

**UNIVERSIDAD NACIONAL
TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS**



**FACULTAD DE INGENIERÍA Y CIENCIAS AGRARIAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AGRÓNOMA**

**TESIS PARA OBTENER
EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERA AGRÓNOMA**

**DINÁMICA TEMPORAL Y ESPACIAL DEL ÍNDICE DE
VEGETACIÓN ESTANDARIZADO (SVI) PARA TRES
ZONAS CAFETALERAS EN LA REGIÓN AMAZONAS,
PERÚ.**

Autor: Bach. Ketty Lizeth Villanueva Baca.

Asesor: PhD. Ligia Magali García Rosero,

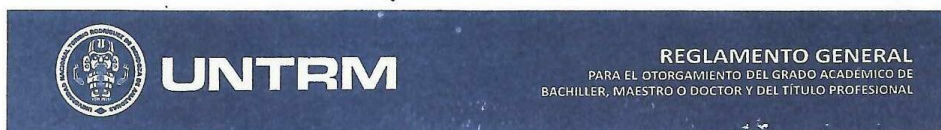
Co_asesor: M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara.

Registro: (.....).

CHACHAPOYAS – PERÚ

2022

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM



ANEXO 3-H

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM

1. Datos de autor 1

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): Villanueva Baca, Ketty Lizeth
DNI N°: 71130678
Correo electrónico: 7113067861@untram.edu.pe
Facultad: de Ingeniería y Ciencias Agrarias (FICA)
Escuela Profesional: Ingeniería Agrónoma

Datos de autor 2

Apellidos y nombres (tener en cuenta las tildes): _____
DNI N°: _____
Correo electrónico: _____
Facultad: _____
Escuela Profesional: _____

2. Título de la tesis para obtener el Título Profesional

Dinámica temporal y espacial del índice de vegetación estandarizado (SVI) para tres zonas cafetaleras en la región Amazonas, Perú.

3. Datos de asesor 1

Apellidos y nombres: García Rosero, Ligia Magali Ph.D
DNI, Pasaporte, C.E N°: 001691738
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0001-7508-7516>

Datos de asesor 2

Apellidos y nombres: Veneros Guerrera, Jarvis Emmanuel Mg. Sc.
DNI, Pasaporte, C.E N°: 46145659
Open Research and Contributor-ORCID (<https://orcid.org/0000-0002-9670-0970>) <https://orcid.org/0000-0001-6981-4078>

4. Campo del conocimiento según la Organización para la Cooperación y el Desarrollo Económicos- OCDE (ejemplo: Ciencias médicas, Ciencias de la Salud-Medicina básica-Inmunología)

https://catalogos.concytec.gob.pe/vocabulario/ocde_ford.html 4.00.00 - Ciencias agrícolas
4.01.00 - Agricultura, Silvicultura, Pesquería 4.01.01 - Agricultura 4.01.06 - Agronomía

5. Originalidad del Trabajo

Con la presentación de esta ficha, el(la) autor(a) o autores(as) señalan expresamente que la obra es original, ya que sus contenidos son producto de su directa contribución intelectual. Se reconoce también que todos los datos y las referencias a materiales ya publicados están debidamente identificados con su respectivo crédito e incluidos en las notas bibliográficas y en las citas que se destacan como tal.

6. Autorización de publicación

El(los) titular(es) de los derechos de autor otorga a la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas (UNTRM), la autorización para la publicación del documento indicado en el punto 2, bajo la *Licencia creative commons* de tipo BY-NC: Licencia que permite distribuir, remezclar, retocar, y crear a partir de su obra de forma no comercial por lo que la Universidad deberá publicar la obra poniéndola en acceso libre en el repositorio institucional de la UNTRM y a su vez en el Registro Nacional de Trabajos de Investigación -RENATI, dejando constancia que el archivo digital que se está entregando, contiene la versión final del documento sustentado y aprobado por el Jurado Evaluador.

