

UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

**CARRERA PROFESIONAL DE INGENIERÍA FORESTAL Y
AMBIENTAL**



**UNIVERSIDAD NACIONAL
DE JAÉN**

**FRECUENCIA DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN LA
PROVINCIA DE JAÉN ENTRE 1993-2013, UTILIZANDO EL
ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO FORESTAL Y AMBIENTAL**

**Autores: Bach. Jholvin Gallardo Cordova
Bach. Keli Rocio Silva Castro**

Asesora: MSc. Sonia Medina Díaz

Línea de investigación: Mitigación del cambio climático

PERÚ-JAÉN, AGOSTO – 2023

NOMBRE DEL TRABAJO

INFORME FINAL DE TESIS - JHOLVIN Y K
ELI AGOSTO 2023.pdf

AUTOR

Jholvin y Keli Rocio Gallardo Córdova y
Silva Castro

RECuento DE PALABRAS

9961 Words

RECuento DE CARACTERES

49819 Characters

RECuento DE PÁGINAS

45 Pages

TAMAÑO DEL ARCHIVO

1.3MB

FECHA DE ENTREGA

Sep 5, 2023 11:14 AM GMT-5

FECHA DEL INFORME

Sep 5, 2023 11:15 AM GMT-5

● **11% de similitud general**

El total combinado de todas las coincidencias, incluidas las fuentes superpuestas, para cada base

- 11% Base de datos de Internet
- Base de datos de Crossref
- 7% Base de datos de trabajos entregados
- 4% Base de datos de publicaciones
- Base de datos de contenido publicado de Crossref

● **Excluir del Reporte de Similitud**

- Material bibliográfico
- Coincidencia baja (menos de 15 palabras)

 UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN
Dr. Christian Zúñiga Apaza Panca
RESPONSABLE DE LA UNIDAD DE INVESTIGACIÓN
DE LA FACULTAD DE INGENIERÍA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JAÉN

Ley de Creación N° 29304

Universidad Licenciada con Resolución del Consejo Directivo N° 002-2018-SUNEDU /CD

ACTA DE SUSTENTACIÓN

En la ciudad de Jaén, el día jueves 10 de agosto del año 2023, siendo las 11:00 am, se reunieron los integrantes del Jurado:

Presidente: **Dr. Juan Manuel Garay Román.**

Secretario: **Dr. Segundo Sánchez Tello.**

Vocal : **Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo.**

Para evaluar la Sustentación del Informe Final:

- Trabajo de Investigación
 Tesis
 Trabajo de Suficiencia Profesional

Titulado: **"FRECUENCIA DE SEQUÍAS METEOROLÓGICAS EN LA PROVINCIA DE JAÉN, ENTRE 1993-2013, UTILIZANDO EL ÍNDICE DE PRECIPITACIÓN ESTANDARIZADA"**, presentado por los bachilleres **Jholvin Gallardo Córdova** y **Keli Rocío Silva Castro**, de la Escuela Profesional de Ingeniería Forestal y Ambiental.

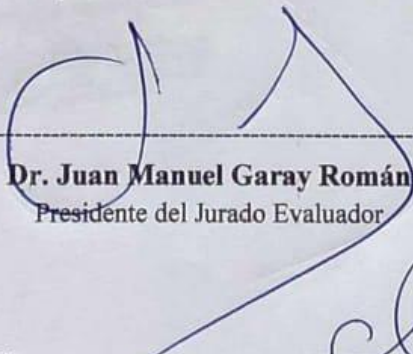
Después de la sustentación y defensa, el Jurado acuerda:

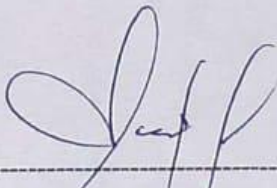
- Aprobar Desaprobar Unanimidad Mayoría

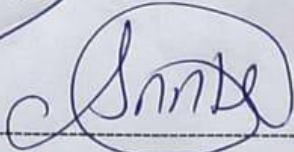
Con la siguiente mención:

- | | | |
|----------------|------------|--------|
| a) Excelente | 18, 19, 20 | () |
| b) Muy bueno | 16, 17 | (17) |
| c) Bueno | 14, 15 | () |
| d) Regular | 13 | () |
| e) Desaprobado | 12 ò menos | () |

Siendo las 1:00 pm horas del mismo día, el Jurado concluye el acto de sustentación confirmando su participación con la suscripción de la presente.


Dr. Juan Manuel Garay Román
Presidente del Jurado Evaluador


Dr. Segundo Sánchez Tello
Secretario del Jurado Evaluador


Mg. Annick Estefany Huaccha Castillo
Vocal del Jurado Evaluador

ÍNDICE

	Pág.
RESUMEN	
ABSTRACT	
I. INTRODUCCIÓN	07
II. MATERIAL Y MÉTODOS	10
2.1 Materiales	10
2.2 Ubicación y descripción del área de estudio	10
2.3 Población, muestra, muestreo	11
2.3.1 Población	11
2.3.2 Muestra	11
2.3.3 Muestreo	12
2.4 Fuentes de información	12
2.5 Métodos	12
2.6 Técnicas	12
2.7 Procedimientos	13
2.7.1 Validación de datos	13
2.7.2 Determinación de sequía meteorológica	15
III. RESULTADOS	17
3.1 Recopilación de datos de precipitación	17
3.1.1 Análisis exploratorio de datos (EDA)	17
3.1.1.1 Comportamiento precipitación anual	17
3.1.1.2 Análisis de tendencia	19
3.1.1.3 Análisis de consistencia	20
3.1.1.4 Análisis de homogeneidad	21
3.1.2 Análisis de tendencia	19
3.1.3 Análisis de consistencia	20
3.1.4 Análisis de homogeneidad	21
3.2 Determinación de episodios e intensidad de sequias meteorológicas	22
IV. DISCUSIÓN	27
V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	30
VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32
DEDICATORIA	35
AGRADECIMIENTO	36
ANEXOS	37

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Lista y descripción de softwares	10
Tabla 2. Estaciones meteorológicas de la provincia de Jaén	12
Tabla 3. Interpretación del Test de Mann-Kendall	14
Tabla 4. Interpretación del método del vector regional	15
Tabla 5. Índice e intensidad del SPI	16
Tabla 6. Test de tendencias, de Mann-Kendall	20
Tabla 7. Test de T de Student	20
Tabla 8. Test F de Fisher	21
Tabla 9. Resultados de homogeneidad, método del vector regional	21
Tabla 10. Resumen de episodios de sequías	23

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Mapa de ubicación de cuenca Chinchipe	11
Figura 2. Diagrama de flujo de la metodología desarrollada	13
Figura 3. Comportamiento de la precipitación anual de estaciones meteorológicas	17
Figura 4. Diagrama de cajas y bigotes de las estaciones meteorológicas estudiadas ...	18
Figura 5. Gráficos QQ-normal de precipitación	19
Figura 6. Serie de tiempo de los índices anuales de las estaciones y el Vector	22
Figura 7. SPI estación meteorológica Cascarilla	23
Figura 8. SPI estación meteorológica Chontalí	24
Figura 9. SPI estación meteorológica Pomahuaca	24
Figura 10. SPI estación meteorológica Pucará	25
Figura 11. SPI estación meteorológica Sallique	26

ÍNDICE DE ANEXOS

	Pág.
Anexo 1. Tendencia de precipitación estación meteorológica Cascarilla 1993 - 2013	37
Anexo 2. Tendencia de precipitación estación meteorológica Chontalí 1993 - 2013	37
Anexo 3. Tendencia de precipitación estación meteorológica Pomahuaca 1993 - 2013....	38
Anexo 4. Tendencia de precipitación estación meteorológica Pucara 1993 - 2013	38

Anexo 5. Tendencia de precipitación estación meteorológica Sallique 1993 - 2013.....	39
Anexo 6. Cuadro resumen de los índices mensuales SPI para el periodo 1993 - 2013.....	40

RESUMEN

Se analizó la frecuencia de sequías meteorológicas en la provincia de Jaén entre 1993-2013 utilizando el índice de precipitación estandarizada (SPI). Se recopilaron datos de precipitación de cinco estaciones meteorológicas ubicadas dentro de la provincia, determinándose episodios de sequía meteorológica y su intensidad mediante SPI para una escala temporal de 12 meses, siendo validados mediante análisis exploratorio, test de Mann-Kendall, t de Student, F de Fisher, y análisis de homogeneidad mediante el método del vector regional. Se utilizaron software Trend, Hydraccess, SPI_L_6, ArcGIS. Los resultados mostraron que la provincia de Jaén presentó un régimen anual de precipitación caracterizado por un periodo seco (junio – septiembre) y uno húmedo (octubre – mayo). El promedio de precipitación acumulado en el mes de agosto durante el periodo evaluado, la estación Pomahuaca registró el nivel más bajo de sequía (1.3 mm), mientras que La Cascarilla, el nivel más elevado (53.79 mm). Se concluyó que hubo tres periodos marcados para los episodios de sequias, con una precipitación por debajo de lo normal, correspondientes a 1994 – 1998, 2002 – 2004 y 2010 – 2011, dentro de los cuales se concentraron episodios de sequía extrema y severa en los años 1995, 1997, 2004, 2005 y 2010.

Palabras clave: Sequía, precipitación, índice de precipitación estandarizada

ABSTRACT

The analyzed the frequency of meteorological droughts in the province of Jaén between 1993-2013 using the standardized precipitation index (SPI). Precipitation data from five meteorological stations located within the province were collected, determining episodes of meteorological drought and their intensity through SPI for a time scale of 12 months, being validated through exploratory analysis, Mann-Kendall test, Student's t, F Fisher, and homogeneity analysis using the regional vector method. Trend, Hydraccess, SPI_L_6, ArcGIS software were used. The results showed that the province of Jaén presented an annual precipitation regime characterized by a dry period (June-September) and a wet period (October-May). The average rainfall accumulated in the month of August during the evaluated period, the Pomahuaca station recorded the lowest level of drought (1.3 mm), while La Cascarilla, the highest level (53.79 mm). It is concluded that there were three periods marked for drought episodes, with precipitation below normal, corresponding to 1994-1998, 2002-2004 and 2010-2011, within which episodes of extreme and severe drought were concentrated in the years 1995, 1997, 2004, 2005 and 2010.

Keywords: drought, precipitation, standardized precipitation index,

I. INTRODUCCIÓN

La Organización Meteorológica Mundial (OMM), define sequía como “un período de tiempo con condiciones meteorológicas anormalmente secas, suficientemente prolongado como para que la falta de precipitación cause un grave desequilibrio hidrológico (Colotti et al., 2013).

Macedo, (2022) determinaron de manera general cuatro tipos de sequías: Meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. Los primeros tres tipos se ocupan de medir la sequía como un fenómeno físico, la última trata sobre la sequía en términos de oferta y demanda, rastreando los efectos de la escasez de agua a medida que se propaga a través de los sistemas socioeconómicos.

La sequía meteorológica es considerada como un fenómeno climático natural que genera impactos negativos a nivel ecológico, económico y social. La variabilidad climática asociada al cambio climático acentúa los efectos destructivos de las sequías (Castillo et al., 2017).

Debido a que el inicio de una sequía es gradual y generalmente golpea diferentes regiones de un país, con diferentes niveles de intensidad y en diferentes períodos de tiempo. Estas pueden ser caracterizadas teniendo en cuenta tres dimensiones: Intensidad, localización y duración (OMM, 2016). Es por ello que se utilizan indicadores de sequía, debido a que son una medida objetiva que ayudan a identificar el inicio, el aumento o la disminución de la gravedad y la terminación de una sequía (Karavitis et al., 2011).

El índice de precipitación estandarizado (SPI por sus siglas en inglés), se creó, para cuantificar el déficit hídrico, para varias escalas temporales, las cuales reflejan el impacto de la sequía en la disponibilidad del recurso hídrico (Macedo García, 2022). El SPI utiliza datos de precipitación con un mínimo de 20 años de valores mensuales provenientes de estaciones meteorológicas, a partir de estos datos convierte en un índice la probabilidad de precipitación para cualquier escala temporal permitiendo vigilar las precipitaciones y las sequías. (OMM, 2012).

La Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO) ha informado que a nivel mundial las pérdidas por sequía alcanzaron los 170.000 millones de dólares en la última década, con los niveles más altos en los años 2011 y 2017 (FAO, 2021).

En el Perú, según el Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI, 2015), una gran parte del territorio nacional está expuesto a sequías periódicas que ocasionan pérdidas en la agricultura y daños a los ecosistemas naturales. De acuerdo con el Plan de Gestión de Riesgo y adaptación al Cambio Climático en el sector agrario 2012 – 2021 – Plan GRACC-A (Ministerio de Agricultura, 2012), se ha identificado que la región de Cajamarca tiene un riesgo medio a sufrir episodios de sequías. La región de Cajamarca es vulnerable a los episodios de sequías, debido al mayor consumo de agua, tanto de la población como del desarrollo de actividad agrícola, ganadera e industrial. Los impactos de las sequías afectan a todos los estratos socioeconómicos de la región (SENAMHI, 2017). Los cambios en los patrones de lluvias y las variaciones de temperatura reducen la productividad del cultivo y merman su calidad.

