	214	237	91	80	8	3	2	6	0	0	31
2001	107	166	401	298	3	0	0	0	3	2	10	17
2002	20	424	788	301	0	0	0	0	0	10	5	44
2003	107	133	74	37	2	18	5	0	0	0	4	66
2004	72	153	130	109	21	0	0	0	0	4	0	3
2005	11	58	143	41	0	4	0	0	0	2	0	17
2006	103	769	174	22	0	0	5	0	0	1	17	20
2007	179	75	256	37	16	0	0	0	0	0	0	5
2008	416	561	348	111	19	0	0	0	0	0	0	0
2009	380	296	87	55	28	3	0	0	4	0	21	38
2010	146	314	350	544	10	3	0	0	0	0	4	5
2011	71	177	21	106	29	4	33	11	0	0	0	9
2012	283	474	265	302	26	0	0	0	1	5	5	12
2013	132	82	206	50	5	1	0	0	0	0	0	1
2014	195	94	3	22	142	34	1	2	0	7	0	16
2015	48	89	436	115	156	5	1	2	1	18	3	10

Fuente: El autor

• SPDI

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.4	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	0.101	0.711	0.599	1.202	1.440	1.292	1.976	2.490	2.459	2.530	2.152	1.469
1976	6.129	5.748	5.142	4.170	4.000	3.588	3.137	2.779	2.394	2.053	1.472	0.724
1977	2.858	2.271	2.048	1.299	0.038	0.034	-0.236	-0.327	0.929	0.710	0.301	-0.141
1978	-3.167	-3.538	-3.162	-3.921	-4.646	-4.167	-3.973	-3.686	-3.284	-3.057	-3.094	-3.382
1979	-5.921	-5.712	-5.115	-5.685	-6.188	-5.551	-5.224	-4.811	-4.458	-4.123	-4.022	-4.217
1980	-7.116	-7.024	-6.295	-5.277	-5.840	-5.239	-4.877	-4.470	-4.119	-3.551	-3.532	-3.457
1981	-5.973	-5.844	-5.256	-4.016	-4.676	-4.195	-4.003	-3.715	-3.487	-3.251	-3.268	-3.315
1982	-5.215	-5.408	-4.831	-4.755	-5.217	-4.680	-4.463	-4.094	-3.830	-3.571	-3.612	2.376
1983	22.297	22.716	20.277	33.357	70.903	63.600	61.352	56.379	51.206	46.220	41.140	36.330
1984	29.544	26.285	23.596	20.133	17.012	15.260	13.426	11.917	10.600	9.430	8.161	6.922
1985	3.746	2.883	2.579	1.212	0.195	0.175	-0.160	-0.315	-0.359	-0.364	-0.602	-1.032
1986	-3.019	-3.343	-2.981	-3.714	-4.329	-3.883	-3.736	-3.473	-3.264	-3.061	-3.112	-2.901
1987	18.799	21.774	19.427	20.729	19.040	17.079	15.439	13.913	12.429	11.056	9.501	7.825
1988	8.260	7.474	6.723	5.119	3.397	3.047	2.527	2.239	1.886	1.592	1.176	0.533
1989	7.454	8.101	7.269	5.940	4.577	4.105	3.622	3.302	2.974	2.750	2.154	1.356
1990	-1.653	-1.705	-1.509	-2.582	-3.593	-3.223	-3.060	-2.794	-2.583	-2.215	-2.222	-2.425
1991	-5.915	-5.142	-4.602	-5.340	-6.020	-5.400	-5.032	-4.565	-4.168	-3.776	-3.656	-3.673
1992	-3.641	-3.478	-3.108	-0.509	3.418	3.066	2.603	2.283	2.008	1.767	1.678	1.113
1993	-1.729	-0.215	-0.248	1.340	2.727	2.446	2.474	2.411	2.201	1.951	1.420	0.800
1994	1.395	1.110	0.993	0.806	-0.109	-0.098	-0.288	-0.358	0.162	0.022	-0.279	-0.112

... Continúa

1995	0.522	0.991	0.898	-0.302	-1.387	-1.244	-1.364	-1.337	-1.337	-0.930	-0.190	-0.297
1996	-2.580	-2.681	-2.401	-3.027	-3.612	-3.240	-3.090	-2.861	-2.694	-2.484	-2.543	-2.816
1997	-4.801	-4.722	-4.241	-3.351	-3.496	-3.136	-3.032	-2.911	-2.257	-1.638	8.447	20.934
1998	33.139	33.642	30.134	28.958	31.521	28.274	25.824	23.347	20.935	19.011	16.769	15.259
1999	11.372	10.614	9.509	9.071	7.877	7.066	6.325	5.653	5.083	4.638	3.815	3.180
2000	0.307	0.271	0.239	-0.235	-0.232	-0.208	-0.349	-0.377	-0.303	-0.386	-0.662	-0.729
2001	-1.449	-1.472	-1.339	0.005	-0.459	-0.412	-0.392	-0.326	-0.252	-0.234	-0.276	-0.557
2002	-3.220	-2.311	-2.128	-0.262	0.381	0.342	0.574	0.720	0.703	0.885	0.569	0.542
2003	-0.481	-0.693	-0.608	-1.486	-2.439	-2.188	-2.113	-2.014	-1.929	-1.847	-1.909	-1.394
2004	-2.852	-2.792	-2.496	-2.616	-3.125	-2.803	-2.727	-2.553	-2.432	-2.201	-2.307	-2.642
2005	-5.405	-5.355	-4.797	-5.233	-5.747	-5.155	-4.844	-4.449	-4.110	-3.737	-3.668	-3.589
2006	-3.662	-1.696	-1.525	-2.062	-2.492	-2.236	-2.032	-1.860	-1.776	-1.676	-1.416	-1.608
2007	-1.015	-1.394	-1.254	-2.033	-2.765	-2.480	-2.486	-2.340	-2.228	-2.100	-2.225	-2.476
2008	3.170	3.892	3.473	3.215	3.013	2.703	2.399	2.150	1.832	1.548	1.041	0.294
2009	4.833	4.609	4.144	3.030	1.888	1.693	1.241	0.993	0.848	0.639	0.771	0.578
2010	0.185	0.363	0.315	3.099	2.771	2.485	2.210	1.995	1.723	1.460	1.093	0.445
2011	-1.540	-1.593	-1.408	-1.256	-1.990	-1.785	-1.416	-1.170	-1.192	-1.220	-1.322	-1.698
2012	0.867	1.482	1.323	2.298	1.588	1.424	1.038	0.842	0.662	0.602	0.274	-0.246
2013	-0.919	-1.303	-1.167	-1.919	-2.726	-2.446	-2.418	-2.286	-2.198	-2.103	-2.232	-2.659
2014	-1.798	-2.054	-1.820	-2.857	-2.054	-1.843	-1.958	-1.857	-1.823	-1.578	-1.791	-2.046
2015	-4.296	-4.315	-3.890	-3.848	-2.667	-2.393	-2.453	-2.306	-2.227	-1.700	-1.918	-2.065

Fuente: El autor

➤ Rica Playa

• SPI

> 2	Extremadamente húmedo	-1 a 1.49	Moderadamente seco
1.5 a 1.99	Muy húmedo	-1.5 a -1.99	Severamente seco
1 a 1.49	Moderadamente húmedo	< -2	Extremadamente seco
-0.99 a 0.99	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-3.090	-3.090	0.814	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1976	-3.090	-3.090	0.896	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1977	-3.090	-3.090	0.850	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1978	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1979	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1980	0.735	-3.090	-3.090	0.970	0.831	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	1.281	1.337
1981	-3.090	0.326	0.433	0.404	-3.090	0.987	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090
1982	-3.090	-3.090	-3.090	0.328	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	1.962
1983	2.407	1.825	1.908	2.599	2.836	2.919	2.664	-3.090	1.628	-3.090	-3.090	-3.090
1984	-3.090	1.370	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.998
1985	-0.028	0.078	1.012	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.518	-3.090	-3.090
1986	0.204	0.174	-3.090	0.738	0.554	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	1.092	0.810
1987	1.035	1.041	1.496	0.369	-3.090	-3.090	1.420	2.593	1.380	-3.090	-3.090	0.697
1988	0.191	-3.090	-3.090	-0.239	-3.090	-3.090	0.772	0.817	1.446	0.343	1.145	0.848
1989	0.729	1.299	0.907	0.543	-3.090	1.403	-3.090	1.094	1.446	0.953	-3.090	-3.090
1990	-0.114	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	1.159	0.546	-3.090	1.257	0.686	1.002	0.665
1991	-3.090	0.413	0.721	-3.090	0.957	1.433	-3.090	-3.090	-3.090	0.722	0.868	1.095
1992	0.716	0.668	0.710	1.378	1.664	1.212	0.478	-3.090	1.557	0.565	1.370	0.935
1993	0.113	1.024	0.950	0.626	1.112	1.117	1.449	1.308	-3.090	2.190	-3.090	0.697
1994	0.928	0.845	0.672	0.741	-3.090	1.151	0.621	-3.090	-3.090	0.847	-3.090	1.224
1995	0.495	0.588	-3.090	-3.090	0.975	-3.090	1.015	-3.090	-3.090	0.343	1.247	1.235
1996	0.452	-3.090	-3.090	0.077	0.446	0.958	-3.090	-3.090	-3.090	0.266	-3.090	0.821

