



Esta obra está bajo una [Licencia Creative Commons Atribución - 4.0 Internacional \(CC BY 4.0\)](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Vea una copia de esta licencia en <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/deed.es>





ESCUELA DE POSGRADO
UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN GESTIÓN AMBIENTAL

Tesis

Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, zona de Alto Mayo, región San Martín

Para optar el grado académico de Maestro en Gestión Ambiental

Autor:

Max Roland Lozano Chuquizuta
<https://orcid.org/0000-0002-1715-5960>

Asesor:

Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez
<https://orcid.org/0000-0001-9141-5372>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

**Impacto de la sequía meteorológica sobre la
producción del cultivo de café en el distrito de
Soritor, zona de Alto Mayo, región San Martín**

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Autor:

Max Roland Lozano Chuquizuta

<https://orcid.org/0000-0002-1715-5960>

Asesor:

Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez

<https://orcid.org/0000-0001-9141-5372>

Tarapoto, Perú

2024



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, zona de Alto Mayo, región San Martín

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

Autor:

Ing. Max Roland Lozano Chuquizuta

Sustentado y aprobado el 22 de febrero del 2024 ante el honorable jurado:

Presidente de Jurado
Dr. Manuel Ramírez Navarro

Secretario de Jurado
Dr. Enrique Navarro Ramírez

Vocal de Jurado
M.Sc. Tedy Castillo Díaz

Asesor
Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez

Tarapoto, Perú

2024



ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS

Los Miembros del Jurado que suscriben, reunidos para estudiar y escuchar la sustentación y defensa del Trabajo de Tesis, modo presencial, presentado por:

Bach. Max Roland Lozano Chuquizuta

Con el asesoramiento del Ing. Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez.

“Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, zona de Alto Mayo, región San Martín”

Teniendo en consideración los méritos del referido trabajo, así como los conocimientos demostrados por el sustentante, lo declaramos:

APROBADO
MUY BUENO (18)

Con el calificativo (*)

En consecuencia, queda en condición de ser considerado APTO por el Consejo Universitario y recibir el Grado Académico de Maestro, de conformidad con lo estipulado en el Artículo 30° del Reglamento de Tesis de la Escuela de Posgrado de la UNSM.

Tarapoto, 21 de febrero de 2024.

Ing. Dr. Manuel Ramirez Navarro
Presidente

Ing. Dr. Enrique Navarro Ramirez
Secretario

Ing. M.Sc. Tedy Castillo Diaz
Miembro

Ing. Dr. Jaime Walter Alvarado
Ramirez
Asesor

(*) De acuerdo con el Artículo 40° del Reglamento General de Ciencia, Tecnología e Innovación (RG - CTI) la Universidad Nacional de San Martín - Tarapoto, estas deberán ser calificadas con términos de: BUENO, MUY BUENO, EXCELENTE, también considerar la nota



ESCUELA DE POSGRADO

UNIDAD DE POSGRADO DE LA FACULTAD DE ECOLOGÍA
PROGRAMA DE MAESTRÍA EN CIENCIAS

Tesis

Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, zona de Alto Mayo, región San Martín

Para optar el grado académico de Maestro en Ciencias con mención en
Gestión Ambiental

El suscrito declaran que el presente trabajo de tesis, es original en su contenido y forma.



Max Roland Lozano Chuquizuta
Ejecutor



Dr. Jaime Walter Alvarado Ramirez
Asesor

Tarapoto, Perú

2024

Declaratoria de autenticidad

Max Roland Lozano Chuquizuta, con DNI N° 45296414, egresado de la Escuela de Posgrado de la Universidad Nacional de San Martín, Unidad de Posgrado de la Facultad de Ecología, Programa de Maestría en Ciencias con mención en Gestión Ambiental, con la tesis titulada: **“Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, zona del Alto Mayo, Región San Martín”**.

Declaro Bajo Juramento que:

1. La tesis presentada es de mi autoría.
2. La redacción fue realizada respetando las citas y referencias de las fuentes bibliográficas consultadas.
3. Toda información que contiene la tesis no ha sido plagiada.
4. Los datos presentados en los resultados son reales, no han sido alterados copiados, por tanto, la información de esta investigación debe ser considerado como aporte a la realidad investigada.

Por lo antes mencionado, asumo bajo responsabilidad las consecuencias que deriven de mi accionar, sometiéndome a las leyes de nuestro país y normas vigentes de la universidad Nacional de San Martín.

Tarapoto, 22 de febrero de 2024



Max Roland Lozano Chuquizuta

DNI: 45296414

Ficha de identificación

Título del proyecto Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café, en el distrito de Soritor, zona del Alto Mayo, región San Martín	Área de investigación: Cambio climático Línea de investigación: Adecuación para el manejo y la conservación debido al cambio climático Sublínea de investigación: Agroecología Grupo de investigación Agrometeorología Tipo de investigación: Básica <input checked="" type="checkbox"/> , Aplicada <input type="checkbox"/> , Desarrollo experimental <input type="checkbox"/>
Autor: Ing. Max Roland Lozano Chuquizuta	Facultad de Ecología Escuela de Posgrado https://orcid.org/0000-0002-1715-5960
Asesor: Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez	Dependencia local de soporte: Facultad de Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Agronomía Unidad o Laboratorio Agronomía https://orcid.org/0000-0001-9141-5372

Dedicatoria

A mi madre, Gilma Chuquizuta Alegría, quien desde el primer día de mi existencia me viene brindado su apoyo incondicional, y que con su ejemplo me ha dado lecciones de perseverancia y superación.

A mi esposa, Marleny Sánchez Aguilar, por su cariño, constancia y dedicación; quien nos da el soporte para comenzar cada mañana.

A mis hijos, Thiago Maximiliano, Meryam Caetana y Marcya Itzel, mi motivación constante para seguir dando lo mejor mi cada día, en este juego llamado vida.

Agradecimiento

Al Dr. Jaime Walter Alvarado Ramírez, un gran amigo, que sin egoísmo comparte su vasto conocimiento con quien lo requiere, de esos fanáticos de la investigación, que hoy quedan pocos.

Al Ing. Christian Tello Llamuja, por su valioso apoyo en la elaboración del script en R para la determinación de los índices de precipitación estandarizada, y la interpretación de los resultados.

A la Ing. Samy Falcón Cáceres, por su importante apoyo en el modelamiento numérico climático de las precipitaciones en el distrito de Soritor, en base a la información de superficie observada.

Índice general

	Pág.
Ficha de identificación	07
Dedicatoria	08
Agradecimiento	09
Índice general	10
Índice de tablas	12
Índice de figuras	13
RESUMEN	15
ABSTRACT	16
CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN	17
CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO	20
2.1 Antecedentes de la investigación	20
2.2 Fundamentos teóricos	24
2.2.1 Sequías	24
2.2.2 Escenarios de cambio climático	30
2.2.3 Requerimientos agroclimáticos del café	32
2.2.4 Fenología del cultivo del café	34
2.2.5 Producción nacional y comercio exterior del café	36
2.2.6 Consecuencias del cambio climático en la agricultura y en el cultivo del café	37
CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS	40
3.1 Ámbito y condiciones de la investigación	40
3.1.1 Contexto de la investigación	40
3.1.2 Período de ejecución	40
3.2 Sistema de variables	41
3.2.1 Variables principales	41
3.3 Procedimientos de la investigación	42
3.3.1 Análisis de las sequías meteorológicas en el distrito de Soritor, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) en el periodo 2000-2022	43
3.3.2 Evaluación de la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor en el periodo 2001-2022	44
3.3.3 Determinación de la correlación entre las sequías meteorológicas y la producción del cultivo de café	45

CAPÍTULO IV: RESULTADOS Y DISCUSIÓN	46
4.1 Sequías meteorológicas en el distrito de Soritor, región San Martín	46
4.1.1 Análisis de la precipitación en Soritor del periodo 2000 al 2022 y los escenarios climáticos al 2099	46
4.1.2 Análisis de Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) en Soritor del periodo 2000 al 2022 y los escenarios climáticos al 2099	48
4.2 Producción del cultivo de café en el distrito de Soritor	58
4.2.1 Áreas de cultivo de café en Soritor de la serie 2001-2022	58
4.2.2 Rendimiento del cultivo de café en Soritor de la serie 2001-2022	59
4.2.3 Fenología del cultivo de café en Soritor de la serie 2001-2022	61
4.3 Relación entre las sequías meteorológicas y la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, región San Martín	64
4.3.1 Relación entre la precipitación y los rendimientos de café por año	64
4.3.2 Relación entre el SPI y los rendimientos mensuales de café	68
CONCLUSIONES	75
RECOMENDACIONES	76
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	77
ANEXOS	81

Índice de tablas

Tabla 1 Valores del Índice de Precipitación Estandarizado	29
Tabla 2 Probabilidad de recurrencia de eventos de sequía	29
Tabla 3 Calendario agrícola en San Martín	35
Tabla 4 Producción regional de café en grano verde	37
Tabla 5 Descripción de variables por objetivo específico	41
Tabla 6 Resumen de comportamiento de eventos de sequía en diferentes periodos de SPI en Soritor del periodo 2000 al 2022	51
Tabla 7 Resumen de comportamiento de eventos de sequía en diferentes periodos de SPI multiensamble RCP 4.5 en Soritor del periodo 2023 al 2099	54
Tabla 8 Resumen de comportamiento de eventos de sequía en diferentes periodos de SPI multiensamble RCP 8.5 en Soritor del periodo 2023 al 2099	57
Tabla 9 Indicadores de correlación entre precipitación anual y rendimientos	65
Tabla 10 Indicadores de correlación entre la precipitación con los rendimientos anuales con desfase de un año	67
Tabla 11 Indicadores de correlación entre SPI 3 meses con las cosechas mensuales	69
Tabla 12 Indicadores de correlación entre SPI 6 meses con las cosechas mensuales	71
Tabla 13 Indicadores de correlación entre SPI 12 meses con las cosechas mensuales	73

Índice de figuras

Figura 1	Cadena de eventos de sequía y sus impactos para tipos de sequías	27
Figura 2	Escenarios de forzamiento radiativo para las trayectorias RCP y concentraciones de CO ₂ equivalente al 2100	31
Figura 3	Fases fenológicas del cultivo de café	35
Figura 4	Ubicación geográfica del distrito de Soritor	40
Figura 5	Ubicación geográfica de la parcela de observación de café en Soritor	45
Figura 6	Distribución multianual de la precipitación en Soritor	46
Figura 7	Ensamble de modelos para escenarios climáticos del 2023 al 2099	47
Figura 8	Comportamiento de la precipitación en Soritor del año 2000 al 2099	48
Figura 9	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 3 meses de la serie 2000-2022	49
Figura 10	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 6 meses de la serie 2000-2022	50
Figura 11	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 12 meses de la serie 2000-2022	51
Figura 12	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 3 meses de la serie 2023-2099, RCP4.5	52
Figura 13	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 6 meses de la serie 2023-2099, RCP4.5	53
Figura 14	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 12 meses de la serie 2023-2099, RCP4.5	54
Figura 15	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 3 meses de la serie 2023-2099, RCP8.5	55
Figura 16	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 6 meses de la serie 2023-2099, RCP8.5	56
Figura 17	Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 12 meses de la serie 2023-2099, RCP8.5	57
Figura 18	Áreas sembradas de café en el distrito de Soritor por año	58

Figura 19 Incremento de áreas de siembra en Soritor por año	59
Figura 20 Rendimiento de café en Qq/Ha en el distrito de Soritor	60
Figura 21 Periodos de cosecha del cultivo de café en el distrito de Soritor	61
Figura 22 Frecuencia en la ocurrencia de la hinchazón de yemas	62
Figura 23 Frecuencia en la ocurrencia del botón floral	62
Figura 24 Frecuencia en la ocurrencia de la floración	63
Figura 25 Frecuencia en la ocurrencia de la fructificación	63
Figura 26 Frecuencia en la ocurrencia de la maduración	64
Figura 27 Relación entre la precipitación con los rendimientos anuales	64
Figura 28 Distribución del coeficiente de correlación entre precipitación anual y rendimientos	66
Figura 29 Relación entre la precipitación con los rendimientos anuales con desfase de un año	66
Figura 30 Distribución del coeficiente de correlación con un año de desfase	68
Figura 31 Relación entre SPI 3 meses con las cosechas mensuales	68
Figura 32 Distribución del coeficiente de correlación entre rendimientos mensuales con SPI 3	70
Figura 33 Relación entre SPI 6 meses con las cosechas mensuales	70
Figura 34 Distribución del coeficiente de correlación entre rendimientos mensuales con SPI 6	72
Figura 35 Relación entre SPI 12 meses con las cosechas mensuales	72
Figura 36 Distribución del coeficiente de correlación entre rendimientos mensuales con SPI 12	74

RESUMEN

Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café, en el distrito de Soritor, zona del Alto Mayo, región San Martín

Las sequías son eventos hidrometeorológicos extremos, cuyos efectos son devastadores para la economía local, afectando principalmente a los cultivos, como el café, cuyos rendimientos dependen en gran parte de la frecuencia y cantidad de precipitaciones en un ciclo de producción; el objetivo de la investigación fue determinar el impacto de las sequías meteorológicas sobre la producción *del Coffea arabica* L. (café) en los cultivos ubicados en el distrito de Soritor, en la región San Martín. Para ello se utilizó el método de Índice Estandarizado de Precipitación (SPI por sus siglas en inglés), en el análisis de las sequías en el período 2000 al 2022, y la proyección de los modelos climáticos al 2099, paralelo a ello, se analizó la data de áreas de cultivo, rendimiento y fenología del café en el distrito de Soritor del período de 2001 al 2022, posteriormente se correlacionó dichas variables para obtener los resultados; en el periodo de estudio, se presentaron 6 sequías meteorológicas bajo el estudio de SPI12, asimismo, existen 1767 hectáreas de café en producción con un producto promedio de 15,86 qq/ha, finalmente existe una baja correlación entre las sequías meteorológicas y la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor.

Palabras clave: SPI, fenología, rendimiento, años extremadamente secos, modelos numéricos.

ABSTRACT

Impact of the meteorological drought on the production of coffee crops, in the district of Soritor, Alto Mayo area, San Martín región

Droughts are extreme hydrometeorological events, whose effects are devastating for the local economy, affecting mainly crops such as coffee, which yields depend largely on the frequency and amount of rainfall in a production cycle. The purpose of the research was to determine the impact of meteorological droughts on the production of *Coffea arabica* L. (coffee) in crops located in the district of Soritor, in the San Martín region. The Standardized Precipitation Index (SPI) method was used to analyze droughts during the period 2000 to 2022, and the projection of climate models to 2099. In parallel to this, the data of cultivation areas, yield and phenology of coffee in the district of Soritor from 2001 to 2022 were analyzed. Subsequently these variables were correlated to obtain the following results: during the study period, 6 meteorological droughts occurred under the SPI12 study, and there are 1767 hectares of coffee in production with an average yield of 15.86 qq/ha. Finally, there is a low correlation between meteorological droughts and coffee crop production in the Soritor district.

Keywords: SPI, phenology, yield, extremely dry years, numerical model.



CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN A LA INVESTIGACIÓN

La escasez de precipitaciones en una zona y en un tiempo establecido, constituye un proceso hidrológico extremo, denominado “sequía”; sin excepción, todos los lugares del planeta están sujetos a la eventual ocurrencia de estos fenómenos, incluso las áreas típicamente lluviosas (Dracup et al., 1980).

El impacto de la sequía, un desastre hidrometeorológico, en la actividad agrícola, el bienestar social y la soberanía alimentaria es significativo. Este fenómeno climático da origen a numerosos problemas relacionados con el desarrollo productivo de territorios y regiones, ya que se caracteriza por una escasez de precipitaciones que pueden alcanzar niveles extremos, resultando en un desafío económico sustancial (Cerón, Escobar, & Montoya, 2015).

Durante el período comprendido entre 2000 y 2010, se documentaron un total de 163 casos de sequía en todo el país, siendo la vertiente del Pacífico la que experimentó las ocurrencias más severas, seguida por la pendiente del lago Titicaca y la vertiente del Atlántico. El año 2011 fue testigo de una serie de sequías que afectaron significativamente a varias regiones, entre ellas Cajamarca, Arequipa, Piura, Lambayeque, La Libertad, Moquegua, Lima, Tacna, Huánuco, San Martín, Puno y Junín, según informó SENAMHI en 2015. Estos eventos provocaron la pérdida de cultivos, la muerte de ganado, la propagación de plagas y enfermedades, afectando de manera principal a agricultores pequeños y poblaciones urbanas, así como la disenso de la producción de energía eléctrica.

La producción de café en el Perú enfrenta una amenaza debido al impacto del cambio climático. Los patrones climáticos cambiantes, caracterizados por precipitaciones concentradas en un período de tiempo más corto y fluctuaciones repentinas de temperatura, tienen efectos perjudiciales sobre la producción de cereales. Además, la continua y cada vez más grave escasez de agua plantea otro desafío, resultando en un decaimiento de la producción de cafeto y una baja de su calidad. Esta escasez conduce a una floración inadecuada de las plantaciones y a la producción de cerezas de tamaño insuficiente y con pieles muy adheridas, lo que hace que el proceso de despulpado sea más desafiante (D'Aremey, 2015).

San Martín, como región, no está exenta a este tipo de fenómenos, recordemos el déficit de precipitaciones registrado entre octubre del 2009 y enero del 2010, lo cual afectó severamente a los cultivos y fue reportado por el SENAMHI a través de boletines; así también en el año 2016 se presentó un evento similar, afectando a cultivos de exportación como el cacao, en palabras del Gerente de ACOPAGRO se perdió alrededor de 3.5 millones de dólares, en desmedro principalmente de los campesinos (Nota de Prensa RPP, 2016).

La gran mayoría de los cultivos se desarrollan bajo el sistema de secano, y con escasa tecnología de producción, incrementado de esta manera la vulnerabilidad ante los fenómenos extremos del clima. Esta situación es preocupante toda vez que los escenarios climáticos, predicen para los próximos años, el incremento en la periodicidad y la fuerza de eventos meteorológicos excesivos, agudizando la problemática ambiental con impactos principalmente en las actividades más vulnerables, entre ellos, la agricultura.

El cultivo de café, se desarrolla principalmente en la zona del Alto Mayo, siendo afectados por periodos secos, cuyas repercusiones no siempre se ven de manera inmediata, sino que afectan la calidad y rendimiento del producto. Sin duda alguna, hablar de las sequías, es hablar de un fenómeno que afecta la agricultura en nuestra región, por ello el estudio de los impactos que genera en el cafeto, específicamente en la localidad de Soritor, resulta importante para el desarrollo agrario de nuestra región, siendo su análisis e interpretación una herramienta para su entendimiento y predicción.

En la región San Martín, se conoce muy poco sobre las sequías, ya que no se han desarrollado estudios a profundidad de su ocurrencia, por ser un evento hidrometeorológico silencioso, sin embargo, sus efectos son notorios posterior a su paso, afectando principalmente a los cultivos que se desarrollan bajo el sistema secano, entre ellos el café, que es un producto muy difundido en la zona y se exporta al mundo, se desarrolla bajo el sistema de riego en secano, principalmente, razón por la cual se vuelve vulnerable ante las sequías, siendo necesario la valoración del impacto.

La presente investigación tuvo las siguientes hipótesis:

H₁: Las sequías meteorológicas impactan significativamente sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, región San Martín

H₀: Las sequías meteorológicas no impactan significativamente sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, región San Martín

Además, la presente investigación fue trabajada bajo los siguientes objetivos:

Objetivo general

Determinar el impacto de las sequías meteorológicas sobre la producción del café (*Coffea arabica* L.) en el distrito de Soritor, región San Martín

Objetivos específicos

- Analizar las sequías meteorológicas en la localidad de Soritor, región San Martín, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) en el período 2000 - 2022 y los escenarios climáticos de precipitaciones mediante modelos numéricos al 2099.
- Evaluar la producción del cultivo de cafeto (*Coffea arabica* L.) en el distrito de Soritor, región San Martín, en el período 2001-2022.
- Determinar la relación entre las sequías meteorológicas y la producción del cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en el distrito de Soritor, región San Martín.

CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la investigación

En su exhaustiva revisión bibliográfica llamada "Efectos del cambio climático en las fincas cafetaleras: un enfoque en el Perú", Morales et al., (2021) descubrieron que el clima fluctuante ha tenido un impacto perjudicial en los cultivos de café. Una de las principales consecuencias ha sido el ingreso de enfermedades, como la roya, que provocó una merma significativa en la producción de café de 109.500 toneladas (Tm) en 2013 y 2014. Esta disminución afectó específicamente a la variedad típica. Como resultado, las familias cafetaleras tuvieron que acoplarse a la presencia de la roya implementando nuevas parcelas de café en altitudes mayores, específicamente por arriba de los 1500 m.s.n.m.m. Además, el precio del café se ha vuelto cada vez más inestable, cayendo de S/ 6,34 a S/ 4,88 por kg durante el período 2013-2014. En respuesta a estos desafíos, el gobierno peruano ha fomentado activamente el cultivo de la variedad de café catimor entre 2014 y 2018, lo que llevó a un aumento significativo de 79.758 hectáreas destinadas a la siembra de café.

Saavedra (2020) en su investigación "Impacto del cambio climático en la producción de granos de café en sistemas agroforestales en el caserío San Vicente, 2018", concluyó que el 19% de los cafetales presentaron una vulnerabilidad baja y pueden ajustarse al cambio climático sin riesgo inmediato. Por otro lado, el 82% de las plantaciones tuvieron una vulnerabilidad regular pero aún poseen la capacidad de ajustarse al cambio climático. También señala que hay una frágil correlación lineal negativa entre la temperatura, la precipitación y la humedad relativa como factores ambientales. Sin embargo, los datos revelan una correlación lineal positiva débil. Finalmente, en el caserío San Vicente, las secuelas de la modificación del clima en la producción de café, se traduce en una fragilidad regular con una sobria capacidad de acomodación y un riesgo de plazo mediano.

Sulca (2020), en su tesis "Patrones océano - atmosféricos y teleconexiones asociadas a las sequías meteorológicas extremas en la Sierra Sur del Perú", examinó los mecanismos y teleconexiones océano-atmosférico que contribuyen a las sequías meteorológicas muy fuertes en la región sur de la Sierra del Perú (SSP) durante el verano en el hemisferio sur (enero-marzo). Para categorizar estos eventos, utilizó la

metodología SPI. Además, empleó correlaciones de espacio-tiempo para conocer la variabilidad del clima y las teleconexiones asociadas con extremos secos. Por último, analizó la dinámica troposférica utilizando datos de estaciones climatológicas convencionales del SENAMHI, información climática del reanálisis y datos de temperatura de la superficie del mar. Este análisis abarcó el período de 1980 a 2019. En los veranos de 1983, 1990 y 1992, el SSP experimentó condiciones muy áridas, con un déficit que excedió el 46% de los niveles habituales de precipitación. Este estudio también observó estabilidad, convergencia y divergencia atmosférica en la troposfera superior e inferior, junto con una escasez de humedad en la región SSP.

Pérez et al., (2019) desarrollaron el trabajo “Impactos de la sequía en el café: integrando procesos fisiológicos y morfológicos desde la hoja hasta la escala de toda la planta”, presentado en el I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales, mencionan que el déficit hídrico adquiere una consecuencia negativa en el crecimiento de los vegetales a través de transformaciones morfo-fisiológicas. El objetivo fue examinar la interacción entre los sesgos ecofisiológicos y la arquitectura del dosel en dos cultivares de cafetos diferentes: RUBI-MG1192 (Rubi) e IAPAR59 (I59). Rubi es conocido por su sensibilidad a la sequía, mientras que el I59 es más tolerante. La investigación duró dos años e involucró tres tratamientos de riego, con seis muestreos y entre 7 y 10 plantas por tratamiento. En particular, I59 demostró la capacidad de retener sus hojas durante la sequía, lo que indica un mayor nivel de rasgos de funcionamiento del agua isohídrico y plástico, así como una adaptación temprana a las condiciones de sequía. Por otro lado, Rubi exhibió desprendimiento de hojas y mostró rasgos más anishídricos y plásticos en respuesta a la sequía tardía. Estos hallazgos sugieren que la resiliencia de los cafetos frente a sucesos climáticos depende de la alineación de peculiaridades morfofisiológicas y organomorfológicas. En consecuencia, estos rasgos cruciales se deben tener en consideración en los esquemas de mejoramiento del café.