En el ámbito local, Robiglio et al., (2017) estimaron que entre 13 % y 40 % del área cafetalera del nor oriente dejarán de tener aptitud para el café, estas zonas deberán desarrollar estrategias y acciones de adaptación que contemplen el cambio de cultivo. Entre 85 % y 45 % de los productores deberán realizar acciones de adaptación incremental o sistémica que permitan dar sostenibilidad al cultivo, esto incluye fuentes de ingresos adicionales. Todo esto, debido al impacto del cambio climático sobre la cadena de valor del café en el Perú.

En este contexto surgió la necesidad de atender esta problemática, la cual tuvo por objetivo determinar la frecuencia e intensidad de sequías meteorológicas en la provincia de Jaén entre 1993-2013 utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) a partir de los datos de cinco estaciones meteorológicas del SENAMHI. De esta manera se generó información importante para la adopción de estrategias en la gestión de los recursos hídricos. La vigilancia de las sequías a partir de índices permite adoptar iniciativas de alerta temprana, vigilancia y monitoreo. Por otra parte, es importante contar con estudios que brinden la información oportuna y necesaria en el desarrollo de obras de ingeniería de almacenamiento, distribución y tratamiento de los recursos hídricos que se ven afectados ante una sequía meteorológica.

Los objetivos de la investigación recopilaron los datos de precipitación de las cinco estaciones meteorológicas de la red SENAMHI mediante análisis exploratorios, determinó los episodios de sequias, mediante el SPI, para el periodo 1993 – 2013 bajo una escala temporal de 12 meses, finalmente, se identificó la intensidad de los episodios de sequias, mediante el SPI, para el periodo 1993 – 2013 bajo una escala temporal de 12 meses.

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1 Materiales

Se utilizaron los softwares que permitieron el análisis de los datos (Tabla 1):

Tabla 1.

Lista y descripción de softwares.

Software	Descripción
R	Que permitirá realizar el análisis exploratorio de datos de precipitación.
Arcgis	Se utilizará para la generación de mapas referentes a la región a estudiar.
Hydracces	Permitirá aplicar el método del Vector Regional para la homogenización de datos de precipitación.
SPI-L6	Programa para el cálculo de Índice de precipitación estandarizada.
TREND	Programa que permitirá aplicar las pruebas estadísticas de tendencia.
Excel	Hoja de cálculo que permitirá el correcto procesado de los datos de precipitación.

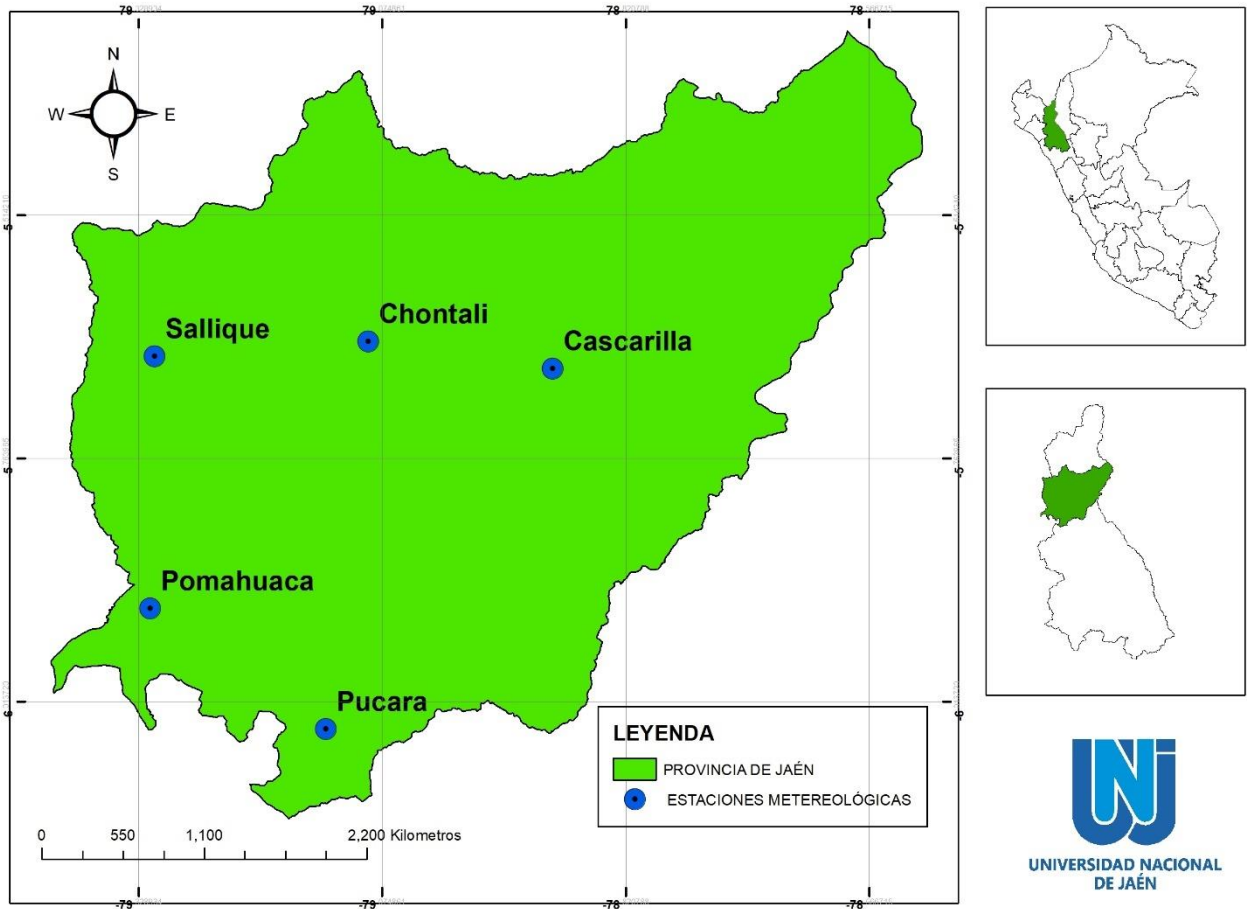
Fuente: Espinoza, (2005).

2.2 Ubicación y descripción del área de estudio

La provincia de Jaén conforma una de las trece provincias del departamento de Cajamarca. Alcanza una extensión territorial de 5232.57 km² que representó el 15.4 % del total departamental. La provincia está atravesada por un relieve accidentado, constituido por los contrafuertes de las cordilleras Occidental y Oriental de los Andes y los valles que descienden a la hoya amazónica (Prado, 2013).

Figura 1.

Mapa de ubicación de las estaciones meteorológicas de la provincia de Jaén.



2.3 Población, muestra, muestreo

2.3.1 Población

Estuvo constituido por las estaciones meteorológicas de la región Cajamarca administradas por SENAMHI: Cajabamba, Cachachi, San Marcos, Sondor-Matara, La Encañada, Jesús, La Victoria, Asunción, Cospán, Celendin, Magdalena, Cascabamba, Granja Porcón, San Benito, Contumaza, Guzmango, San Pablo, San Miguel, Quilcate, Quebrada Shugar, Montegrande, Lives, Llapa, Niepos, Udimá, Chota, Cutervo, Cochabamba, Huambos, Llama, La Muchala, Pomahuaca, Tocmoche, Pucará, El Limón, Sallique, Chontalí, La Cascarilla, Jaén, Chirinos, San Miguel, Namballe, San Ignacio y Tabaconas.

2.3.2 Muestra

Por conveniencia e interés de los investigadores se eligieron las siguientes estaciones meteorológicas: Chontalí, Pomahuaca, Sallique, Pucará y Cascarilla (Tabla 2).

Tabla 2.

Estaciones meteorológicas de la provincia de Jaén.

Nombre	Latitud (S)	Longitud (W)	Altitud (m.s.n.m.)
Chontalí	5°38'38''	79°5'24''	1627
Pomahuaca	5°55'4''	79°19'2''	1110
Sallique	5°39'31.89''	79°18'45.51''	1804
Pucará	6°2'30''	79°8'2''	1012
Cascarilla	5°40'18.3''	78°53'51.6''	1991

Fuente: SENAMHI, (2021a).

2.3.3 Muestreo

Fue del tipo no probabilístico, debido a que la selección de las muestras se llevó a cabo mediante un proceso que no brindó a todos los individuos de la población las mismas oportunidades de ser seleccionados.

2.4 Fuentes de información

La precipitación histórica se obtuvo de la página web del SENAMHI y a partir de la base de datos de las cinco estaciones meteorológicas del Servicio Nacional de Meteorología e hidrología del Perú (SENAMHI).

2.5 Métodos

Se implementó el método analítico porque los datos históricos de precipitación (fenómeno conocido) se separaron en sus elementos constitutivos, donde se validó mediante análisis exploratorio, test de Mann-Kendall, t de Student, F de Fisher, y análisis de homogeneidad mediante el método de vector regional, con la finalidad de obtener información sobre los episodios y magnitud de las sequías para el periodo estudiado en la provincia de Jaén - Cajamarca.

2.6 Técnicas

Se utilizó la técnica de análisis documental mediante el análisis de contenido porque se recopiló y analizó información secundaria procedente de la base de datos hidro meteorológicos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI),

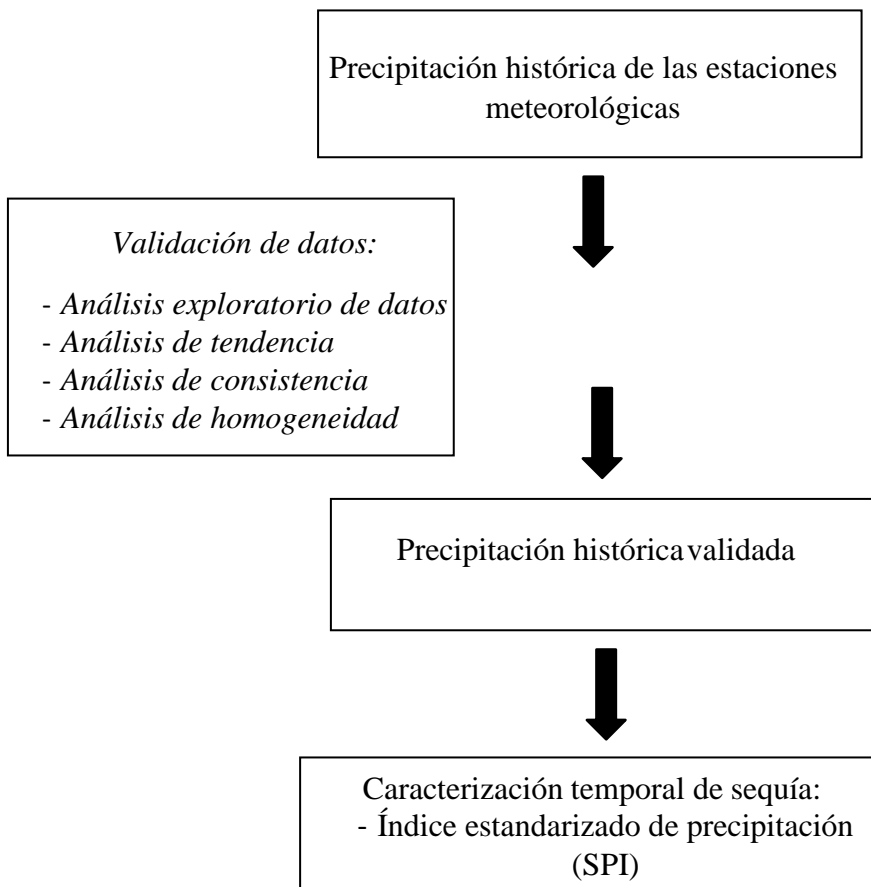
compuesto por datos de año 1993 a 2013.

2.7 Procedimientos

Para cumplir con los objetivos planteados, la presente investigación desarrolló el procedimiento metodológico de la Figura 2

Figura 2.

Diagrama de flujo de la metodología desarrollada.



2.7.1 Validación de datos

Análisis exploratorio de datos (AED)

Se utilizaron gráficos y figuras que permitieron tener un panorama general del comportamiento de los datos de precipitación histórica de cada una de las estaciones, para el periodo de estudio seleccionado. En el AED se generaron gráficos de serie de tiempo, para conocer el comportamiento de la precipitación; diagrama de cajas y bigotes, para determinar

la presencia de datos atípicos, gráfica de normalidad e histogramas para establecer si los datos de precipitación siguen una distribución normal.

Análisis de tendencia

La tendencia en variables climáticas se definió como cambios de decrecimiento o crecimiento que ocurren gradualmente en el tiempo, asociadas comúnmente a factores naturales o antropogénicos (Méndez et al., 2020; Castro & Carvajal, 2010).

Para determinar las tendencias de las precipitaciones históricas de las estaciones seleccionadas se utilizó el test de Mann-Kendall a un nivel de significancia del 5 % en el software Trend.

La interpretación de los resultados se basó en la Tabla 3, si Z es positivo se infiere de forma subjetiva que la tendencia es creciente, cuando Z es negativo se infiere que hay tendencia decreciente. Las tendencias son significativas cuando los valores calculados son mayores a los valores críticos 1.96 o menores a -1.96.

Tabla 3.

Interpretación del Test de Mann-Kendall.

Significancia	Z
Sin tendencia	0
Tendencia significativa creciente	$> +1.96$
Tendencia significativa decreciente	< -1.96
Tendencia no significativa creciente	$< +1.96$
Tendencia no significativa decreciente	> -1.96

Fuente: Software minitab.