... Continúa

1997	-0.103	0.304	0.891	0.765	1.188	1.631	1.683	1.369	2.988	1.622	2.917	2.817
1998	2.117	1.989	1.854	1.418	1.369	1.395	0.696	1.632	1.874	1.645	0.482	0.697
1999	-0.205	0.722	0.759	1.406	1.207	1.086	0.603	0.817	1.768	0.040	0.683	0.884
2000	-3.090	0.848	0.956	0.911	1.355	1.290	0.390	-3.090	-3.090	-3.090	0.482	0.867
2001	0.827	0.509	1.500	0.551	0.889	0.913	0.478	0.521	-3.090	-3.090	1.147	0.995
2002	0.018	1.240	1.483	1.137	0.543	-3.090	-3.090	1.443	1.683	0.756	0.781	1.171
2003	0.618	0.350	-3.090	-3.090	0.446	1.187	1.015	1.289	-3.090	-3.090	0.650	1.329
2004	0.124	0.809	0.361	0.252	0.728	-3.090	1.036	-3.090	1.900	0.649	0.610	-3.090
2005	-3.090	-3.090	0.982	-3.090	-3.090	1.073	-3.090	0.817	-3.090	0.518	0.947	0.922
2006	0.814	1.405	1.146	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.409	1.145	0.888
2007	0.890	-3.090	0.883	0.252	-3.090	-3.090	-3.090	0.817	-3.090	-3.090	0.868	0.803
2008	1.077	1.566	1.425	0.306	0.938	1.259	0.970	-3.090	-3.090	1.370	0.781	-3.090
2009	1.500	0.936	0.977	0.320	0.720	-3.090	-3.090	1.198	1.756	0.368	1.002	1.065
2010	0.888	1.003	1.225	1.069	0.804	1.143	0.894	-3.090	-3.090	0.266	0.737	0.900
2011	0.078	0.391	-3.090	0.934	0.598	0.913	1.396	-3.090	-3.090	0.875	0.781	1.003
2012	1.013	1.199	1.420	0.957	1.042	1.321	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	-3.090	0.644
2013	0.431	0.036	1.239	0.030	0.973	0.913	0.603	-3.090	-3.090	1.690	-3.090	0.721
2014	0.647	0.264	-3.090	-0.204	1.128	1.714	0.805	-3.090	-3.090	-3.090	0.868	0.971
2015	0.454	0.883	1.405	1.062	1.435	1.515	-3.090	1.198	-3.090	1.633	1.115	0.938

Fuente: El autor

• SPEI

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.4	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-0.910	-1.090	-0.407	-0.872	-0.401	1.537	0.627	1.315	1.340	1.326	1.966	1.285
1976	0.137	-0.369	-0.218	-1.271	-	-1.328	0.424	0.204	1.056	1.031	0.189	-2.580
1977	-0.655	-0.469	0.484	-0.528	0.514	0.707	0.033	0.198	0.430	0.384	0.634	0.543
1978	-0.016	-0.661	-0.494	-0.035	0.417	0.759	0.337	0.226	0.444	0.613	0.439	0.677
1979	0.029	-0.559	-0.593	-0.272	0.225	-0.387	-0.543	-0.463	1.256	-0.143	0.165	0.378
1980	0.568	-0.968	-0.351	0.925	0.038	-0.396	0.219	0.219	0.222	1.295	-0.043	0.430
1981	-0.874	-0.405	-1.132	-0.517	0.432	1.862	1.343	1.338	1.428	1.468	1.496	0.152
1982	-0.750	-1.884	-1.838	-0.783	0.528	1.603	1.017	1.253	0.803	-0.541	-3.195	-0.913
1983	2.369	1.692	1.922	2.527	2.717	1.218	-2.483	-0.389	0.931	1.818	0.615	0.935
1984	-1.439	1.346	-0.850	-0.931	0.481	1.611	1.488	1.200	1.445	1.472	1.059	0.549
1985	-0.011	-0.697	0.371	-0.519	0.593	1.417	1.746	1.533	1.542	1.468	1.259	1.106
1986	0.283	-0.348	-1.044	0.095	0.500	1.873	1.409	1.329	1.275	-1.340	-1.072	-0.867
1987	0.865	0.630	1.250	-0.144	-0.140	-0.927	-0.315	-0.713	-1.345	-1.174	-0.609	-4.155
1988	-0.537	-0.809	-0.885	-0.819	-1.354	-0.231	-0.055	-0.173	-0.574	-0.433	-0.031	0.450
1989	0.658	1.343	0.331	0.450	0.340	0.359	-0.169	0.059	-0.019	-0.301	-0.768	0.593
1990	-1.770	-1.610	-1.530	-2.958	-	-0.468	1.284	1.594	1.627	1.690	1.752	0.500
1991	-	-1.329	-1.305	-4.686	-	0.656	1.237	1.764	1.726	1.327	0.635	#¡NUM!
1992	0.375	-0.724	-1.666	0.731	0.815	-1.862	0.774	1.037	1.567	1.219	1.502	1.014
1993	-0.089	0.899	0.387	0.481	0.824	-0.373	-0.265	-0.256	-0.354	0.206	0.020	-0.141
1994	0.906	0.587	0.058	0.742	0.131	0.189	2.367	0.121	-0.146	-0.331	-0.551	0.450

... Continúa

1995	0.364	0.193	-0.458	-0.615	0.180	-0.412	-0.370	-0.387	-0.558	-0.291	-0.129	0.741
1996	0.248	-0.650	-0.483	-0.254	-0.060	0.479	0.253	0.097	-0.076	0.141	0.098	0.160
1997	-0.354	-0.460	0.067	0.579	0.174	-1.483	-2.427	-	-1.438	-2.566	1.528	2.732
1998	2.190	2.210	2.069	1.519	1.059	-1.126	-0.966	-1.040	-1.240	-0.065	-0.818	0.236
1999	-0.325	0.380	0.071	1.604	1.048	0.326	0.085	-0.127	-0.619	-0.424	-0.457	-0.020
2000	-0.341	0.576	0.437	0.920	1.207	0.404	0.165	-0.454	-0.478	-0.334	0.070	0.233
2001	0.836	0.083	1.450	0.484	0.575	0.766	0.049	2.074	-0.356	-0.105	1.620	0.366
2002	-0.388	1.239	1.408	1.280	0.114	0.425	0.031	0.207	-0.230	-0.397	-0.609	-0.070
2003	0.099	-0.352	-0.616	-0.823	-1.010	-0.065	-0.201	-0.540	-0.084	-0.973	-0.645	0.344
2004	-0.416	0.333	-0.493	-0.188	-0.097	-0.210	0.088	-0.234	-0.553	-0.914	-0.274	-0.851
2005	-1.133	-0.994	0.272	-1.042	-0.702	0.165	-0.143	-0.028	-0.171	0.150	0.223	0.518
2006	0.401	1.448	0.696	-0.365	-0.016	0.001	-0.036	-0.720	-1.034	-0.841	-0.440	-1.657
2007	0.691	-1.109	0.072	-0.189	-1.530	0.080	-0.191	-0.260	-0.117	0.254	-0.152	0.251
2008	1.148	1.734	1.412	0.089	0.380	0.017	-0.379	-1.115	-1.144	-0.721	-0.600	-0.276
2009	1.631	0.743	0.415	0.030	-0.352	-1.471	-0.903	-1.026	-0.594	0.667	-0.771	-1.220
2010	0.648	0.664	0.668	1.019	-0.188	-0.706	-0.778	-0.557	-0.614	-0.368	0.011	0.155
2011	-0.697	-0.165	-0.958	0.804	-0.369	-1.738	-0.700	-0.477	-0.105	-0.050	-0.085	-0.342
2012	1.058	1.158	1.246	0.894	0.274	-0.988	-0.899	0.049	-0.797	-0.385	-0.924	-0.352
2013	-0.096	-0.604	0.787	-0.313	0.444	-0.193	-0.010	-0.311	-0.533	-0.458	-0.111	-0.702
2014	0.388	-0.334	-1.042	0.114	0.045	-0.962	-1.451	-0.952	-1.289	-1.427	-1.000	-2.241
2015	-0.136	0.475	1.182	1.087	1.190	-0.621	-1.527	-1.156	-2.223	-1.683	-1.495	0.837

\* — : Valor que esta fuera de los rangos del método de probabilidad utilizado

Fuente: El autor

• PPN

$\geq 250$	Extremadamente húmedo	$50 \leq X < 75$	Moderadamente seco
$150 \leq X < 250$	Muy húmedo	$25 \leq X < 50$	Severamente seco
$125 \leq X < 150$	Moderadamente húmedo	$0 \leq X < 25$	Extremadamente seco
$75 \leq X < 125$	Cercano a lo normal		