Vega (2018) en su investigación “Variabilidad espacio-temporal de las sequías en el Perú y el peligro asociado al Fenómeno del Niño”, De 1970 a 2014 se realizó un examen de las variaciones, características y patrones de las sequías en Perú, así como de los riesgos asociados al ENSO (El Niño-Oscilación del Sur). Los hallazgos revelan que la inestabilidad temporal y espacial de las sequías se puede clasificar en ocho regiones distintas, cada una de las cuales posee características únicas. En particular, hay una notable escalada de sequías en la pendiente de lago Titicaca,

acompañada de una mayor intensidad y gravedad de las sequías en la parte superior de la pendiente del Amazonas. Por el contrario, la vertiente del Pacífico norte muestra una tendencia hacia una duración más corta y una menor gravedad de las sequías. En un estudio exhaustivo que abarcó diez años, de 1970 a 2010, se observó que el número de meses de sequía disminuyó en todas las regiones durante la década más reciente de 2000 a 2010, comparándose con anteriores décadas. Además, se establecieron conexiones notables entre la serie regional IPE y varios índices oceánicos-atmosféricos, incluidos E, C, TPI y SOI. Por último, una estimación del riesgo de sequía durante ENSO reveló una escalada en la probabilidad de sequías en la región sur de la pendiente del Pacífico, la pendiente del Titicaca y las regiones norte y sur de la pendiente del Amazonas cuando singularidades positivas del Índice del Niño Oceánico (ONI) estuvieron presentes.

Figuroa y Figuroa (2018) realizaron la pesquisa denominada “Cambio climático y producción del café en el Valle de la Convención, Cusco”, donde recopilaron información sobre lluvias líquidas y temperaturas multianuales, que son variables claves del cambio climático, junto con información sobre los rendimientos de café en el Valle de la Convención. Los hallazgos de estos investigadores revelaron que entre 2000 y 2016 se produjo un acrecimiento gradual de la temperatura, con un aumento promedio anual de aproximadamente $0,05^{\circ}\text{C}$. La temperatura media anual más alta que se registró durante este período fue de $25,75^{\circ}\text{C}$. En cuanto a las precipitaciones, hubo una disminución notable, comenzando con 1134 mm en 2000 y disminuyendo a 860 mm en 2016. Sin embargo, observaron un aumento de las precipitaciones en 2011, coincidiendo con un aumento en los rendimientos de cafeto ese año. Finalmente, los autores establecieron una correlación significativa entre la variación del clima y la producción de este grano en la provincia de La Convención. Concluyeron que la producción de café ha experimentado una disminución significativa, resultando en una pérdida anual de 385 toneladas. Si esta tendencia continúa, la producción de este cultivo de exportación podría extinguirse para el año 2083.

Gálvez (2017) en su tesis “Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro”, analizó datos de 1970 a 2010, junto con fichas de precipitación proyectados para el período 2030-2070 basados en seis contextos diferentes de cambio climático. La metodología de investigación incluyó la aplicación de métodos e índices estadísticos grandemente aceptados, como el método de vectores regionales para crear regiones homogéneas,

el índice de precipitación estandarizado (SPI) para determinar las características de la sequía y la prueba de Mann-Kendall para valorar las tendencias de la sequía. Los hallazgos revelaron que la cuenca del río Mantaro se puede dividir en 04 regiones distintas según la variabilidad interanual de las sequías. A corto plazo (2030-2033), la región 2 experimentó una mayor cantidad de incidentes de sequía en comparación con otras regiones. La Región 4 experimentó un aumento en la duración, intensidad, severidad y probabilidad de eventos de sequía extrema. Al considerar la perspectiva de largo plazo (IPE-12), la región 1 tuvo la mayor cantidad de incidentes, la región 2 tuvo eventos de mayor duración y la región 4 exhibió mayores características, consistentes con el comportamiento de corto plazo. Sin embargo, no hubo tendencias notables en la aparición de sequías de corta duración. En el extenso plazo, sólo la región 2 mostró una propensión al alza en la frecuencia de sucesos secos.

Guzmán (2013) al ejecutar la “Evaluación del impacto del cambio climático en el cultivo de café en la cuenca alta del río Sisa – provincia de Lamas y El Dorado, región San Martín”, realizó una estimación de los impactos de la modificación del clima en la distribución local del café y proyectó su distribución futura hasta 2050 bajo el contexto B2AI. Además, Guzmán también examinó la percepción de los cafetaleros sobre el impacto del cambio climático sobre el cultivo del cafeto. Los datos recopilados revelaron un aumento constante de la temperatura y una reducción de las precipitaciones en los últimos cinco años, junto con un cambio en el momento de las precipitaciones. Estas condiciones afectan directamente la fenología de los cultivos de café, influyendo en última instancia tanto en la producción como en la calidad de los granos de café. A partir de los datos analizados se ha determinado que la temperatura máxima proyectada para el año 2050 oscilará entre 1,0 y 1,2 °C, mientras que la temperatura mínima oscilará entre 1,7 y 1,8 °C. Además, se espera un aumento de las precipitaciones, con un rango de 24 a 61 mm anuales. Los modelos utilizados en esta evaluación sugieren que la altitud ideal para el cultivo de café sería entre 1.600 y 2.500 m.s.n.m. Concluyó que los cambios previstos en los contextos climáticos dentro de la cuenca alta del río Sisa para 2050 crearán condiciones favorables para la expansión del cultivo de café, lo que podría conducir a alteraciones en el uso de la tierra, como la deforestación.

2.2. Fundamentos teóricos

2.2.1 Sequías

Las sequías se manifiestan como una insuficiencia prolongada de precipitaciones, que se acumulan durante una etapa extensa. Son una característica predominante de los climas globales, capaces de ocurrir como una irregularidad dentro de cualquier tipo de sistema climático, ya sea árido o húmedo. Los factores distintivos de las sequías incluyen su intensidad, ocurrencia geográfica, duración y progresión temporal, lo que las convierte en uno de los fenómenos más caprichosos de la Tierra (OMM, 2012).

La definición de sequía, comúnmente usada es “deficiencia de precipitaciones durante un período de tiempo relativamente prolongado”. Sin embargo, la cuantificación y el tiempo expresados en la definición de “deficiencia” difieren mucho según la zona geográfica, lo que nos lleva a denominarlas definiciones conceptuales. Por otro lado, cuando se especifican el inicio, el final y la intensidad específicos de la sequía, utilizamos el término definiciones operativas (Marcos, 2001).

(ONU, 1994), hace mención que la sequía se define como un fenómeno natural resultante de una reducción significativa de los niveles de lluvia, lo que conduce a un grave desequilibrio hídrico que impacta negativamente en los sistemas de producción de recursos terrestres.

En su estudio, Wilhite y Glantz (1985) identificaron más de 160 definiciones de sequía, que clasificaron en cuatro categorías según el campo científico utilizado para analizar el fenómeno sequías: meteorológica, hidrológica, agrícola y socioeconómica. El orden de estas categorías se puede observar en la Figura 1.

Sequía meteorológica

Fenómeno natural que suele caracterizarse por una disminución de las precipitaciones durante un lapso de tiempo específico. El umbral específico, como el 75% de la precipitación histórica, y la duración, como seis meses, diferirán según la ubicación y los requisitos de los usuarios y sus acciones. Las causas de la sequía meteorológica varían mucho según la región (OMM, 2012).

La sequía, según lo determinado por los datos climáticos, se caracteriza por una desviación en la precipitación del promedio durante un período de tiempo específico.

Debido a los desafíos asociados con el establecimiento de umbrales consistentes para los déficits de lluvia en diferentes regiones, algunos conceptos de sequía optan por no especificar criterios fijos (Marcos, 2001).

Palmer (1965), lo precisa como el “intervalo de tiempo, generalmente con una duración del orden de meses o años, durante el cual el aporte de humedad en un determinado lugar cae consistentemente por debajo de lo climatológicamente esperado o del aporte de humedad climatológicamente apropiado”.

Sequía agrícola

Este tipo de sequía se caracteriza típicamente por la insuficiencia del agua del suelo para el sustento de las plantaciones y el desarrollo de especies de forrajes. Alternativamente, puede describirse como un desvío de los patrones de lluvias típicos durante un tiempo específico (OMM, 2012).

Tiene un impacto significativo en la agricultura, ya que es el sector inicial que sufre la disminución de las precipitaciones. En consecuencia, esta sequía surge cuando el suelo carece de humedad suficiente para sustentar el crecimiento de una siembra específica durante cualquier etapa de su desarrollo. A diferencia de la sequía meteorológica, que está influenciada únicamente por las condiciones climáticas, la sequía agrícola también está influenciada por las propiedades biológicas del cultivo y las características del suelo (Marcos, 2001).

Sequía hidrológica

La sequía hidrológica, a diferencia de su contraparte agrícola, no está determinada únicamente por un déficit de precipitaciones. Más bien, se define por la variación en los patrones de salida de agua tanto en la superficie como en el subsuelo, con referencia a valores promedio en diferentes momentos en el tiempo. Esta distinción es importante porque la cantidad de lluvia no se correlaciona directamente con la disponibilidad de agua en lagos, embalses, acuíferos y ríos. Estos elementos del sistema hidrológico sirven para varios propósitos, incluido el riego, el turismo, el control de inundaciones, el transporte, la producción de energía hidroeléctrica, el suministro de agua a las viviendas, el cuidado de especies en peligro de extinción y la gestión y preservación del ambiente y los demás ecosistemas (OMM, 2012).

A diferencia de las sequías anteriores, la sequía hidrológica se refiere específicamente

a una escasez en el flujo o cantidad de aguas de la superficie o del subsuelo, como ríos, embalses y lagos. Es importante señalar que las medidas hidrológicas no pueden considerarse un indicador del comienzo de la sequía, sino más bien de su gravedad, ya que puede haber una diferencia entre la disminución de las precipitaciones o las nevadas y el descenso del caudal de los ríos o los niveles de los lagos. De hecho, es posible que la sequía hidrológica ni siquiera se produzca si las lluvias regresan lo suficientemente rápido. Por lo tanto, la secuencia de progresión de la sequía a nivel mundial es la siguiente: sequía meteorológica - agrícola y finalmente hidrológica (Marcos, 2001).

Linsley et al., (1975), citado por Marcos (2001), adoptan y consideran estos aspectos, para la definición de sequía hidrológica como el “período durante el cual los caudales son inadecuados para satisfacer los usos establecidos bajo un determinado sistema de gestión de aguas”.

Sequía socioeconómica

Se distingue de otras formas de sequía debido a que abarca la conexión entre la disponibilidad y la necesidad de recursos esenciales, como el recurso hídrico o la energía hidroeléctrica, que son dependientes de la lluvia. El suministro de estos recursos fluctúa anualmente, dependiendo de las precipitaciones y la accesibilidad al agua. Además, la demanda de estos recursos también varía y a menudo tiende a aumentar debido a factores como la expansión de la población o los avances en el desarrollo.

Para esta investigación nos centraremos en el concepto de sequía meteorológica, que se refiere a una falta de precipitaciones que cae por debajo de un determinado umbral. El Centro Nacional de Mitigación de Sequías de la Universidad de Nebraska-Lincoln en USA, ha recopilado datos sobre secuencias de sequía y sus efectos, como se aprecia en la Figura 1. Esta búsqueda se obtuvo del informe de Vigilancia y Alerta Temprana de Sequía de la OMM publicado en 2012.

La sequía socioeconómica sucede cuando el suministro de agua disminuye a un grado que genera efectos perjudiciales, ya sean personales o económicos, en la población que se ve afectada. Si bien una limitación del abastecimiento de agua no es un requisito previo, la escasez de agua es capaz para afectar a varios sectores de la economía.

A medida que la presión antropogénica sobre el recurso agua continúa aumentando, la aparición de sequías socioeconómicas se intensifica, lo que lleva a pérdidas económicas crecientes, incluso en casos de sequías meteorológicas leves (Marcos, 2001).

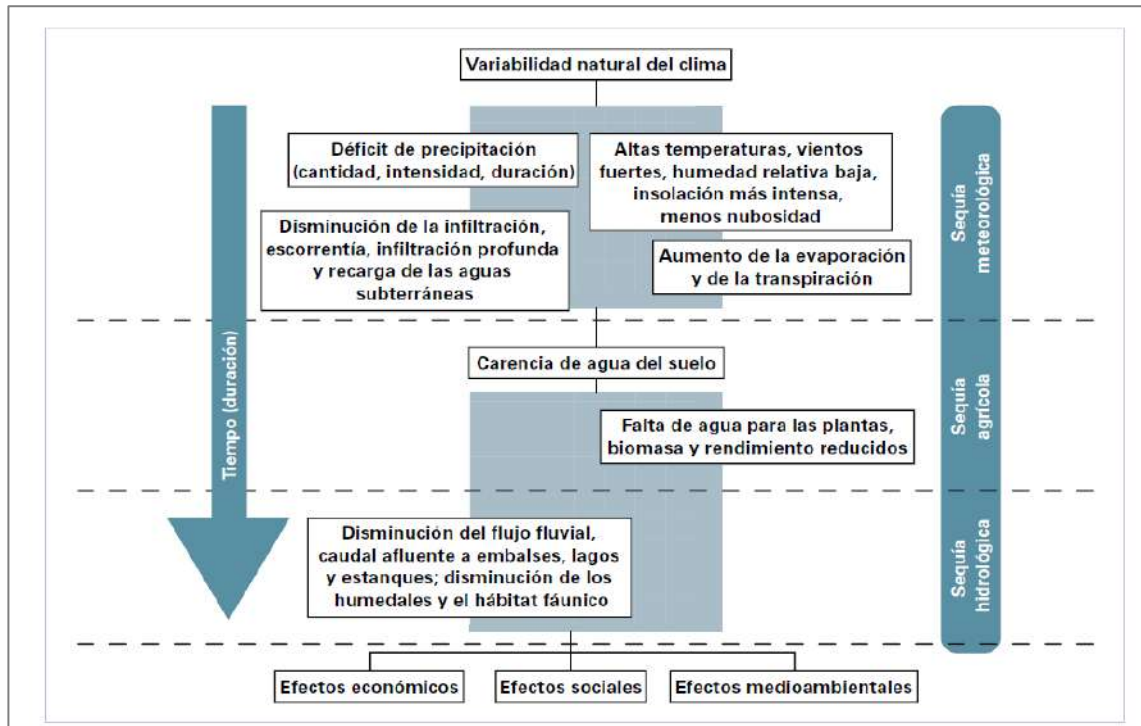


Figura 1

Cadena de eventos de sequía y sus impactos para tipos de sequías.
(C N M S, Universidad de Nebraska-Lincoln, USA, 2012)

Caracterización de las sequías

El análisis de la sequía suele implicar el examen de diversas variables y períodos de tiempo, que van desde meses hasta años, utilizando un enfoque de umbral (Mishra y Singh, 2011). Para analizar las particularidades de las sequías utilizando el EPI, los eventos de sequía se identificaron como lapsos de tiempo sucesivos en los que los valores del EPI caen por debajo de un nivel umbral específico. La OMM define este nivel umbral como -1 (OMM, 2012), que corresponde al percentil 25 de la probabilidad acumulada basada en el ajuste del IPE a una distribución normal estándar.

Al utilizar este umbral, podemos evaluar y clasificar eficazmente un evento de sequía según sus atributos clave, incluida la duración, la intensidad, la gravedad y la frecuencia (la probabilidad de que ocurra), todos los cuales se conceptualizan claramente a continuación:

a) Duración

Se mide durante un período prolongado de tiempo, se denomina permanencia. Se refiere a los meses ininterrumpidos y consecutivos en los que persiste una sequía. La permanencia de un evento seco puede ser variable, de solo semanas a más de un año, dependiendo de la región específica. Es importante señalar que las sequías son de naturaleza dinámica y que diferentes escalas de tiempo pueden dar lugar a la aparición simultánea de estaciones húmedas y secas dentro de una región en particular.

b) Intensidad

La caracterización de las sequías suele depender de un parámetro ampliamente utilizado. Algunos autores cuantifican este parámetro midiendo la duración de la sequía y calculando la magnitud. Otros lo definen como el déficit mayor observado durante el fenómeno de sequía, denominado grado máximo.

c) Severidad

El término "severidad" se refiere a la falta de agua (lluvia) que cae por debajo de un umbral específico durante un período de sequía. Se pondera por la totalidad de déficits negativos de lluvia durante un fenómeno seco.

d) Frecuencia

Es la posibilidad de que ocurra una sequía o de una determinada magnitud o intensidad de escases de agua (Moderada, severa o extrema) en un ciclo de tiempo.

Índice de precipitación estandarizada (SPI)

Entre los años 1993 y 1995, McKee y sus colegas idearon el índice de precipitación estandarizado (SPI). Esta herramienta proporciona un método sencillo para determinar los períodos secos y húmedos, siendo la lluvia el único factor necesario para su cálculo. Su eficacia para analizar ambos tipos de condiciones simultáneamente ha sido ampliamente reconocida (OMM, 2012).

Para utilizarlo eficazmente, se necesitaría una cantidad suficiente de datos mensuales sobre precipitaciones que abarquen un mínimo de 20 a 30 años; sin embargo, contar con un conjunto de datos de 50 años o más se consideraría óptimo y preferible (Guttman, 1994).

Los valores del SPI y las probabilidades de recurrencia de eventos de sequías se detallan en las Tablas 1 y 2.

Tabla 1

Valores del Índice de Precipitación Estandarizado SPI

2.00 a más	Extremadamente húmedo
1.50 a 1.99	Muy húmedo
1.00 a 1.49	Moderadamente húmedo
-0.99 a 0.99	Normal o aproximadamente normal
-1.00 a -1.49	Moderadamente seco
-1.50 a -1.99	Severamente seco
-2.00 a menos	Extremadamente seco

Fuente: Manual OMM N° 1090 (OMM, 2012)

Tabla 2

Probabilidad de recurrencia de eventos de sequía

SPI	Categoría	Numero de veces en 100 años	Severidad del episodio
0 a -0.99	Sequía leve	33	1 en 3 años
-1.00 a -1.49	Sequía moderada	10	1 en 10 años
-1.50 a -1.99	Sequía severa	5	1 en 20 años
< -2.00	Sequía extrema	2.5	1 en 50 años

Fuente: Manual OMM N° 1090 (OMM, 2012)

Valores del SPI de períodos cortos y períodos largos

SPI de 3 meses

La capacidad de esta herramienta radica en su capacidad para proporcionar un contraste entre las precipitaciones durante un tiempo particular de 3 meses y los niveles de lluvia acumulativos para ese mismo lapso de 3 meses a través de datos históricos. En términos de detección de condiciones húmedas, el SPI de 3 meses es potencialmente más eficaz que el índice de Palmer, de reacción más lenta, u otros índices hidrológicos actualmente en uso (OMM, 2012).

SPI de 6 meses

Confronta la lluvia de ese lapso con el mismo tiempo de 6 meses de la observación histórica. Este SPI se considera más sensible a los patrones de precipitación estacionales y de mediano plazo que el índice de Palmer, proporciona información valiosa sobre las tendencias de precipitación. Este índice es particularmente eficaz para ilustrar las variaciones de las precipitaciones en diferentes estaciones (OMM, 2012).

SPI de 12 a 24 meses

El SPI, cuando se observa durante períodos prolongados, proporciona información sobre los patrones de precipitación predominantes. Específicamente, un SPI de 12 meses implica comparar los niveles de precipitación de 12 meses sucesivos con los meses correspondientes de años anteriores, según los datos disponibles. Como estas escalas de tiempo abarcan los efectos acumulativos de períodos más cortos que pueden desviarse de la norma, el SPI a largo plazo generalmente ronda cero, a menos que haya una tendencia notable hacia la humedad o la sequedad. Este rasgo es una característica reconocida según la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2012).

2.2.2 Escenarios de cambio climático

Las variaciones del sistema climático se pronostican empleando varios modelos climáticos, incluidos los Modelos de Circulación General (GCM). Los GCM sirven como representaciones matemáticas de mecanismos cruciales dentro del sistema climático de la Tierra. Estos modelos tienen como objetivo simular procesos físicos que ocurren en la atmósfera, los océanos y la superficie de la Tierra. Actualmente, los GCM son la herramienta más sofisticada disponible para predecir cómo reaccionará el sistema climático global ante los niveles crecientes de GEI (IPCC, 2013).

El desarrollo de GCM requirió ajustes derivados de una secuencia de escenarios de restricciones inducidas por el hombre. Para realizar las últimas simulaciones de modelos climáticos, se utilizó una colección única de escenarios conocidos como Rutas de Concentración Representativas (RCP), que se basa en la quinta fase del Proyecto de Intercomparación de Modelos Acoplados (CMIP5) del Programa Mundial de Investigación Climática. Estos RCP describen cuatro caminos distintos para las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y las condiciones atmosféricas a lo largo del siglo XXI, que abarcan las emisiones de contaminantes atmosféricos y el uso

de la tierra. El rango de Vías de Concentración Representativas (RCP) está determinado por su forzamiento radiativo (RF) total para el año 2100, que puede variar de 2,6 a 8,5 W/m². Entre estos escenarios, existe una opción de mitigación estricta conocida como RCP2.6, caracterizada por un RF de 2,6 W/m² y una concentración de CO₂ equivalente proyectada de 421 ppm en 2100. Además, hay dos escenarios intermedios, a saber, RCP4.5 (RF = 4,5 W/m², 538 ppm CO₂-eq en 2100) y RCP6.0 (RF = 6,0 W/m², 670 ppm CO₂-eq en 2100). Por último, existe un escenario con emisiones de gases de efecto invernadero excepcionalmente altas denominado RCP8,5, con un RF de 8,5 W/m² y una concentración de CO₂ equivalente proyectada de 936 ppm en 2100, como se ilustra en la Figura 2. Estos RCP permiten representar una amplia escala de resultados climáticos basados en diversos supuestos socioeconómicos, tecnológicos y biofísicos. Sin embargo, es importante señalar que no deben interpretarse como estrategias climáticas.

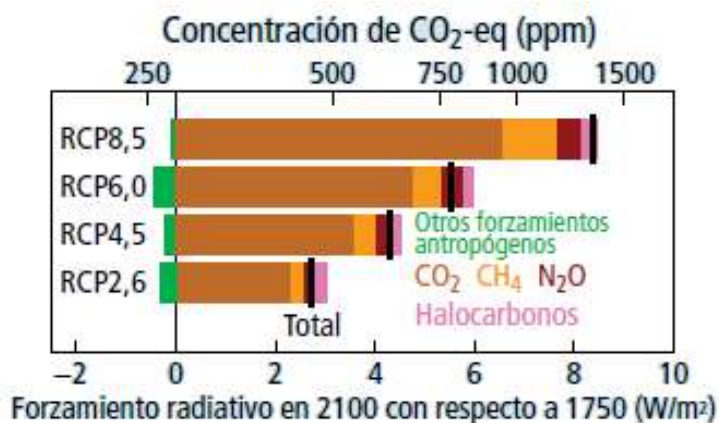


Figura 2

Escenarios de forzamiento radiativo para las trayectorias RCP y concentraciones de CO₂ equivalente al 2100 (IPCC, 2013)

Modelos Numéricos

Modelo HadGEM2-ES

Es un modelo de sistema de tierra acoplado, el primer modelo central Met Office Hadley que incluye componentes de sistema de tierra como estándar. Es un modelo atmosférico unificado desarrollado y utilizado por la Administración Meteorológica para aplicaciones integradas que van desde pronósticos meteorológicos numéricos a corto plazo hasta predicciones climáticas estacionales, interdecadales y centenarias. Muchos organismos de todo el mundo lo utilizan para la predicción meteorológica operativa y la investigación climática. El modelo climático HadGEM2-ES incluye GCM

atmosférico con resoluciones horizontales y verticales de N96 y L38. El modelo atmosférico opera con resolución horizontal N96 (latitud $1,25^\circ \times 1,875^\circ$ longitud), con 38 verticales horizontales (L38) y pasos de tiempo de 30 minutos de duración. El modelo oceánico opera a 1° de latitud \times 1° de longitud (aumentando la resolución cerca del ecuador), 40 niveles verticales y una resolución de paso de tiempo de 1 hora. Los elementos del sistema Tierra incluidos, son los ciclos del carbono terrestre y marino y la química troposférica. El estándar de la vegetación terrestre y la dinámica del carbono, representado por TRIFFID, simula la cobertura y el balance de carbono de 5 tipos de cobertura plantada (árboles de hoja ancha, coníferas, pasto C3, pasto C4 y arbustos).