Análisis de consistencia de datos

El análisis de consistencia permitió detectar cambios en la varianza y en la media (saltos) de la precipitación histórica de las estaciones meteorológicas.

Prueba t de Student:

1. La precipitación histórica de cada estación se dividió en 2 sub muestras (N1 y N2).

2. Se evaluó si las medias de N1 y N2 son estadísticamente iguales o diferentes.
3. Las medias de las sub muestras son estadísticamente diferentes, se corrigieron para que T calculados se encuentren dentro del rango T tabulado.

Prueba F de Fisher:

1. La precipitación histórica de cada estación se dividió en 2 sub muestras (N1 y N2).
2. Se evaluó si las desviaciones estándar de N1 y N2 son estadísticamente iguales o diferentes.
3. Las desviaciones estándar de las sub muestras son estadísticamente diferentes, se corrigieron para evaluar la consistencia en las desviaciones estándar.

Análisis de homogeneidad

Este análisis se realizó utilizando el método del vector regional, el cual consistió en determinar si los datos históricos de precipitación de las estaciones meteorológicas estudiadas pertenecieron a una misma zona climática y con un mismo régimen de precipitación, por tanto, el grupo de estaciones presentan homogeneidad (Espinoza, 2005).

El método del vector regional se realizó en el programa Hydraccess y la interpretación de los resultados se muestran en la Tabla 4.

Tabla 4. Interpretación del método del vector regional

Parámetros	Valores	Interpretación
Desviación estándar de los desvíos.	< 0.3	Estaciones
Correlación de las estaciones con el Vector.	> 0.6	meteorológicas homogéneas

Fuente: Software minitab y SENAMHI, (2021a).

2.7.2 Determinación de sequía meteorológica

Se determinaron los episodios de sequía y las intensidades de estos a partir de la precipitación histórica de las estaciones meteorológicas, para ello se utilizó el Índice de precipitación estandarizada (SPI). Este índice se realizó para la escala temporal de doce meses en el programa SPI_L_6 aplicando el siguiente procedimiento:

- a. Para analizar la precipitación histórica de las cinco estaciones meteorológicas de la provincia de Jaén, región de Cajamarca de los años 1993-2013, la información que se compilo de la base de datos del SENAMHI se ingresó al programa SPI_L_6.
- b. Se seleccionó la escala temporal de 12 meses. El resultado mostró los índices generados en el transcurso del año, por lo que se pudo conocer los episodios de sequías y su intensidad.
- c. Finalmente, se procedió a interpretar los resultados de acuerdo a la Tabla 5 que permitió interpretar las tendencias de las precipitaciones históricas de las estaciones seleccionadas en la provincia de Jaén.

Tabla 5.

Índice e intensidad del SPI

Índice	Intensidad
$\geq + 2$	extremadamente húmedo
1.5 a 1.99	muy húmedo
1.0 a 1.49	moderadamente húmedo
-0.99 a + 0.99	normal o aproximadamente normal
-1.0 a -1.49	moderadamente seco
-1.5 a -1.99	severamente seco
$\leq - 2$	extremadamente seco

Fuente: (OMM, 2012).

III. RESULTADOS

3.1 Recopilación de datos de precipitación

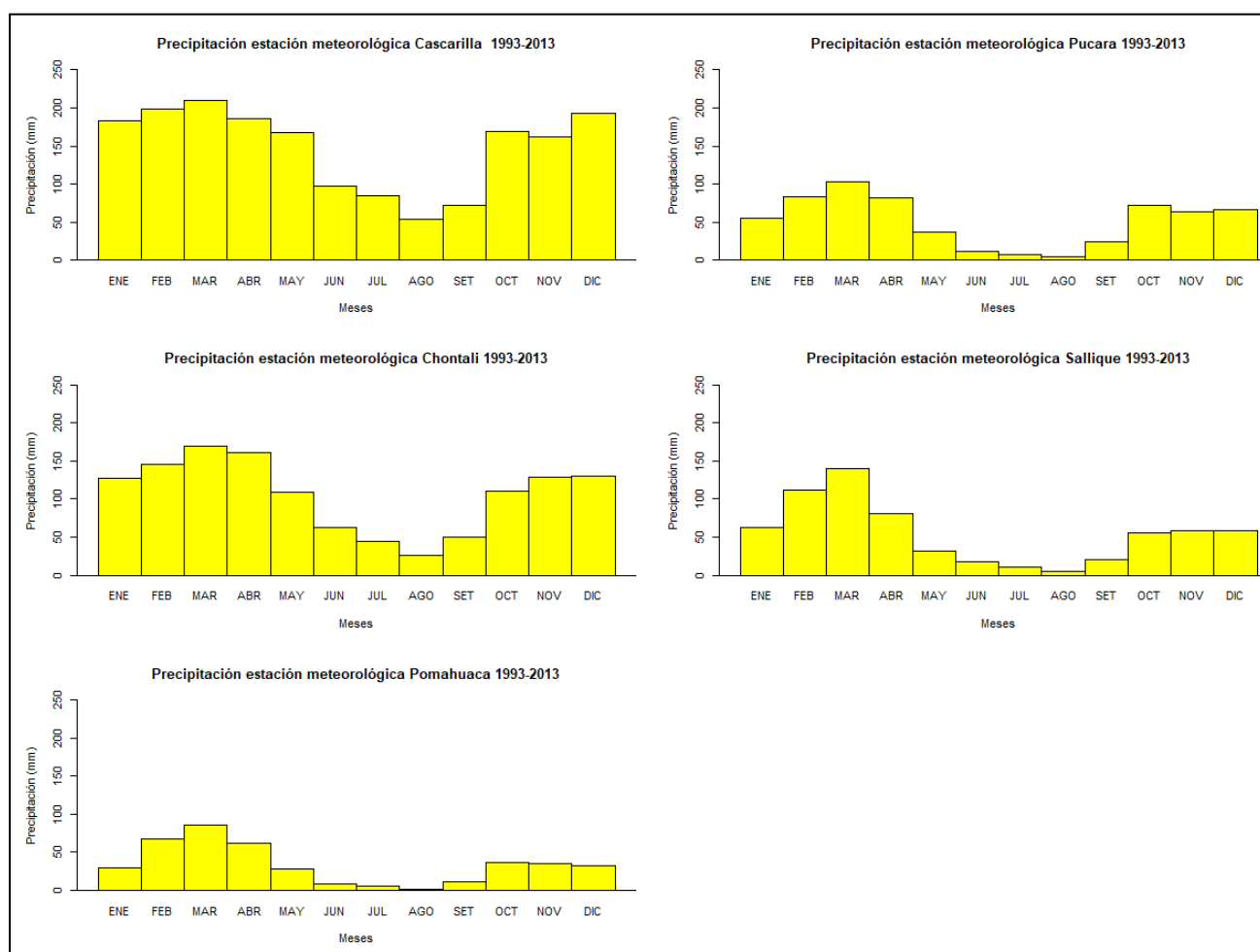
3.1.1 Análisis exploratorio de datos (EDA)

3.1.1.1 Comportamiento precipitación anual

La figura 3 evidencia un periodo seco con bajas precipitaciones en los meses de junio - septiembre; continuado por un periodo húmedo de octubre-mayo. Además, el mes con la precipitación más baja fue agosto, mientras que el mes con mayor precipitación fue marzo.

Figura 3.

Comportamiento de la precipitación anual de estaciones meteorológicas.



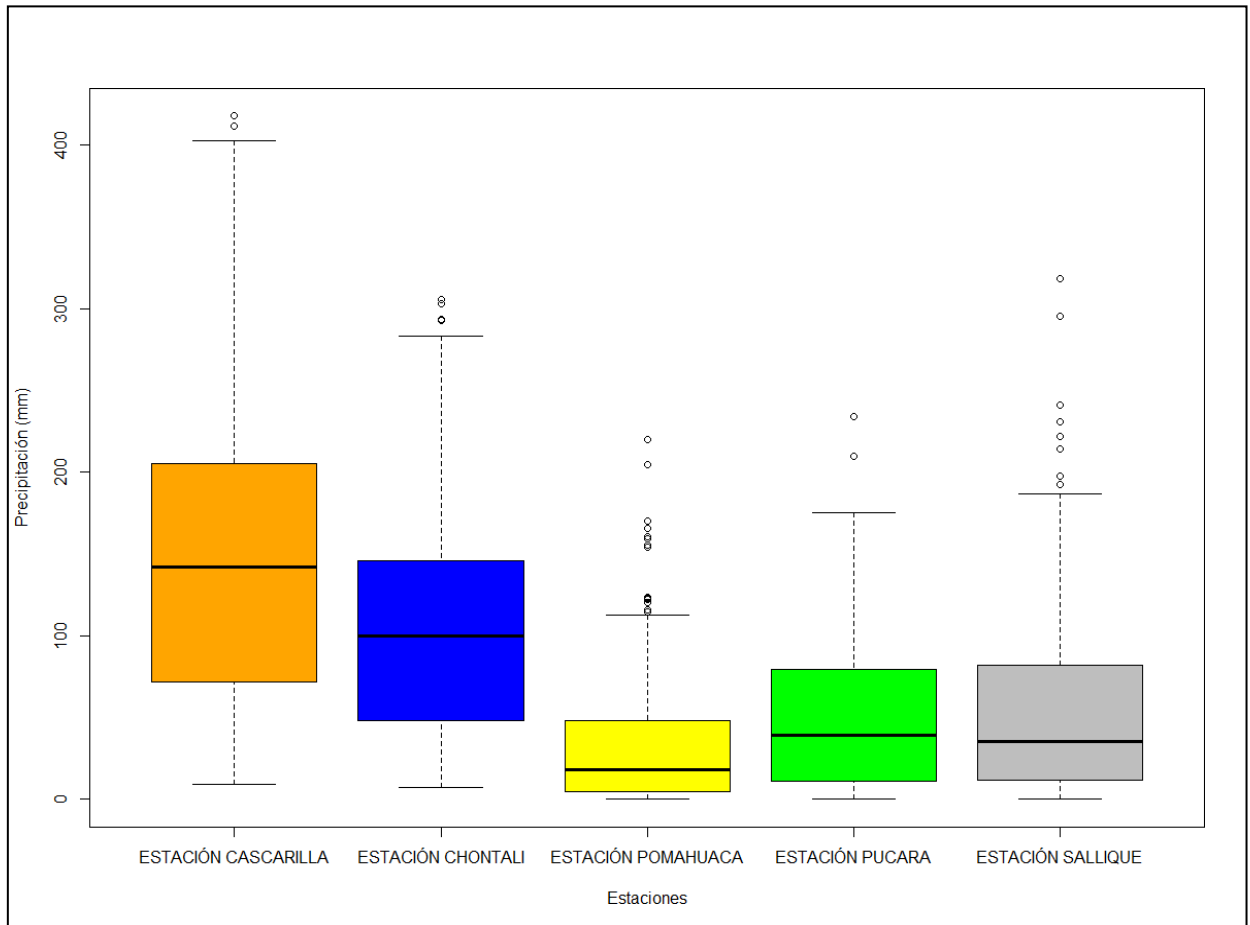
✓ Identificación de datos atípicos

La figura 4 muestra la distribución de los datos mensuales de precipitación de las estaciones meteorológicas para el periodo 1993 – 2013. Se observó que en todas las estaciones existió

presencia de datos atípicos. Por otra parte, los diagramas de cajas y bigotes evidenciaron que la precipitación media de la estación meteorológica Pomahuaca es la más baja respecto a la precipitación media de las demás estaciones.

Figura 4.

Diagrama de cajas y bigotes de las estaciones meteorológicas estudiadas.