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	0	0	213	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1976	0	0	245	12	0	0	0	0	0	0	0	0
1977	0	0	226	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1978	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1979	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1980	162	0	113	304	20	0	0	0	0	0	13	65
1981	0	128	132	98	2	1	0	0	0	0	0	0
1982	0	12	0	83	2	0	0	0	0	0	0	323
1983	1812	1501	1379	2445	2918	622	52	0	2	0	0	2
1984	0	782	38	0	0	0	0	0	0	0	0	16
1985	27	97	302	0	0	0	0	0	0	2	0	0
1986	46	106	0	197	3	0	0	0	0	0	7	6
1987	290	453	722	91	0	0	9	8	0	0	0	3
1988	45	71	20	32	0	0	2	0	0	1	9	7
1989	159	699	250	132	0	16	0	1	0	4	0	0
1990	23	54	56	23	1	4	1	0	0	2	5	3
1991	1	146	184	5	40	18	0	0	0	3	3	26
1992	155	229	180	588	420	5	1	0	1	2	17	12
1993	37	439	270	157	80	3	10	1	0	25	0	3
1994	238	318	171	198	0	3	1	0	0	3	0	44
1995	94	198	96	8	44	0	4	0	0	1	12	45
1996	85	52	68	49	2	1	0	0	0	1	0	6



... Continúa

1997	24	124	243	208	106	39	14	1	88	13	226	1252
1998	1331	1849	1275	623	193	15	1	2	6	13	0	3
1999	20	253	194	613	114	2	1	0	3	0	1	9
2000	3	319	273	273	185	9	0	0	0	0	0	8
2001	195	172	726	135	28	0	1	0	0	0	9	16
2002	30	635	706	404	3	0	0	2	2	3	2	35
2003	125	132	82	16	2	5	4	1	0	0	1	63
2004	38	297	126	70	11	0	4	0	6	2	1	1
2005	5	33	286	12	0	2	0	0	0	2	4	11
2006	190	826	386	14	0	0	0	0	0	1	9	9
2007	221	17	239	70	2	0	0	0	0	0	3	6
2008	312	1051	638	79	37	7	3	0	0	9	2	0
2009	610	375	283	81	10	0	0	1	3	1	5	23
2010	220	423	447	361	17	3	3	0	0	1	2	10
2011	34	141	18	285	4	0	9	0	0	4	2	17
2012	278	593	634	297	60	10	0	0	0	0	0	3
2013	81	95	458	45	44	0	1	0	0	14	0	4
2014	134	118	27	32	85	52	2	0	0	0	3	14
2015	86	341	617	357	234	25	0	1	0	13	8	12

Fuente: El autor

• SPDI

> 4	Extremadamente Húmedo	-0.4 a 0.4	Normal
3 a 3.99	Muy húmedo	-0.5 a -0.99	Sequía incipiente
2 a 2.99	Moderadamente húmedo	-1 a -1.99	Sequía reducida
1 a 1.99	Ligeramente húmedo	-2 a -2.99	Sequía moderada
0.5 a 0.99	Húmedo incipiente	-3 a -3.99	Sequía severa
		< -4	Sequía extrema

Años	Meses											
	Enero	Febrero	Marzo	Abril	Mayo	Junio	Julio	Agosto	Septiembre	Octubre	Noviembre	Diciembre
1975	-0.660	-1.249	-1.730	-2.312	-2.804	-2.937	-2.942	-2.734	-2.552	-2.373	-2.246	-2.455
1976	-3.079	-3.316	-3.379	-3.857	-4.356	-4.735	-4.599	-4.313	-4.002	-3.700	-3.568	-3.920
1977	-4.644	-4.749	-3.943	-4.236	-4.363	-4.511	-4.441	-4.171	-3.915	-3.655	-3.499	-3.719
1978	-4.274	-4.470	-5.432	-5.432	-5.464	-5.491	-5.287	-4.929	-4.594	-4.253	-4.048	-4.194
1979	-4.683	-4.810	-5.823	-5.855	-5.891	-6.019	-5.851	-5.467	-5.021	-4.669	-4.439	-4.580
1980	-3.884	-4.195	-4.705	-3.714	-3.906	-4.239	-4.178	-3.934	-3.713	-3.425	-2.973	-2.360
1981	-3.293	-3.358	-4.552	-4.579	-4.686	-4.533	-4.293	-3.955	-3.649	-3.356	-3.171	-3.465
1982	-4.258	-4.682	-6.662	-6.564	-6.438	-6.190	-5.830	-5.342	-4.943	-4.615	-4.738	-0.460
1983	14.107	15.770	22.080	29.231	50.097	60.924	58.372	53.421	48.420	43.664	39.338	34.800
1984	29.951	28.330	24.205	20.995	18.334	16.104	14.354	12.871	11.520	10.322	9.128	7.837
1985	6.243	5.077	4.965	3.758	2.832	2.079	1.712	1.453	1.214	1.059	0.772	0.207
1986	-0.375	-0.751	-2.555	-2.406	-2.709	-2.766	-2.697	-2.525	-2.380	-2.347	-2.240	-2.608
1987	-1.201	-0.639	2.860	2.408	1.727	1.007	0.928	1.019	0.763	0.526	0.188	-0.510
1988	-1.313	-1.762	-3.271	-3.634	-4.086	-4.383	-4.303	-4.054	-3.845	-3.593	-3.246	-3.401
1989	-2.780	-1.144	-0.325	-0.099	-0.256	-0.195	0.068	0.313	0.344	0.441	0.156	-0.432
1990	-1.575	-2.180	-4.028	-4.599	-5.029	-5.210	-4.896	-4.467	-4.086	-3.653	-3.272	-3.480
1991	-4.795	-4.904	-5.910	-6.362	-6.546	-6.263	-5.863	-5.311	-4.833	-4.342	-4.032	-3.992
1992	-3.500	-3.505	-4.927	-3.453	-1.446	-2.110	-2.192	-2.099	-1.940	-1.781	-1.295	-1.503
1993	-2.112	-1.290	-0.640	-0.510	-0.309	-0.770	-0.681	-0.618	-0.674	0.118	-0.125	-0.709
1994	0.254	0.471	0.095	0.264	-0.422	-1.006	-0.881	-0.981	-1.082	-1.032	-1.224	-1.085
1995	-1.230	-1.208	-2.175	-2.654	-2.809	-3.257	-3.292	-3.168	-3.062	-2.885	-2.528	-2.192

... Continúa

1996	-2.330	-2.658	-3.586	-3.743	-4.041	-4.248	-4.182	-3.944	-3.737	-3.479	-3.370	-3.555
1997	-4.109	-4.112	-3.809	-3.307	-3.082	-3.137	-3.204	-3.176	-0.544	-0.344	5.698	23.906
1998	32.230	33.630	38.116	36.562	35.246	32.599	30.503	28.150	25.640	23.514	20.902	18.185
1999	15.384	13.849	12.156	13.016	12.674	11.600	11.219	10.689	9.943	9.030	7.965	6.638
2000	4.930	4.661	4.618	4.585	4.808	3.777	3.017	2.490	2.018	1.638	1.224	0.598
2001	1.134	0.835	4.576	4.350	4.062	3.650	3.800	3.413	3.473	3.333	3.236	2.533
2002	1.379	2.391	6.096	6.998	6.652	6.314	6.666	6.776	6.518	6.130	5.415	4.714
2003	4.022	3.225	1.621	0.722	-0.145	-0.775	-1.049	-1.127	-1.210	-1.283	-1.428	-1.005
2004	-1.761	-1.497	-2.372	-2.591	-2.972	-3.381	-3.354	-3.217	-2.927	-2.748	-2.722	-3.102
2005	-3.978	-4.244	-3.565	-3.982	-4.349	-4.551	-4.495	-4.219	-3.988	-3.678	-3.429	-3.506
2006	-2.859	-0.922	0.912	0.499	0.146	-0.200	-0.107	-0.001	-0.073	-0.129	-0.128	-0.691
2007	0.009	-0.713	-0.765	-1.150	-1.859	-2.350	-2.525	-2.463	-2.410	-2.310	-2.260	-2.559
2008	-0.754	1.673	5.287	4.765	4.445	3.960	3.928	3.748	3.345	3.218	2.692	1.764
2009	5.997	5.929	6.189	5.423	4.471	3.408	2.828	2.472	2.162	1.884	1.545	1.005
2010	1.497	1.765	2.983	3.539	2.696	1.818	1.354	1.079	0.791	0.589	0.324	-0.193
2011	-1.125	-1.321	-2.944	-2.249	-2.736	-3.315	-3.290	-3.170	-3.044	-2.774	-2.699	-2.844
2012	-1.296	-0.142	3.221	3.976	4.252	4.020	4.089	4.002	3.679	3.306	2.719	1.822
2013	1.110	0.494	1.988	1.265	0.811	0.059	-0.276	-0.425	-0.581	-0.241	-0.480	-1.053
2014	-0.974	-1.269	-2.934	-3.075	-3.008	-2.872	-3.082	-3.002	-2.941	-2.853	-2.807	-3.034
2015	-3.235	-2.695	0.420	1.461	3.256	3.424	3.526	3.451	3.045	3.020	2.585	1.948

Fuente: El autor

### Anexo 3. Ejemplos de cálculos de índices de sequía

Se procederá a realizar un ejemplo demostrativo con cada método para la determinación de índice de sequía, tomando como base el año 2000 de la estación Matapalo.