Modelo MPI-ESM

Acopla la atmósfera, los océanos y la superficie terrestre mediante la reciprocidad de energía, presión, agua y dióxido de carbono. Se basa en los componentes de ECHAM6 para atmósfera y MPIOM para océanos, así como JSBACH para biósfera terrestre y HAMOCC para biogeoquímica oceánica. JSBACH es el componente terrestre tanto de MPI-ESM como de ICON-ESM. El acoplamiento de la atmósfera y la tierra por un lado y el océano y la biogeoquímica por el otro es posible gracias al programa de acoplamiento separado OASIS3.

2.2.3 Requerimientos agroclimáticos del café

Altitud

De acuerdo a Alegre (1959) y Maestri y Santos (1977) el cultivo de café se sitúa mejor entre los 1000 a 2800 m.s.n.m., Mientras que Benacchio, (1982), esta planta se adapta mejor entre 1200 a 1700 m.s.n.m., considerando la adaptabilidad de diferentes especies de café a diferentes altitudes, es evidente que *C. arabica* prospera en elevaciones más altas, mientras que *C. robusta* y *C. liberica* optan altitudes más bajas. Los cafetos suelen florecer entre 1600 y 2800 ms.n.m.m. (Da Matta *et al.*, 2007). Los entornos óptimos de crecimiento de *C. arabica* implican un clima subtropical sin heladas ni vientos fuertes. En las regiones tropicales, el café se cultiva comúnmente en altitudes que fluctúan entre los 600 y los 2000 metros sobre el nivel del mar, mientras que en latitudes más altas se cultiva por debajo de los 600 ms.n.m.m. La altitud del terreno juega un papel crucial en la determinación de la calidad y productividad de las plantaciones de café. Según Ruiz *et al.* (2013), las mejores

calidades de café se encuentran típicamente entre 900 y 1200 metros sobre el nivel del mar.

Fotoperíodo

El café, como lo señala Baradas (1994), se clasifica como una planta de día corto. Sin embargo, la respuesta de la planta al fotoperíodo también puede verse influenciada por la temperatura y la humedad. Benacchio (1982) añade que la floración puede verse inhibida por fotoperíodos superiores a 12 horas. En Costa Rica, Ruiz et al. (2013) han informado de casos de inducción floral que ocurren durante todo el año en un lugar específico situado a 10° N. Por el contrario, en Kenia, ubicada a 1° 08' de latitud, no hay evidencia que sugiera que el café permanezca en un estado constante de incitación floral durante todo el año.

Radiación (Luz)

En regiones con altas temperaturas, Baradas (1994) afirma que el cultivo de café necesita sombra. La intensidad de luz ideal, según lo determinado por Baradas, se encuentra dentro del rango de 32,8 - 86,6 klux. Según GDRTL (2004), las plantas de café se consideran semisombreadas y sólo pueden utilizar aproximadamente el 1% de la radiación fotosintéticamente activa, siendo el requisito ideal unas 1500 horas al año. Se estima que los cultivos de café pueden requerir entre 1500 y 2500 horas efectivas de luminosidad al año (Ruiz Corral et al., 2013).

Temperatura

De acuerdo a Benacchio (1982) citado por (Ruiz Corral et al., 2013) el café tiene un amplio rango de temperatura, entre 5 a 30°C, con una temperatura media insuperable entre 16 y 22°C. Asimismo menciona, que a temperaturas menores a 13°C se evidencian daños en las plantas, lo mismo pasa cuando supera los 27°C. En contraparte, Alegre en 1959, menciona que las temperaturas medias debajo de 16°C y arriba de 23°C no son apropiadas, siendo la ideal de 18 a 21°C. Una de las consecuencias de las temperaturas medias menores a 17°C es la declinación de los botones florales, alterando la fisiología de la planta, (Alvim, 1985). El nivel de temperatura media anual ideal para café arábica es 18 a 21°C, por arriba de 23°C, se activan el desarrollo y maduración de frutos y muy seguido conduce a la pérdida de calidad, asimismo, las temperaturas altas en época de floración pudiesen provocar frustración de flores (Da Matta et al., 2007).

Precipitación (agua)

De acuerdo Alegre (1959), la precipitación acumulada anualmente óptima para el cultivo de café es de 1300 -1850 mm, con la condición que exista una adecuada distribución estacional y fases secas cortas. IFA (1992), menciona que la lluvia anual va de 1,600 a 2,600 mm, bien distribuidos, pero en aquellos lugares donde haya una fase seca de 6 a 12 semanas; las lluvias son complementadas con riego. Según Benacchio (1998), citado por (Ruiz *et al.*, 2013). El cultivo de café demanda 1250-2050 mm anuales, con una época seca bien determinada para regular el brote de flores, asimismo, de manera mensual requiere al menos 250 mm para favorecer la diferenciación de yemas florales; menciona además que cuando la planta esta emitiendo sus flores es la fase más sensible en cuanto a insuficiencias hídricas.

Humedad relativa

El café *robusta* puede prosperar en condiciones de alta saturación o en áreas con menor humedad, siempre que la duración de la estación seca sea breve. Por otro lado, los cafés árabes necesitan un clima menos húmedo, similar al ambiente que se encuentra en las tierras altas de Etiopía (Da Matta *et al.*, 2007), como lo referencia Ruiz *et al.*, (2013).

2.2.4 Fenología del cultivo de café

De acuerdo a SENAMHI (2017) la fenología, un campo dentro de la agrometeorología, se centra en examinar cómo el entorno físico aqueja a los organismos vivos. Al observar las distintas etapas biológicas y su correlación con las condiciones climáticas de un hábitat particular, los investigadores pueden obtener información sobre las necesidades climáticas de las plantas. A través de observaciones combinadas de la planta y su entorno, los estudios agrometeorológicos proporcionan información valiosa. Estas observaciones son cruciales ya que nos permiten determinar:

- a) Las necesidades climáticas específicas de los diferentes cultivos
- b) Calendarios diseñados específicamente para fines agrícolas
- c) División de regiones agrícolas según las condiciones climáticas
- d) Recursos para ayudar en la planificación de actividades agrícolas

En la Figura 3 se representa un esquema de la fenología del cultivo de café desarrollado por el SENAMHI.

Café

Coffea arabica L.



HINCHAZÓN DE YEMAS

Las yemas florales, localizadas en los nudos de las ramas laterales, muestran un hinchamiento, producto de su alargamiento en forma de estaquillas, y luego cambian de color verde a blanco.

BOTÓN FLORAL

Las yemas florales se abren apreciándose los botones florales. De cada yema floral por lo general se forman 4 botones florales.

FLORACIÓN

Apertura de los botones florales con pétalos blancos.

FRUCTIFICACIÓN

Se inicia con el cuajado de los frutos, donde alcanzan un diámetro de 3 a 5 mm. Estos frutos continúan creciendo hasta tornarse duros y de color verde. Al final de esta fase se aprecia una semilla, completamente formada, de pulpa blanca.

MADURACIÓN

Los granos son suaves nuevamente y han cambiado de color verde a verde amarillento, para finalmente tornarse ya sea rojo vinoso o amarillo brillante, según el cultivar. La pulpa entre las semillas y la cáscara es dulce.

Figura 3

Fases fenológicas del cultivo de café (SENAMHI, 2023)

Calendario agrícola en la región San Martín

El calendario agrícola del Perú es distinto e influenciado por las condiciones meteorológicas específicas del país. Este calendario único abarca de agosto a julio del año siguiente, marcando el ciclo agrícola determinado por MIDAGRI (2023).

Tabla 3

Calendario agrícola en San Martín

Producto/Mes	Ene	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic
Algodón				2.7	2.7	1.4	5.5	29.3	28.6	16.6	5.0	8.2
Arroz cáscara	6.4	6.7	6.5	4.9	7.5	11.6	18.3	11.7	6.4	8.3	5.1	6.6
Cacao	4.8	12.9	6.5	9.6	10.3	12.5	11.1	7.3	6.3	7.5	6.7	4.5
Café	0.2	0.9	5.6	15.8	31.1	27.8	11.1	4.1	2.0	1.0	0.2	0.2
Frijol grano seco	6.3	5.7	4.0	4.7	17.7	9.3	7.6	5.8	11.1	21.1	5.4	1.3
Limón	8.4	10.1	9.8	11.3	9.8	11.7	7.9	5.7	5.5	5.6	6.7	7.5
Maíz amarillo duro	20.1	22.4	11.2	2.2	1.8	9.7	20.1	7.6	2.4	0.7	0.8	1.0
Palma aceitera	8.7	8.3	8.6	7.9	8.3	7.8	7.7	7.8	7.8	9.0	9.0	9.1
Palmito	12.9	13.8	13.4	11.6	5.1	4.7	5.1	4.8	4.8	2.3	8.2	13.3
Plátano	7.5	8.4	8.2	9.1	9.6	10.0	7.6	8.0	7.9	7.7	7.4	8.6
Yuca	6.8	8.7	8.5	8.1	9.2	8.6	8.3	9.1	7.9	8.7	7.9	8.2

Fuente: MIDAGRI (2023)

2.2.5 Producción nacional y comercio exterior del café

En el mediano plazo, la producción nacional ha demostrado consistentemente un alto nivel de volatilidad, debido principalmente a las consecuencias adversas de la variación climática. Desde 2012, la industria se ha visto gravemente afectada por la destructiva enfermedad de la "roya amarilla", que ha devastado aproximadamente 94 mil hectáreas de plantaciones de café. Esta devastadora infección fúngica, provocada por *Hemileia vastatrix*, se ha visto agravada aún más por el abandono en la fertilización durante la campaña anterior en 2012, así como por la avanzada edad de la mayoría de estas plantaciones. En consecuencia, la situación de la producción se deterioró significativamente entre 2013 y 2014. El año pasado se produjo el volumen más bajo de la historia reciente, alcanzando apenas 222 mil sacos. Sin embargo, desde 2015, ha habido un repunte constante de la producción. Según los últimos datos publicados por la DGESEP del MINAGRI, la producción estimada para todo el año 2018 alcanza la innovadora cifra de 369,6 mil TM, marcando un notable crecimiento del 9,5% respecto al año anterior. El aumento de la producción durante el año 2018 puede atribuirse al inicio de la producción en aproximadamente 15.000 hectáreas de cafetos que se plantaron en 2015. De cara a 2019, se proyecta que 10.000 hectáreas adicionales de cafetos recién plantados, a partir de 2016 entraron en producción. Teniendo esto en cuenta, es posible que la producción de café en 2019 supere a la del año anterior. Sin embargo, la disponibilidad de mano de obra y los bajos precios que se pagan por el café pergamino están planteando limitaciones importantes y obstaculizando una mayor producción. Como resultado, se anticipa una disminución en la producción para 2019. En el primer semestre de 2019 se produjo un volumen total de 267,8 mil TM, lo que representa una disminución de 1,2% respecto al mismo período de 2018 cuando se registraron 271 mil TM.

En términos de producción regional, destacan San Martín y Junín, que representan el 55% de la producción total. Mientras que algunas regiones como Cajamarca, Amazonas, Huánuco, Puno y Ucayali han experimentado un aumento en la producción en 2019, otras regiones importantes como San Martín, Junín, Cusco y Pasco han experimentado una disminución. La crisis de precios que afecta a todas las regiones cafetaleras es generalizada, pero hay regiones que han optado por aumentar su producción para exportar mayores volúmenes y estabilizar sus ingresos. En 2021 la producción de San Martín cayó un 6% respecto a 2020 (MINAGRI, 2019).

Tabla 4
Producción regional de café en grano verde

REGIONES	2021	2022	%
Amazonas	50,117	53,941	+7.63
Ayacucho	2,878	3,138	+9.03
Cajamarca	76,381	76,821	+0.58
Cusco	26,433	27,662	+4.65
Huánuco	12,409	12,524	+0.93
Junín	68,463	65,951	-3.67
La Libertad	203	200	-1.48
Lambayeque	2,222	2,691	+7.43
Pasco	20,430	15,813	-22.60
Piura	4,854	5,216	+7.45
Puno	8,314	7,925	-4.68
San Martín	77,994	69,950	-10.31
Ucayali	12,659	10,743	-15.15
Otros	210	238	-13.33
Total	363,567	352,813	-2.96

Fuente: SEA/MINAGRI (2023)

2.2.6 Consecuencias del cambio climático en la agricultura y en el cultivo del café

Los informes de la FAO revelan que la inestabilidad climática y la variación del clima constituyen una amenaza importante para las tierras de cultivo, los pastos y los bosques, que cubren el 60% de la superficie de la Tierra. Esta alarmante situación pone en peligro el logro de los Objetivos de Desarrollo del Milenio (ODM), en particular aquellos que están en relación con el hambre, la reducción de la pobreza y la sostenibilidad ambiental. Al analizar los datos climáticos y las posibles proyecciones, resulta evidente que el incremento de las temperaturas puede conducir a un aumento de la producción en los países desarrollados. Sin embargo, los países que se encuentran en franco desarrollo podrían ser los más impactados por los efectos climáticos, lo que se traducirá en una reducción de las cosechas (Guzmán, 2013).

Al considerar el cultivo del café, se hace evidente la importancia tanto del aspecto agrícola como del social. Más de 100 millones de individuos en todo el mundo participan en la producción de café. En Latinoamérica, la mayor parte de los cultivos de café necesitan de sistemas de riego y dependen únicamente de las lluvias, lo que los hace sensibles a los efectos de la variación del clima, como sequías y olas de

calor. Si bien el cambio climático es sólo un factor que puede influir en la producción mundial de café, es probable que esté entre los de mayor impacto. Sigue habiendo una cantidad considerable de incertidumbre con respecto a las regiones específicas que producen café y cómo se verán afectadas por la variación del clima, así como el impacto general en la producción a nivel del mundo de café. Sin embargo, los especialistas concuerdan en que los cambios en la producción son inevitables y pueden ser particularmente significativos en determinadas regiones. El impacto potencial de este fenómeno presenta variaciones no solo entre diferentes países sino también dentro de las zonas de producción específicas de cada país, como las diversas altitudes y zonas bioclimáticas (Guzmán, 2013).

Adaptabilidad del cafeto al cambio del clima

La amenaza de extinción debido al cambio del clima, tiene en incertidumbre al 60% de las especies de café nativo en el mundo, siendo la variedad Arábica particularmente vulnerable. Como consecuencia del calentamiento global, esta especie altamente comercializada corre el riesgo de desaparecer, lo que ha llevado a su inclusión en la lista negra de especies amenazadas de la unión internacional para la preservación de la naturaleza (EFEverde, 2020).

La producción mundial de café está influenciada por varios factores, y el cambio climático se encuentra entre los más importantes. La Organización Internacional del Café lo identifica como particularmente crucial debido a su impacto en los pequeños productores, que son los más susceptibles. El aumento de las temperaturas hará que ciertas regiones cafetaleras sean menos viables o completamente inadecuadas, lo que requerirá un traslado de la producción a nuevas áreas. Además, se espera que aumente la prevalencia de plagas y enfermedades, lo que afectará negativamente la calidad del café. Es probable que la industria del café sea testigo de un aumento en el cultivo de plantaciones de café que requieren riego, lo que conducirá a una mayor demanda de agua, mayores costos de producción y una mengua de las áreas de producción actuales. Además, las emisiones de gases de consecuencia invernadero son una preocupación importante en la producción de café. En consecuencia, la agroindustria debe priorizar tanto las medidas de adaptación para ayudar a los productores a hacer frente al cambio climático como los esfuerzos de mitigación para reducir su propia contribución a las emisiones de gases de consecuencia invernadero (CCI, 2011).

Con la finalidad de adecuarse en el corto plazo, los agricultores pueden realizar mejoras en sus destrezas de cultivo y procesamiento, lo cual es una práctica común entre los agricultores progresistas pero que puede no siempre ser factible para los pequeños productores debido a los recursos y conocimientos limitados. Por otro lado, las estrategias a largo plazo implican acciones como evaluar la idoneidad, analizar datos climáticos, mejorar la fertilidad del suelo, explorar diferentes modelos de producción y cultivar variedades de café resistentes a sequías y enfermedades. En casos extremos, es posible que algunos agricultores deban considerar diversificarse más allá del café o reubicar su producción a áreas más favorables. Los esfuerzos de mitigación en el corto plazo incluyen calcular y reducir las huellas de carbono en las granjas, así como evaluar la posibilidad de establecer sumideros de carbono. Para capitalizar los beneficios potenciales de las huellas de carbono, particularmente para los productores más pequeños, sería prudente desarrollar una conexión entre ellos y los mercados de carbono como parte de una estrategia integral a largo plazo (CCI, 2011).

La temperatura y las precipitaciones, específicamente sus extremos, juegan un papel crucial en el crecimiento de cultivos, como el café. Las temperaturas inferiores a 15 °C pueden ser perjudiciales para los granos del cafeto, incluso provocando la muerte de la planta, mientras que las temperaturas superiores a 30 °C pueden provocar daños en todas las partes de la planta, asimismo, reducir los rendimientos debido al estrés hídrico, aumento del desperdicio e infestación de plagas. Una precipitación anual insuficiente, que oscila entre 800 y 1200 mm, puede causar estrés hídrico, lo que afecta los rendimientos y la calidad del café. Por el contrario, la precipitación excesiva, que supera los 2000 mm sin períodos de poca o ninguna lluvia para inducir la floración, puede provocar una reducción de la aparición de flores y una mayor susceptibilidad a las enfermedades (Tucker, Eakin y Castellanos, 2010; Wintgens, 2004).

CAPÍTULO III MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito y condiciones de la investigación

3.1.1 Contexto de la investigación

La tesis se llevó a cabo en la localidad de Soritor, que presenta la siguiente ubicación política y geográfica:

Distrito	: Soritor	Latitud	: 6° 8'21.31"S
Provincia	: Moyobamba	Longitud	: 77° 6'7.78"O
Departamento:	San Martín	Altitud	: 886 m.s.n.m.

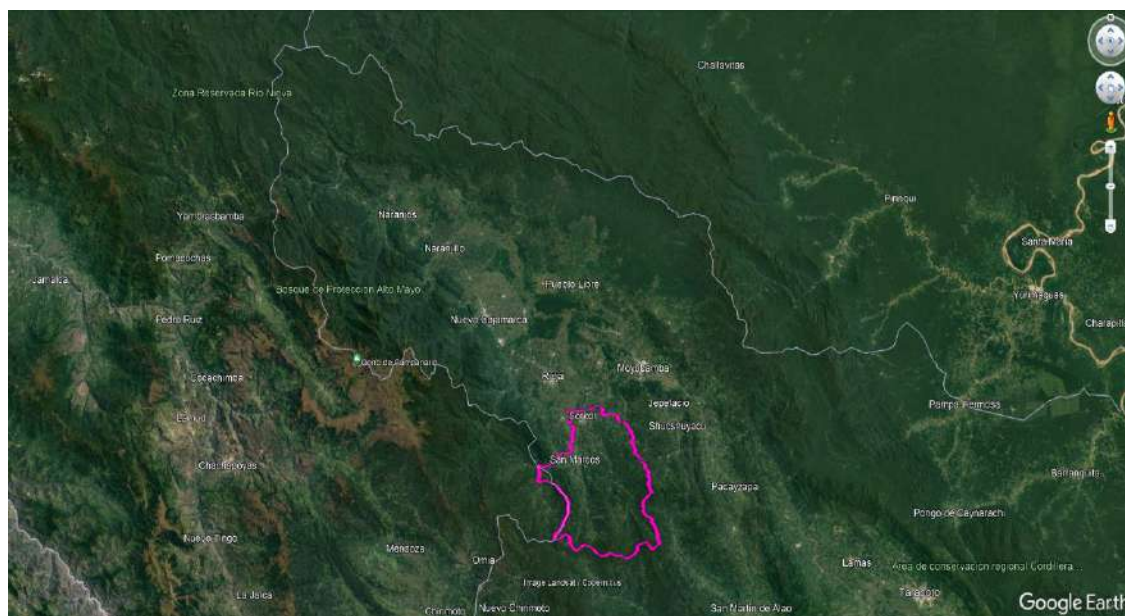


Figura 4

Ubicación geográfica del distrito de Soritor

3.1.2 Periodo de ejecución

El desarrollo de este trabajo de investigación requirió un período de 06 meses, los cuales incluyeron la identificación y compilación de la información climatológica y agrícola; creación de la base de datos climatológica y agrícola; así como el tratamiento, completado y depuración de la información tabular mediante métodos gráficos y estadísticos.

3.2. Sistema de variables

3.2.1 Variables principales

Variable independiente : Sequía meteorológica

Variable dependiente : Producción del cultivo de café

Las variables que fueron analizadas durante la ejecución de la investigación detalladas por cada objetivo específico se precisan en la Tabla 5.

Tabla 5

Descripción de variables por objetivo específico

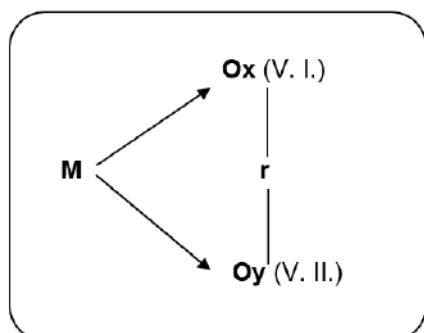
Objetivo específico N° 1: Analizar las sequías meteorológicas en el distrito de Soritor.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Sequía meteorológica	- Duración	- Observaciones meteorológicas diarias.	Precipitación (mm)
	- Intensidad	- Planillas meteorológicas mensuales.	Sequía (SPI)
	- Severidad	- Modelo numéricos de escenarios climáticos.	
	- Frecuencia		
Objetivo específico N° 2: Evaluar la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Producción del cultivo de café	- Áreas de siembra	- Intensidad de siembra.	- Hectáres
	- Rendimiento	- Rendimiento.	- Kilogramos
	- Fenología	- Fases fenológicas.	- Meses
Objetivo específico N° 3: Determinar la relación entre las sequías meteorológicas y la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor.			
Variable abstracta	Variable concreta	Medio de registro	Unidad de medida
Sequía meteorológica	Duración, intensidad, severidad, frecuencia /	Índice de correlación	Valor de "r" entre -1 y +1
Producción de café	Áreas de siembra, rendimiento, fenología		

3.3 Procedimientos de la investigación

Diseño analítico, muestral y experimental

El estudio corresponde a un diseño no experimental, cuantitativo y correlacional, porque parte de un problema que existe en nuestro planeta, las sequías y concibe la agricultura como parte afectada, a los que hay que describir, explicar y predecir, aplicando la lógica deductiva y relacionando las ciencias físicas, naturales con las ciencias sociales. Según el período que se producen los fenómenos y registros de la información, es retrospectivo, porque indaga sobre información ocurrida en el pasado. En este caso la intención será calcular el grado de relación que existe entre las sequías meteorológicas con la producción del cultivo de café en la localidad de Soritor, región San Martín.

De acuerdo al periodo y secuencia es transversal, porque se estudian las variables X e Y simultáneamente, haciendo un corte en el tiempo, al considerar la serie histórica de 22 años.



Denotación:

M	=	Muestra
Ox	=	Variable I: Sequía meteorológica
Oy	=	Variable II: Producción de café
r	=	Relación entre variables

Esquema del modelo de investigación correlacional

Fuente: Valero (2017)

Los datos de precipitación total mensual para analizar las sequías meteorológicas, se obtuvieron del SENAMHI, de la serie 2000 – 2022, conforme lo recomienda la Organización Meteorológica Mundial para el tratamiento de datos para SPI en su Manual OMM N° 1090.

Los datos de precipitaciones se observaron desde pluviómetros tipo HELLMAN de 200 cm² de área con 16 cm de diámetro, el cual se muestra en el Anexo 1, ubicados a 1,20 m del suelo, recogiendo los datos entre las 07:00 y 19:00 horas, luego se suma ambas lecturas para obtener el dato diario de la precipitación, la suma de este dato diario durante el mes nos da la precipitación total mensual.

Para los datos de escenarios climáticos de precipitación desde el 2023 al 2099, se recurrió a modelos numéricos climáticos en dos escenarios RCP (Modelo HadGEM2-ES, CCSM4 y MPI-ESM-MR). Cada modelo tiene tres periodos (cercano, medio y lejano) y dos contextos de emisión (RCP 4.5 y RCP 8.5). Cercano plazo 2023-2039, mediano plazo 2040-2069 y largo plazo 2070-2099, para obtener una línea de tendencia y asertividad en la predicción, estos datos se descargaron de los centros meteorológicos oficiales de la OMM.

Los datos de áreas de cultivo y rendimiento del cultivo de café en la localidad de Soritor se obtuvieron a través de la Dirección Regional de Agricultura (DRASAM), de la serie 2001 al 2022, los cuales tienen sistematizado a través de su sistema estadístico. Esta información se recoge a través de los encargados de la Oficina de Estadística Agraria de cada Agencia de Desarrollo Local de la DRASAM.