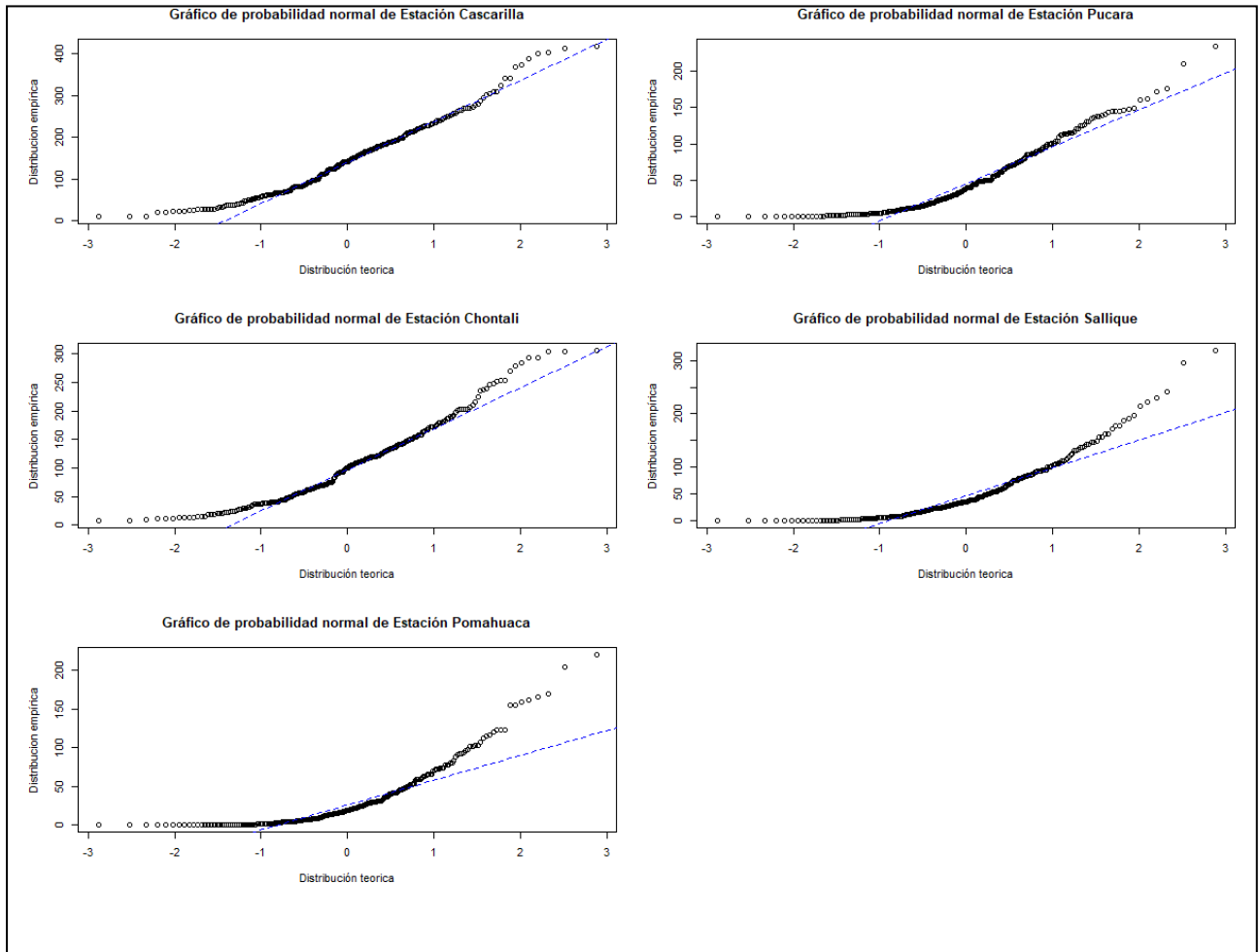


✓ Distribución de la precipitación

La figura 4 muestra gráficos QQ-normal que permitieron observar si la distribución de los datos de precipitación histórica de las estaciones se ajusta a una distribución normal. Se evidenció que los datos de precipitación para el periodo 1993 – 2013 de cada uno de las estaciones meteorológicas no se ajustan a la distribución normal.

Figura 5.

Gráficos QQ-normal de precipitación.



3.1.2 Análisis de tendencia

La tabla 6 muestra los resultados del test estadístico de tendencia Mann- Kendall a una significancia (α) del 0.05. Se evidenció que la precipitación histórica de cada una de las estaciones meteorológicas estudiadas no presentó tendencias ya sean decrecientes o crecientes que sean significativas, esto debido a que los valores calculados de Z se mantuvieron dentro del rango -1.96 a 1.96. Una evaluación visual a partir de las líneas de tendencias de la precipitación histórica de cada estación en los Anexos 1 – 5 permitió corroborar los resultados de la tabla referida.

Tabla 6.

Test de tendencias, de Mann-Kendall.

Estación meteorológica	Z calculado	$\alpha = 0.05$	Resultado
Cascarilla	-0.711	+/-1.96	NS
Chontalí	1.658	+/-1.96	NS
Pomahuaca	0.508	+/-1.96	NS
Pucará	0.747	+/-1.96	NS
Sallique	-0.924	+/-1.96	NS

Fuente: Software minitab.

3.1.3 Análisis de consistencia

La tabla 7 muestra los resultados de consistencia de las medias de las estaciones meteorológicas a partir del test T de Student a una significancia (α) del 0.05. Se pudo observar que los valores T calculados de todas las estaciones se encontraron dentro del rango de T tabulado, por tanto, no existe inconsistencia en las medias.

Tabla 7.

Test de T de Student.

Estación meteorológica	T calculado	T $\alpha = 0.05$	Resultado	Descripción
Cascarilla	0.72	1.969	NS	Media consistente
Chontalí	1.68	1.969	NS	Media consistente
Pomahuaca	0.11	1.969	NS	Media consistente
Pucará	1.28	1.969	NS	Media consistente
Sallique	0.73	1.969	NS	Media consistente

Fuente: Software minitab.

En la tabla 8 se muestra los resultados de consistencia de las desviaciones estándar de las estaciones meteorológicas a partir del test F de Fisher a una significancia (α) del 0.05. Se pudo observar que los valores F calculados de la precipitación histórica de las estaciones meteorológicas Cascarilla, Chontalí, Pomahuaca y Sallique presentaron inconsistencias en sus desviaciones estándar, mientras que la precipitación histórica de la estación Pucará, presentó consistencia en su desviación estándar.

Tabla 8.

Test F de Fisher.

Estación meteorológica	F calculado	$\frac{F}{\alpha = 0.05}$	Resultado	Descripción
Cascarilla	0.91	0.74	S	Desviación estándar inconsistente
Chontalí	0.76	0.74	S	Desviación estándar inconsistente
Pomahuaca	0.92	0.74	S	Desviación estándar inconsistente
Pucará	0.64	0.74	NS	Desviación estándar consistente
Sallique	0.95	0.74	S	Desviación estándar inconsistente

Fuente: Software minitab.

3.1.4 Análisis de homogeneidad

La tabla 9 muestra el resultado de homogeneidad de las precipitaciones en las estaciones meteorológicas estudiadas. Se pudo apreciar que la desviación estándar de los desvíos de las estaciones respecto a la estación Vector fue inferior a 0.3 y la correlación de la precipitación de las estaciones con la precipitación de la estación Vector fue superior a 0.6. Estos resultados indicaron que las 5 estaciones meteorológicas estudiadas fueron homogéneas, pertenecieron a una misma zona climática con igual comportamiento en su precipitación.

Tabla 9.

Resultados de homogeneidad, método del vector regional.

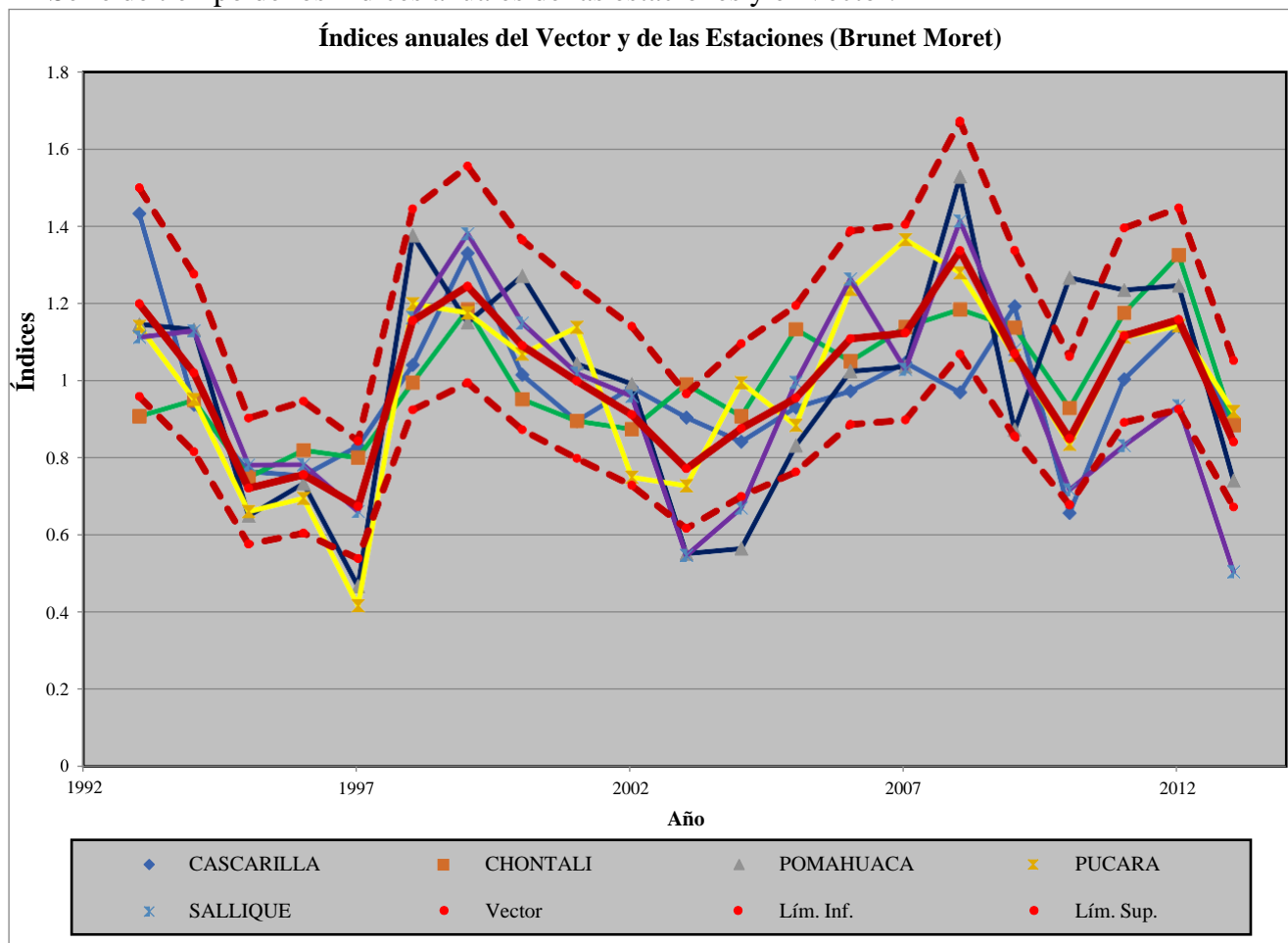
Estación meteorológica	D.E. desvíos	correlación /vector
Cascarilla	0.133	0.731
Chontalí	0.124	0.732
Pomahuaca	0.171	0.824
Pucará	0.107	0.899
Sallique	0.145	0.839

Fuente: Software minitab.

En la figura 6 se pudo apreciar que para el periodo estudiado 1993 – 2013, los índices de las estaciones meteorológicas permanecieron la mayor parte del tiempo dentro de los límites superiores e inferiores de la estación Vector, resultados que guardaron relación con los hallazgos de la Tabla 8.

Figura 6.

Serie de tiempo de los índices anuales de las estaciones y el Vector.



3.2 Determinación de episodios e intensidad de sequías meteorológicas.

En la tabla 10 se muestran los episodios o eventos mensuales de sequías en función de los índices e intensidades de la tabla 5 para el periodo de precipitación (1993 – 2013) en cada estación meteorológica. Se pudo observar que la estación Cascarilla registró la menor cantidad de episodios de sequía extrema con 2. Mientras que la estación Pucara registró la mayor cantidad de episodios de sequías extremas con 11. Respecto a los episodios de sequías severas, la estación Pomahuaca registró 21 episodios, siendo la mayor cantidad respecto a las demás estaciones. Finalmente, los episodios de sequía moderada fueron los más

frecuentes en la estación Cascarilla con 34, seguido por Sallique con 24 y Chontalí con 20.

Tabla 10.

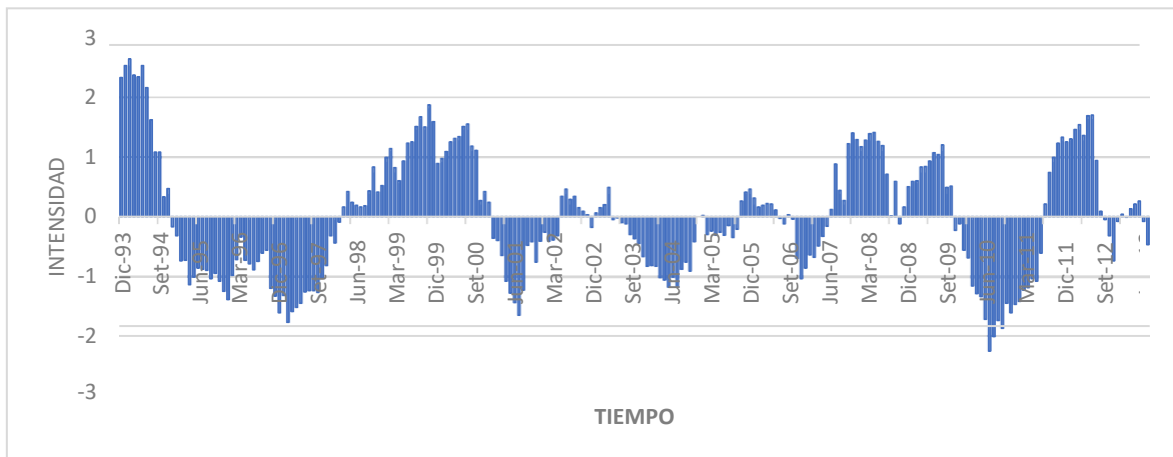
Resumen de episodios de sequías.

Estación meteorológica	Episodios de sequía		
	Moderada	Severa	Extrema
Cascarilla	34	11	2
Chontalí	20	10	10
Pomahuaca	11	21	8
Pucará	12	8	11
Sallique	24	14	9

Fuente: SENAMHI, (2021a).

Figura 7.

SPI estación meteorológica Cascarilla.