#### 1. Índice estandarizado de precipitación (SPI)

Primeramente, se ordenan los datos de precipitación de menor a mayor para cada mes de todos los años.

Tabla 1. Datos de precipitación del mes de enero

Año	Enero	
	P(mm)	P(mm)
1975	0.0	0.0
1976	0.0	0.0
1977	0.0	0.0
1978	0.0	0.0
1979	0.0	0.0
1980	93.4	0.0
1981	13.3	0.0
1982	0.0	13.3
1983	937.1	14.1
1984	0.0	15.5
1985	21.1	21.1
1986	32.7	22.5
1987	192.2	27.2
1988	102.2	27.3
1989	276.0	27.7
1990	29.5	29.5
1991	15.5	32.7
1992	90.2	41.0
1993	27.2	61.5
1994	214.3	67.0
1995	121.6	72.6
1996	81.2	76.4
1997	22.5	81.2
1998	705.1	81.3
1999	27.7	90.2
2000	14.1	93.4
2001	81.3	101.4
2002	61.5	102.2
2003	101.4	115.8
2004	72.6	121.6
2005	27.3	158.1
2006	67.0	187.6
2007	227.7	192.2
2008	269.0	214.3
2009	270.3	227.7
2010	187.6	253.7
2011	41.0	269.0
2012	253.7	270.3
2013	115.8	276.0
2014	158.1	705.1
2015	76.4	937.1

Datos originales

Datos ordenados de manera

Proceder de la misma manera con todos los

Luego se procede a calcular los 3 primeros momentos ponderados de probabilidad. Cabe destacar que se calculará para el mes de enero, debido que para el resto de los meses del año el procedimiento es el mismo.

a) 
$$\mathbf{Pwm1} = \frac{\Sigma \text{datos ordenados de manera creciente}}{\# \text{años}}$$
 Ecuación 1

$$Pwm1 = \frac{5027.5}{41}$$

$$Pwm1 = 122.6$$

b) 
$$\mathbf{Pwm2} = \frac{\Sigma_{i=1}^{\# \text{ de años}} \left( \text{dato creciente}_i \times \left( 1 - \left( \frac{i - 0.35}{\# \text{años}} \right) \right) \right)}{\# \text{años}}$$
 Ecuación 2

$$Pwm2 = \frac{927.01}{41}$$

$$Pwm2 = 22.61$$

c) 
$$\mathbf{Pwm3} = \frac{\Sigma_{i=1}^{\# \text{ de años}} \left( \text{dato creciente}_i \times \left( 1 - \left( \frac{i - 0.35}{\# \text{años}} \right) \right)^2 \right)}{\# \text{años}}$$
 Ecuación 3

$$Pwm3 = \frac{346.04}{41}$$

$$Pwm3 = 8.44$$

Se realiza el cálculo de lmomentos.

a) 
$$\mathbf{lmomento1} = Pwm1$$
 Ecuación 4  

$$lmomento1 = 122.6$$

b) 
$$\mathbf{lmomento2} = Pwm1 - 2 \times (Pwm2)$$
 Ecuación 5  

$$lmomento2 = 77.4$$

c) 
$$\mathbf{lmomento3} = Pwm1 - 6 \times Pwm2 + 6 \times Pwm3$$
 Ecuación 6  

$$lmomento3 = 37.6$$

Se procede a realizar la distribución de Pearson III, para ello de determinan primeramente los parámetros de escala, forma y origen ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ).

Radio de momento

$$\mathbf{Radio}_{\text{momento}} = \frac{\text{Imomento3}}{\text{Imomento2}} \quad \text{Ecuación 7}$$

$$\mathbf{Radio}_{\text{momento}} = \frac{37.6}{77.4}$$

$$\mathbf{Radio}_{\text{momento}} = 0.486$$

Factor de escala ( $\alpha$ )

$$\boxed{1}$$

$$0 < \mathbf{Radio}_{\text{momento}} < 0.333333$$

$$\mathbf{t} = 3 \times \pi \times (\mathbf{Radio}_{\text{momento}})^2$$

$$\mathbf{t}_2 = \mathbf{t}^2$$

$$\mathbf{t}_3 = \mathbf{t}_2 \times \mathbf{t}$$

$$\mathbf{\alpha} = \frac{1 + (0.2906 \times \mathbf{t})}{\mathbf{t} + (0.1882 \times \mathbf{t}_2) + (0.0442 \times \mathbf{t}_3)}$$

$$\boxed{2}$$

$$0.333333 \leq \mathbf{Radio}_{\text{momento}} < 1$$

$$\mathbf{t} = 1 - \mathbf{Radio}_{\text{momento}}$$

$$\mathbf{t}_2 = \mathbf{t}^2$$

$$\mathbf{t}_3 = \mathbf{t}_2 \times \mathbf{t}$$

$$\mathbf{\alpha} = \frac{(0.36067 \times \mathbf{t}) - (0.5967 \times \mathbf{t}_2) + (0.25361 \times \mathbf{t}_3)}{1 - (2.78861 \times \mathbf{t}) + (2.56096 \times \mathbf{t}_2) - (0.77045 \times \mathbf{t}_3)}$$

Para el ejemplo que se está realizando se cumpliría la segunda condición, teniendo:

$$\mathbf{0.333333} < \mathbf{0.486} < \mathbf{1}$$

$$\mathbf{t} = 1 - 0.486$$

$$\mathbf{t} = 0.514$$

$$\mathbf{t}_2 = (0.514)^2$$

$$\mathbf{t}_2 = 0.264$$

$$\mathbf{t}_3 = 0.264 \times 0.514$$

$$\mathbf{t}_3 = 0.136$$

$$\mathbf{\alpha} = \frac{(0.36067 \times 0.514) - (0.5967 \times 0.264) + (0.25361 \times 0.136)}{1 - (2.78861 \times 0.514) + (2.56096 \times 0.264) - (0.77045 \times 0.136)}$$

$$\mathbf{\alpha} = \mathbf{0.179}$$

Factor de forma ( $\beta$ )

$$\beta = \sqrt{\pi} \times \text{Imomento2} \times e^{\Gamma(\alpha) - \Gamma(\alpha+0.5)} \quad \text{Ecuación 8}$$

Para el cálculo el parámetro de forma, se utiliza el logaritmo natural de una función gamma ( $\Gamma$ ).

$$\beta = \sqrt{\pi} \times 77.4 \times e^{\text{GAMMA.LN}(0.179) - \text{GAMMA.LN}(0.179+0.5)}$$

$$\beta = 532.199$$

Factor de origen ( $\gamma$ ).

$$\gamma = \text{Imomento1} - \beta \times \alpha \quad \text{Ecuación 9}$$

$$\gamma = 122.6 - 532.199 \times 0.179$$

$$\gamma = 27.529$$

Finalmente se determina el índice de sequía ( $Z$ ), teniendo en cuenta las siguientes condiciones

1

$$P \geq \gamma$$

$$y = \frac{P - \gamma}{\beta}$$

$$Z = \left[ \left( \frac{P - \gamma}{\alpha \times \beta} \right)^{0.33} + \left( \frac{1}{9\alpha} \right) - 1 \right] \times (9\alpha)^{\frac{1}{2}}$$

$P$ :  $P_{\text{recipitación mensual de cada año}}$

Para el presente ejemplo que tiene como base el año 2000 de la estación Matapalo, para el mes de enero se cumple la condición 2.

$$14.1 < 27.529$$

$$Z = -3.09023$$

El procedimiento de cálculo es el mismo para el resto de los meses del año, así es como se determina índice de sequía por el método SPI para el año 2000.

Tabla 2. Índice de sequía por el método SPI para el año 2000

SPI del Año 2000											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
-3.09	0.66	2.93	0.70	1.37	0.83	0.57	1.20	1.27	-3.09	-3.09	0.73

Fuente: El autor

De la misma manera se realiza para los demás años de cada estación.