Chachapoyas, 16, diciembre, 2022

Firma del autor 1

Firma del Asesor 1

Firma del autor 2

Firma del Asesor 2

DEDICATORIA

*A mis queridos padres, **Segundo Ubaldo Villanueva Fernández** y **Erlita Baca Arce**, por su apoyo incondicional, enseñanzas y cariño brindado cada día de mi vida. Mi gratitud infinita y reconocimiento eterno a todo su esfuerzo y dedicación.*

*A mi hermano del alma **Jamil Daniel**, por siempre ser mi compañía y fuerza.*

*A mis abuelitos **Rosa Alejandría** y **Eligio** por sus consejos y muestras de aprecio.*

*A mis asesores, **PhD. Ligia Magali García Rosero** y **M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara**, que son un ejemplo de perseverancia, fortaleza y dedicación para alcanzar sus objetivos.*

A mi familia y amigos (as) ...

By: Bach. Ketty Lizeth Villanueva Baca.

AGRADECIMIENTO

Mi agradecimiento eterno a Dios, por brindarme la vida y perseverancia para lograr mis metas.

A mis padres, Segundo Ubaldo y Erlita, por ser mi ejemplo, orgullo y fortaleza por siempre.

A mis asesores, PhD. Ligia Magali García Rosero y M.Sc. Jaris Emmanuel Veneros Guevara por sus enseñanzas, tiempo, dedicación y apoyo en la realización de mi tesis.

A mis amigas Diana Carina, Karina, Corali, Ginary y Julissa por su constante motivación.

A mi casa superior de estudios la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas, a la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias y a la escuela profesional de Ingeniería Agrónoma por ser pieza clave en mi desarrollo profesional.

Al Instituto de Investigación para el Desarrollo Sustentable de Ceja de Selva (INDES - CES) y al proyecto CEINCAFÉ.

A la ASOCIACIÓN FEMENINA DE CAFÉ Y QUINUA y sus aliados estratégicos, CECANOR y PROASSA, por la inspiración y apoyo en este trayecto profesional.

Mi gratitud a todos mis familiares, compañeros (as) y amigos (as) por ser la base social en mi desarrollo personal y profesional.

By: Bach. Ketty Lizeth Villanueva Baca.

**AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ
DE MENDOZA DE AMAZONAS**

Ph.D. JORGE LUIS MAICELO QUINTANA

Rector

Dr. OSCAR ANDRÉS GAMARRA TORRES

Vicerrector Académico

Dra. MARÍA NELLY LUJÁN ESPINOZA

Vicerrectora de Investigación

Ing Mg. Sc. ARMSTRONG BARNARD FERNÁNDEZ JERÍ

Decano de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias

VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (x) / Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "Dinámica temporal y espacial del índice de vegetación estandarizado (svi) para tres zonas cafetaleras en la región Amazonas, Perú"; del egresado Ketty Lizeth Villanueva Baca de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma de esta Casa Superior de Estudios.



El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 08 de noviembre de 2022

Firma y nombre completo del Asesor

Ph.D. Ligia Magali García Rosero

VISTO BUENO DEL CO-ASESOR DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-L

VISTO BUENO DEL ASESOR DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

El que suscribe el presente, docente de la UNTRM (X)/Profesional externo (), hace constar que ha asesorado la realización de la Tesis titulada "Dinámica temporal y espacial del índice de vegetación estandarizado (SVI) para tres zonas cafetaleras en la región Amazonas, Perú" del egresado Ketty Lizeth Villanueva Baca de la Facultad de Ingeniería y Ciencias Agrarias Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma de esta Casa Superior de Estudios.



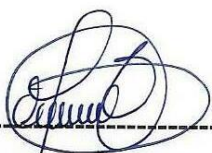
El suscrito da el Visto Bueno a la Tesis mencionada, dándole pase para que sea sometida a la revisión por el Jurado Evaluador, comprometiéndose a supervisar el levantamiento de observaciones que formulen en Acta en conjunto, y estar presente en la sustentación.

Chachapoyas, 08 de noviembre de 2022

Firma y nombre completo del Asesor

Mg. Sc. Janis Emmanuel Veneros
Guerrero


JURADO EVALUADOR DE LA TESIS



Dr. Segundo Manuel Oliva Cruz
Presidente



Ms. Segundo Grimaldo Chavez Quintana
Secretario



Ing. Ms. C. César Guevara Hoyos
Vocal

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS



ANEXO 3-Q

CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

Los suscritos, miembros del Jurado Evaluador de la Tesis titulada:

Dinámica temporal y espacial del índice de vegetación estandarizado (SVI), para tres zonas cafetaleras en la región Amazonas, Perú.
presentada por el estudiante () egresado (X) Bach. Kelly Lizeth Villanueva Baca
de la Escuela Profesional de Ingeniería Agrónoma
con correo electrónico institucional 713067861@untrm.edu.pe

después de revisar con el software Turnitin el contenido de la citada Tesis, acordamos:


- La citada Tesis tiene 15 % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es menor (X) / igual () al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM.
- La citada Tesis tiene _____ % de similitud, según el reporte del software Turnitin que se adjunta a la presente, el que es mayor al 25% de similitud que es el máximo permitido en la UNTRM, por lo que el aspirante debe revisar su Tesis para corregir la redacción de acuerdo al Informe Turnitin que se adjunta a la presente. Debe presentar al Presidente del Jurado Evaluador su Tesis corregida para nueva revisión con el software Turnitin.



Chachapoyas, 30 de noviembre del 2022


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

.....
.....

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS



UNTRM

REGLAMENTO GENERAL
PARA EL OTORGAMIENTO DEL GRADO ACADÉMICO DE
BACHILLER, MAESTRO O DOCTOR Y DEL TÍTULO PROFESIONAL

ANEXO 3-5

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS PARA OBTENER EL TÍTULO PROFESIONAL

En la ciudad de Chachapoyas, el día 15 de diciembre del año 2022, siendo las 11:00 horas, el aspirante: Retty Lizeth Villanueva Bocca, asesorado por Lidia M. García Rojas y Joris E. Venegas G. defiende en sesión pública presencial () / a distancia () la Tesis titulada: Dinámica temporal y espacial del índice de vegetación estandarizado (SUI) para tres zonas costeras en la región Amazonas, Perú., para obtener el Título Profesional de Ingeniería Agrónoma, a ser otorgado por la Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas; ante el Jurado Evaluador, constituido por:

Presidente: Dr. Segundo Manuel Díaz Cruz

Secretario: Mrs. Segundo Gerardo Chávez Quintana

Vocal: Mrs. César Guerrero Hoyos



Procedió el aspirante a hacer la exposición de la Introducción, Material y métodos, Resultados, Discusión y Conclusiones, haciendo especial mención de sus aportaciones originales. Terminada la defensa de la Tesis presentada, los miembros del Jurado Evaluador pasaron a exponer su opinión sobre la misma, formulando cuantas cuestiones y objeciones consideraron oportunas, las cuales fueron contestadas por el aspirante.

Tras la intervención de los miembros del Jurado Evaluador y las oportunas respuestas del aspirante, el Presidente abre un turno de intervenciones para los presentes en el acto de sustentación, para que formulen las cuestiones u objeciones que consideren pertinentes.

Seguidamente, a puerta cerrada, el Jurado Evaluador determinó la calificación global concedida a la sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional, en términos de:

Aprobado () por Unanimidad () / Mayoría () Desaprobado ()

Otorgada la calificación, el Secretario del Jurado Evaluador lee la presente Acta en esta misma sesión pública. A continuación se levanta la sesión.

Siendo las 11:50 horas del mismo día y fecha, el Jurado Evaluador concluye el acto de sustentación de la Tesis para obtener el Título Profesional.


SECRETARIO


VOCAL


PRESIDENTE

OBSERVACIONES:

ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL

AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN DE LA TESIS EN EL REPOSITORIO INSTITUCIONAL DE LA UNTRM.....	ii
DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTO	iv
AUTORIDADES DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL TORIBIO RODRÍGUEZ DE MENDOZA DE AMAZONAS	v
VISTO BUENO DEL ASESOR DE LA TESIS	vi
VISTO BUENO DEL CO.ASESOR DE LA TESIS	vii
JURADO EVALUADOR DE LA TESIS	viii
CONSTANCIA DE ORIGINALIDAD DE LA TESIS.....	ix
ACTA DE SUSTENTACIÓN DE LA TESIS.....	x
ÍNDICE O CONTENIDO GENERAL	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
ÍNDICE DE FIGURAS	xiv
RESUMEN	xvii
ABSTRACT.....	xvii
I. INTRODUCCIÓN.....	18
II. MATERIAL Y MÉTODOS	21
2.1. Ubicación del estudio.....	21
2.2. Métodos.....	23
2.3. Metodología	24
III. RESULTADOS	27
3.1. Valores históricos promedios, para el índice de sequías (SVI).....	27
3.2. Valores históricos promedio para SVI anuales	34
3.3. Distribución espacial de la sequía mediante el uso de índice de SVI espaciales respecto en un escenario histórico (2001) en tres zonas cafetaleras en la región Amazonas.....	41
3.3. Distribución espacial de la sequía mediante el uso de índice de SVI espaciales respecto en un escenario actual (2021) en tres zonas cafetaleras en la región Amazonas.....	50
IV. DISCUSIÓN.....	60