La fenología del cultivo de café fue obtenida a través de la plataforma de datos del SENAMHI cuya serie histórica es del 2001 al 2022, esta información se recoge de manera interdiaria y está a cargo de los observadores hidrometeorológicos en campo.

3.3.1 Análisis de las sequías meteorológicas en el distrito de Soritor, utilizando el Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) en el periodo 2000-2022

El análisis se desarrolló a través del Índice de Precipitación Estandarizada (SPI por sus siglas en inglés), método validado y reconocido internacionalmente ejecutado por Mckee *et al.* (1993), se hicieron secuencias climáticas de precipitación cada tres, seis y doce meses; para esto se desarrolló un script en R Studio, que nos permitió analizar de manera más efectiva este fenómeno, el cual se indica en el Anexo 2.

Una vez identificados los eventos de sequía, se caracterizaron teniendo en cuenta los siguientes parámetros: duración, intensidad, severidad y frecuencia (modernamente secos, severamente secos y extremadamente secos).

Duración: la establece la extensión del período donde los valores del SPI cumplen los contextos requeridos por dicha definición.

Intensidad: viene establecida por el valor negativo mayor, a partir de -1, que el SPI logre dentro de la fase seca examinada.

Severidad: está establecida por la sumatoria de los valores del SPI que correspondan a todos los meses incluidos dentro de la fase seca considerada.

Frecuencia: Cuantas veces se han registrado en un determinado periodo, pudiendo determinar el periodo de recurrencia.

La data climática (1980-2010) se obtuvo del AgMerra. Se ajustaron con datos observados de clima y pasaron por un ajuste con un archivo de AgMIP y luego con script en R, se procedió a generar los escenarios climáticos. Igual tratamiento se realizó con la información de los modelos numéricos se realizaron series mensuales y anuales, para proceder con el modelo de SPI en el script, con dicha información se graficaron las series para un modelo multiensamble en dos escenarios probables de RCP 4.5 y RCP 8.5.

3.3.2 Evaluación de la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor en el periodo 2001-2022

La información se revisó y pasó por un control de calidad, se desarrollaron tablas y figuras de las variables de producción del cafeto en Soritor. Esta información mensualizada se consolidó y procesó de tal manera que nos permitió tener un registro histórico de la evolución de la producción del cultivo, toda vez que esta información es proporcionada por los informantes y se maneja a nivel distrital, en nuestro caso en particular trabajamos con la información del distrito de Soritor.

Se trabajaron características principales de los rendimientos del cafeto en el distrito de Soritor: área de siembra, rendimiento y fenología. Las áreas de siembra son obtenidas directamente de la información proporcionada por la DRASAM, mientras que la información de rendimiento se dedujo mediante operación matemática entre la producción y las áreas de siembra. La información fenológica se recogió de manera interdiaria por los observadores hidrometeorológicos del SENAMHI, quienes llenan esa información en planillas fenológicas indicando las fases fenológicas del cultivo.

Se tomaron las observaciones fenológicas del año 2001 hasta el 2022, de las planillas fenológicas de la plataforma de datos del SENAMHI, se consolidó esta información en un formato Excel, teniendo en cuenta las cuatro (04) semanas que tiene el mes, para identificar la ocurrencia de la fase más a detalle, posterior a ello, se cuantificaron el número de semanas y la época en la cual se presenta cada fase en la campaña,

sacando un promedio de las 22 campañas o años observados, de esa manera se logró graficar en cual estación del año se muestra con más frecuencia una fase fenológica.

La ubicación geográfica de la parcela de observación fenológica de café en Soritor, se encuentra detallada a continuación y representada de manera gráfica en la Figura 5.

Distrito	: Soritor	Latitud	: 6° 9'28.44" S
Provincia	: Moyobamba	Longitud	: 77° 3'12.34" O
Departamento:	San Martín	Altitud	: 1030 m.s.n.m.

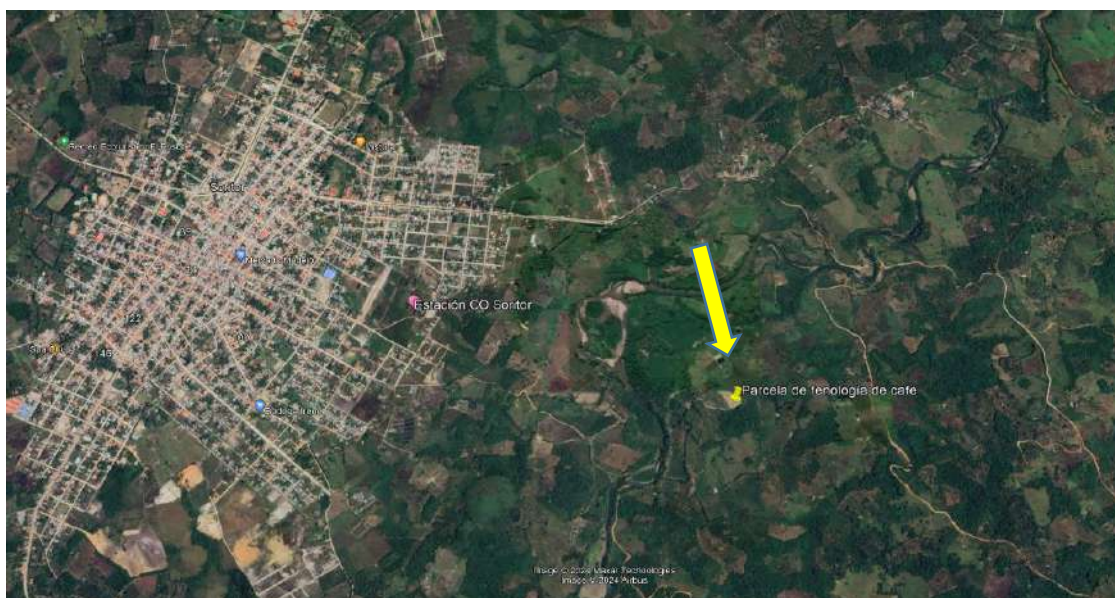


Figura 5

Ubicación geográfica de la parcela de observación de café en Soritor

3.3.3 Determinación de la correlación entre las sequías meteorológicas y la producción del cultivo de café

Se relacionó la información de los eventos de sequías meteorológicas con las áreas de siembra, fenología y rendimientos de los cultivos, previamente graficados en líneas que permitan su interpretación. Las correlaciones en todos los casos tuvieron un desfase en el tiempo, es decir los eventos de sequías ocurridos van afectar un determinado cultivo, observándose en los rendimientos. Es decir, si un evento de sequía se presentó en el primer trimestre, cuando el cultivo de café estaba en fase de fructificación, los efectos se verán en los rendimientos cuantificados en el mes de julio.

CAPÍTULO IV RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 Sequías meteorológicas en el distrito de Soritor, región San Martín

4.1.1 Análisis de la precipitación en Soritor del periodo 2000 al 2022 y los escenarios climáticos al 2099

La precipitación en la localidad de Soritor tiene un comportamiento variable, en la serie 2000 – 2022, posee una normal climatológica de 1916.8 mm, el año donde más precipitó fue el 2020 con un acumulado anual de 2425.2 mm, mientras que en esa serie el año que menos llovió fue el 2022 con un acumulado de 1443.7 mm, similar situación se apreció en las estaciones vecina de Moyobamba y Jepelacio, cuyos registros están en la base de datos del SENAMHI.

De acuerdo a la regresión lineal, posee una tendencia ligeramente ascendente, con un incremento anual de la precipitación a razón de 6.9 mm/año, como se aprecia en la Figura 6. Esta situación se corrobora con los escenarios climáticos globales para la zona del Alto Mayo.

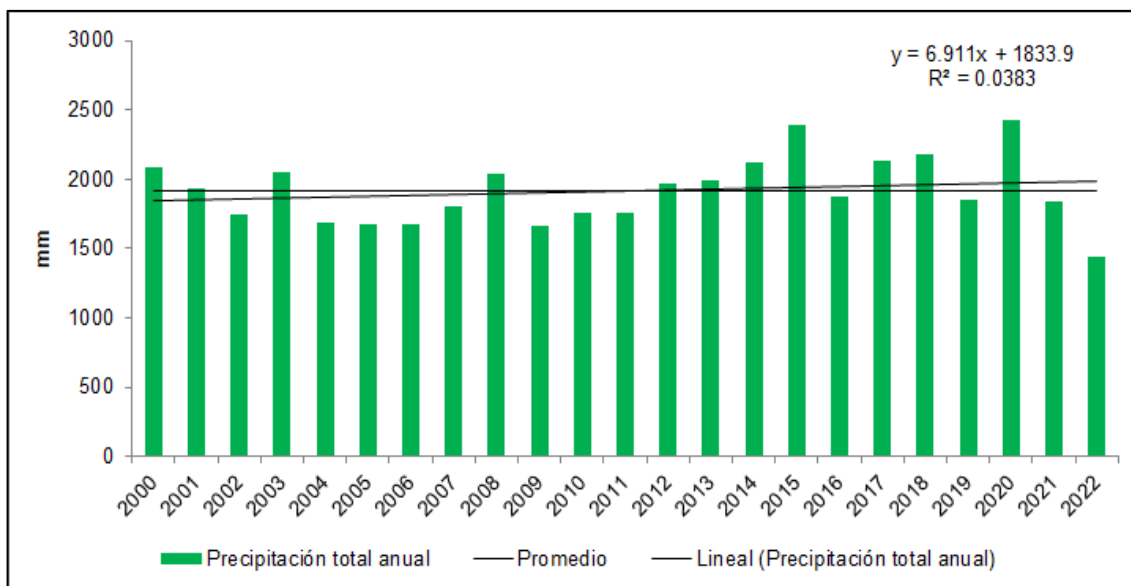


Figura 6
Distribución multianual de la precipitación en Soritor

De acuerdo a la información procesada, las precipitaciones en Soritor en los próximos años tendrán un comportamiento muy variable, los tres modelos numéricos en ambos contextos de emisiones de CO₂, RCP 4.5 y 8.5, representan la curva de las lluvias en similares condiciones, para los periodos cercanos, medianos y largos.

Se podrían presentar años cuyos acumulados de precipitaciones superen los 3000 mm de lluvia al año en el 2076, así como años en los cuales las lluvias solo registren acumulados menores a 600 mm al año entre el 2052 al 2053 y entre el 2082 al 2083, esto podría generar condiciones poco propicias para el impulso del cultivo de café en la zona de Soritor.

El promedio de acumulado de lluvia del periodo 2023 al 2099 es de 1806.2 mm/año, 110 mm por debajo del promedio del periodo 2000-2022, sin embargo, mantiene una ligera tendencia ascendente a razón de 2.78 mm/año, como se observa en la Figura 7.

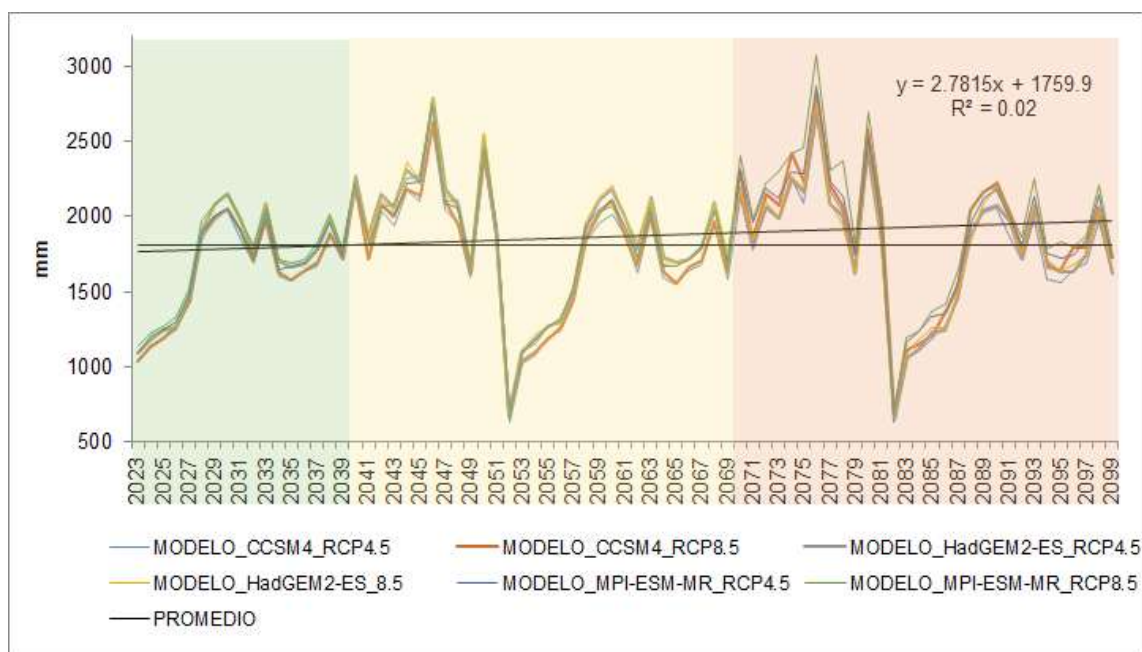


Figura 7

Ensamble de modelos para escenarios climáticos del 2023 al 2099.

A nivel de toda la serie 2000-2099 el promedio es de 1831.6 mm/año, y el año más lluvioso sería el 2071 con cerca de 3000 mm/año, mientras que el año menos lluvioso sería el año 2052, con un poco más de 600 mm/año, así se muestra en la Figura 8.

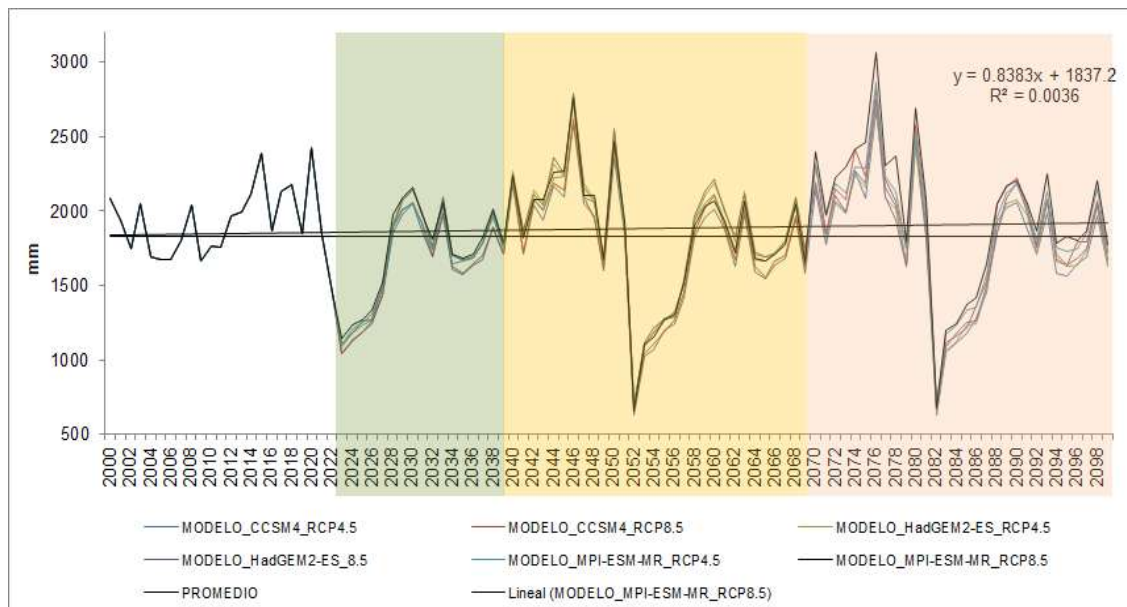


Figura 8

Comportamiento de la precipitación en Soritor del año 2000 al 2099.

De acuerdo a la tendencia lineal, se estima un incremento anual en las precipitaciones hasta el año 2099, a razón de 0.8 mm/año, es decir mantiene una tendencia casi estacionaria.

4.1.2 Análisis de Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) en Soritor del periodo 2000 al 2022 y los escenarios climáticos al 2099

Se realizó el análisis de los SPI en las series 2000 al 2022, en diferentes periodos, de 3, 6 y 12 meses, para evaluar el comportamiento e intensidad de las sequías meteorológicas, cuyos resultados se detallan:

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 3 meses de la serie 2000-2022

- Duración: La mayor duración fue de 7 meses, entre diciembre del 2021 y junio del 2022
- Magnitud: La mayor magnitud registrada fue de -14.88
- Intensidad: La mayor intensidad registrada fue -3.40 en el mes de enero del 2022
- Frecuencia: Se registraron 20 eventos de sequías, de las cuales 4 fueron moderadamente secos, 10 fueron severamente secos y 6 fueron extremadamente secos (Figura 9).

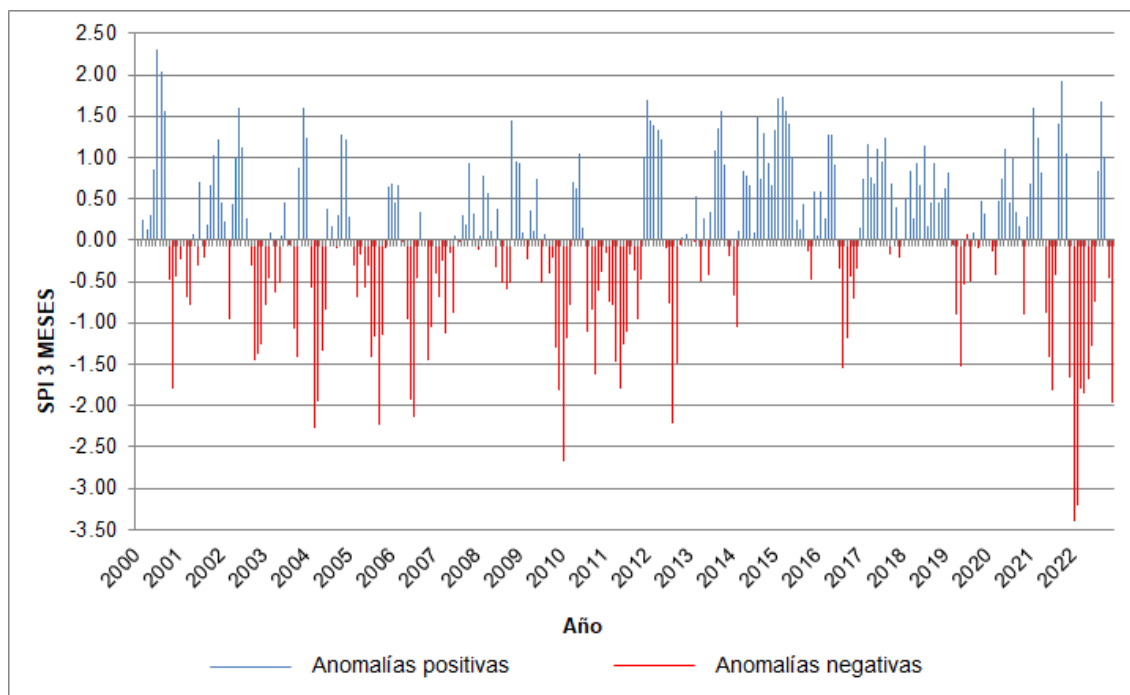


Figura 9

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 3 meses de la serie 2000-2022.

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 6 meses de la serie 2000-2022

- Duración: La mayor duración fue de 8 meses, entre enero del 2022 y agosto del 2022
- Magnitud: La mayor magnitud registrada fue de -16.61
- Intensidad: La mayor intensidad registrada fue -3.17 en el mes de abril del 2022
- Frecuencia: Se registraron 14 eventos de sequías, de las cuales 4 fueron moderadamente secos, 6 fueron severamente secos y 4 fueron extremadamente secos.

En la Figura 10 se detalla a manera de gráfica estos eventos de precipitación estandarizada.

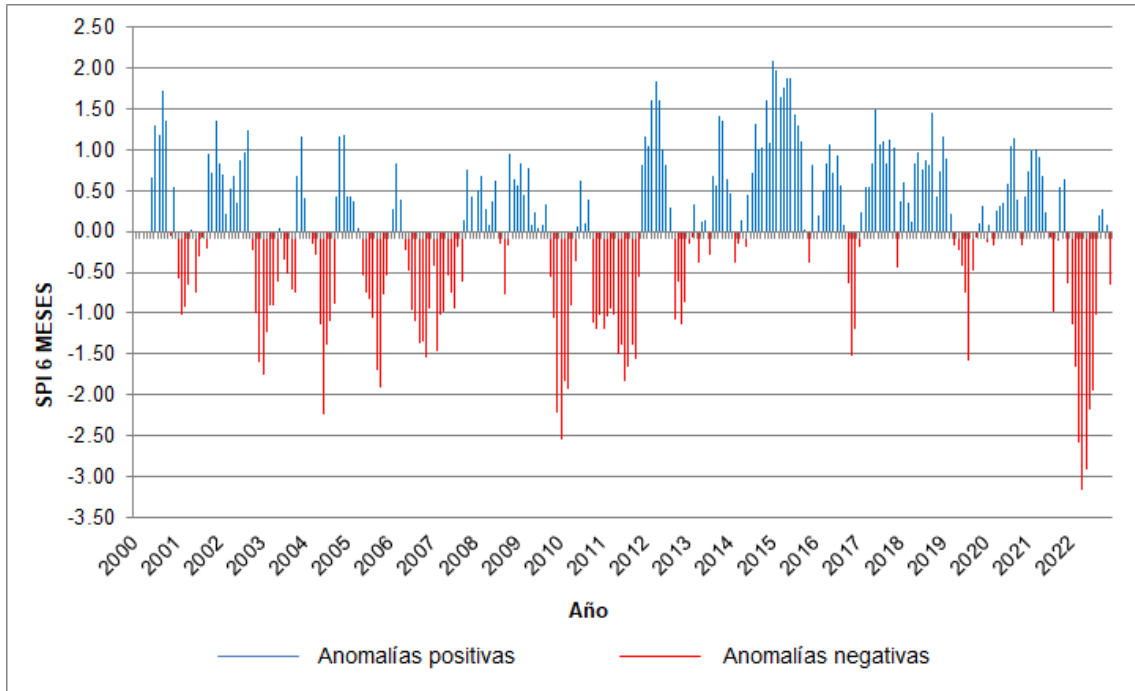


Figura 10

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 6 meses de la serie 2000-2022.

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 12 meses de la serie 2000-2022

- Duración: La mayor duración fue de 11 meses, entre febrero a diciembre del 2022
- Magnitud: La mayor magnitud registrada fue de -22.99
- Intensidad: La mayor intensidad registrada fue -2.54 en el mes de noviembre del 2022
- Frecuencia: Se registraron 9 eventos de sequías, de las cuales 3 fueron moderadamente secos, 4 fueron severamente secos y 2 fueron extremadamente seco.

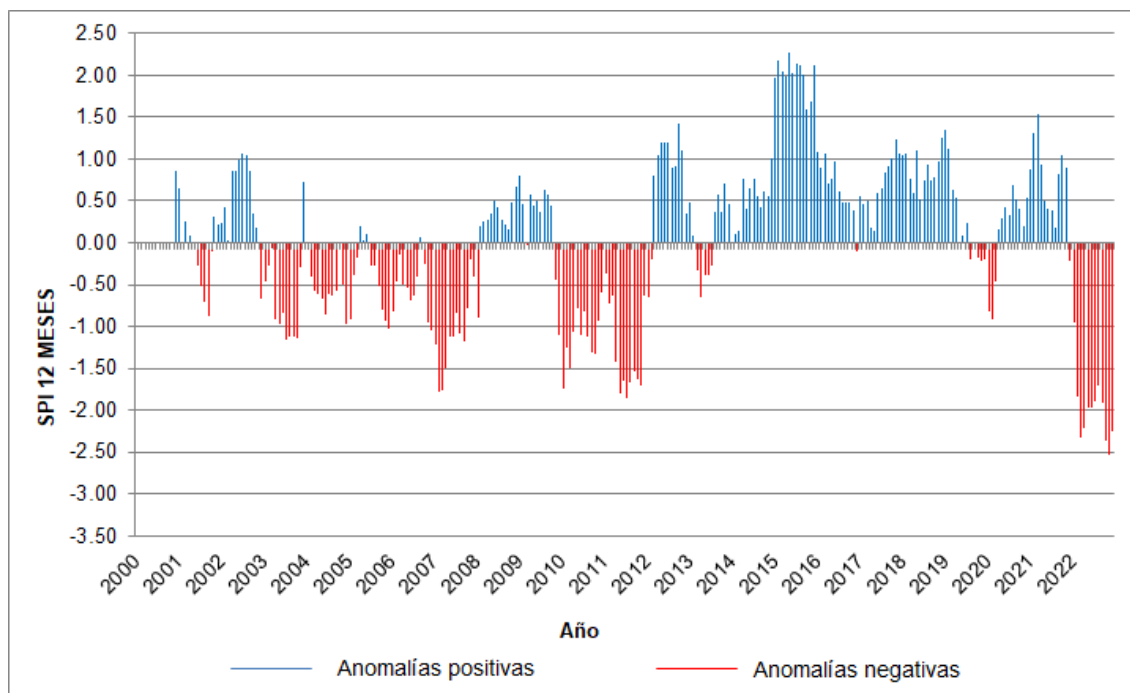


Figura 11
Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 12 meses de la serie 2000-2022.