## 2. Índice estandarizado de precipitación y evapotranspiración (SPEI)

Primeramente se procede a calcular la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite.

$$i = \left(\frac{T^{\circ}}{5}\right)^{1.514} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$i_{2000 \text{ Ene}} = \left(\frac{26.48}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ Feb}} = \left(\frac{26.44}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ Mar}} = \left(\frac{26.23}{5}\right)^{1.514}$$

$$i_{2000 \text{ Ene}} = 12.48 \quad i_{2000 \text{ Feb}} = 12.45 \quad i_{2000 \text{ Mar}} = 12.30$$

$$i_{2000 \text{ Abr}} = \left(\frac{26.86}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ May}} = \left(\frac{26.13}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ Jun}} = \left(\frac{24.59}{5}\right)^{1.514}$$

$$i_{2000 \text{ Abr}} = 12.75 \quad i_{2000 \text{ May}} = 12.23 \quad i_{2000 \text{ Jun}} = 11.15$$

$$i_{2000 \text{ Jul}} = \left(\frac{23.67}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ Ago}} = \left(\frac{23.83}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ Sep}} = \left(\frac{24.07}{5}\right)^{1.514}$$

$$i_{2000 \text{ Jul}} = 10.52 \quad i_{2000 \text{ Ago}} = 10.63 \quad i_{2000 \text{ Sep}} = 10.80$$

$$i_{2000 \text{ Oct}} = \left(\frac{24.43}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ Nov}} = \left(\frac{24.50}{5}\right)^{1.514} \quad i_{2000 \text{ Dic}} = \left(\frac{25.88}{5}\right)^{1.514}$$

$$i_{2000 \text{ Oct}} = 11.04 \quad i_{2000 \text{ Nov}} = 11.09 \quad i_{2000 \text{ Dic}} = 12.05$$

$$I = \sum i \text{ de los 12 meses del año} \quad \text{Ecuación 2}$$

$$I = 139.48$$

$$a = 0.000000675 \times I^3 - 0.0000771 \times I^2 + 0.01792 \times I + 0.49239 \quad \text{Ecuación 3}$$

$$a = 0.000000675 \times (139.48)^3 - 0.0000771 \times (139.48)^2 + 0.01792 \times 139.48 + 0.49239$$

$$a = 3.32$$

Cabe destacar que los cálculos se realizarán únicamente para el mes de enero del año 2000, debido que para el resto de los meses del año el procedimiento es el mismo.



En radianes

$$dec = 23.5 \times \frac{\cos(2\pi(d - 172))}{365} \quad \text{Ecuación 4}$$

$$dec = 23.5 \times \frac{\cos(2\pi(31 - 172))}{365}$$

$$dec = 0.064$$

$$h_o = \arccos \left( -\tan \left( \frac{\pi \times lat}{180} \right) \times \tan \left( dec \times \frac{\pi}{180} \right) \right) \quad \text{Ecuación 5}$$

$$h_o = \arccos \left( -\tan \left( \frac{\pi \times 3.567}{180} \right) \times \tan \left( 0.064 \times \frac{\pi}{180} \right) \right)$$

$$h_o = 1.57$$

$$N = \frac{h_o \times 24}{\pi} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$N = \frac{1.57 \times 24}{\pi}$$

$$N = 11.82$$

$$F_c = N \left( \frac{d_{mes}}{357} \right) \quad \text{Ecuación 7}$$

$$F_c = 11.82 \times \left( \frac{31}{357} \right)$$

$$F_c = 1.018$$

$$ETP = F_c \times 1.6 \left( 10 \times \frac{T}{I} \right)^a \quad \text{Ecuación 8}$$

$$ETP = 1.018 \times 1.6 \left( 10 \times \frac{26.48}{139.48} \right)^{3.32}$$

$$ETP = 137.13$$

De esta manera se obtiene la evapotranspiración, para cada uno de los meses del año 2000, obteniendo los siguientes resultados.

Tabla 3. Evapotranspiración del año 2000

Evapotranspiración del Año 2000											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
137.13	123.88	134.62	142.21	134.93	107.02	97.24	98.94	98.28	105.76	102.66	126.84

Fuente: El autor

Se calcula la precipitación efectiva:

$$D_i = P_i - ETP_i \quad \text{Ecuación 9}$$

$$D_i = 14.1 - 137.13$$

$$D_i = -123.03$$

Se ordenan los datos de precipitación efectiva de manera ascendente, por meses para todos los años. En este caso se realizará únicamente para el mes de **Enero (desde 1975 al 2015)** ya que el cálculo para el resto de los meses es igual.

Tabla 4. Precipitación efectiva

Di (mm)	Di (mm)
Enero	Enero
-185.64	-67.64
-158.54	-64.79
-153.97	-61.07
-152.32	-60.14
-150.82	-55.73
-146.18	-51.20
-140.85	-46.07
-135.43	-41.58
-134.05	-29.68
-132.14	5.03
-131.18	32.49
-123.66	34.61
-123.03	65.56
-121.11	76.87
-119.64	106.60
-118.97	125.61
-116.84	128.89
-103.65	131.37
-88.58	550.05
-87.90	775.14
-72.45	

Fuente: El autor

Luego se procede a calcular los 3 primeros momentos ponderados de probabilidad.

$$a) \quad W_0 = \frac{\sum \text{datos ordenados de manera creciente}}{\# \text{años}} \quad \text{Ecuación 10}$$

$$W_0 = \frac{1142.62}{41}$$

$$W_0 = -27.87$$

$$b) \quad W_1 = \frac{\sum_{i=1}^{\# \text{ de años}} (\text{dato creciente}_i \times (\# \text{años} - i))}{\# \text{años} \times (\# \text{años} - 1)} \quad \text{Ecuación 11}$$

$$W_1 = -53.47$$

$$c) \quad W_2 = \frac{\sum_{i=1}^{\# \text{ de años}} (\text{dato creciente}_i \times (\# \text{años} - i) \times (\# \text{años} - i - 1))}{\# \text{años} \times (\# \text{años} - 1) \times (\# \text{años} - 2)} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$W_2 = -42.61$$

Una vez calculados los 3 momentos ponderados de probabilidad, estimamos los parámetros de escala, forma y origen de la distribución Log-Logistic.

$$\beta = \frac{2W_1 - W_0}{6W_1 - W_0 - 6W_2} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$\beta = \frac{2(-53.47) - (-27.87)}{6(-53.47) - (-27.87) - 6(-42.61)}$$

$$\beta = 2.12$$

$$\alpha = \frac{(W_0 - 2W_1)\beta}{\Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right)\Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right)} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$\alpha = \frac{((-27.87) - 2(-53.47)) \times 2.12}{\text{GAMMA.LN}\left(1 + \frac{1}{2.12}\right) \times \text{GAMMA.LN}\left(1 - \frac{1}{2.12}\right)}$$

$$\alpha = 112.70$$

$$\gamma = W_0 - \alpha \Gamma\left(1 + \frac{1}{\beta}\right) \Gamma\left(1 - \frac{1}{\beta}\right) \quad \text{Ecuación 15}$$

$$\gamma = -27.87 - 112.70 \times \text{GAMMA.LN} \left( 1 + \frac{1}{2.12} \right) \times \text{GAMMA.LN} \left( 1 - \frac{1}{2.12} \right)$$

$$\gamma = -195.52$$

Nota: Se utiliza el logaritmo natural de una función gamma ( $\Gamma$ ).

Ahora se procede a determinar los parámetros necesarios para el cálculo del índice de sequía.

$$x = Di$$

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{\alpha}{x - \gamma} \right)^\beta \right]^{-1}$$

Ecuación 16

$$F(x) = \left[ 1 + \left( \frac{112.70}{-123.03 - (-195.52)} \right)^{2.12} \right]^{-1}$$

$$F(x) = 0.28$$

1

2

$$F(x) \leq 0,5$$

$$W = \sqrt{-2\ln(F(x))}$$

$$F(x) > 0,5$$

$$W = \sqrt{-2\ln(1 - F(x))}$$

Se cumple la primera condición, por lo tanto:

$$0,28 \leq 0,5$$

$$W = \sqrt{-2\ln(0.28)}$$

Ecuación 17

$$W = 1.60$$

Finalmente, se determinar el índice de sequía.

$$SPEI = - \left( W - \frac{C_0 + C_1W + C_2W^2}{1 + d_1W + d_2W^2 + d_3W^3} \right)$$

Ecuación 18

$$SPEI = - \left( 1,60 - \frac{2.515517 + 0.802853 \times (1.60) + 0.010328 \times (1.60)^2}{1 + 1.432788 \times (1.60) + 0.189269 \times (1.60)^2 + 0.001308 \times (1.60)^3} \right)$$

$$SPEI = -0.58$$

Nota: Si  $F(x) > 0.5 \rightarrow$  volver al SPEI volver a multiplicar por -1

De esta manera se obtiene el índice de sequía por el método SPEI para el año 2000, el procedimiento de cálculo es el mismo para el resto de los años de registros históricos.