En la figura 7 se muestran los periodos de sequía para la estación Cascarilla, de la serie temporal se observó varios periodos de precipitación debajo de lo normal: el periodo de diciembre 1994 a marzo 1998 con picos en enero, marzo, abril y mayo de 1997 para episodios de sequias de intensidad severa. De marzo 2001 a junio 2002 se caracterizó por intensidad moderada, con un episodio de sequía severa en septiembre del 2001. De julio 2003 a diciembre 2005 y octubre 2006 a septiembre 2007 se caracterizó por sequias

moderadas. Por último, el periodo de marzo 2010 a noviembre 2011 registró dos episodios de sequía extrema en los meses de noviembre y diciembre 2010.

Los índices de sequías de la figura 8 muestra la estación Chontalí con periodos de precipitación debajo de lo normal: el periodo de diciembre 1994 a septiembre de 1998 cuenta con picos de episodios de sequía extrema en los meses de marzo a diciembre de 1995. Por otra parte, el periodo entre mayo del 2001 a mayo del 2003 experimentó 3 episodios de sequía severa en los meses de junio, agosto y septiembre del 2001. Por último, el periodo de mayo del 2010 a agosto del 2011 se caracterizó por precipitaciones cercanas a lo normal.

Figura 8.

SPI estación meteorológica Chontalí.

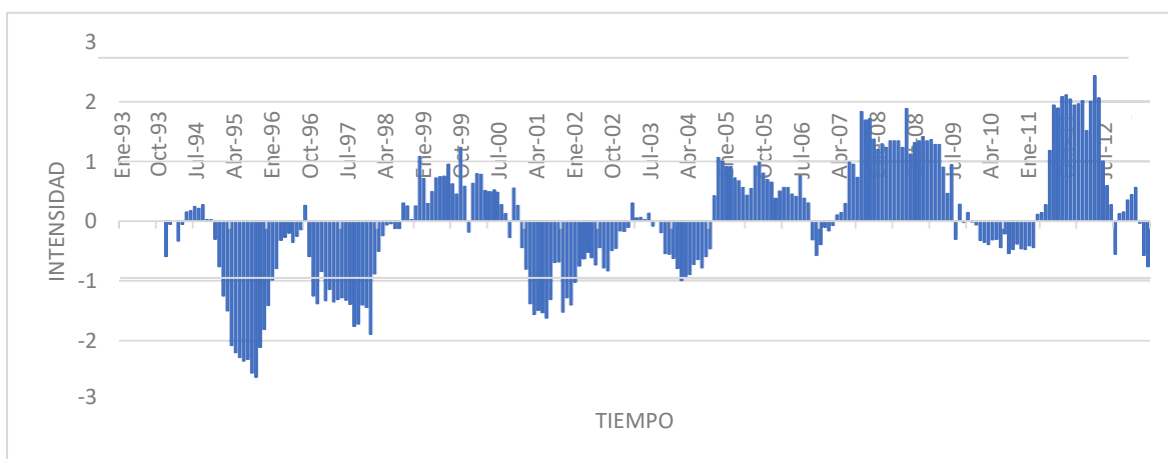
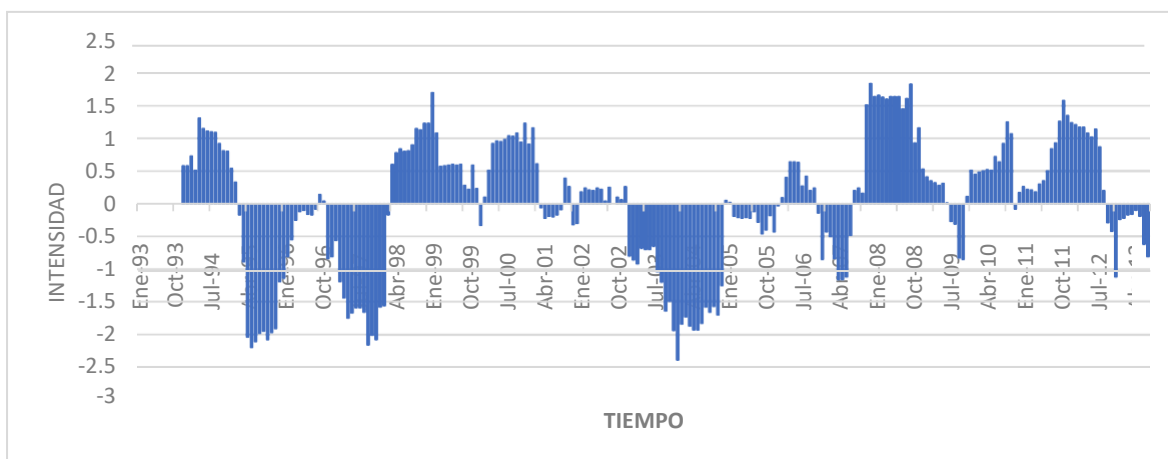


Figura 9.

SPI estación meteorológica Pomahuaca.

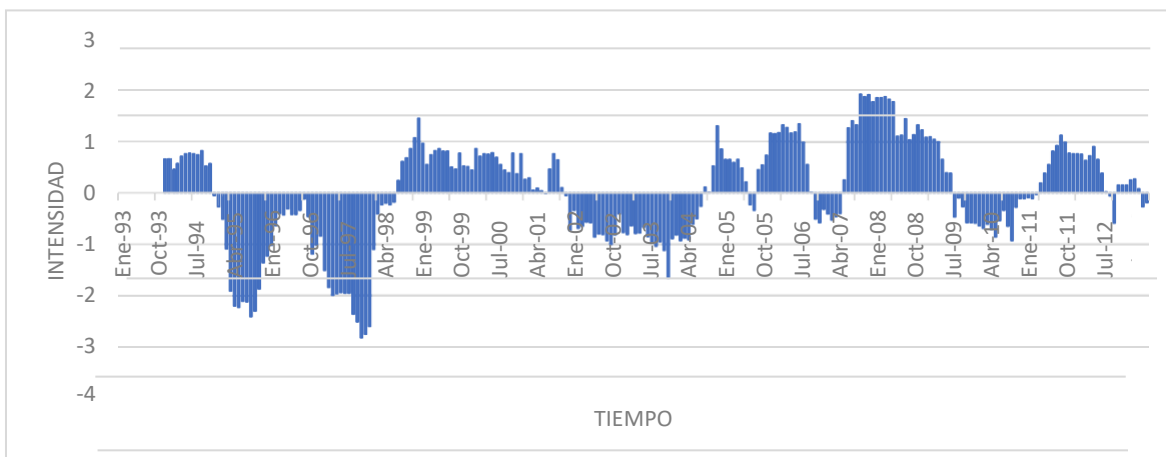


La figura 9 muestra que la estación Pomahuaca experimentó dos periodos de precipitaciones debajo de lo normal. El primero entre febrero de 1995 a marzo de 1998 con siete episodios de sequía extrema correspondientes a abril - junio y septiembre de 1995, también a octubre - diciembre de 1997. El segundo periodo de marzo del 2003 a febrero del 2005 caracterizado por episodios de sequía severa con un pico de sequía extrema en marzo del 2004.

En la figura 10 se muestra periodos de precipitación por debajo de lo normal en la estación Pucara. El periodo de diciembre de 1994 a agosto de 1998 comprendió 11 episodios de sequía extrema correspondientes a mayo – octubre de 1995, octubre – diciembre de 1997 y enero a febrero de 1998. Por otra parte, los periodos de febrero 2002 a noviembre 2004 y de enero del 2010 a septiembre del 2011 caracterizado por eventos de sequía de intensidad moderada.

Figura 10.

SPI estación meteorológica Pucará.

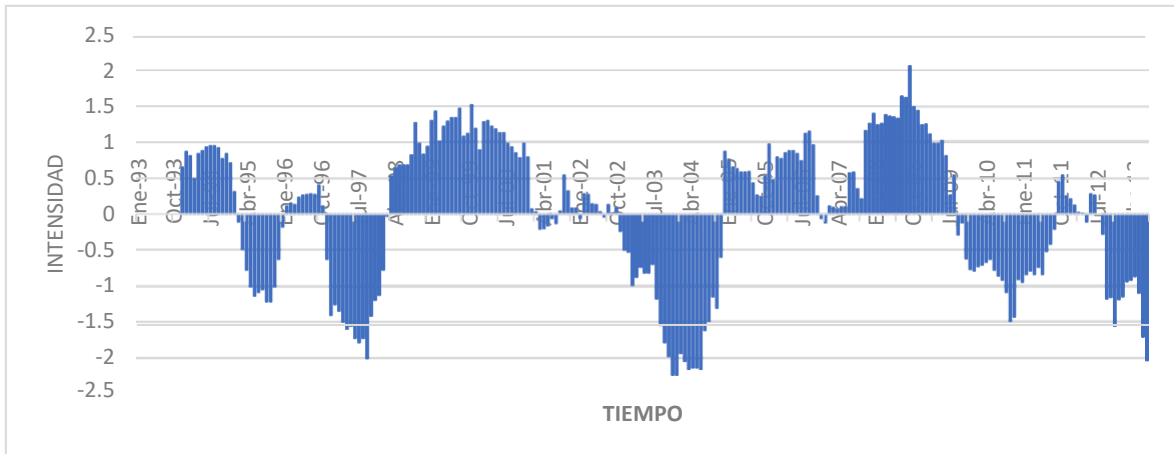


Los índices de sequía de la figura 11 muestra que la estación Sallique experimentó cinco periodos de precipitación debajo de lo normal. El primer periodo de febrero de 1995 a enero 1996 con episodios de sequias moderadas. El periodo diciembre 1996 a marzo 1998 con un episodio de sequía extrema en octubre 1997. El tercer periodo de enero 2003 a enero del 2005 con 7 episodios de sequía extrema correspondientes a febrero-marzo y mayo - septiembre 2004. El cuarto periodo correspondiente a enero del 2010 a enero 2012 caracterizado por episodios de sequía de intensidad moderada y el quinto periodo de enero

del 2013 a diciembre del 2013 con un episodio de sequía extrema en diciembre del 2013.

Figura 11.

SPI estación meteorológica Sallique.



IV. DISCUSIÓN

La precipitación registrada en las cinco estaciones meteorológicas estudiadas en el periodo 1993 – 2013, indicaron que la provincia de Jaén presenta un régimen de precipitación anual marcado por un periodo seco de junio a septiembre y uno húmedo de octubre a mayo (Figura 3). Estos resultados concuerdan con SENAMHI (2021a) que mencionaron que las provincias norteñas del departamento de Cajamarca se caracterizaron por presentar un periodo seco o estiaje y un periodo húmedo con abundantes precipitaciones donde se encuentran ecosistemas de páramos y bosques de neblinas. La investigación realizada por Gaudry et al. (2017) manifestó que la zona norte del país experimenta las máximas precipitaciones entre los meses de enero-marzo, concordando con los resultados obtenidos de máxima precipitación en el mes de marzo para todas las estaciones estudiadas.

Los datos atípicos detectados en todas las estaciones meteorológicas estudiadas en la provincia de Jaén (Figura 4), según Méndez et al. (2020) expresaron que estos datos son propios de series de tiempo de precipitación y se deben a la naturaleza misma de los datos de variables climáticas. Para Muñoz et al. (2020) los valores atípicos surgen a partir de fenómenos climáticos propios del ambiente, por tanto, mientras estos valores no sean extremos no deben ser retirados o eliminados. Concordando con lo expresado por Hnilica et al. (2018) en cuya investigación sobre dependencia cruzada y auto dependencia en las proyecciones climáticas de precipitación diaria y su sensibilidad a los valores atípicos, señala que en general las presencias de valores atípicos no pueden considerarse un sesgo, debido a que estos, tanto como los valores extremos de precipitación, ocurren naturalmente.

La Figura 4 mostró que los datos de precipitación registrada en las estaciones meteorológicas no se ajustaron a una distribución normal. Esto se debe a que por lo general la distribución gamma tiene un mayor ajuste respecto a otras distribuciones teóricas en datos de precipitación, concordando con lo indicado por Shiau (2020), quien en su investigación sobre los efectos de las variaciones de distribución gamma en los análisis de sequía estacionarios y no estacionarios basados en SPI, señala que las distribuciones de lluvia en

términos de variaciones en la media y la varianza son explicadas comúnmente por distribuciones gamma.

Los resultados de la Tabla 6 demostraron que la precipitación estudiada para el periodo 1993 – 2013 en la provincia de Jaén no experimento tendencias significativas. Para Correa et al. (2021), la presencia de tendencias en series de tiempo de precipitación son producto de variaciones en los regímenes de lluvias siendo uno de los efectos del cambio climático. La ausencia de tendencias significativas en las precipitaciones de las estaciones estudiadas corresponde a un periodo de estudio de 20 años, por tanto, para resultados más precisos respecto a este parámetro se necesitaría estudiar un rango de tiempo mayor.

Las Tablas 7 y 8 muestran que la precipitación estudiada presenta consistencia en la media e inconsistencia en la desviación estándar, la inconsistencia en datos hidrológicos según Castillo et al. (2017) son producto de fenómenos naturales e inclusive debido a factores antropogénicos que se manifestaron en sesgos o saltos afectando la media y la varianza de los datos de precipitación. Por lo tanto, estos valores se deben corregir.