Asimismo, se elaboró una tabla en la cual se resume la ocurrencia de las sequías en el periodo 2000-2022 en diferentes periodos de 3, 6 y 12 meses.

Tabla 6

Resumen de comportamiento de eventos de sequía en diferentes periodos de SPI en Soritor del periodo 2000 al 2022

SPI	Duración (meses consecutivos)	Magnitud (suma de los valores de SPI)	Intensidad (máximo valor negativo)	Frecuencia (cantidad de eventos registrados)			TOTAL
				Moderadamente seco	Severamente seco	Extramadamente seco	
SPI 3	7	-14.88	-3.40	4	10	5	20
SPI 6	8	-16.61	-3.17	4	6	4	14
SPI 12	12	-23.94	-2.54	2	3	1	6

En la Tabla 6 se aprecia que durante el periodo 2000 – 2022, ocurrieron 20 eventos de sequías con el SPI 3, de los cuales 4 eran años moderadamente secos, 10 eran severamente secos y 6 fueron extremadamente secos, es decir, sobrepasaron el índice -2. Con el SPI 6 se presentaron 14 eventos de sequías y con el SPI 12, 6 eventos.

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) RCP 4.5

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) de 3 meses, de la serie 2023-2099

En el SPI con modelos numéricos proyectado hacia el 2099, con RCP 4.5, se aprecia que podrían existir eventos de años severamente secos, entre los años 2024 al 2027, 2053 al 2057 y del 2083 al 2087, lo que podría afectar severamente los cultivos de café en la zona de Soritor.

- Duración: La mayor duración sería de 12 meses, entre junio de 2053 a mayo de 2054.
- Magnitud: La mayor magnitud registrada sería de -20.54
- Intensidad: La mayor intensidad registrada sería -5.16 en el mes de mayo del 2082
- Frecuencia: Se registrarían 53 eventos de sequías, de las cuales 30 serían moderadamente secos, 8 serían severamente secos y 15 serían extremadamente secos.

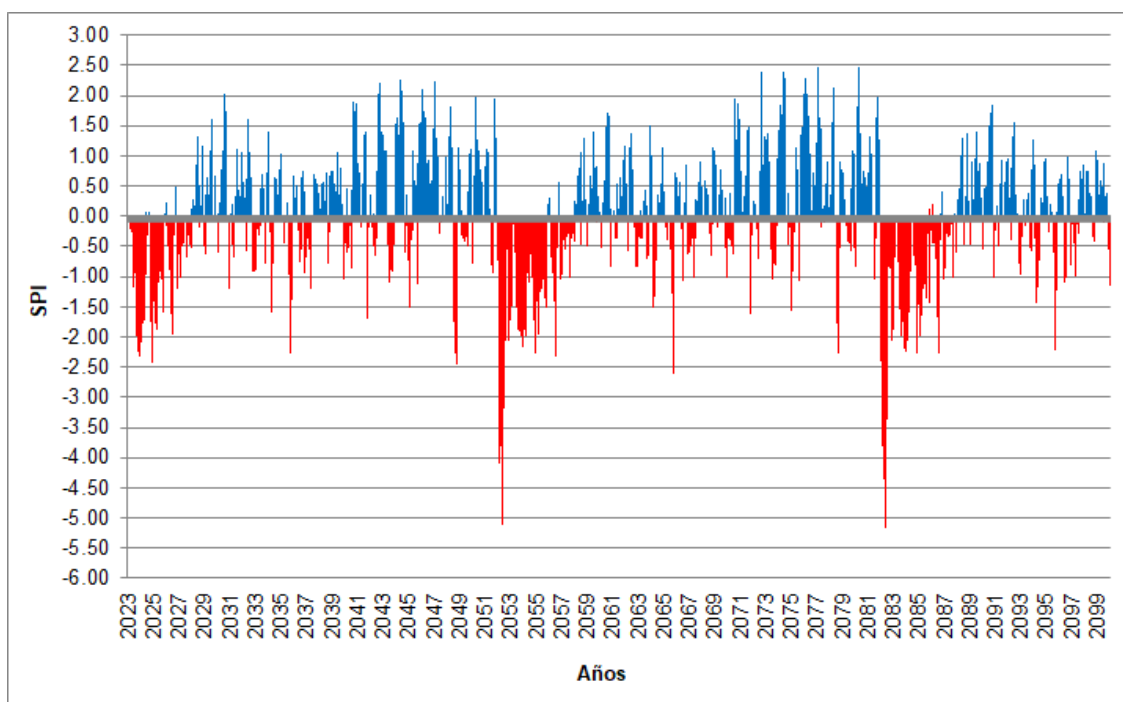


Figura 12

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 3 meses de la serie 2023-2099, RCP4.5

SPI de 6 meses, de la serie 2023-2099

- Duración: La mayor duración sería de 15 meses, entre febrero del 2052 a abril del 2053
- Magnitud: La mayor magnitud registrada sería de -38.61
- Intensidad: La mayor intensidad registrada sería -5.01 en el mes de mayo del 2052
- Frecuencia: Se registrarían 27 eventos de sequías, de las cuales 8 serían moderadamente secos, 10 serían severamente secos y 9 serían extremadamente secos.

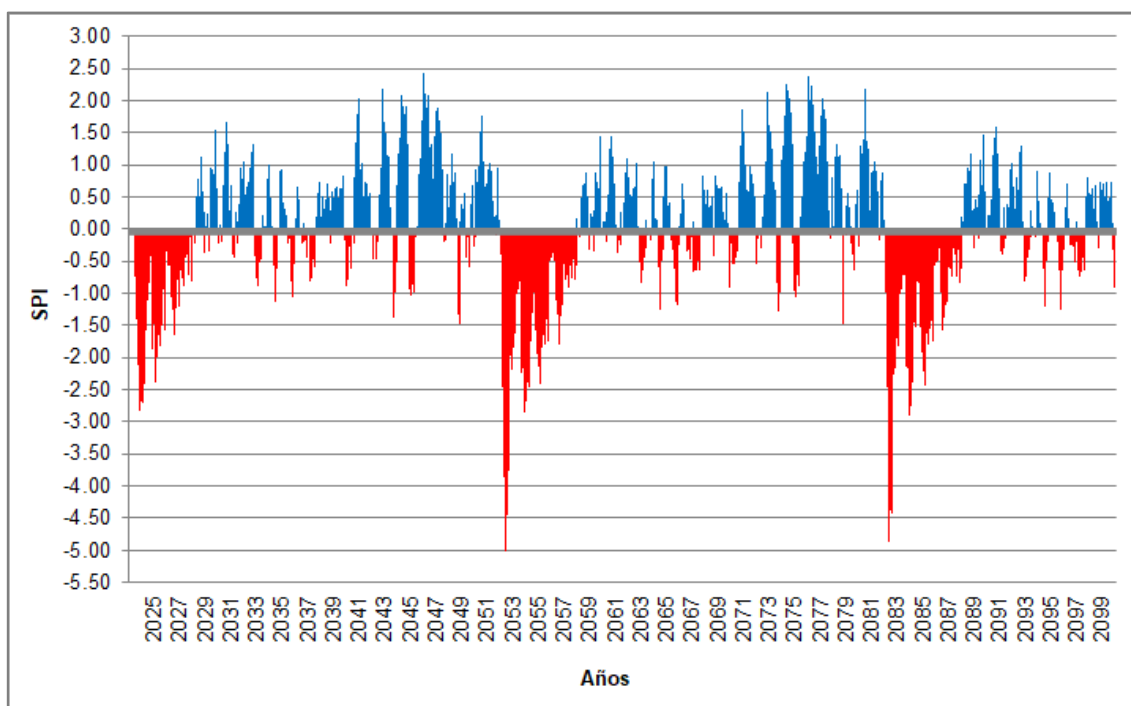


Figura 13

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 6 meses de la serie 2023-2099, RCP4.5

SPI de 12 meses, de la serie 2023-2099

- Duración: La mayor duración sería de 55 meses, entre marzo del 2052 a setiembre del 2056
- Magnitud: La mayor magnitud registrada fue de -110.92
- Intensidad: La mayor intensidad registrada fue -4.37 en el mes de noviembre del 2052
- Frecuencia: Se registrarían 11 eventos de sequías, de las cuales 5 serían moderadamente secos, 1 sería severamente seco y 5 serían extremadamente secos.

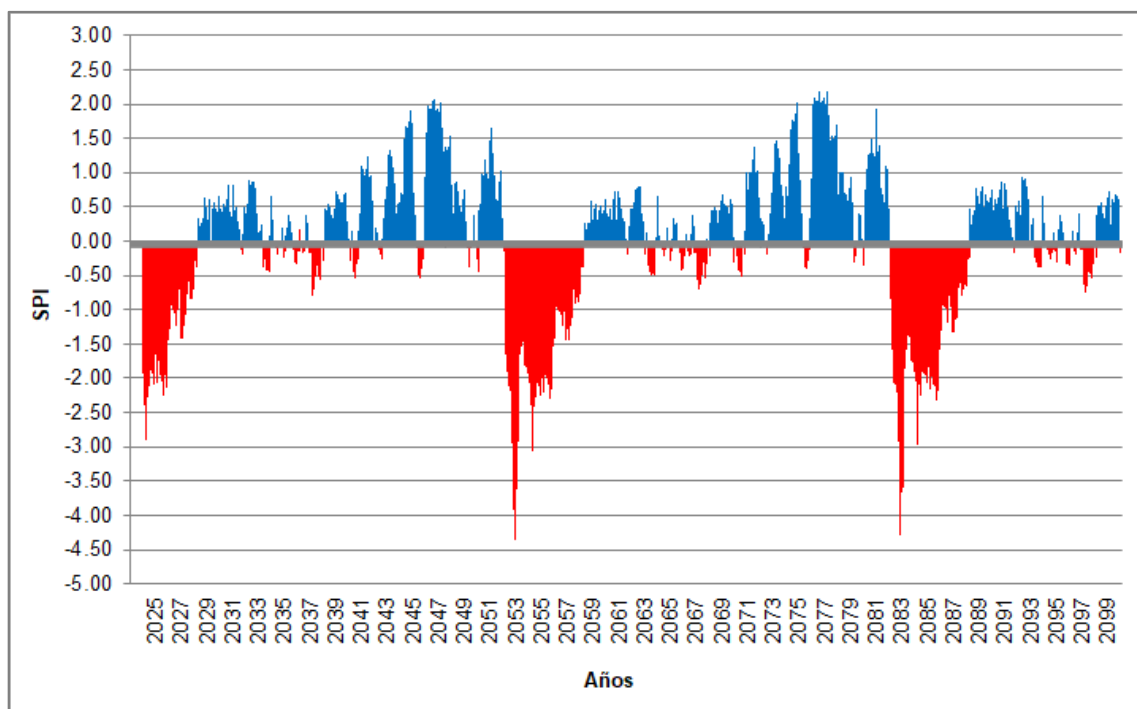


Figura 14

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 12 meses de la serie 2023-2099, RCP4.5

Asimismo, se elaboró la Tabla 7 en la cual se resume la ocurrencia de las sequías en el periodo 2023-2099 en diferentes periodos de 3, 6 y 12 meses, bajo escenarios de cambio climático con nivel de emisiones RCP 4.5.

Tabla 7

Resumen de comportamiento de eventos de sequía en diferentes periodos de SPI multiensamble RCP 4.5 en Soritor del periodo 2023 al 2099

SPI	Duración (meses consecutivos)	Magnitud (suma de los valores de SPI)	Intensidad (máximo valor negativo)	Frecuencia (cantidad de eventos registrados)			TOTAL
				Moderadamente seco	Severamente seco	Extramadamente seco	
SPI 3	12	-20.54	-5.16	30	8	15	53
SPI 6	15	-38.61	-5.01	8	10	9	27
SPI 12	55	-110.92	-4.37	5	1	5	11

En la Tabla 7 se aprecia que durante el periodo 2023 – 2099, ocurrirían 53 eventos de sequías con el SPI 3, de los cuales 30 serían años moderadamente secos, 8 serían severamente secos y 15 serían extremadamente secos, es decir, sobrepasan el índice -2. Con el SPI 6 se presentaron 27 eventos de sequías y con el SPI 12, 11 eventos.

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) RCP 8.5

SPI de 3 meses, de la serie 2023-2099

En el SPI con modelos numéricos proyectado hacia el 2099, con RCP 8.5, se aprecia que podrían existir eventos de años severamente secos, entre los años 2024 al 2027, 2053 al 2057, del 2083 al 2087 y el 2095, lo que podría afectar severamente los cultivos de café en la zona de Soritor.

- Duración: La mayor duración sería de 13 meses, entre mayo del 2053 a junio del 2054
- Magnitud: La mayor magnitud registrada fue de -20.76
- Intensidad: La mayor intensidad registrada fue -4.95 en el mes de abril del 2052
- Frecuencia: Se registrarían 48 eventos de sequías, de las cuales 23 serían moderadamente secos, 10 sería severamente secos y 15 serían extremadamente secos.

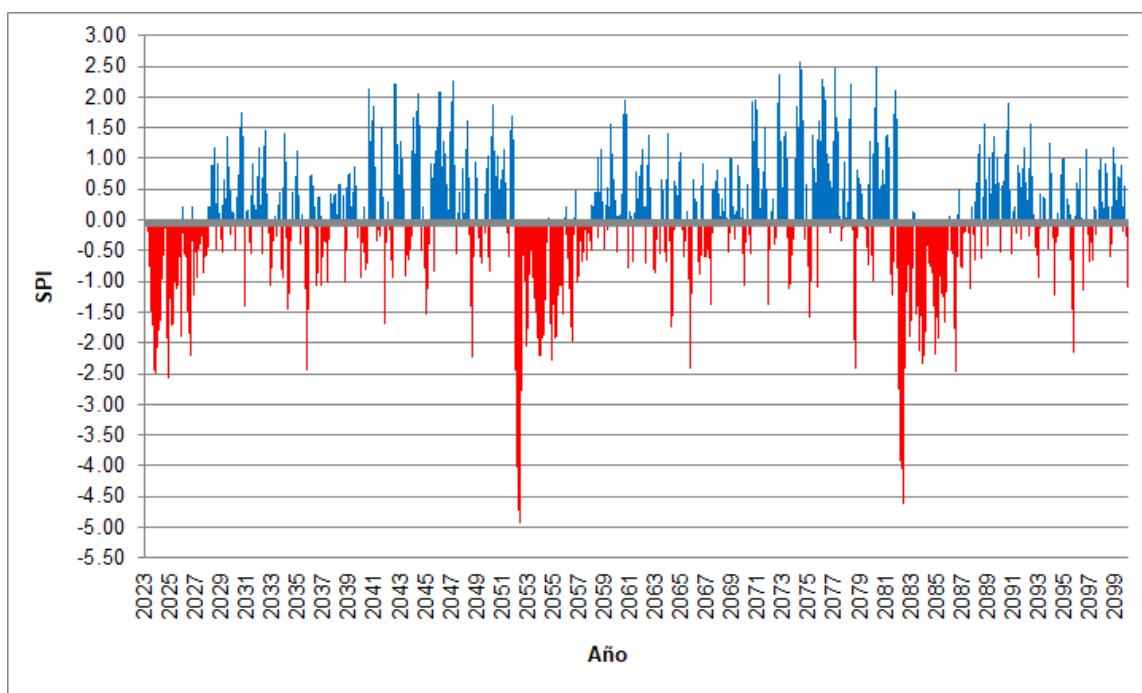


Figura 15

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 3 meses de la serie 2023-2099, RCP8.5

SPI de 6 meses, de la serie 2023-2099

- Duración: La mayor duración sería de 31 meses, entre febrero del 2052 a agosto del 2054
- Magnitud: La mayor magnitud registrada fue de -65.76
- Intensidad: La mayor intensidad registrada fue -4.93 en el mes de abril del 2052
- Frecuencia: Se registrarían 23 eventos de sequías, de las cuales 8 serían moderadamente secos, 7 serían severamente secos y 8 serían extremadamente secos.

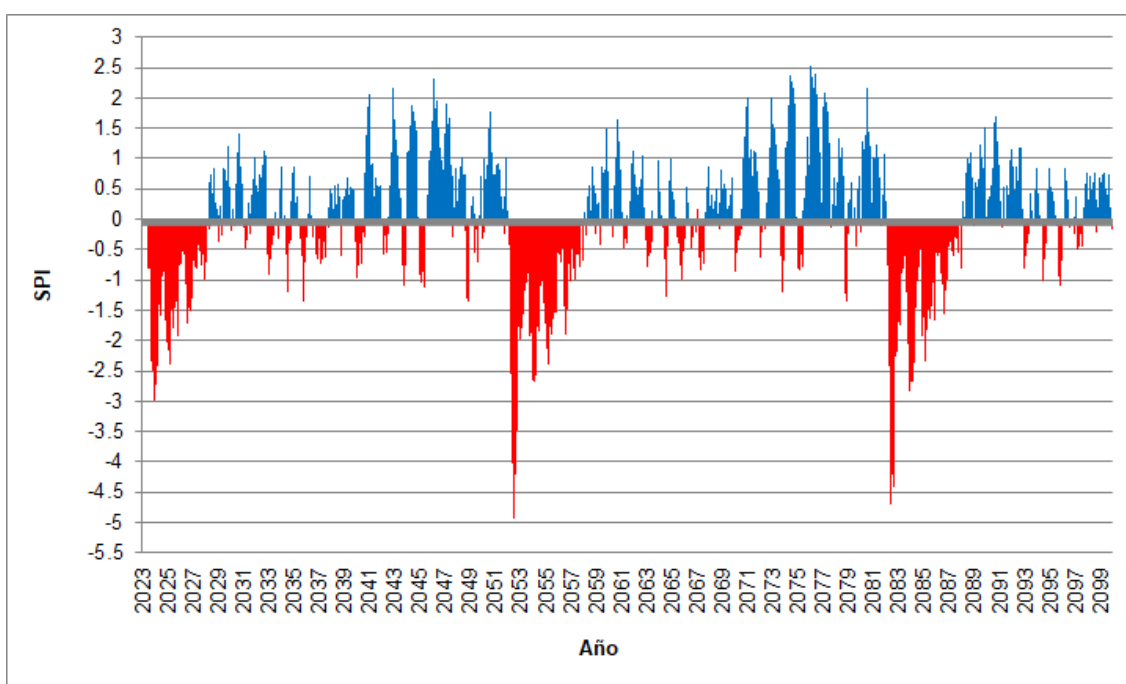


Figura 16

Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 6 meses de la serie 2023-2099, RCP8.5

SPI de 12 meses, de la serie 2023-2099

- Duración: La mayor duración sería de 62 meses, entre marzo del 2052 a abril del 2057
- Magnitud: La mayor magnitud registrada fue de -119.26
- Intensidad: La mayor intensidad registrada fue -4.14 en el mes de noviembre del 2052
- Frecuencia: Se registrarían 14 eventos de sequías, de las cuales 5 serían moderadamente secos, 3 serían severamente secos y 6 serían extremadamente secos.

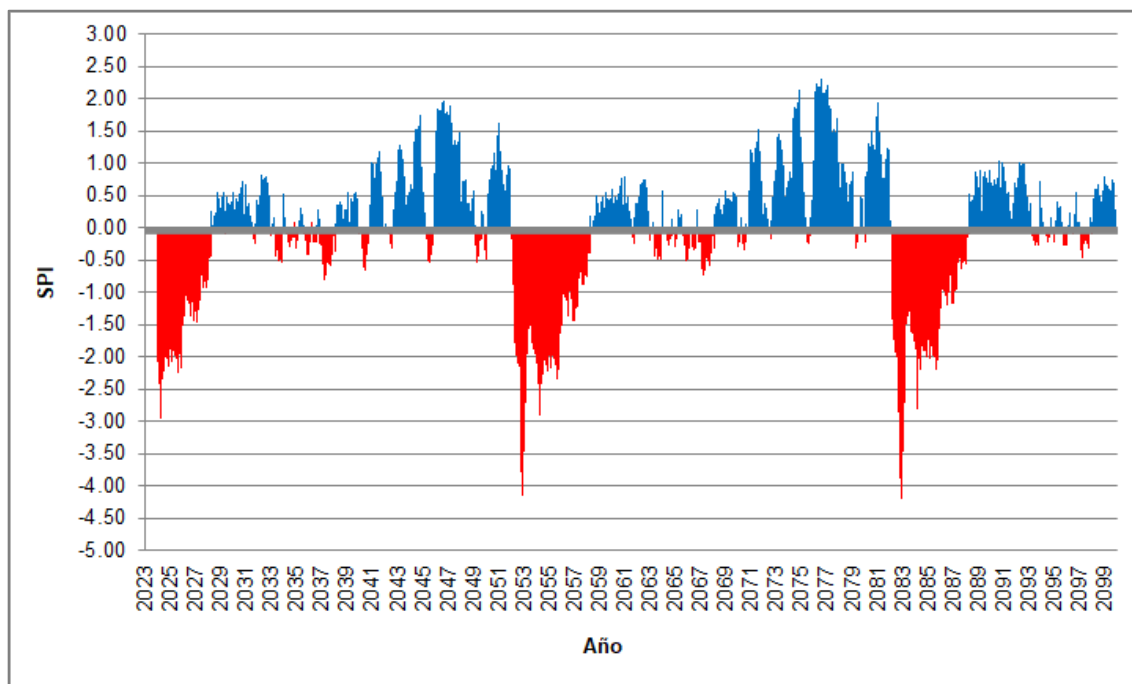


Figura 17
Índice de Precipitación Estandarizada (SPI) 12 meses de la serie 2023-2099, RCP8.5

Asimismo, se elaboró la Tabla 8 en la cual se resume la ocurrencia de las sequías en el periodo 2023-2099 en diferentes periodos de 3, 6 y 12 meses, bajo escenarios de cambio climático con nivel de emisiones RCP 8.5.

Tabla 8

Resumen de comportamiento de eventos de sequía en diferentes periodos de SPI multiensamble RCP 8.5 en Soritor del periodo 2023 al 2099

SPI	Duración (meses consecutivos)	Magnitud (suma de los valores de SPI)	Intensidad (máximo valor negativo)	Frecuencia (cantidad de eventos registrados)			TOTAL
				Moderadamente seco	Severamente seco	Extramadamente seco	
SPI 3	13	-20.76	-4.95	23	10	15	48
SPI 6	31	-67.76	-4.93	8	7	8	23
SPI 12	55	-110.92	-4.37	5	1	5	11

En la Tabla 8 se aprecia que durante el periodo 2023 – 2099, ocurrirían 48 eventos de sequías con el SPI 3, de los cuales 23 serían años moderadamente secos, 10 serían severamente secos y 15 serían extremadamente secos, es decir, sobrepasaron el índice -2. Con el SPI 6 se presentaron 23 eventos de sequías y con el SPI 12, 11 eventos.

4.2 Producción del cultivo de café en el distrito de Soritor

4.2.1 Áreas de cultivo de café en Soritor de la serie 2001-2022

El distrito de Soritor, es una zona donde más se cultiva y cosecha los granos de café en San Martín, actualmente cuenta con más de 1800 hectáreas instaladas del cultivo, sufriendo variaciones en las dos últimas décadas, tuvo un incremento drástico a partir del 2006 pasando de 2649 hectáreas instaladas a 7396 en el 2013, decayendo nuevamente en el año 2020, como se aprecia en la Figura 18, debiéndose probablemente al abandono de las fincas debido a la pandemia.