Tabla 5. Índice de sequía por el método SPEI para el año 2000

SPEI del Año 2000											
Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Sep	Oct	Nov	Dic
-0.58	-0.09	1.19	0.58	1.54	0.57	0.67	0.20	0.11	-0.21	0.20	0.66

Fuente: El autor

### 3. Índice de severidad de sequía de palmer (SPDI)

Se procede a calcular la evapotranspiración potencial por el método de Thornthwaite, al igual que el método SPEI.

$$ETP = 137.13 \quad \text{Ecuación 1}$$

Adicionalmente, se necesita conocer valores de capacidad de campo y punto de marchites para con ello obtener la capacidad total de almacenamiento de agua en el suelo (AWC).

$$AWC = CC - PMP \quad \text{Ecuación 2}$$

$$AWC = 410mm - 200mm$$

$$AWC = 210mm$$

AWC, se compone por una capa superficial y subsuperficial, donde la capa superficial (AWCs) es igual a 25mm y la capa subsuperficial (AWCu) es igual a la diferencia entre capacidad total de almacenamiento y la capa superficial.

$$AWCu = AWC - AWCs \quad \text{Ecuación 3}$$

$$AWCu = 210mm - 25mm$$

$$AWCu = 185mm$$

Por medio del siguiente algoritmo se procede a calcular las estimaciones de pérdidas, recargas y de contenido total de humedad del suelo, al fin de cada mes. Existen dos condiciones las mismas que se basan en el valor de precipitación efectiva (Di)

1
---

$$Di \leq 0 \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde la recarga superficial es igual a cero ( $R_s=0$ ) y a su vez se presentan dos condiciones dependiendo de la humedad contenida en la capa superficial del mes anterior ( $S_{sAnt}$ ) y la precipitación efectiva ( $Di$ ).

a)

$$S_{sAnt} \leq Di$$

b)

$$S_{sAnt} > Di$$

Pérdida en la capa superficial

$$L_s = S_{sAnt}$$

$$L_s = Di$$

Humedad contenida en la capa superficial al final del mes

$$S_s = S_{sAnt} - L_s$$

c)

$$S_s > 0$$

d)

$$S_s \leq 0$$

Pérdida en la capa sub-superficial

$$L_u = 0$$

$$(-Di - L_s) \times \left(\frac{S_{uAnt}}{AWS}\right) \geq S_{uAnt}$$

Si

$$L_u = S_{uAnt}$$

No

$$L_u = (-Di - L_s) \times \left(\frac{S_{uAnt}}{AWS}\right)$$

Humedad contenida en la capa sub-superficial al final del mes

$$S_u = S_{uAnt}$$

$$S_u = S_{uAnt} - L_u$$

2

$$Di > 0$$

Ecuación 5

En esta condición la pérdida en la capa superficial es igual a cero ( $L_s=0$ ), se presentan dos condiciones para el cálculo de la recarga superficial ( $R_s$ ).

a)

$$(AWCs - S_{sAnt}) \leq Di$$

b)

$$(AWCs - S_{sAnt}) > Di$$

Recarga superficial

$$R_s = AWC - S_{sAnt}$$

$$R_s = Di$$

Humedad contenida en la capa superficial al final del mes

$$S_s = S_{sAnt} - R_s$$

c)

$$S_s < AWC_s$$

d)

$$S_s > AWC_s$$

Recarga en la en la capa sub-superficial

$$R_u = 0$$

$$(D_i - R_s) \leq AWC_u - S_{uAnt}$$

Si

$$R_u = D_i - R_s$$

No

$$R_u = AWC_u - S_{uAnt}$$

Humedad contenida en la capa sub-superficial al final del mes

$$S_u = S_{uAnt} + R_u$$

Para nuestro ejemplo, el  $D_i = -123,03$ , por lo tanto, corresponde al caso 1.

$$R_s = 0$$

Ecuación 6

$$S_{sAnt} = 0$$

$$L_s = 0$$

Humedad contenida en la capa superficial al final del mes.

$$S_s = 0 - 0$$

Ecuación 7

$$S_s = 0$$

$$S_s \leq 0$$

Pérdida en la capa sub – superficial.

$$(-D_i - L_s) \times \left( \frac{S_{uAnt}}{AWC} \right) < S_{uAnt}$$

Ecuación 8

$$(123.03 - 0) \times \left( \frac{1.12mm}{210mm} \right) < 1.12mm$$

$$0.66mm < 1.12mm$$

$$L_u = (-D_i - L_s) \times \left( \frac{S_{uAnt}}{AWS} \right)$$

Ecuación 9

$$L_u = 0.66mm$$

Humedad contenida en la capa subsuperficial al final del mes

$$S_u = S_{uAnt} - L_u \quad \text{Ecuación 10}$$

$$S_u = 1.12mm - 0.66mm$$

$$S_u = 0.46mm$$

Contenido total de humedad en el suelo al fin de mes

$$S = S_s + S_u \quad \text{Ecuación 11}$$

$$S = 0mm + 0.46mm$$

$$S = 0.46mm$$

Recarga potencial

$$PR = AWC - S_{Ant} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$PR = 210mm - 1.12mm$$

$$PR = 208.88mm$$

Recarga total de humedad en el suelo al fin de mes

$$R = R_s + R_u \quad \text{Ecuación 13}$$

$$R = 0 mm$$

Pérdida potencial

$$PL = PL_s + PL_u \quad \text{Ecuación 14}$$

$$PL_s = ETP \text{ ó } S_{sAnt}$$

$$PL_s = 0 mm$$

$$PL_u = \frac{(ETP - PL_s) \times S_{uAnt}}{AWC} \quad \text{Ecuación 15}$$

$$PL_u = \frac{(137.13mm - 0) \times 0.46mm}{210mm}$$

$$PL_u = 0.30mm$$

$$PL = 0 + 0.30 \quad \text{Ecuación 16}$$

$$PL = 0.30mm$$



Pérdida total de humedad en el suelo al fin de mes

$$L = L_s + L_u \quad \text{Ecuación 17}$$

$$L = 0.66 \text{ mm}$$

$$S < AWC \quad \text{Ecuación 18}$$

$$RO = 0$$

Evapotranspiración real

$$ET = p - R - Ro + L \quad \text{Ecuación 19}$$

$$ET = 14.1 - 0 - 0 + 0.66$$

$$ET = 14.76 \text{ mm}$$

$$(PRO) = AWC - PR = S_{Ant} \text{ ó } 3P - PR$$

Determinación de coeficientes para el mes de enero, promediando los valores respectivos para todos los años del mes de enero

$$\text{Coeficiente de evapotranspiración } (\alpha) = \frac{ET}{PE} = \frac{77.58}{152.9} = 0.507 \quad \text{Ecuación 20}$$

$$\text{Coeficiente de recarga } (\beta) = \frac{R}{PR} = \frac{22.71}{202.56} = 0.112 \quad \text{Ecuación 21}$$

$$\text{Coeficiente de escurrimiento } (\Gamma) = \frac{RO}{PRO} = \frac{0}{30.15} = 0 \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\text{Coeficiente de pérdidas } (\delta) = \frac{L}{PL} = \frac{3.36}{20.77} = 0.162 \quad \text{Ecuación 23}$$

Se calculan los valores climáticamente apropiados

$$ET = \alpha PE \quad \text{Ecuación 24}$$

$$ET = 0.507 \times 137.13$$

$$ET = 70.69 \text{ mm}$$

$$R = \beta PR \quad \text{Ecuación 25}$$

$$R = 0.112 \times 208.88$$

$$R = 23.79 \text{ mm}$$

$$RO = \Gamma PRO \quad \text{Ecuación 26}$$

$$RO = 0 \times 0.46$$

$$RO = 0 \text{ mm}$$

$$L = \delta PL \quad \text{Ecuación 27}$$

$$L = 0.162 \times 0.30$$

$$L = 0.049$$

$$P = ET + R + RO + L \quad \text{Ecuación 28}$$

$$P = 70.69 + 23.79 + 0 + 0.049$$

$$P = 94.53 \text{ mm}$$

Cálculo de deficiencias hídricas

$$d = PE - P \quad \text{Ecuación 29}$$

$$d = 14.1 - 94.53$$

$$d = -80.43 \text{ mm}$$

Determinación del factor climático

Para la determinación del factor climático utilizaremos los promedios de los valores climáticamente apropiados y de las deficiencias hídricas de todos los años del mes de enero.