Los resultados de homogeneidad mediante el método del vector regional de la Tabla 9 muestran valores de inferiores a 0.3 en desviación estándar de los desvíos y valores superiores a 0.6 de correlación, esto demuestra que la precipitación de las estaciones estudiadas pertenece a una misma zona climática, lo que implica un comportamiento similar en sus precipitaciones en el periodo estudiado. Los resultados se sustentan en lo mencionado por Espinoza (2005), quien señala que los parámetros más importantes, para determinar si las estaciones son homogéneas son la desviación estándar de los desvíos (D.E.D) y la correlación (C) entre la estación y el vector. Valores bajos de D.E.D y valores altos de C son indicadores de que las estaciones pertenecen a una zona homogénea climáticamente.

La Tabla 10 demostró que tras la aplicación de índice de precipitación estandarizada (SPI) al periodo estudiado de precipitación en las estaciones, los episodios de sequía fueron recurrentes en la provincia de Jaén. Las figuras 7 – 11 se evidenció tres periodos de precipitación por debajo de lo normal correspondientes a 1994 – 1998, 2002 – 2004 y 2010 – 2011, encontrándose episodios de sequías severas y extremas. Estos resultados concordaron con los hallazgos de la investigación de Huamán y Veneros (2017), quienes

estudiaron la ocurrencia de sequías en la región de Cajamarca para el periodo 1987- 2016, encontrando sequías regionales en los años de 1991 - 1992, 1996 – 1997, 2003 – 2004 y 2010 – 2011. Las sequías de los años 1991, 1992, 1996-97, coincidieron con la presencia, en el mar peruano del fenómeno de “El Niño”; por el contrario, las sequías de 1995, 2003, 2004 y 2010-11, se dieron simultáneamente a la aparición, en el mar peruano, del fenómeno de “La Niña”.

Las figuras 7 – 11 mostraron que los episodios de sequías severas y extremas se concentraron en los años 1995, 1997, 2004, 2005 y 2010 en la provincia de Jaén. Estos resultados concordaron con los estudios llevados a cabo por SENAMHI (2021b) que indica que, en los últimos 40 años, las 10 sequías más severas, desde el punto de vista de escasez de lluvias, se han registrado en los años de 1982, 1983, 1985, 1987, 1988, 1990, 1992, 2004, 2005 y 2016.

Aramayu (2019), a partir de sus hallazgos en su investigación de distribución espacial sequías en la región de Puno para el periodo 1981 – 2016, concluyó que las sequías con intensidades severa y extrema están asociadas a la ocurrencia de fenómenos climáticos como el fenómeno de “El Niño”. Teniendo en cuenta que SENAMHI (2015), señala que dentro de los registros históricos de “El Niño” en el Perú se encuentran episodios de intensidad elevada en los periodos 1982 – 1983, 1997 – 1998, de intensidad menor en 2004 – 2005, 2006 – 2007 y dos de intensidad moderada 2002 – 2003 y 2009 – 2010, por lo que se puede inferir que los episodios de sequías severas y extremas encontradas en la provincia de Jaén correspondientes a los años 1997, 2004, 2005 y 2010 guardan relación con los episodios de “El Niño”, anteriormente mencionados.

V. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- El análisis de frecuencia de sequías meteorológicas en la provincia de Jaén durante el periodo de 1993 – 2013, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI); presentó un régimen de precipitación caracterizado por un periodo seco de junio a septiembre y un periodo húmedo octubre a mayo.
- Durante el análisis realizado a los datos de precipitación, se registró que la máxima precipitación se dio en marzo y la mínima en agosto.
- Los episodios de sequías que se determinaron mediante el SPI bajo una escala temporal de 12 meses en la provincia de Jaén, experimentaron episodios de sequía meteorológica de intensidad moderada, severa y extrema durante el periodo evaluado.
- Se identificaron tres periodos de precipitación por debajo de lo normal, correspondientes a 1994 – 1998, 2002 – 2004 y 2010 – 2011; concentrándose episodios de sequía extrema y severa en los años 1995, 1997, 2004, 2005 y 2010.
- La caracterización temporal de las sequías meteorológicas en la provincia de Jaén – Cajamarca utilizando el índice de precipitación estandarizada, resultó de gran interés para poder conocer su predictibilidad, que permitirá generar información importante que podrá ser utilizada en la adopción de estrategias en la gestión de los recursos hídricos, que favorezcan en la actividad agrícola y forestal en la provincia, donde el café, cacao y arroz son de mayor relevancia, así mismo se puede usar la información de manera oportuna y necesaria en el desarrollo de obras de ingeniería de almacenamiento, distribución y tratamiento de los recursos hídricos que se ven afectados ante probables sequías meteorológicas.

Recomendaciones

- Recomendar a SENAMHI la implementación de estaciones meteorológicas operativas en la provincia de Jaén, para obtener datos más robustos y poder realizar investigaciones precisas, respecto a fenómenos cada vez más severos productos del cambio climático como las sequías.

- Incluir políticas que permitan una adecuada gestión de los recursos hídricos ante fenómenos climáticos recurrentes como las sequías.
- Realizar futuros estudios que permitan comparar los resultados obtenidos, ya que serán antecedentes relevantes para mejorar el diseño de modelos de predicción de fenómenos causados por el cambio climático.

VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aramayu. (2019). Distribución espacial del riesgo de sequía en la región andina de Puno, Perú. [Tesis de Maestría, Universidad Nacional Agraria la Molina]. <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3815>.
- Castillo, M., Ibáñez, L. A., Valdés, J. B., Arteaga, R., Vázquez, M. A., Castillo, M., Ibáñez, L. A., Valdés, J. B., Arteaga, R., & Vázquez, M. A. (2017). Análisis de sequías meteorológicas en la cuenca del río Fuerte, México. *Tecnología y Ciencias del Agua*, 8(1), 35–52. <https://doi.org/10.24850/J-TYCA-2017-01-03>
- Castro, L.M. & Carvajal, Y. (2010). Análisis de tendencia y homogeneidad de series climatológicas. *Ingeniería de Recursos Naturales y del Ambiente*, 9, 15-25. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=231116434002>
- Colotti, E., Cedeño, M., Montañez, C (2013). La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, estado Nueva Esparta, Venezuela período 1972-2004. *Terra Nueva Etapa*, 29 (45), 11-5. <https://www.redalyc.org/pdf/721/72130180002.pdf>
- Correa Ortiz, L. C., Ocampo López, O. L., & Alba Castro, M. F. (2021). Análisis de tendencia de temperatura y precipitación para el departamento de Caldas (Colombia), mediante wavelets. *Ciencia e Ingeniería Neogranadina*, 31(1), 37-52. <https://doi.org/10.18359/rcin.4900>.
- Espinoza. (2005). Manual escrito con motivo del curso taller: Utilización del método del Vector Regional con HYDRACCESS. SENAMHI – Perú. Septiembre 2005. Colaboración de Philippe Vauchel (IRD-Peru) y Josyane Ronchail.
- Gaudry, M. M. C., Gutknecht, D., Parajka, J., Perdigão, R. A., & Blöschl, G. (2017). Seasonality of runoff and precipitation regimes along transects in Peru and Austria. *Journal of Hydrology and Hydromechanics*, 65(4), 347.

- Huamán, F. & Veneros, W. (2017). Variabilidad climática y ocurrencia de sequías en la región de Cajamarca.
https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/119/Sequ%C3%ADas%20en%20la%20regi%C3%B3n%20Cajamarca_2017.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Hnilica, J., Hanel, M., & Puš, V. (2018). Changes of cross-and auto-dependence structures in climate projections of daily precipitation and their sensitivity to outliers. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 1-21. <https://doi.org/10.5194/hess-2018-468>
- Karavitis, C. A., Alexandris, S., Tsismelis, D. E., & Athanasopoulos, G. (2011). Application of the Standardized Precipitation Index (SPI) in Greece. *Water*, 3(3), 787–805. <https://doi.org/10.3390/W3030787>.
- Macedo García, H. S. (2022). Relación entre la sequía meteorológica e hidrológica en la subcuenca Chancos, Ancash. *Revista de Investigación Científica y Tecnológica LLamkasun*, 3 (1), 20-28
<https://llamkasun.unat.edu.pe/index.php/revista/article/view/79/88>.
- Méndez, D. R., Elizabeth, M., Zaira, C. y Valero, V. (2020). Estadística robusta aplicada a las medidas de localización y escala. Nota Técnica. *Revista Digital Internacional de Psicología y Ciencia Social*, 6(2), 499-517.
<https://doi.org/10.22402/j.rdipecs.unam.6.2.2020.302>.
- Ministerio de Agricultura (2012). Plan de Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático en el Sector Agrario Período 2012-2021.
http://sigrid.cenepred.gob.pe/docs/PARA%20PUBLICAR/MINISTERIOS/MINAGRI_PlanGRACC_2012.pdf.
- Muñoz Herrera, W., Bedoya, O. F., & Rincón, M. E., (2020). Aplicación de redes neuronales para la reconstrucción de series de tiempo de precipitación y temperatura utilizando información satelital. *Revista EIA*, 17(34),1-16.

- Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO). (2021). The impact of disasters and crises on agriculture and food security, 2021. <https://www.fao.org/3/cb3673en/cb3673en.pdf>.
- Organización Meteorológica Mundial (OMM). (2012). Índice normalizado de precipitación. https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=7769.
- Organización Meteorológica Mundial. (2016). Directrices de la Organización OMM. https://library.wmo.int/index.php?lvl=notice_display&id=20168#.YW4I7RrMLIU
- Prado. (2013). Implementación de una estación experimental agrícola en la provincia de Jaén. [Tesis de Licenciatura. Universidad Privada del Norte]. <https://hdl.handle.net/11537/10105>
- Robiglio V, Baca M, Donovan J, Bunn C, Reyes M, Gonzáles D, Sánchez C. 2017. Impacto del cambio climático sobre la cadena de valor del café en el Perú. CCAFS report. Research Program on Climate Change (CGIAR), Agriculture and Food Security (CCAFS). <https://hdl.handle.net/10568/93345>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2015). Regionalización y caracterización de sequías en el Perú. <https://sigrid.cenepred.gob.pe/sigridv3/documento/1914>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2021a). Climas del Perú – Mapa de clasificación climática nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/load/file/01404SENA-4.pdf>
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú (SENAMHI). (2021b). Caracterización de sequías meteorológicas en el departamento de Puno, Perú. file:///C:/Users/sande/Downloads/Caracterizaci%C3%B3n-de-sequ%C3%ADas-meteorol%C3%B3gicas-en-el-departamento-de-Puno-Per%C3%BA_2021.pdf.
- Shiau, JT. Effects of Gamma-Distribution Variations on SPI-Based Stationary and Nonstationary Drought Analyses. *Water Resour Manage* 34, 2081–2095 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11269-020-02548-x>.

DEDICATORIA

A mi padre, quien me guió y me apoyó en esta etapa, quien fue el pilar fundamental para poder realizarme como profesional. A mi familia, quien me incentivó y me impulsó a seguir mi formación profesional, quienes siempre me motivaron a realizarme y a transformarme en un buen profesional.

Jholvin

Dedico a mis padres y hermanos, por su apoyo constante y esfuerzo brindado para lograr mi objetivo y estar presente en cada momento de mi vida.

Keli Rocio

AGRADECIMIENTO

A Dios por la vida, la salud y la fuerza que me brindó día a día para poder culminar mis estudios.

A mi familia por guiarme y acompañarme en el proceso de formación que me condujo a formarme como profesional y persona de bien.

A la MSc. Sonia Medina Díaz, por asesorarme y acompañarme a realizar el presente proyecto de investigación.

JHOLVIN GALLARDO CORDOVA

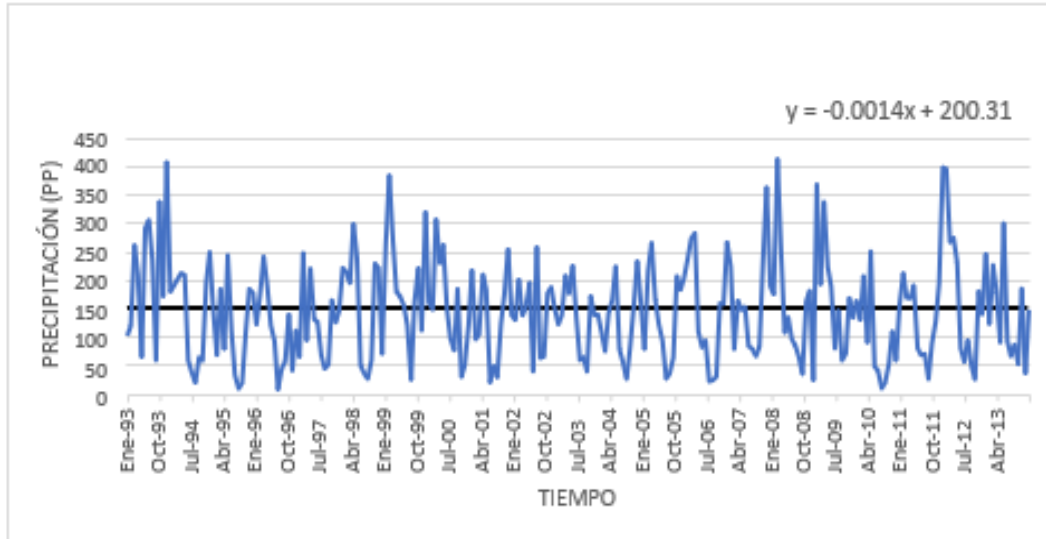
Agradezco a Dios por la vida, la salud y por permitirme culminar mis estudios exitosamente, a mi familia por guiarme por la senda del bien y apoyarme incondicionalmente a cumplir uno de mis objetivos anhelados.