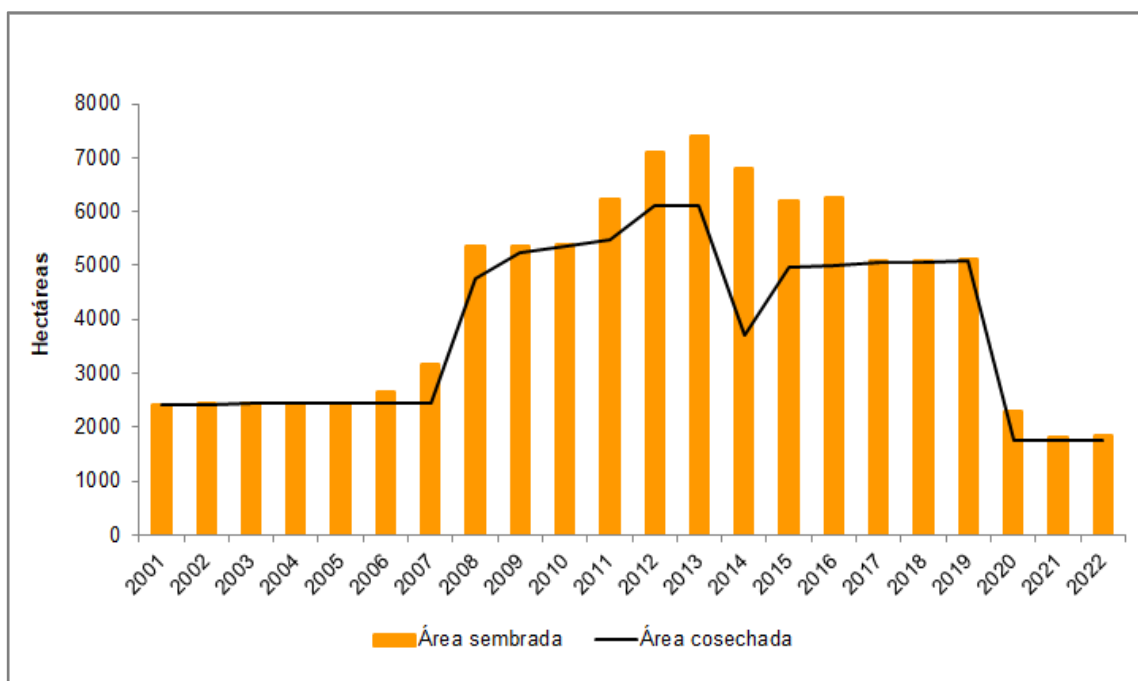


Figura 18
Áreas sembradas de café en el distrito de Soritor por año (DRASAM, 2023)

En el periodo del 2001 al 2022, se realizaron nuevas siembras incrementando las áreas de producción, hasta el año 2007 había en el distrito de Soritor, 3164 hectáreas, incrementando a 7396 hectáreas en el año 2013, siendo en la campaña 2007-08 en la cual se registraron las mayores expansiones; estos cuadros coinciden con la secuencia de siembras, se evidencia en la Figura 19.



Figura 19
Incremento de áreas de siembra en Soritor por año (DRASAM, 2023)

De acuerdo al último reporte del MIDAGRI, actualmente en el 2023, en el distrito de Soritor existen 1766 hectáreas cosechadas, y congrega una población de 2326 caficultores.

4.2.2 Rendimiento del cultivo de café en Soritor de la serie 2001-2022

El rendimiento del cultivo de café en pergamino por hectárea en el distrito de Soritor, durante el periodo 2001 – 2022 fue en promedio 15.86 qq/Ha, sin embargo, en el año 2013, se tuvo un rendimiento de 4 qq/Ha debido a la roya, eso fue subiendo después, en el 2022 bajó a 8 qq/Ha, debiéndose probablemente a la sequía, esto se muestra en la Figura 20

En el 2013 la producción del cultivo de café fue muy baja por la renovación de los cafetales debido al ataque masivo del hongo de la roya a nivel nacional.

Esta información se corrobora con la información disponible en la página del MIDAGRI, donde menciona que en el distrito de Soritor en el año 2022 solo se cosechó 825 toneladas de café, lo que equivale a 8.84 qq/Ha, coincidiendo con el reporte de la DRASAM.

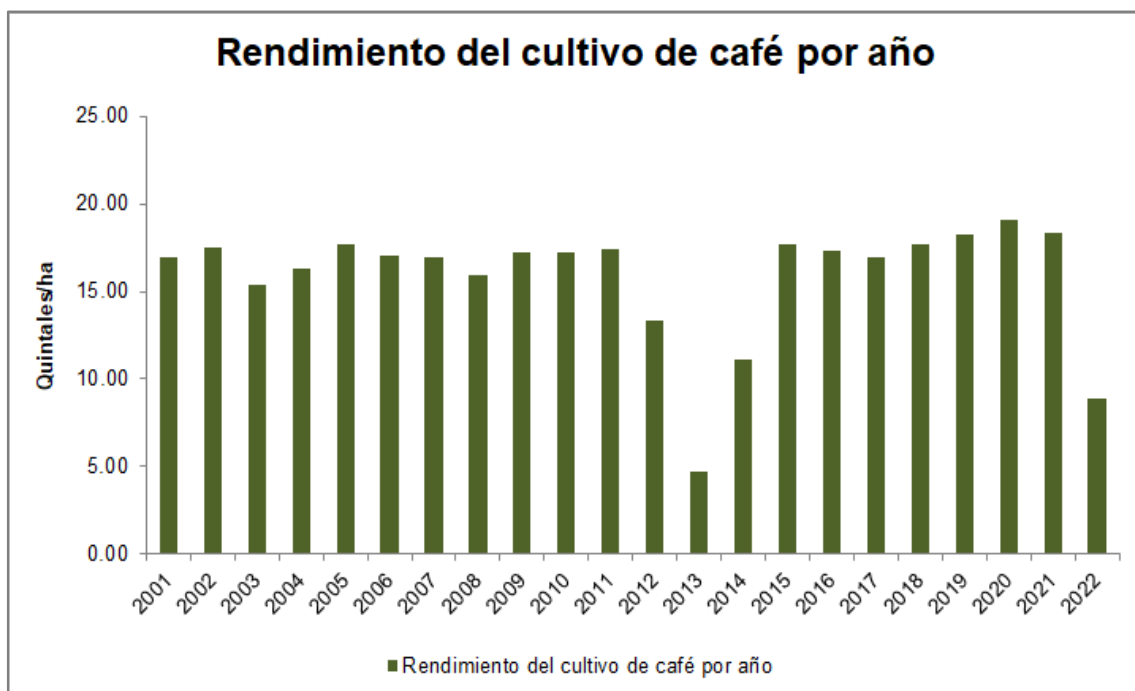


Figura 20.

Rendimiento de café en qq/Ha en el distrito de Soritor (DRASAM, 2023)

Régimen de cosechas

Las mayores cosechas en el distrito de Soritor, se anotaron entre los meses de marzo a julio, siendo el mes de mayo donde se observan las mayores cosechas de la campaña. Hasta el año 2012 las mayores cosechas se realizaban en el mes de abril, sin embargo, después del 2014 se aprecia que las cosechas fuertes se realizan en el mes de mayo, esta información se obsculata en la Figura 21.

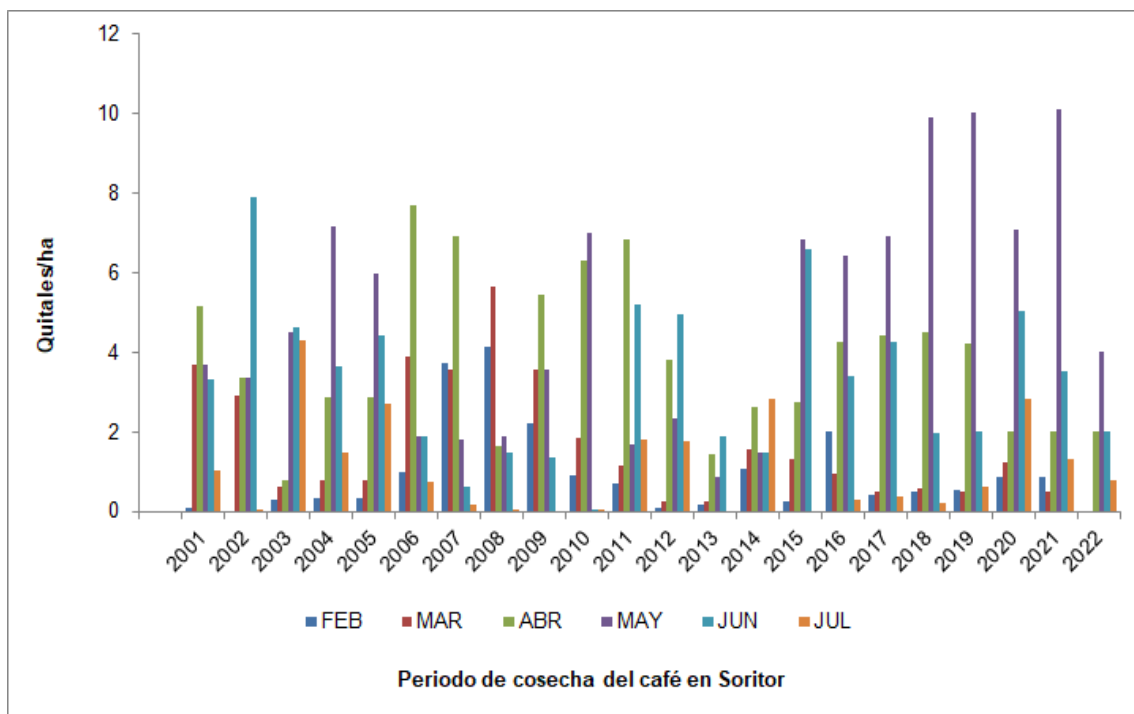


Figura 21

Periodos de cosecha del cultivo de café en el distrito de Soritor (DRASAM, 2023)

4.2.3 Fenología del cultivo de café en Soritor de la serie 2001-2022

Cada campaña es distinta, y durante los 22 años de observación, las fases fenológicas fueron dinámicas, presentándose con retraso o adelanto en algunos años, en otros las fases fueron cortas o largas, debiéndose probablemente a las observaciones del observador, las lluvias que pudieron presentarse o sequías durante el desarrollo de la fase, la edad la planta, o en algunos casos las renovaciones que se hacían de las plantaciones.

La fenología del cultivo de café en la estación de observación de Soritor, en base a las fases fenológicas propuestas por SENAMHI (prominencia de yemas, botón floral, florecimiento, producción y madurez), presenta la siguiente distribución, que se muestran en las Figuras 22, 23, 24, 25 y 26.

Hinchazón de yemas

La fase fenológica de hinchazón de yemas, en la estación de observación fenológica de Soritor, se aprecia en algunos años desde la ultima semana del mes de mayo, hasta la tercera semana de setiembre, observándose la mayor frecuencia entre los meses de julio y agosto.

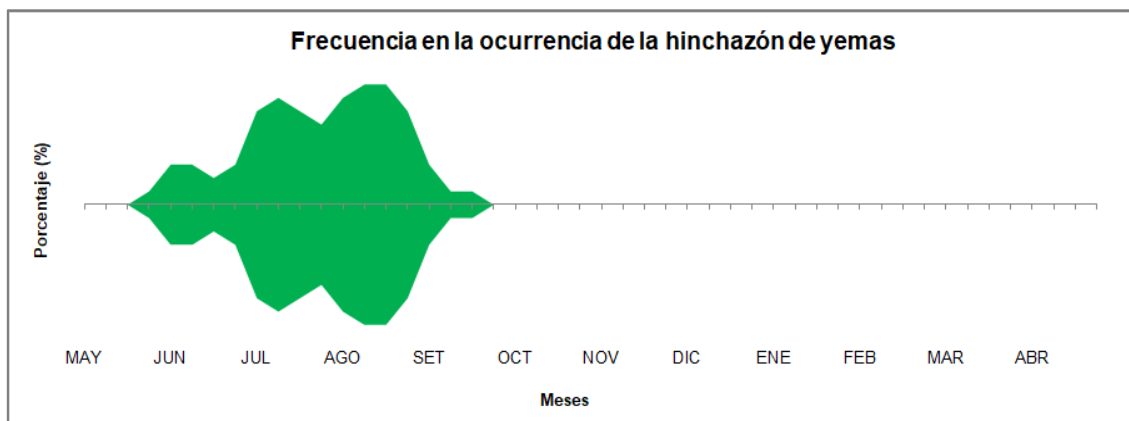


Figura 22
Frecuencia en la ocurrencia de la hinchazón de yemas

Botón floral

La fase fenológica de botón floral, en una campaña habitual, podría presentarse entre quincena de junio y la quincena de octubre, de acuerdo a las observaciones realizadas en campo, siendo entre la cuarta semana de agosto y la segunda semana de setiembre en la cual se registran las mayores frecuencias.

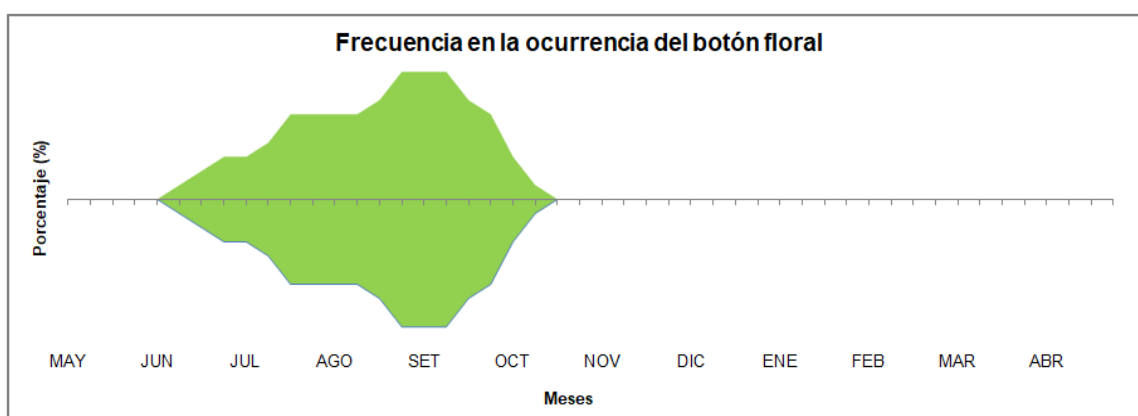


Figura 23
Frecuencia en la ocurrencia del botón floral

Floración

La fase fenológica de floración, se presenta de manera irregular, hasta en dos ocasiones con mayor frecuencia, es una fase de rápida aparición y de manera progresiva en las plantas, normalmente se podría apreciar entre la primera de julio y la tercera semana de noviembre, observándose las mayores frecuencias entre los meses de agosto y setiembre.

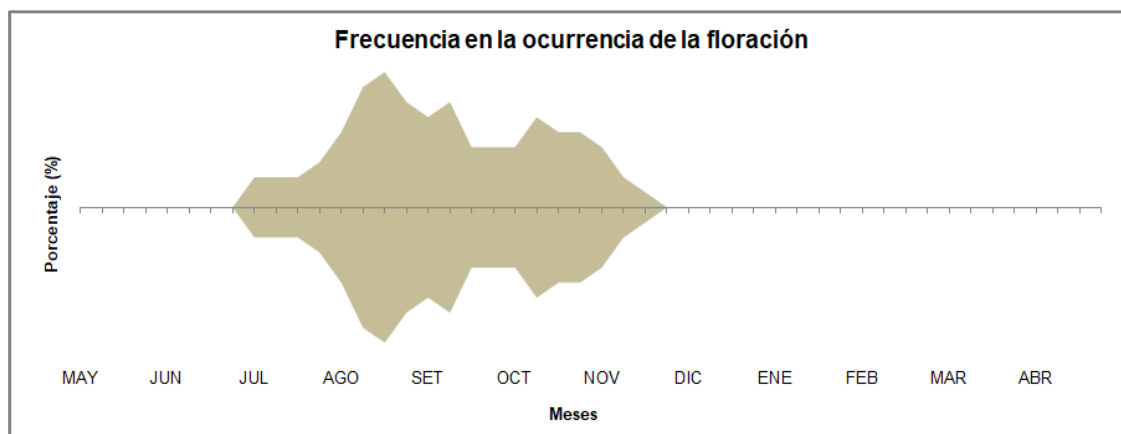


Figura 24
Frecuencia en la ocurrencia de la floración

Fructificación

La fase fenológica de fructificación, es la fase más larga de todo el ciclo de producción del café en la estación de monitoreo de Soritor, pudiendo apreciarse desde inicios de agosto hasta finales de abril, sin embargo, las mayores frecuencias en su ocurrencia se observan desde la quincena de octubre hasta la cuarta semana de febrero.

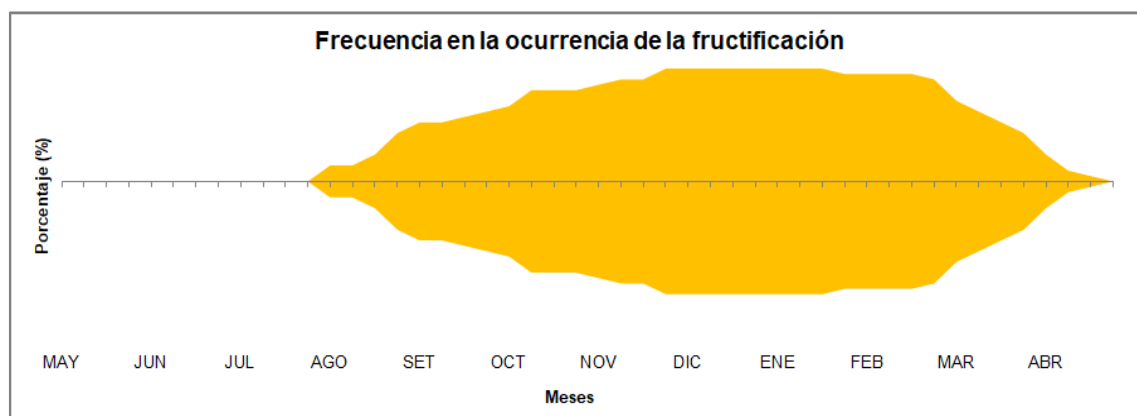


Figura 25
Frecuencia en la ocurrencia de la fructificación

Maduración

La fase fenológica de maduración, esta última fase del ciclo fenológico del cultivo, en la estación de monitoreo de Soritor, se puede presentar a modo de primeras cosechas desde finales de enero hasta la cuarta semana de julio, observándose las mayores cosechas entre la cuarta semana de marzo y la primera semana de junio, coincidiendo con los periodos de cosecha reportados por la DRASAM, cuyos mayores volúmenes se realizan entre los meses de abril y mayo.

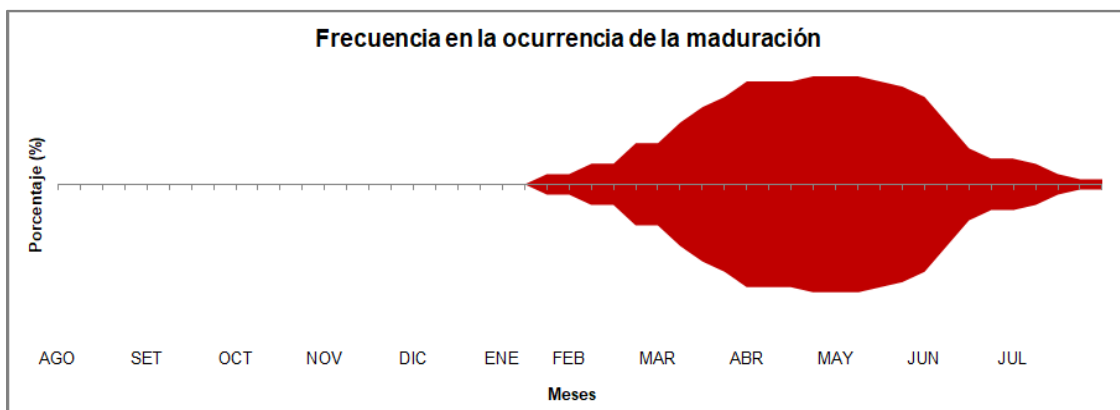


Figura 26
Frecuencia en la ocurrencia de la maduración

4.3 Relación entre las sequías meteorológicas y la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, región San Martín

4.3.1 Relación entre la precipitación y los rendimientos de café por año

La correlación entre las precipitaciones y la producción (rendimiento) de la siembra de café en el distrito de Soritor, la cual se muestra en la Figura 27, se trabajó mediante la regresión lineal simple, de la serie 2001 – 2022, con la data existente, observando que existe una relación muy baja entre ambas variables, con un coeficiente de correlación de 0.12 lo que explica que los bajos rendimientos obtenidos en los años 2013 y 2022 no estuvieron necesariamente asociados al régimen de precipitaciones. Es decir, que en el año 2013 se registró un régimen de precipitaciones dentro de su variabilidad normal, sin embargo, los rendimientos fueron bajos, sabido es que se debió al fenómeno de la roya amarilla.

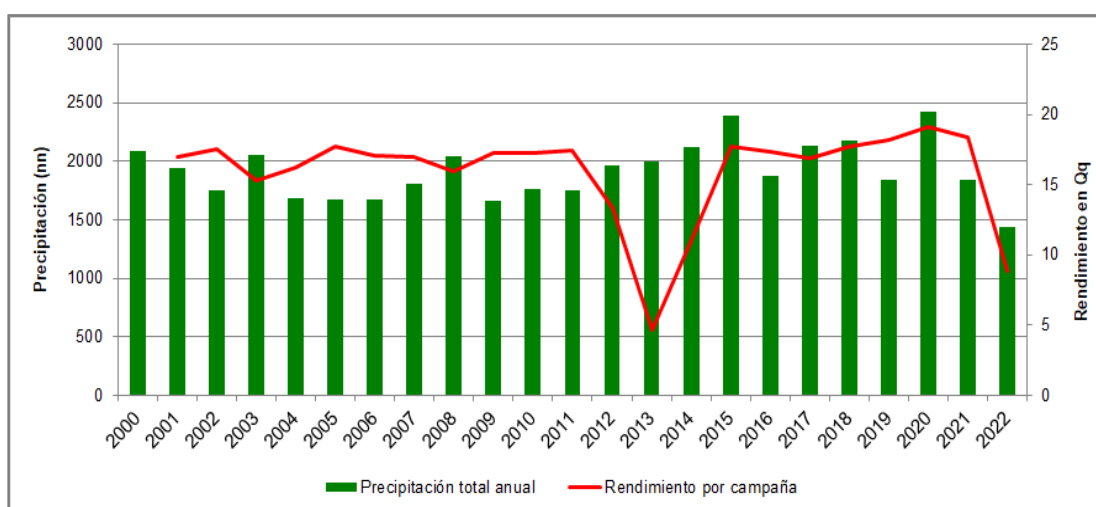


Figura 27
Relación entre la precipitación con los rendimientos anuales

En la Tabla 9, se muestra el cálculo de la regresión lineal simple, entre la precipitación y los rendimientos del cultivo de café en Soritor, con un coeficiente de determinación muy bajo de 0.01, y teniendo como base 22 años observados.

Tabla 9

Indicadores de correlación entre precipitación anual y rendimientos

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.120133811
Coefficiente de determinación R^2	0.014432132
R^2 ajustado	-0.034846261
Error típico	3.522814576
Observaciones	22

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Regresión	1	3.63457416	3.63457416
Residuos	20	248.204451	12.4102225
Total	21	251.839025	

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	12.58511913	6.10396156	2.06179528
Variable X 1	0.001716981	0.0031727	0.54117407

En la Figura 28, se evidencia la distribución del coeficiente de correlación donde los máximos rendimientos coinciden con las precipitaciones máximas acumuladas anuales entre 1600 a 2200 mm, con la excepción de bajos rendimientos cuando las precipitaciones estaban alrededor de los 2000 mm/anuales.