Se trabajará en pulgadas.

$$K = \frac{(PE + R)}{P + L} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$K = 1.5 \text{ Log} \left[ \frac{\left( \left( \frac{PE + R + RO}{P + L} \right) + 2.80 \right)}{D} \right] + 0.50$$

$$K = 1.5 \text{ Log} \left[ \frac{\left( \left( \frac{6.02 + 0.894 + 0}{4.905 + 0.009} \right) + 2.80 \right)}{2.499} \right] + 0.50$$

$$K = 0.841$$

Determinación del índice de anomalía hídrica

$$Z = -80.43 \times 0.841 \quad \text{Ecuación 31}$$

$$Z = -67.64$$

Determinación del índice de sequía de Palmer

$$X_i = X_{(i-1)} + \left(\frac{1}{3}\right)(Z_i) - 0.103X_{(i-1)} \quad \text{Ecuación 32}$$
$$X_i = 5.69 + \left(\frac{1}{3}\right)\left(-\frac{67.64}{25.4}\right) - 0.103 \times 5.69$$

$$X_i = 4.22$$

#### 4. Índice de porcentaje de precipitación normal (PPN)

$$PPN_{IJ} = \left(\frac{P_{IJ}}{PN_j} \times 100\right) \quad \text{Ecuación 1}$$

$P_{IJ}$ : Datos de precipitación de cada mes para el año de estudio

$PN_j$ : Promedio de los datos de precipitaciones mensuales desde el año de 1975 al 2015

$$PPN_{Enero} = \frac{14.1mm}{58.41mm} \times 100 = 24$$

$$PPN_{Febrero} = \frac{104.5mm}{58.41mm} \times 100 = 179$$

$$PPN_{Marzo} = \frac{279.9mm}{58.41mm} \times 100 = 479$$

$$PPN_{Abril} = \frac{94.6mm}{58.41mm} \times 100 = 162$$

$$PPN_{Mayo} = \frac{154.6mm}{58.41mm} \times 100 = 265$$

$$PPN_{Junio} = \frac{6.2mm}{58.41mm} \times 100 = 11$$

$$PPN_{Julio} = \frac{2.4mm}{58.41mm} \times 100 = 4$$

$$PPN_{\text{Agosto}} = \frac{3.5\text{mm}}{58.41\text{mm}} \times 100 = 6$$

$$PPN_{\text{Septiembre}} = \frac{2.8\text{mm}}{58.41\text{mm}} \times 100 = 5$$

$$PPN_{\text{Octubre}} = \frac{0.4\text{mm}}{58.41\text{mm}} \times 100 = 1$$

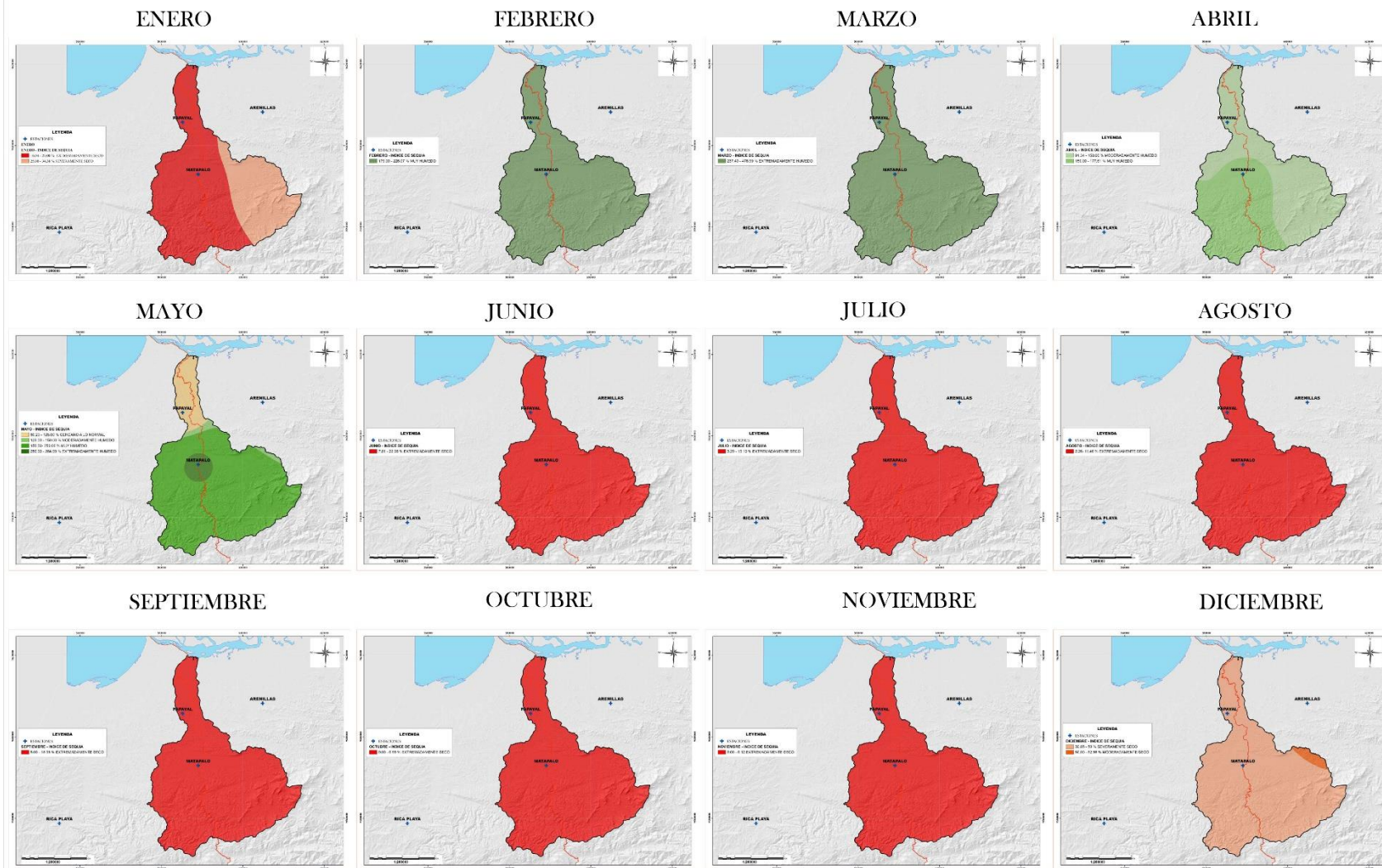
$$PPN_{\text{Noviembre}} = \frac{0.1\text{mm}}{58.41\text{mm}} \times 100 = 0$$

$$PPN_{\text{Diciembre}} = \frac{27.3\text{mm}}{58.41\text{mm}} \times 100 = 47$$

De esta manera se obtiene el índice de sequía por el método PPN para el año 2000.

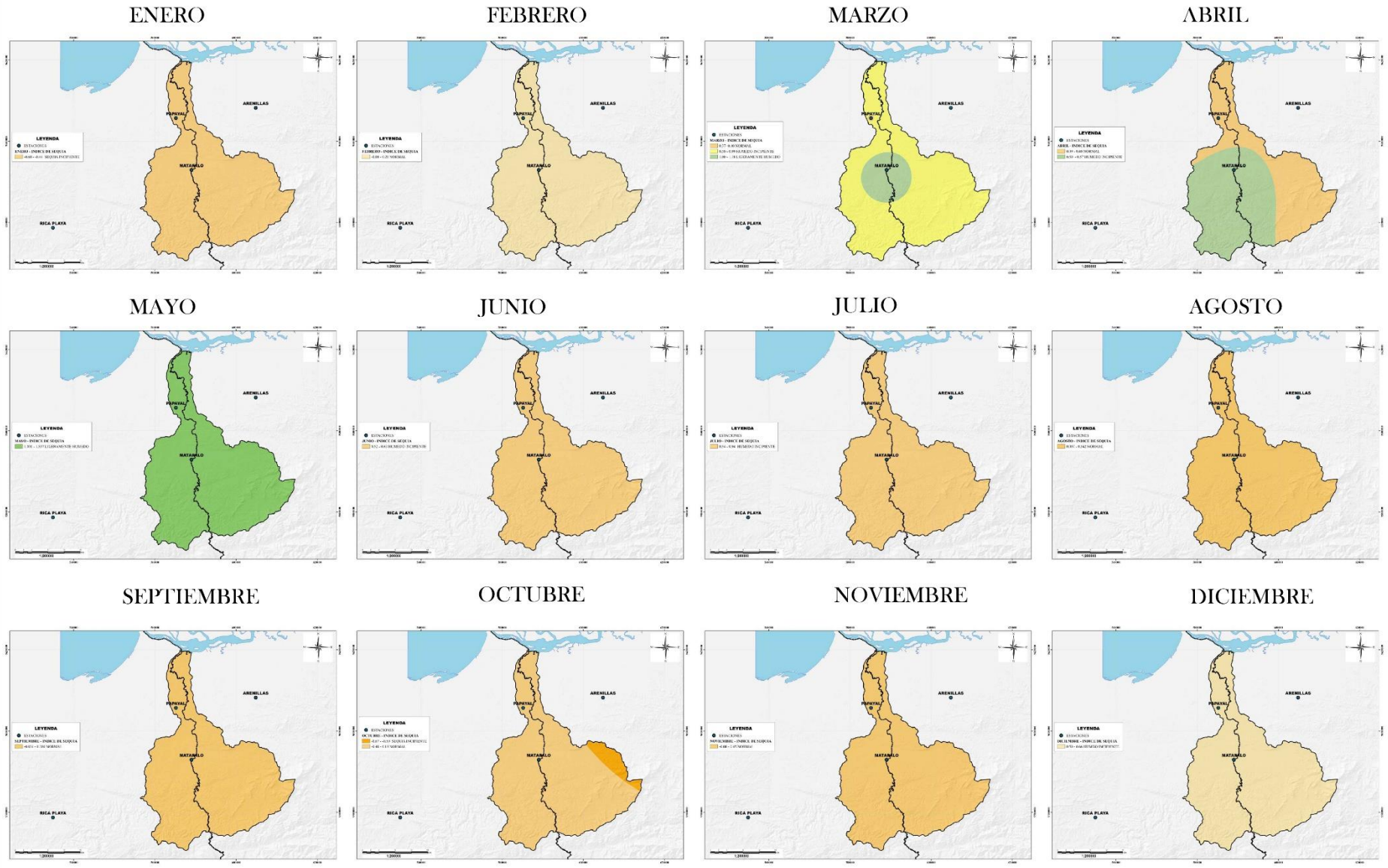
**Anexo 4: Cartografía de resultados de índices de sequía**