A mis profesores y compañeros de estudio, por contribuir en mi formación académica ya mi asesora MSc. Sonia Medina Díaz por su apoyo constante para hacer posible la presente investigación.

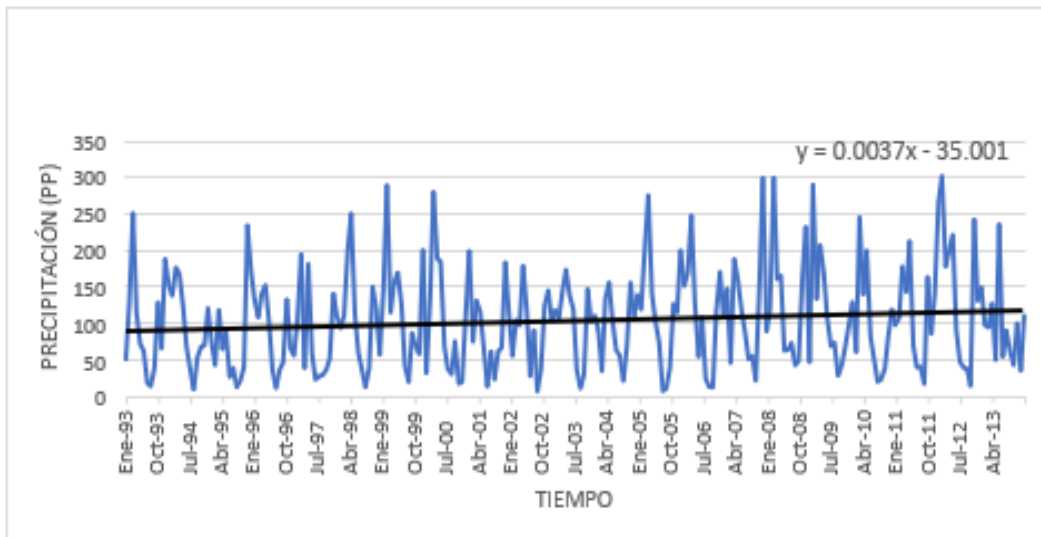
KELI ROCIO SILVA CASTRO

ANEXOS

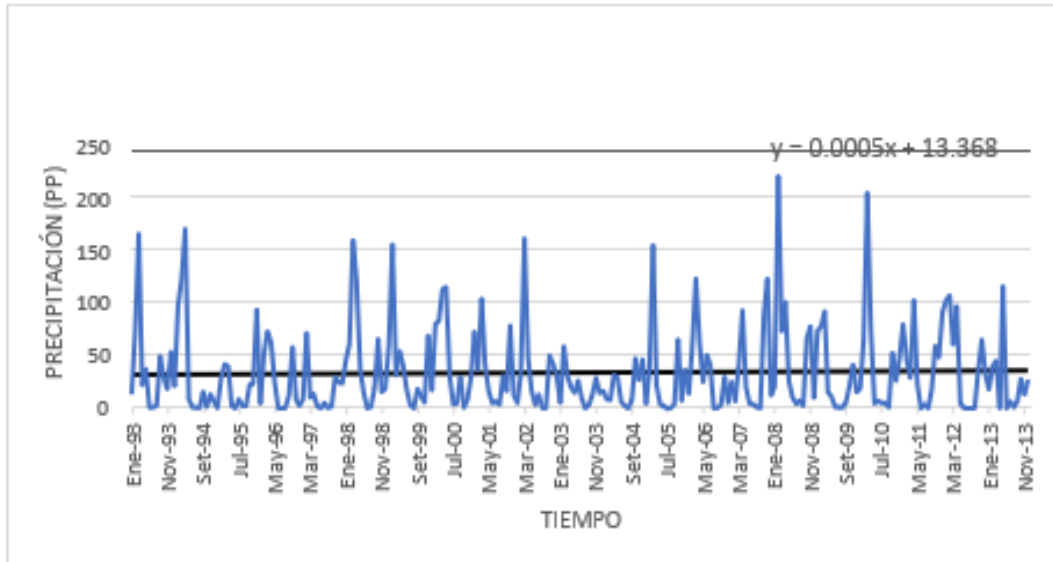
Anexo 1. Tendencia de precipitación estación meteorológica Cascarilla para el periodo 1993 – 2013.



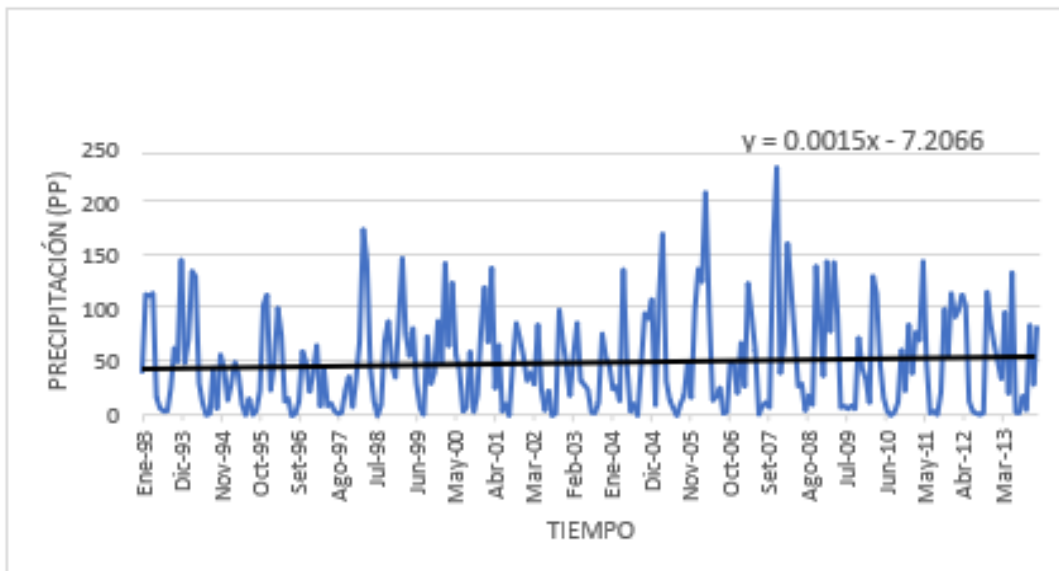
Anexo 2. Tendencia de precipitación estación meteorológica Chontali para el periodo 1993 – 2013.



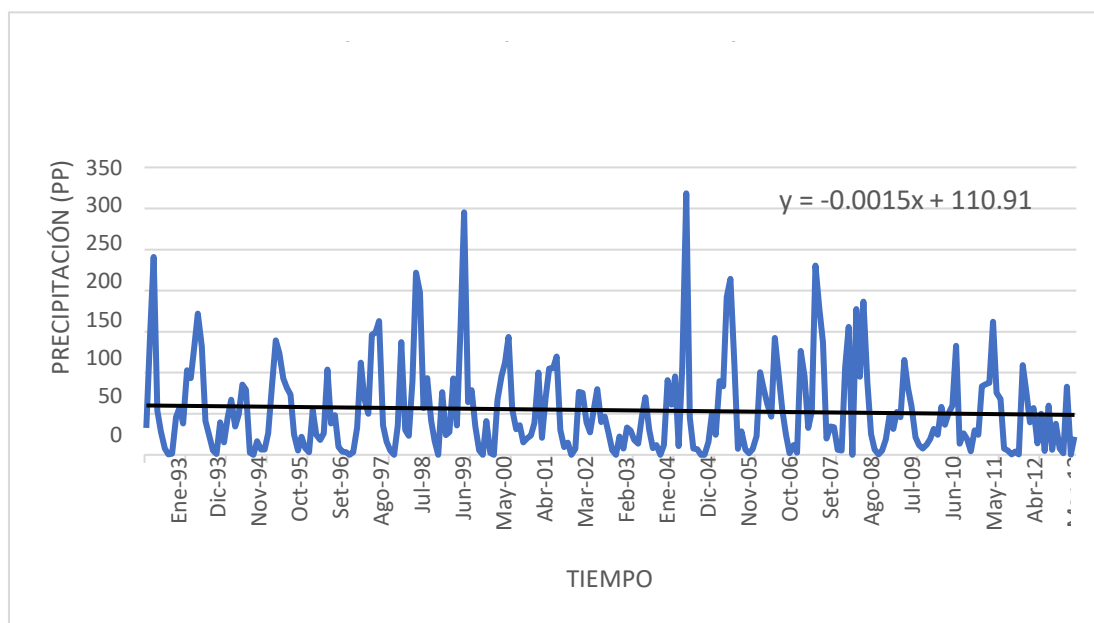
Anexo 3. Tendencia de precipitación estación meteorológica Pomahuaca para el periodo 1993 – 2013.



Anexo 4. Tendencia de precipitación estación meteorológica Pucara para el periodo 1993 – 2013.



Anexo 5. Tendencia de precipitación estación meteorológica Sallique para el periodo 1993 – 2013.



Anexo 6. Cuadro resumen de los índices mensuales SPI para el periodo 1993 – 2013.

SPI ESCALA TEMPORAL DE 12 MESES

Fecha	Cascarilla	Chontalí	Pomahuaca	Pucara	Sallique
Ene-93	-	-	-	-	-
Feb-93	-	-	-	-	-
Mar-93	-	-	-	-	-
Abr-93	-	-	-	-	-
May-93	-	-	-	-	-
Jun-93	-	-	-	-	-
Jul-93	-	-	-	-	-
Ago-93	-	-	-	-	-
Set-93	-	-	-	-	-
Oct-93	-	-	-	-	-
Nov-93	-	-	-	-	-
Dic-93	2.33	-0.59	0.58	0.65	0.65
Ene-94	2.53	-0.05	0.58	0.66	0.87
Feb-94	2.64	0	0.73	0.44	0.81
Mar-94	2.37	-0.33	0.51	0.57	0.49
Abr-94	2.34	-0.05	1.31	0.71	0.84
May-94	2.53	0.15	1.15	0.76	0.88
Jun-94	2.16	0.17	1.11	0.77	0.93
Jul-94	1.62	0.24	1.1	0.76	0.95
Ago-94	1.08	0.21	1.09	0.74	0.95
Set-94	1.08	0.27	0.92	0.82	0.92
Oct-94	0.33	0.02	0.81	0.52	0.77
Nov-94	0.47	0.02	0.8	0.57	0.84
Dic-94	-0.17	-0.3	0.54	-0.06	0.71
Ene-95	-0.32	-0.76	0.33	-0.28	0.31
Feb-95	-0.74	-1.25	-0.17	-0.52	-0.11
Mar-95	-0.73	-1.5	-0.89	-1.09	-0.49
Abr-95	-1.14	-2.08	-2.04	-1.91	-0.78
May-95	-1.01	-2.2	-2.2	-2.2	-1.01
Jun-95	-0.86	-2.28	-2.11	-2.23	-1.14
Jul-95	-0.88	-2.34	-1.98	-2.11	-1.09
Ago-95	-0.9	-2.31	-1.95	-2.12	-1.05
Set-95	-1.04	-2.54	-2.08	-2.41	-1.22
Oct-95	-0.95	-2.61	-1.97	-2.3	-1.22
Nov-95	-1.08	-2.11	-1.91	-1.87	-1.01
Dic-95	-1.25	-1.81	-1.19	-1.36	-0.63
Ene-96	-1.39	-1.41	-1.14	-1.23	-0.18
Feb-96	-0.98	-0.98	-0.81	-1.02	0.11
Mar-96	-0.72	-0.79	-0.55	-0.64	0.15

continua ...