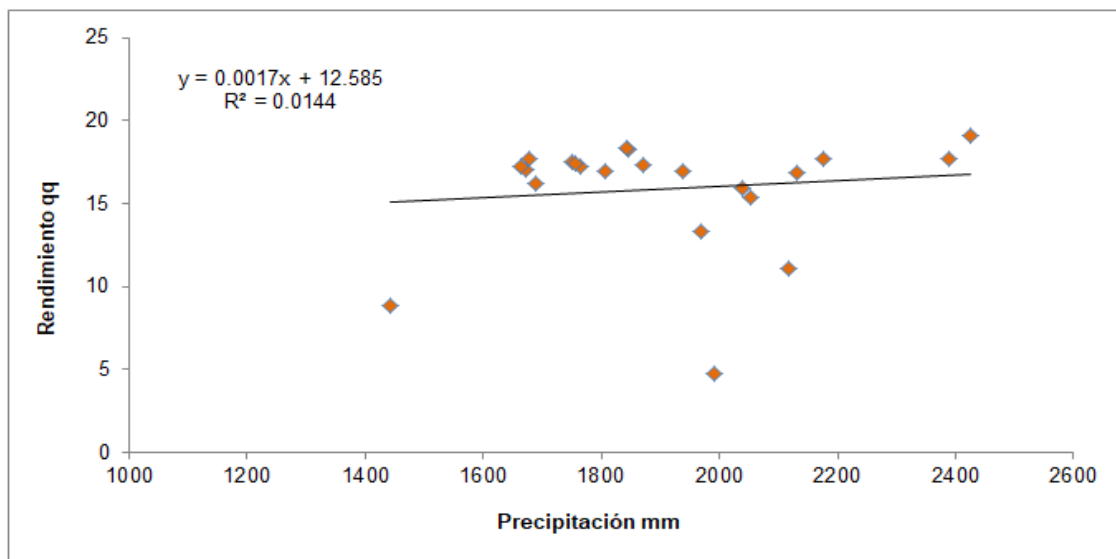


Figura 28

Distribución del coeficiente de correlación entre precipitación anual y rendimientos

También se realizó un ejercicio para determinar la correlación con un desfase de un año, es decir que las precipitaciones registradas en un determinado año sean determinantes para los rendimientos de la campaña posterior, en ese sentido, por ejemplo, las lluvias registradas en el año 2010 afectarían a las cosechas del año 2011, acá podemos apreciar que la correlación es baja y negativa de -0.33, lo que explicaría que hubiera un mayor coeficiente de correlación entre ambas variables, lo que es mostrado en la Figura 29.

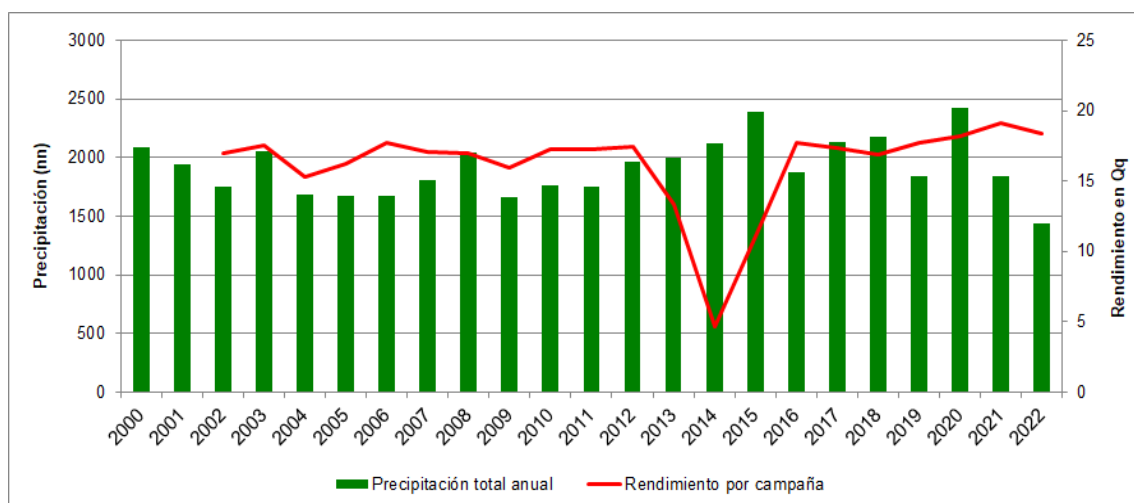


Figura 29

Relación entre la precipitación con los rendimientos anuales con desfase de un año

En la Tabla 10, se detalla el cálculo de la regresión lineal simple, entre la precipitación y los rendimientos del cultivo de café en Soritor con un desfaz de un año o una campaña, con un coeficiente de determinación muy bajo de 0.1, y teniendo como base 21 años observados.

Tabla 10

Indicadores de correlación entre la precipitación con los rendimientos anuales con desfase de un año

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0.331188159
Coefficiente de determinación R ²	0.109685596
R ² ajustado	0.062826944
Error típico	3.062876501
Observaciones	21

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Regresión	1	21.95931426	21.95931426
Residuos	19	178.2430367	9.381212458
Total	20	200.202351	

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	24.25253188	5.307031317	4.569886709
Variable X 1	0.004221794	0.002759416	-1.529959382

En la Figura 30, se aprecia la distribución del coeficiente de correlación donde los máximos rendimientos coinciden con las precipitaciones máximas acumuladas anuales entre 1600 a 2200 mm, con la excepción de bajos rendimientos cuando las precipitaciones estaban alrededor de los 2150 mm/anuales.

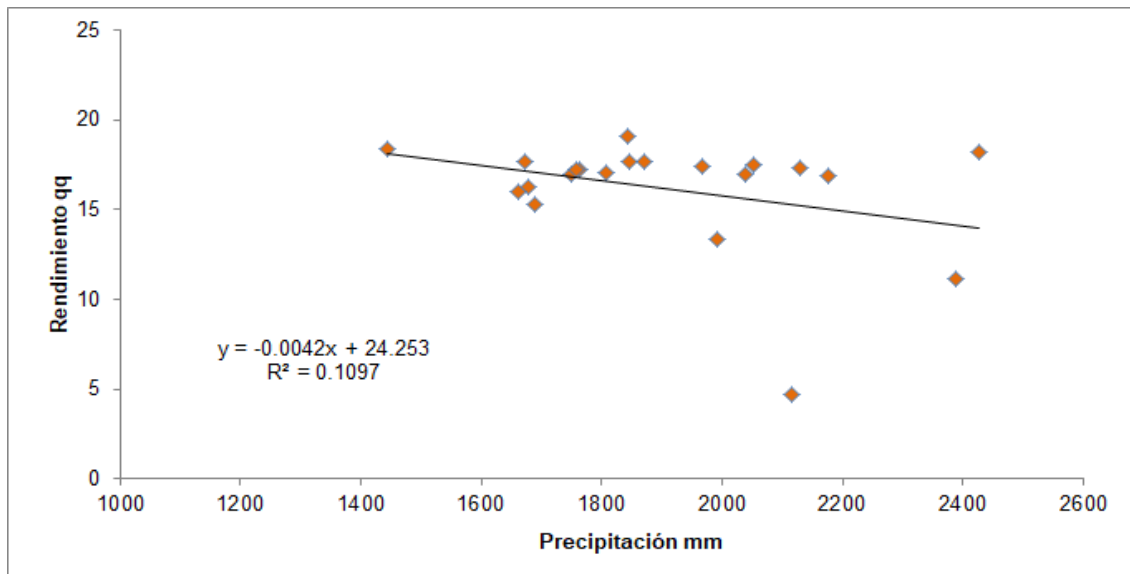


Figura 30

Distribución del coeficiente de correlación con un año de desfase

4.3.2 Relación entre el SPI y los rendimientos mensuales de café

En la Figura 31, se relacionó los rendimientos mensuales con los valores del SPI para determinar el coeficiente de correlación entre ambas variables, entre el SPI de 3 meses con los rendimientos mensuales existe una correlación de -0.00078, es decir un valor muy bajo que no explica la relación que existe entre estas dos variables.

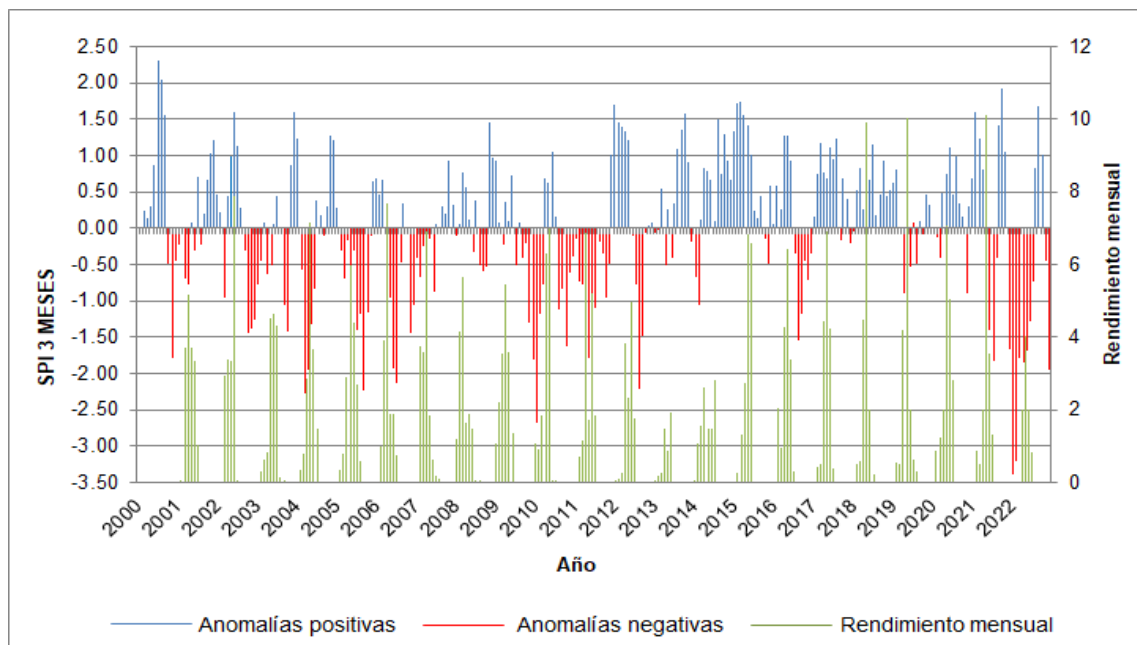


Figura 31

Relación entre SPI 3 meses con las cosechas mensuales

En la Tabla 11, se muestra el cálculo de la regresión lineal simple, entre el SPI 3 con las cosechas mensuales expresadas en quintales por hectárea del cultivo de café en Soritor, con un coeficiente de determinación de 6.2, y teniendo como base 264 observaciones, que se traduce en meses de cosecha en los 22 años observados.

Tabla 11

Indicadores de correlación entre SPI 3 meses con las cosechas mensuales

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.000782718
Coeficiente de determinación R ²	6.12647E-07
R ² ajustado	-0.003816179
Error típico	2.1290114
Observaciones	264

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Regresión	1	0.00072756	0.00072756
Residuos	262	1187.56466	4.53268954
Total	263	1187.56539	

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	1.321916262	0.13104934	10.0871644
Variable X 1	-0.001694679	0.13376156	-0.0126694

En la Figura 32, se observa la distribución del coeficiente de correlación donde los máximos rendimientos mensuales se ubican en un índice SPI 3 cercanos al 0, es decir en años normales, observándose, además, que a pesar de que se tuvieron años extremadamente secos o húmedos, se obtuvieron cosechas cercanas a sus normales.

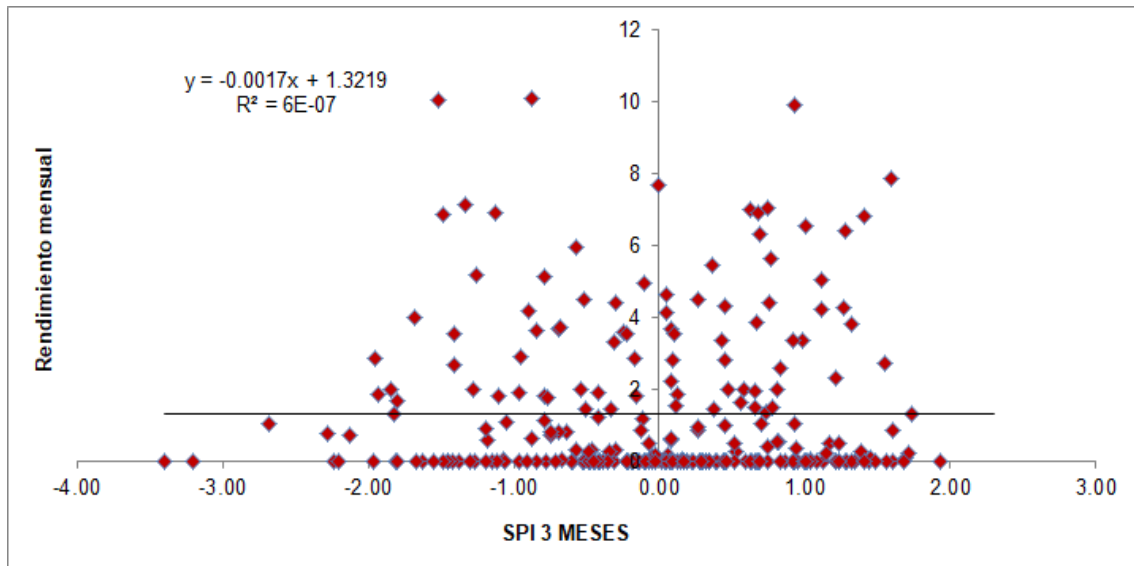


Figura 32

Distribución del coeficiente de correlación entre rendimientos mensuales con SPI 3

En la Figura 33, se puede demostrar que el coeficiente de correlación entre las variables de SPI de 6 meses con los rendimientos mensuales de café en Soritor tiene un valor de 0.34, las sequías meteorológicas acontecidas en los años 2003, 2006, 2010, 2011 y 2022, no han sido determinantes en el comportamiento de los rendimientos del cultivo.

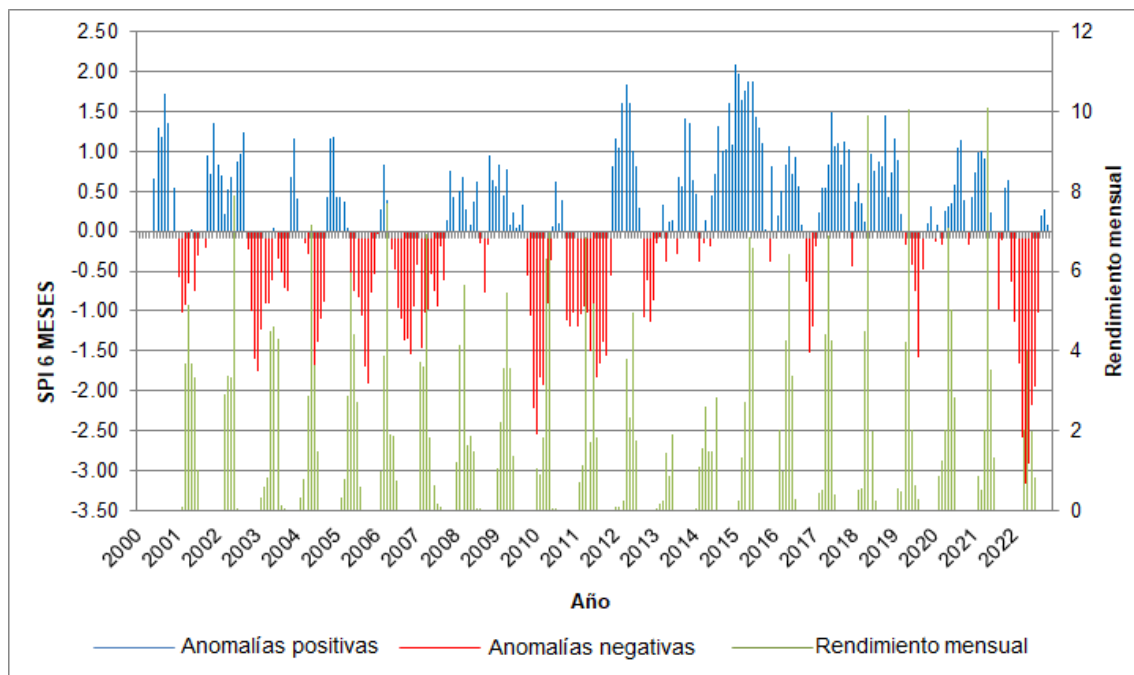


Figura 33

Relación entre SPI 6 meses con las cosechas mensuales

En la Tabla 12, se detalla el cálculo de la regresión lineal simple, entre el SPI 6 con las cosechas mensuales expresadas en quintales por hectárea del cultivo de café en Soritor, con un coeficiente de determinación muy bajo de 0.01, y teniendo como base 264 observaciones, que se traduce en meses de cosecha en los 22 años observados.

Tabla 12

Indicadores de correlación entre SPI 6 meses con las cosechas mensuales

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.034282553
Coeficiente de determinación R ²	0.001175293
R ² ajustado	-0.002637015
Error típico	2.127760577
Observaciones	264

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Regresión	1	1.39573779	1.39573779
Residuos	262	1186.16965	4.52736507
Total	263	1187.56539	

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	1.323685888	0.1309922	10.105074
Variable X 1	0.074223109	0.13367801	0.55523797

En la Figura 34, se aprecia la distribución del coeficiente de correlación donde los máximos rendimientos mensuales se ubican en un índice SPI 6 cercanos al 0, es decir en años normales, observándose, además, que a pesar de que se existieron años extremadamente secos o húmedos, se obtuvieron cosechas cercanas a sus normales.

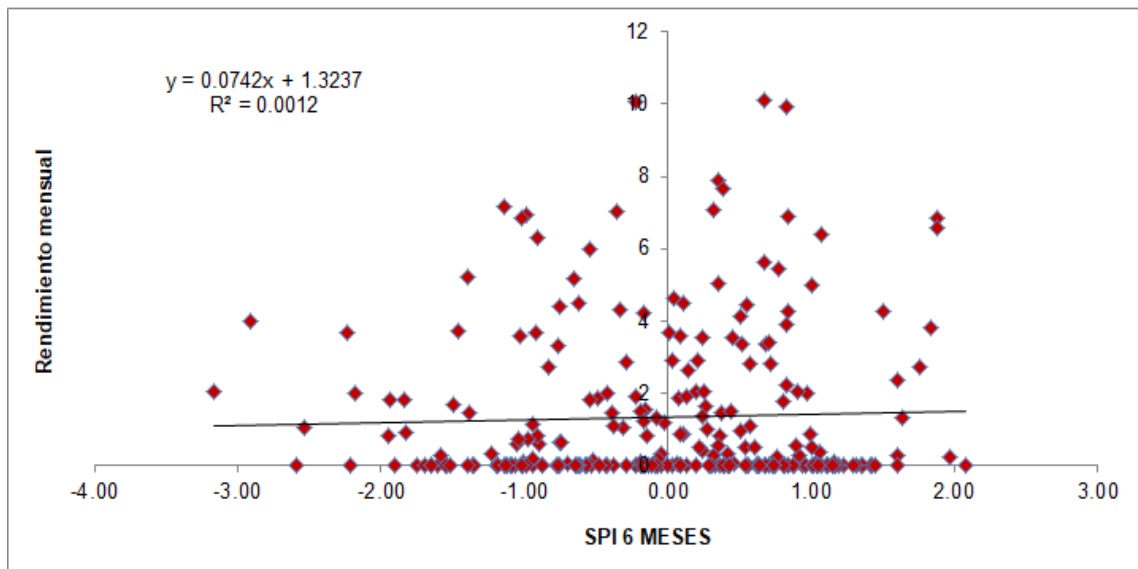


Figura 34

Distribución del coeficiente de correlación entre rendimientos mensuales con SPI 6

En la Figura 35, se detalla la relación entre las cosechas mensuales y las sequías meteorológicas expresadas a través de indicadores de SPI de 12 meses, guardan un coeficiente de correlación de 0.0226, también un indicador bajo entre ambas variables en estudio.

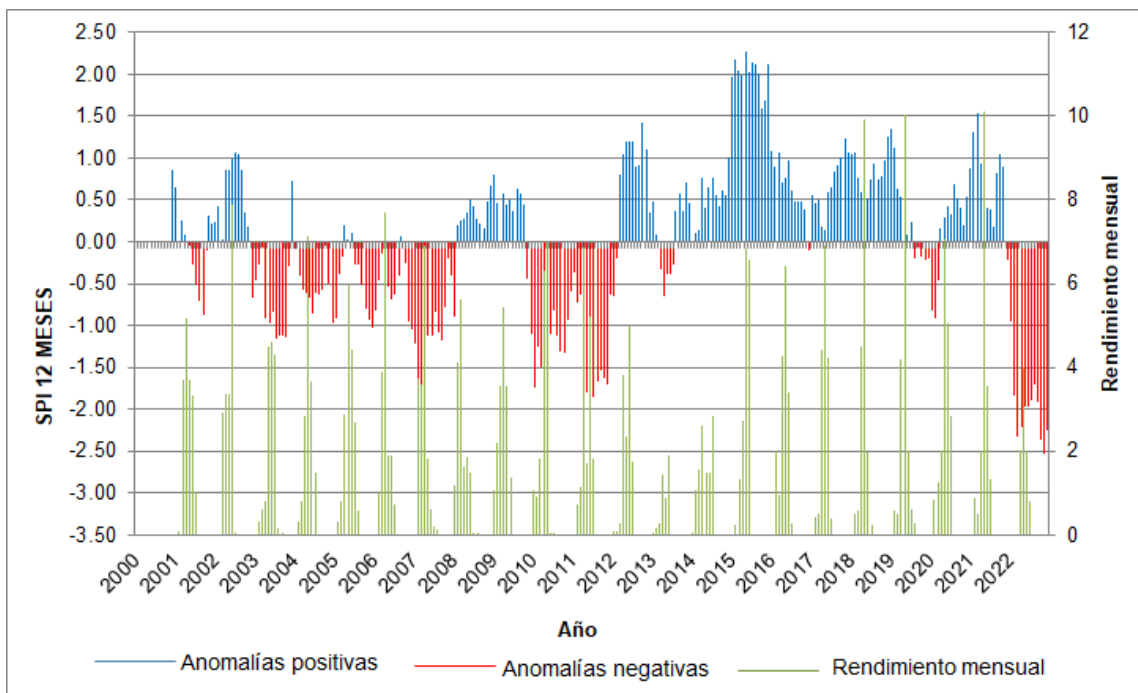


Figura 35

Relación entre SPI 12 meses con las cosechas mensuales

En la Tabla 13, se muestra el cálculo de la regresión lineal simple, entre el SPI 12 con las cosechas mensuales expresadas en quintales por hectárea del cultivo de café en Soritor, con un coeficiente de determinación muy bajo de 0.0005, y teniendo como base 264 observaciones, que se traduce en meses de cosecha en los 22 años observados.

Tabla 13

Indicadores de correlación entre SPI 12 meses con las cosechas mensuales

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coeficiente de correlación múltiple	0.022618766
Coeficiente de determinación R ²	0.000511609
R ² ajustado	-0.003303233
Error típico	2.128467372
Observaciones	264

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>
Regresión	1	0.60756862	0.60756862
Residuos	262	1186.95782	4.53037335
Total	263	1187.56539	

	<i>Coeficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>
Intercepción	1.321982947	0.13099816	10.091615
Variable X 1	0.049425958	0.13496601	0.3662104

En la Figura 36, se aprecia la distribución del coeficiente de correlación donde los máximos rendimientos mensuales se ubican en un índice SPI 12 cercanos al 0, es decir en años normales, observándose, además, que a pesar de que se presentaron años extremadamente secos o húmedos, se obtuvieron cosechas cercanas a sus normales.