**ÍNDICE DE PORCENTAJE DE PRECIPITACIÓN NORMAL**



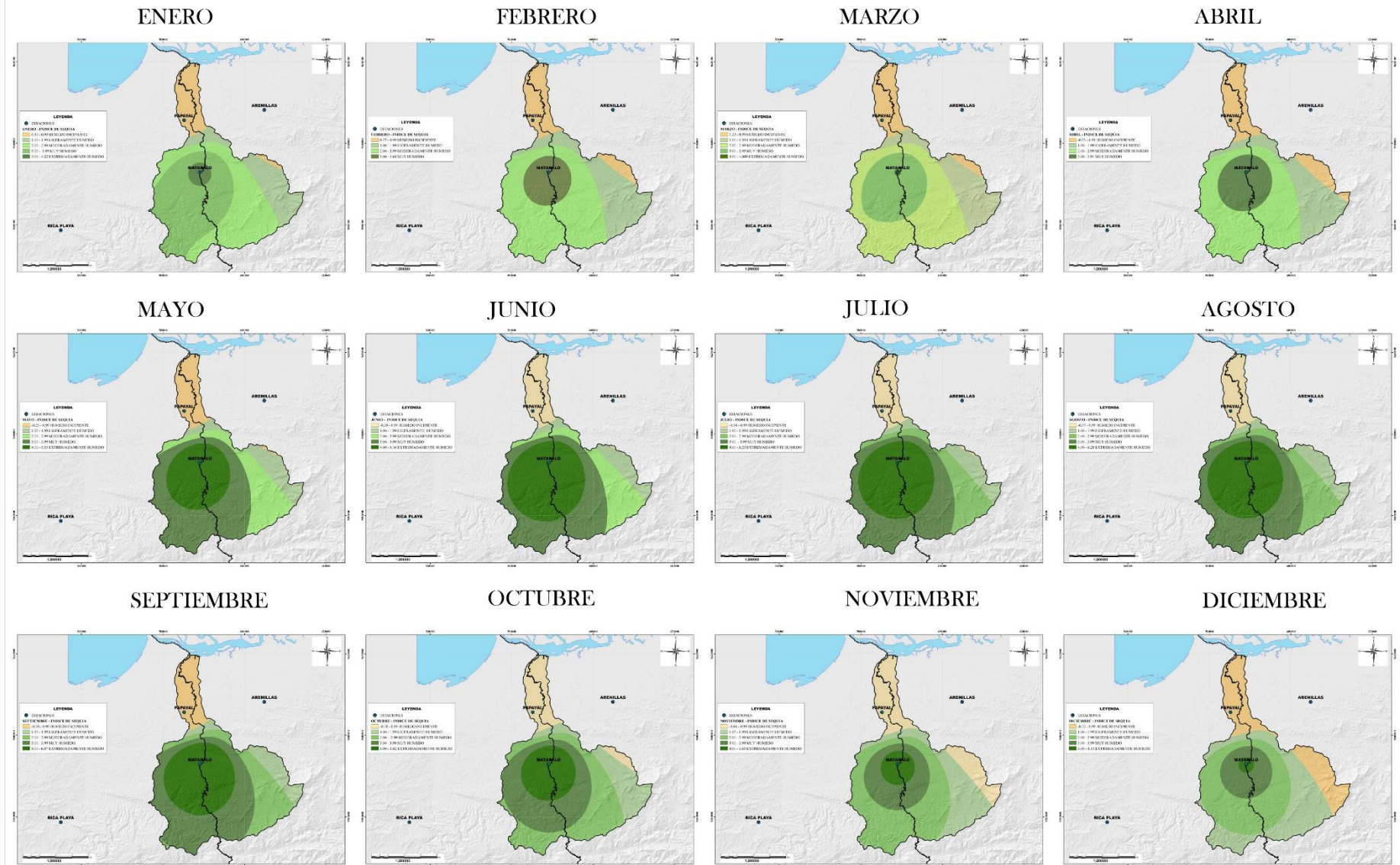
Fuente: El autor

# INDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACION Y EVAPOTRANSPIRACIÓN (SPEI)



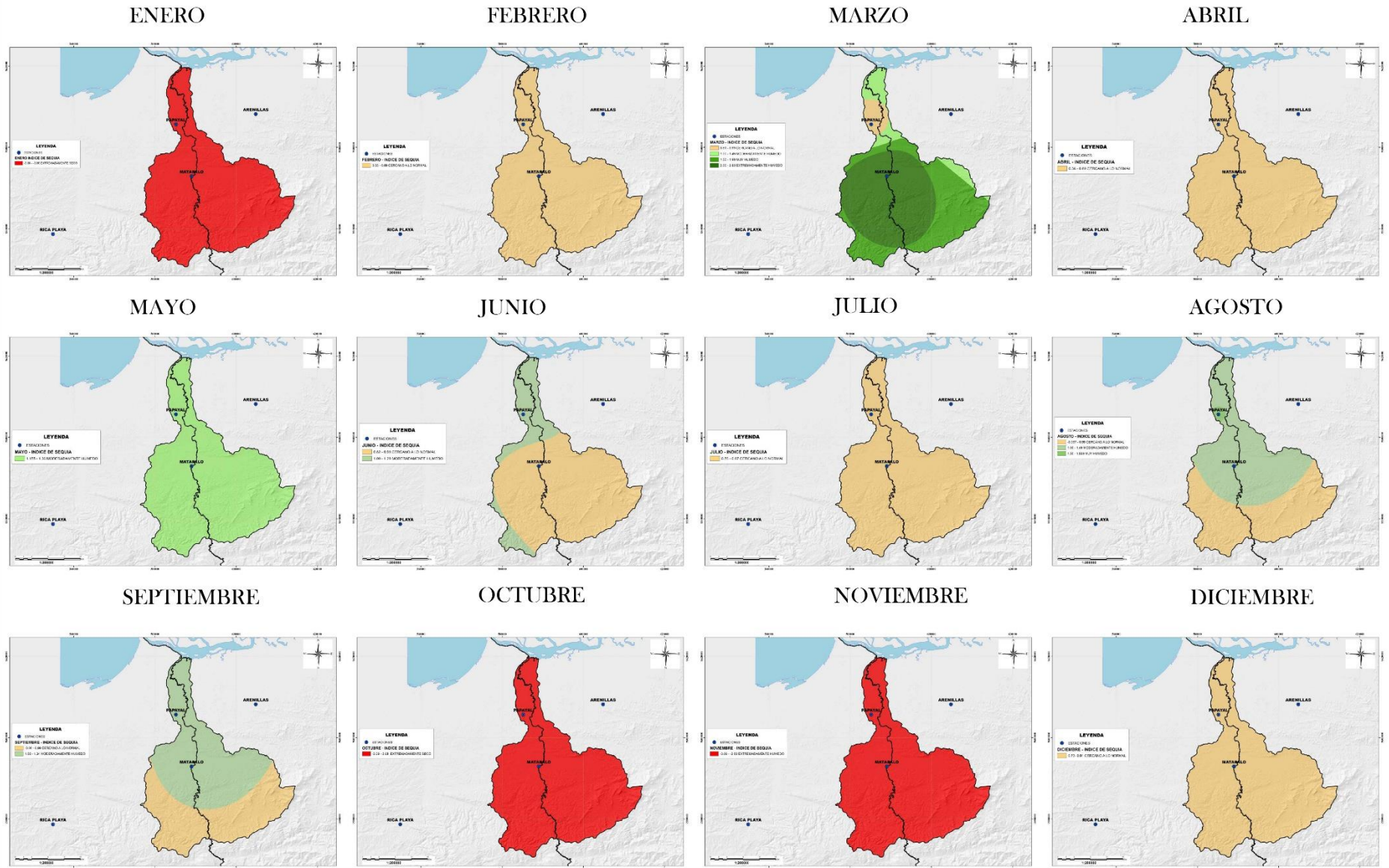
Fuente: El autor

# ÍNDICE ESTANDARIZADO DE PALMER (PDSI)



Fuente: El autor

# INDICE ESTANDARIZADO DE PRECIPITACION (SPI)



Fuente: El autor