Abr-96	-0.34	-0.32	-0.25	-0.4	0.13
May-96	-0.73	-0.27	-0.12	-0.43	0.23
Jun-96	-0.79	-0.2	-0.1	-0.31	0.26
Jul-96	-0.89	-0.35	-0.16	-0.42	0.27
Ago-96	-0.75	-0.25	-0.17	-0.42	0.28
Set-96	-0.61	-0.14	-0.08	-0.34	0.27
Oct-96	-0.56	0.26	0.14	-0.12	0.4
Nov-96	-1.2	-0.59	0.04	-0.46	0.11
Dic-96	-1.33	-1.25	-0.84	-1.19	-0.63
Ene-97	-1.61	-1.38	-0.81	-1.02	-1.41
Feb-97	-1.32	-0.84	-0.56	-0.84	-1.26
Mar-97	-1.77	-1.33	-1.19	-1.51	-1.35
Abr-97	-1.59	-1.14	-1.44	-1.84	-1.5
May-97	-1.52	-1.35	-1.75	-1.99	-1.6
Jun-97	-1.45	-1.31	-1.67	-1.96	-1.56
Jul-97	-1.26	-1.28	-1.59	-1.94	-1.73
Ago-97	-1.24	-1.32	-1.59	-1.95	-1.79
Set-97	-1.24	-1.39	-1.66	-1.95	-1.73
Oct-97	-1.27	-1.76	-2.16	-2.36	-2.01
Nov-97	-1.03	-1.72	-2.01	-2.51	-1.42
Dic-97	-0.82	-1.4	-2.08	-2.82	-1.2
Ene-98	-0.32	-1.44	-1.58	-2.75	-1.13
Feb-98	-0.44	-1.89	-1.56	-2.6	-0.78
Mar-98	-0.09	-0.88	-0.17	-1.1	-0.03
Abr-98	0.16	-0.5	0.6	-0.41	0.53
May-98	0.42	-0.24	0.78	-0.23	0.64
Jun-98	0.24	-0.06	0.84	-0.2	0.68
Jul-98	0.19	-0.04	0.8	-0.23	0.68
Ago-98	0.16	-0.12	0.81	-0.18	0.68
Set-98	0.18	-0.12	0.9	0.24	0.82
Oct-98	0.43	0.3	1.15	0.61	1.27
Nov-98	0.83	0.25	1.13	0.68	0.98
Dic-98	0.41	0.02	1.23	0.86	0.83
Ene-99	0.52	0.25	1.23	1.07	0.94
Feb-99	0.99	1.08	1.7	1.45	1.3
Mar-99	1.14	0.71	1.08	0.96	1.43
Abr-99	0.82	0.29	0.57	0.55	1.01
May-99	0.6	0.49	0.58	0.74	1.22
Jun-99	0.93	0.72	0.59	0.82	1.29
Jul-99	1.23	0.74	0.6	0.86	1.34
Ago-99	1.25	0.75	0.59	0.81	1.34
Set-99	1.51	0.95	0.6	0.81	1.47
Oct-99	1.67	0.62	0.28	0.5	1.08
Nov-99	1.5	0.45	0.22	0.46	1.12
Dic-99	1.87	1.23	0.59	0.77	1.52
Ene-00	1.59	0.58	0.23	0.52	1.19

continua ...

Feb-00	0.89	-0.18	-0.33	0.51	0.89
Mar-00	0.97	0.63	0.1	0.44	1.28
Abr-00	1.09	0.79	0.51	0.86	1.3
May-00	1.25	0.78	0.92	0.71	1.22
Jun-00	1.31	0.51	0.96	0.76	1.18
Jul-00	1.34	0.49	0.95	0.75	1.13
Ago-00	1.51	0.52	0.98	0.78	1.13
Set-00	1.55	0.48	1.04	0.69	0.98
Oct-00	1.18	0.27	1.03	0.55	0.93
Nov-00	1.11	0.12	1.08	0.44	0.85
Dic-00	0.27	-0.27	0.94	0.39	0.78
Ene-01	0.42	0.55	1.23	0.77	0.98
Feb-01	0.24	0.26	0.91	0.37	0.79
Mar-01	-0.36	-0.44	1.16	0.76	0.07
Abr-01	-0.4	-0.8	0.61	0.26	0.03
May-01	-0.65	-1.38	-0.06	0.29	-0.21
Jun-01	-1.08	-1.56	-0.22	0.05	-0.2
Jul-01	-1.28	-1.49	-0.19	0.09	-0.16
Ago-01	-1.44	-1.53	-0.2	0.04	-0.06
Set-01	-1.65	-1.62	-0.17	-0.01	-0.13
Oct-01	-1.23	-1.31	-0.09	0.46	0.04
Nov-01	-0.48	-0.69	0.39	0.76	0.54
Dic-01	-0.42	-0.68	0.26	0.64	0.32
Ene-02	-0.76	-1.52	-0.32	0.1	0.08
Feb-02	-0.41	-1.28	-0.3	-0.05	0.08
Mar-02	-0.26	-1.4	0.18	-0.73	-0.06
Abr-02	-0.41	-1.02	0.24	-0.34	0.28
May-02	-0.39	-0.75	0.21	-0.69	0.27
Jun-02	-0.32	-0.63	0.2	-0.65	0.14
Jul-02	0.34	-0.52	0.24	-0.57	0.13
Ago-02	0.46	-0.61	0.22	-0.58	0.03
Set-02	0.29	-0.73	0.04	-0.86	-0.04
Oct-02	0.34	-0.44	0.25	-0.8	0.13
Nov-02	0.15	-0.78	0	-0.81	0.01
Dic-02	0.09	-0.83	0.1	-0.93	0.09
Ene-03	0.03	-0.49	0.06	-1	-0.24
Feb-03	-0.18	-0.45	0.26	-0.82	-0.5
Mar-03	0.06	-0.16	-0.8	-0.41	-0.53
Abr-03	0.15	-0.17	-0.86	-0.77	-0.99
May-03	0.2	-0.1	-0.92	-0.81	-0.88
Jun-03	0.49	0.3	-0.68	-0.64	-0.74
Jul-03	-0.05	0.05	-0.7	-0.79	-0.82
Ago-03	-0.02	0.06	-0.7	-0.78	-0.82
Set-03	-0.1	0.02	-0.65	-0.67	-0.7
Oct-03	-0.12	0.13	-1.04	-0.85	-1.18
Nov-03	-0.3	-0.08	-1.2	-0.97	-1.55

continua ...

Dic-03	-0.37	0	-1.64	-1.04	-1.79
Ene-04	-0.45	-0.19	-1.49	-0.95	-1.98
Feb-04	-0.67	-0.54	-1.94	-1.12	-2.24
Mar-04	-0.83	-0.55	-2.39	-1.66	-2.24
Abr-04	-0.82	-0.62	-1.84	-0.89	-1.94
May-04	-0.83	-0.79	-1.73	-0.82	-2.05
Jun-04	-1.02	-0.99	-1.87	-0.93	-2.16
Jul-04	-1.06	-0.94	-1.93	-0.88	-2.14
Ago-04	-1.18	-0.89	-1.93	-0.91	-2.14
Set-04	-1.01	-0.72	-1.83	-0.61	-2.16
Oct-04	-1.18	-0.64	-1.58	-0.5	-1.62
Nov-04	-0.88	-0.78	-1.66	-0.26	-1.49
Dic-04	-0.76	-0.59	-1.57	0.11	-1.15
Ene-05	-0.91	-0.46	-1.7	0.01	-1.31
Feb-05	-0.42	0.42	-1.25	0.52	-0.6
Mar-05	0	1.06	0.05	1.3	0.87
Abr-05	0.02	1	0.02	0.85	0.76
May-05	-0.3	0.91	-0.19	0.65	0.65
Jun-05	-0.24	0.91	-0.21	0.65	0.63
Jul-05	-0.31	0.72	-0.22	0.59	0.58
Ago-05	-0.26	0.67	-0.21	0.65	0.58
Set-05	-0.31	0.56	-0.22	0.48	0.59
Oct-05	-0.15	0.43	-0.12	0.21	0.43
Nov-05	-0.35	0.54	-0.28	-0.23	0.26
Dic-05	-0.21	0.92	-0.46	-0.34	0.23
Ene-06	0.26	0.98	-0.4	0.45	0.53
Feb-06	0.41	0.8	-0.18	0.54	0.97
Mar-06	0.46	0.69	-0.43	0.73	0.47
Abr-06	0.31	0.65	-0.03	1.16	0.79
May-06	0.16	0.38	0.09	1.15	0.77
Jun-06	0.19	0.5	0.4	1.17	0.85
Jul-06	0.22	0.56	0.64	1.32	0.88
Ago-06	0.21	0.56	0.64	1.27	0.88
Set-06	0.11	0.45	0.63	1.16	0.84
Oct-06	-0.03	0.41	0.27	1.18	0.74
Nov-06	-0.12	0.76	0.42	1.34	1.12
Dic-06	0.03	0.38	0.2	0.98	1.15
Ene-07	-0.04	0.3	0.24	0.55	0.96
Feb-07	-0.7	-0.31	-0.14	0.01	0.25
Mar-07	-1.04	-0.57	-0.85	-0.51	-0.06
Abr-07	-0.86	-0.39	-0.43	-0.58	-0.12
May-07	-0.64	-0.1	-0.5	-0.32	0.11
Jun-07	-0.68	-0.16	-0.84	-0.41	0.09
Jul-07	-0.49	-0.07	-1.16	-0.53	0.06
Ago-07	-0.33	0.1	-1.16	-0.46	0.1
Set-07	-0.16	0.14	-1.12	-0.4	0.1

continua ...

Oct-07	0.12	0.29	-0.48	0.25	0.57
Nov-07	0.88	0.98	0.2	1.26	0.58
Dic-07	0.44	0.95	0.24	1.4	0.35
Ene-08	0.27	0.73	0.16	1.32	0.21
Feb-08	1.22	1.83	1.51	1.92	1.16
Mar-08	1.4	1.69	1.84	1.87	1.26
Abr-08	1.29	1.71	1.64	1.91	1.4
May-08	1.17	1.37	1.66	1.77	1.24
Jun-08	1.28	1.2	1.63	1.85	1.26
Jul-08	1.39	1.29	1.6	1.85	1.38
Ago-08	1.41	1.23	1.64	1.87	1.36
Set-08	1.26	1.34	1.64	1.82	1.35
Oct-08	1.19	1.34	1.64	1.77	1.33
Nov-08	0.71	1.34	1.45	1.1	1.64
Dic-08	0.01	1.23	1.61	1.12	1.62
Ene-09	0.59	1.88	1.83	1.44	2.06
Feb-09	-0.12	1.12	0.93	1.03	1.49
Mar-09	0.16	1.31	1.16	1.13	1.44
Abr-09	0.5	1.34	0.53	1.32	1.24
May-09	0.59	1.41	0.41	1.22	1.25
Jun-09	0.6	1.34	0.35	1.08	1.11
Jul-09	0.83	1.36	0.32	1.09	0.98
Ago-09	0.84	1.28	0.28	1.04	0.98
Set-09	0.93	1.28	0.31	0.99	1.02
Oct-09	1.07	0.9	0.01	0.65	0.81
Nov-09	1.04	0.46	-0.27	0.39	0.26
Dic-09	1.2	0.94	-0.31	0.38	0.54
Ene-10	0.49	-0.3	-0.83	-0.47	-0.29
Feb-10	0.51	0.28	-0.85	-0.1	-0.12
Mar-10	-0.23	-0.02	0.11	-0.27	-0.62
Abr-10	-0.12	0.14	0.51	-0.58	-0.77
May-10	-0.56	-0.01	0.45	-0.58	-0.79
Jun-10	-0.69	-0.06	0.48	-0.59	-0.73
Jul-10	-1.16	-0.32	0.5	-0.64	-0.71
Ago-10	-1.29	-0.35	0.52	-0.69	-0.67
Set-10	-1.34	-0.39	0.51	-0.61	-0.63
Oct-10	-1.72	-0.31	0.72	-0.71	-0.78
Nov-10	-2.25	-0.3	0.64	-0.86	-0.86
Dic-10	-2.01	-0.44	0.92	-0.54	-0.92
Ene-11	-1.74	-0.21	1.25	-0.34	-1.09
Feb-11	-1.87	-0.54	1.07	-0.65	-1.49
Mar-11	-1.45	-0.47	-0.08	-0.93	-1.43
Abr-11	-1.61	-0.38	0.17	-0.28	-0.91
May-11	-1.47	-0.46	0.26	-0.11	-0.95
Jun-11	-1.42	-0.47	0.22	-0.11	-0.84
Jul-11	-1.23	-0.41	0.21	-0.09	-0.79

continua ...

Ago-11	-1.19	-0.44	0.18	-0.11	-0.84
Set-11	-1.04	0.11	0.3	-0.03	-0.74
Oct-11	-1.08	0.14	0.35	0.19	-0.84
Nov-11	-0.61	0.27	0.5	0.38	-0.52
Dic-11	0.21	1.18	0.84	0.55	-0.42
Ene-12	0.74	1.94	0.93	0.81	-0.21
Feb-12	0.99	1.89	1.26	0.92	0.45
Mar-12	1.23	2.08	1.58	1.12	0.54
Abr-12	1.33	2.11	1.35	0.98	0.25
May-12	1.25	2.04	1.24	0.77	0.21
Jun-12	1.3	1.94	1.21	0.76	0.12
Jul-12	1.46	1.96	1.17	0.76	0.02
Ago-12	1.54	2.01	1.17	0.75	0.01
Set-12	1.36	1.51	1.08	0.63	-0.11
Oct-12	1.69	2	1.02	0.72	0.28
Nov-12	1.7	2.43	1.14	0.9	0.26
Dic-12	0.94	2.06	0.87	0.65	0
Ene-13	0.09	1	0.2	0.38	-0.28
Feb-13	-0.05	0.59	-0.29	0.02	-1.18
Mar-13	-0.32	0.27	-0.42	-0.06	-1.16
Abr-13	-0.74	-0.55	-1.12	-0.59	-1.56
May-13	-0.08	0.12	-0.24	0.15	-1.19
Jun-13	0.04	0.15	-0.22	0.15	-1.15
Jul-13	-0.01	0.35	-0.17	0.15	-0.94
Ago-13	0.13	0.44	-0.16	0.25	-0.92
Set-13	0.21	0.56	-0.1	0.27	-0.87
Oct-13	0.26	-0.03	-0.19	0.08	-1.1
Nov-13	-0.08	-0.57	-0.62	-0.27	-1.71
Dic-13	-0.47	-0.76	-0.81	-0.19	-2.04