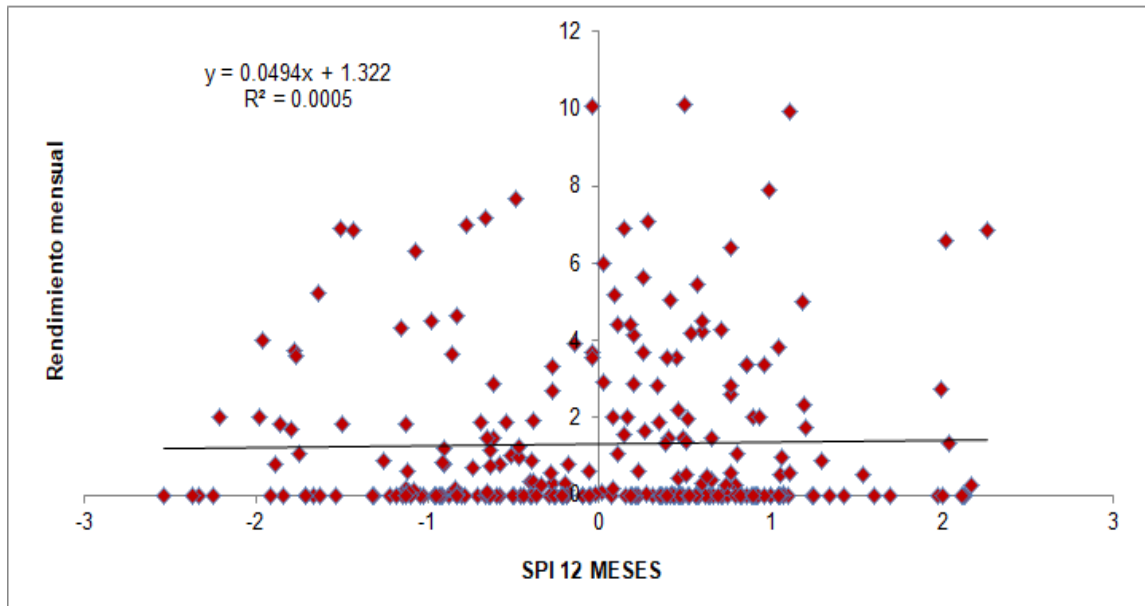


Figura 36

Distribución del coeficiente de correlación entre rendimientos mensuales con SPI 12

CONCLUSIONES

- Entre el periodo 2000 – 2022, las precipitaciones en Soritor tuvieron una tendencia ascendente a razón de 6.9 mm/año, con una normal climatológica de 1916.8 mm al año; y de acuerdo a los modelos numéricos de precipitación, a corto (2023-2039), mediano (2040-2069) y largo (2070-2099) plazo, las lluvias en este periodo tendrán una normal climatológica de 1806.2 mm/año, y una tendencia estacionaria, se presentarían años muy secos entre el 2052-2053, 2082-2083.
- Entre el periodo del 2000 – 2022, se presentaron 20 eventos de sequías meteorológicas con un periodo de análisis de SPI 3, 14 eventos bajo un análisis de SPI 6 y 6 eventos con SPI 12, bajo este mismo escenario, para el periodo 2023 – 2099, bajo el escenario de emisiones de CO₂ con RCP 4.5, se presentarían 53 eventos de sequías meteorológicas con SPI 3, 27 con SPI 6 y 11 con SPI 12; y con escenario climático RCP 8.5 se presentarían 48 eventos de sequías meteorológicas con SPI 3, 23 con SPI 6 y 11 con SPI 12.
- En el distrito de Soritor, actualmente existen 1847 hectáreas del cultivo de café instaladas de diferentes variedades, de las cuales 1767 son cosechadas, con un rendimiento promedio de 15.86 qq/ha, estas cosechas se realizan entre los meses de febrero y julio, siendo abril, mayo y junio donde se recoge la mayor cantidad de grano maduro.
- La fenología del cultivo de cafeto en la localidad de Soritor, presenta las siguientes fases, hinchazón de yemas, botón floral, floración, fructificación y maduración, hasta el año 2012, las mayores cosechas se realizaban en el mes de abril, y a partir del 2015, las mayores cosechas se realizan en el mes de mayo.
- Existe una correlación muy baja de 0.12 entre las precipitaciones anuales y los rendimientos en el distrito de Soritor, similar resultado se aprecia entre el análisis de SPI con los rendimientos mensuales del cultivo de café, -0.00078 entre el SPI de 3 meses, 0.34 con el SPI de 6 meses y 0.026 con el SPI de 12 meses.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda evaluar otros modelos numéricos climáticos de precipitación a corto, mediano y largo plazo, teniendo como base la serie climática observada en la estación de Soritor, con la finalidad de predecir futuros eventos de años extremadamente secos que nos permitan tomar acciones anticipatorias ante estos fenómenos.
- Se recomienda explorar nuevas investigaciones que permitan determinar otros factores climáticos, como los años lluviosos, que inciden en los rendimientos del cultivo de café en el distrito de Soritor, pero también otras zonas de producción, cuyas altitudes superen los 1000 m.s.n.m, con evaluaciones climatológicas más cercanas a los centros de producción.
- Advirtiéndolo en función a los pronósticos de los modelos presentados, sugerir a las instituciones públicas del sector agrario, tomar en cuenta en las próximas políticas de desarrollo del sector cafetalero para la zona del Alto Mayo.
- Se recomienda mejorar la calidad y obtención de la información de áreas de cultivos y rendimientos con el que dispone la Dirección Regional de Agricultura de San Martín, con el objetivo de conseguir mejores resultados en los análisis y evaluaciones de áreas de siembra.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alegre, C. (1959). Climats et cafeiers d' Arabie. *Agron. Trop.*, 14:23-58.
- Alvim, P. de T. (1985). Coffea. In: *CRC Handbook of flowering. Volume II* (Abraham H. Halevy Ed.). CRC Press, Inc. Boca Raton, Florida, USA. pp. 308-316.
- Aramayo, W. L., (2019). Distribución espacial del riesgo de sequía en la región andina de Puno, Perú. Recuperado de: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/3815>
- Baradas, M. W. (1994). Crop requirements of tropical crops. In: *Handbook of agricultural meteorology*. J.F. Griffiths Editor. Oxford Univ. Press. New York. pp. 189-202.
- Benacchio, S.S. (1982). Algunas exigencias agroecológicas en 58 especies de cultivo con potencial de producción en el Trópico Americano. FONAIAP-Centro Nal. de Inv. Agropecuarias. Ministerio de Agricultura y Cría. Maracay, Venezuela. 202 p.
- Bonilla, B. E. L. (2007). Impacto, impacto social y evaluación del impacto. *Acimed*, 15(3).
- Carcasi, J.R., (2015). Efecto de las sequías meteorológicas en la producción de los cultivos papa y quinua en la provincia de Huancané. Recuperado de: <http://repositorio.unap.edu.pe/handle/UNAP/4596>.
- Cerón, W. L., Escobar, Y. C., & Baquero Montoya, O. L. (2015). Índice estandarizado de precipitación (SPI) para la caracterización de sequías meteorológicas en la cuenca del río Dagua-Colombia. *Estudios Geograficos*, 76(279), 557–578. Recuperado de: <https://doi.org/10.3989/estgeogr.201520>
- Colotti, E., Cedeño, M., Montañez, C. (2012). La sequía meteorológica y la variación de la superficie agrícola en la Isla de Margarita, Estado Nueva Esparta, Venezuela período 1972-2004. Recuperado de: <https://www.redalyc.org/pdf/721/72130180002.pdf>.
- Da Matta, F.M., C.P. Ronchi, M. Maestri and R.S. Barros. (2007). Ecophysiology of coffee growth and production. *Braz. J. Plant Physiol.*, 19(4):485-510.
- Dracup J.A., Lee, K.S., Paulson Jr., E.G. (1980). On the statistical characteristic of drought events. *Water Resources Research*, 16 (2), 289-296.
- D'Aremey, A. (2015). El cambio climático podría acabar con el café. Recuperado de: http://infocafes.com/portal/wp-content/uploads/2016/10/F-37_Cambio_climatico_y_cafe.pdf
- Donald A. Wilhite, Michel J. Hayes, Cody Knutson, and K. H. S. (2001). Planning for drought: moving from crisis to risk management. Nebraska: American Water Resources Association.
- Fernández, B. (1997). Identificación y caracterización de sequías hidrológicas en Chile. Artículo publicado en *Ingeniería del Agua*. 4(4): 37-46 p.
- Figuroa, R., Félix, R.E. y Figuroa, R.F. (2018). Cambio climático y producción del café en el valle de la Convención, Cusco: 2000-2016 [en línea]. Investigación. Cusco,

Perú: Universidad Global de Cusco. 2018, [Consulta: 22 septiembre 2020]. Disponible en: <https://n9.cl/14u0>.

Gálvez, P. E. (2017). Caracterización de las sequías históricas y proyectadas bajo escenarios de cambio climático en la cuenca del río Mantaro. 106. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3161>

Gómez, D. A. (2011). Comparación de índices de sequía aplicados a estudios climáticos. Recuperado de: https://www.researchgate.net/publication/313510895_Comparacion_de_indices_de_sequia_aplicados_a_estudios_climaticos.

Government of the Democratic Republic of Timor-Leste (GDRTL). (2004). Production guidelines for organic coffee, cocoa and tea.

Guttman, N.B., (1994): On the sensitivity of sample L moments to sample size. Journal of Climate, 7(6):1026–1029.

Guzmán, F. (2013). Evaluación del impacto del cambio climático en el cultivo de café en la cuenca alta del río Sisa - provincias de Lamas (distrito Alonso de Alvarado) y El Dorado (distrito San Martín de Alao) - Región San Martín [en línea]. Tesis de grado Maestría. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. 2013, [Consulta: 22 septiembre 2020]. Disponible en: <https://repositorio.lamolina.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12996/1075/F08-G993-T-resumen.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

Guzmán, F. (2013). Escenarios de cambio climático en San Martín y su impacto en el cultivo del café. Recuperado de: <http://infocafes.com/portal/biblioteca/escenarios-de-cambio-climatico-en-san-martin-y-su-impacto-en-el-cultivo-del-cafe/>

Havrylenko, S.B. (2014). Caracterización de sequías en cuencas agrícolas de la región pampeana mediante la aplicación del modelo hidrológico SWAT. Recuperado de: <https://bibliotecavirtual.unl.edu.ar:8443/handle/11185/527>.

International Fertilizer Industry Association (IFA). (1992). World Fertilizer Use Manual. International Fertilizer Industry Association. Paris, France. Pp. 37-550.

IPCC (2013) Climate Change 2013: The Physical Science Basis, Recuperado de: <https://www.ipcc.ch/report/ar5/wg1/>

Junta Nacional del café. (2023). Producción peruana de café alcanzó las 234.200 toneladas en 2022, mostrando una caída de 14%. Recuperado de: <https://juntadelcafe.org.pe/produccion-peruana-de-cafe-alcanzo-las-234-200-toneladas-en-2022-mostrando-una-caida-de-14/>

Lahura, E. (2003). El coeficiente de correlación y correlaciones espúreas. Journal of Molecular Biology, 301(5), 1163–1178. Recuperado de: <https://core.ac.uk/download/pdf/6445817.pdf>

Linsley JR.; Kohler, M.A.; Paulhus, J.C. (1975), Hydrology for engineers (2° edición) McGraw Hill. New York.

Maestri, M. and R. Santos. (1977). Coffee. In: Ecophysiology of tropical crops. Paulo de T. Alvim and T.T. Kozlowski Editors. Academic Press. New York. pp. 249-278.

- Marcos, Ó. (2001). Sequía: definiciones, tipologías y métodos de cuantificación. *Investigaciones Geográficas*, 26(26), 59–80. Recuperado de: <https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/363/1/Marcos%20Valiente-Sequia.pdf>
- McKee, T.; Doesken, N.; Kleist, J. (1993). The relationship of drought frequency and duration to times scales. Eighth conference on applied Climatology. 1: 1-6 p.
- MINAGRI (2019). Observatorio de commodities de café. Recuperado de: <http://repositorio.minagri.gob.pe/xmlui/handle/MINAGRI/513>
- MIDAGRI (2021) Calendario Agrícola. Recuperado de: <https://www.midagri.gob.pe/portal/21-sector-agrario/agricola/181-calendario->
- Morales E.; Chávez, S.; Veneros, J.; Díaz E.; Sánchez T; García M.; (2021) Efectos del cambio climático en fincas cafetaleras: una revisión bibliográfica con énfasis en Perú. *Apuntes Universitarios*, 2021: 11(1), enero-marzo ISSN: 2304-0335 DOI: <https://doi.org/10.17162/au.v11i1.547>
- Morera, J.A. (2013). Zapote. In: *La agricultura en Mesoamérica*. FAO. http://www.rlc.fao.org/es/agricultura/produ/cdrom/contenido/libro09/Cap2_7.htm. (18 Octubre 2013). Morfín V., A., G. Castillo P. y A. Vizcaíno G. (2006). El cultivo de café (*Coffea arabica* L.) en Colima. Folleto Técnico Núm. 1. INIFAP-CIRPAC-C.E. Tecomán. 85 p.
- Núñez, D; Muñoz, C; Reyes, V; Velasco, I; Gadsden, H. 2007. Caracterización de la sequía a diversas escalas de tiempo en chihuahua, México. *Agrociencia*. Vol. 41: 253-262 p.
- OMM. (2012). Índice normalizado de precipitación. Guía del usuario. Recuperado de: https://www.droughtmanagement.info/literature/WMO_standardized_precipitation_index_user_guide_es_2012.pdf
- OMM. (2016). Manual de indicadores e índices de sequía. Recuperado de: https://library.wmo.int/doc_num.php?explnum_id=3045
- ONU (1994). Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático. Recuperado de: <https://unfccc.int/resource/docs/convkp/convsp.pdf>
- Palmer, W.C. (1965). Meteorological drought. Research Paper N 45. U.S. Department of Commerce weather Bureau. Washington DC. 58 pp.
- Pérez-Molina, J.P., Rounsard, O., Dautat, J., DaMatta, F., Rodríguez, G., Marraccini, P., Jourdan, C., Delgado Rojas, J., Andrade, A., Moreira, M., Mera, A. & Lavagnini, G. (2019). Impactos de la sequía en el café: integrando procesos fisiológicos y morfológicos desde la hoja hasta la escala de toda la planta. En Y. Morales-López (Ed.), *Memorias del I Congreso Internacional de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad Nacional, Costa Rica, 2019* (e195, pp. 1-7). Heredia: Universidad Nacional. doi <http://dx.doi.org/10.15359/cicen.1.60>
- Rendón, M., Villasís, M., & Miranda, M. (2016). Estadística descriptiva. *Revista Alergia México*, 63(4), 397–407. Recuperado de: <http://www.revistaalergia.mx>
- Ruiz Corral, J., Medina García, G., González Acuña, I., Flores López, H., Ramírez Ojeda, G., Ortiz Trejo, C., Marínez Parra, R. (2013). Requerimientos agroecológicos de cultivos. In *Requerimientos agroecológicos de cultivos*. Recuperado de:

[http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/Requerimientos Agroec de Cultivos 2da Edici%F3n.pdf](http://www.inifapcirpac.gob.mx/publicaciones_nuevas/Requerimientos_Agroec_de_Cultivos_2da_Edici%F3n.pdf)

Saavedra K, y Díaz A.; (2020) Impacto del cambio climático en la producción de granos de café en Sistemas Agroforestales en el caserío San Vicente, 2018. Universidad Nacional de San Martín. Recuperado de: <http://hdl.handle.net/11458/3907>

SENAMHI. (2015). Regionalización y Caracterización de Sequías en el Perú. SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología Del Perú), 1, 34. Recuperado de: http://www.senamhi.gob.pe/pdf/estudios/hidro_2015_Reg_car_seq_Per.pdf

SENAMHI (2017), Manual de observaciones fenológicas. Recuperado de: <https://repositorio.senamhi.gob.pe/handle/20.500.12542/272>

SENAMHI (2023), Ficha Agroclimática del Cultivo de Café. Recuperado de: https://repositorio.senamhi.gob.pe/bitstream/handle/20.500.12542/1417/Caf%C3%A9-ficha-t%C3%A9cnica-agroclim%C3%A1tica_2021.pdf?sequence=1

Sulca, B.; (2020). Patrones océano - atmosféricos y teleconexiones asociadas a las sequías meteorológicas extremas en la Sierra Sur del Perú. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/4511>

Tirabanti, J., Santos, P., Carrión, Ó., & Arévalo, F. (2013). Impacto económico de *Hemileia vastatrix* en 11 caseríos del ámbito de influencia del proyecto Café, distrito de Alonso de Alvarado , provincia de Lamas , región San Martín. 22. Recuperado de: <http://infocafes.com/portal/biblioteca/impacto-economico-de-hemileia-vastatrix-en-11-caserios-del-ambito-de-influencia-del-proyecto-cafe-distrito-de-alonso-de-alvarado-provincia-de-lamas-region-san-martin/>

Valero, Julio (2017). Planteamiento del problema de investigacion. Recuperado de: <https://slideplayer.es/slide/27156/>

Vega, F.; (2018). Variabilidad espacio-temporal de las sequías en el Perú y el peligro asociado al Fenómeno del Niño. Universidad Nacional Agraria La Molina. Recuperado de: <https://hdl.handle.net/20.500.12996/3798>

UDEP. (2015). Capítulo 2: Precipitación. 9–26. Recuperado de: http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibvirudep/tesis/pdf/1_136_147_89_1257.pdf

Wilhite D.A. y Glantz, M.H. (1985). Understanding the drought phenomenon: the role of definitions. *Water international*. Vol. 10: 111-120.

ANEXOS

Anexo 1: Pluviómetro tipo Hellmann de 200 cm²



Anexo 2: Script para el cálculo de SPI en R

```

rm(list = ls())

`%>%` = magrittr::`%>%`

#CODIGO PARA CALCULO DE SPI Y SPEI

#install.packages("SPEI")

library(SPEI)

#Importacion de dataset de Madrid

datos <- read.csv("./data/data2_ML.csv",sep=";")

i=5

#CALCULO DE SPI----

#Extrac. de la estacion seleccionada

fecha <- na.omit(datos[4])

pp <- as.numeric(as.matrix(na.omit(datos[i]), sep=","))#cambiar

#Calculo del SPI de: 1, 12 y 36 meses

spi_03 <- spi(pp, scale=3)

spi_06 <- spi(pp, scale=6)

spi_12 <- spi(pp, scale=12)

#ver los valores del spi

spi_03_df <- data.frame(SPI03= matrix(spi_03$fitted))

spi_06_df <- data.frame(SPI06= matrix(spi_06$fitted))

spi_12_df <- data.frame(SPI12= matrix(spi_12$fitted))

MPI_ESM_MR_RCP8.5<-cbind(na.omit(datos[i]),
spi_03_df,spi_06_df,spi_12_df)

write.csv(MPI_ESM_MR_RCP8.5,"./result/MPI_ESM_MR_RCP8.5.csv")

```

```

#ploteo de los valores de SPI

png("./result/SPI.png", width=4, height=4.5, units='in', res=300)

par(mfrow=c(3,1)) #para plotear 3 rows y una col

plot(spi_03, "Getafe, SPI-1")

plot(spi_06, "Getafe, SPI-12")

plot(spi_12, "Getafe, SPI-36")

dev.off()

#convertir a serie temporal

getafe_ts <- ts(getafe[,-c(1,2)], end=c(2020,12), frequency=12)

#Recalculo del SPI de: 1, 12 y 36 meses

spi_01_ts <- spi(getafe_ts['PRCP'], 1, na.rm=TRUE)

spi_12_ts <- spi(getafe_ts['PRCP'], 12, na.rm=TRUE)

spi_36_ts <- spi(getafe_ts['PRCP'], 36, na.rm=TRUE)

#Reploteo de los valores de SPI

par(mfrow=c(3,1)) #para plotear 3 rows y una col

plot(spi_01_ts, "Getafe, SPI-1")

plot(spi_12_ts, "Getafe, SPI-12")

plot(spi_36_ts, "Getafe, SPI-36")

#dev.off()

#CALCULO DE ETO y SPEI----

#extraemos los datos de latitud

latitud <- getafe[1,3]

#Eto de Thornhwaite/no tenemos en cuenta los NAs

getafe$PET <- thornthwaite(getafe$TAVG, latitud, na.rm=TRUE)

```

```

#calculo del Balance

getafe$BAL <- getafe$PRCP - getafe$PET

#ETo por diferentes metodos

#Thornwaite

getafe$etothor <- thornthwaite(getafe$TAVG, latitud, na.rm=TRUE)

#Hargreaves

getafe$etohar <- hargreaves(getafe$TMIN, getafe$TMAX, Ra=NA,
lat=latitud, Pre=getafe$PRCP, na.rm=TRUE)

#Penman, no se puede calcular porque tiene datos vacios

#getafe$penman <- penman(getafe$TMIN, getafe$TMAX, U2=2, Ra=NA,
lat=latitud, Rs=NA,

#          tsun=NA, CC=NA, ed=NA, Tdew=NA, RH=NA, P=NA,
P0=NA, z=NA,#          crop='short', na.rm=FALSE)

#time, correr nuevamente

getafe_ts <- ts(getafe[,-c(1,2)], end=c(2020,12), frequency=12)

#SPEI de: 1, 12 y 36 meses

spei01_ts <- spei(getafe_ts[, 'BAL'], 1, na.rm=TRUE)

spei12_ts <- spei(getafe_ts[, 'BAL'], 12, na.rm=TRUE)

spei36_ts <- spei(getafe_ts[, 'BAL'], 36, na.rm=TRUE)

# Plotear spei

par(mfrow=c(3,1))

plot(spei01_ts, main='Getafe, SPEI-01')

plot(spei12_ts, main='Getafe, SPEI-12')

plot(spei36_ts, main='Getafe, SPEI-36')

#dev.off()

```

Anexo 3: Data climatológica de Soritor del 2000 al 2022

Precipitación mensual en la estación de Soritor en mm												
Latitud : 06° 06'						Departamento : SAN MARTIN						
Longitud : 77° 06'						Provincia : MOYOBAMBA						
Altura : 870 m.s.n.m.						Distrito : SORITOR						
AÑO	ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC
2000	159.2	242.6	196.4	179.9	227.4	113.8	200.4	100.9	163.9	97.5	94.9	305.9
2001	112.6	110.8	248.1	141.0	187.7	56.9	142.2	61.7	129.9	272.8	192.6	281.4
2002	128.2	153.4	156.8	350.7	186.5	83.5	154.2	52.7	85.3	151.5	149.6	97.6
2003	200.0	171.1	203.9	143.4	159.2	122.1	83.9	64.7	88.2	138.7	352.8	324.1
2004	39.1	90.8	169.4	112.6	139.4	80.7	138.9	64.4	105.5	259.7	255.8	232.7
2005	89.9	166.6	214.2	196.9	89.9	100.0	42.0	67.3	56.4	187.3	246.5	220.0
2006	167.7	208.6	286.9	103.1	69.3	68.2	53.1	125.4	168.3	111.1	101.5	209.5
2007	180.1	51.3	297.5	110.6	140.4	78.7	115.0	78.6	149.4	191.9	245.4	167.0
2008	115.3	255.2	308.9	115.0	157.9	110.7	91.3	41.9	137.9	179.3	321.3	203.9
2009	144.9	193.7	193.6	263.4	122.5	119.1	49.6	110.0	125.1	150.2	117.0	73.3
2010	75.8	232.1	151.4	315.5	179.8	49.4	112.3	50.8	89.5	137.3	220.3	148.7
2011	153.7	131.3	174.3	115.3	87.4	93.0	70.8	99.2	118.9	107.0	231.4	374.6
2012	183.2	202.3	396.8	199.4	130.2	78.7	64.2	19.1	126.1	252.2	123.7	192.1
2013	216.8	118.1	306.9	108.9	184.2	82.1	90.0	171.6	182.1	201.4	201.3	129.1
2014	129.2	138.1	312.7	269.4	84.4	142.7	109.5	120.3	153.9	251.9	180.2	224.5
2015	325.7	256.5	264.0	315.8	174.6	49.5	124.0	107.9	124.0	159.2	173.8	313.1
2016	60.8	241.8	299.2	247.8	188.0	93.0	22.6	75.5	130.6	159.6	148.0	203.0
2017	209.7	229.2	305.7	174.0	173.8	206.0	28.2	120.0	155.2	190.0	190.0	148.1
2018	197.6	260.2	230.4	146.4	310.2	39.4	77.0	167.7	112.4	208.6	218.6	206.6
2019	201.6	243.8	108.2	134.8	159.8	67.6	107.9	70.0	147.4	177.4	216.8	210.8
2020	110.5	608.7	204.2	270.5	186.6	96.7	82.3	158.6	106.7	152.3	163.7	284.4
2021	186.9	315.6	253.6	148	66.9	67.3	73.2	109.2	267.9	217.6	111.4	26.2
2022	76.1	96.9	172.55	113.65	101.6	78.05	95.2	153.4	230.8	112.4	116.4	96.6

Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, zona de Alto Mayo, región San Martín

por Max Roland Lozano Chuquizuta

Fecha de entrega: 11-abr-2024 12:19p.m. (UTC-0500)

Identificador de la entrega: 2339095371

Nombre del archivo: Tesis_Max_Lozano_-_11-04.docx (6.36M)

Total de palabras: 17254

Total de caracteres: 94710

Impacto de la sequía meteorológica sobre la producción del cultivo de café en el distrito de Soritor, zona de Alto Mayo, región San Martín

INFORME DE ORIGINALIDAD



FUENTES PRIMARIAS

1	hdl.handle.net Fuente de Internet	2%
2	Submitted to Universidad Nacional de San Martín Trabajo del estudiante	2%
3	repositorio.unap.edu.pe Fuente de Internet	1%
4	tesis.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
5	repositorio.lamolina.edu.pe Fuente de Internet	1%
6	repositorio.unsm.edu.pe Fuente de Internet	1%
7	Submitted to Colegio Universitario de Estudios Financiero Trabajo del estudiante	1%
8	documents.mx	