V. CONCLUSIONES	63
VIRECOMENDACIONES.....	64
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
ANEXOS	73

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Clasificación de sequias (Veneros & García, 2022).....	25
Tabla 2.	Resumen de valores estadísticos descriptivos para el Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) por meses en data histórica de 23 años (2000 – 2022) en tres zonas cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) de la región Amazonas.....	28
Tabla 3.	Resumen de valores de distribución de normalidad de datos con el test Shapiro -Wilk para valores del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) por meses en data histórica de 23 años (2000 – 2022) en tres zonas cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) de la región Amazonas.....	32
Tabla 4.	Valores históricos promedio anuales para el índice SVI en áreas cafetaleras de las provincias de Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba.....	35
Tabla 5.	Áreas (ha) por meses en un escenario histórico (2001) en la provincia de Luya.....	44
Tabla 6.	Áreas (ha) por meses en un escenario histórico (2001) en la provincia de Rodríguez de Mendoza	45
Tabla 7.	Áreas (ha) por meses en un escenario histórico (2001) en la provincia de Utcubamba.....	46
Tabla 8.	Áreas (ha) por meses en un escenario actual (2021) en la provincia de Luya.....	53
Tabla 9.	Áreas (ha) por meses en un escenario actual (2021) en la provincia de Rodríguez de Mendoza	54
Tabla 10.	Áreas (ha) por meses en un escenario actual (2021) en la provincia de Utcubamba.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Mapa de ubicación de tres provincias cafetaleras en la región Amazonas.....	22
Figura 2.	Esquema metodológico para obtención de índices de sequía a través del SVI en tres provincias cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) de la región Amazonas.	26
Figura 3.	Diagrama de cajas para valores históricos mensuales del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Luya – Amazonas.....	30
Figura 4.	Diagrama de cajas para valores históricos mensuales del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Rodríguez de Mendoza – Amazonas.....	30
Figura 5.	Diagrama de cajas para valores históricos mensuales del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Utcubamba – Amazonas.	31
Figura 6.	Histogramas de frecuencia mensual de la data histórica de SVI en 23 años (2000 - 2022) en Luya - Amazonas.....	33
Figura 7.	Histogramas de frecuencia mensual de la data histórica de SVI en 23 años (2000 - 2022) en Rodríguez de Mendoza - Amazonas.....	33
Figura 8.	Histogramas de frecuencia mensual de la data histórica de SVI en 23 años (2000 - 2022) en Utcubamba - Amazonas.....	34
Figura 9.	Diagramas de caja para promedios anuales históricos (2000-2022) del SVI en las zonas de a) Luya, b) Rodríguez de Mendoza y c) Utcubamba.....	37
Figura 10.	Diagramas de serie de tiempo para 23 años de SVI en las zonas de a) Luya, b) Rodríguez de Mendoza y c) Utcubamba.....	39
Figura 11.	Áreas (Ha) determinadas según clasificación de sequías en 3 provincias cafetaleras de la región Amazonas (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba.....	42
Figura 12.	Mapa del SVI histórico (2001) para la provincia de Luya.....	47
Figura 13.	Mapa del SVI histórico (2001) para la provincia de Rodríguez de Mendoza.....	48
Figura 14.	Mapa del SVI histórico (2001) para la provincia de Utcubamba.....	49

Figura 15. Áreas (Ha) determinadas según clasificación de sequías en 3 provincias cafetaleras de la región Amazonas (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba).	51
Figura 16. Masas de color del SVI para tres zonas cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) en la región Amazonas.....	56
Figura 17. Mapa del SVI (2021) para la provincia de Luya.....	57
Figura 18. Mapa de color para SVI histórico para la provincia de Rodríguez de Mendoza.....	58
Figura 19. Mapa de color para SVI histórico para la provincia de Utcubamba.	59
Figura 20. Plataforma Google Earth Engine.....	73
Figura 21. Códigos para determinar el Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Google Earth Engine.....	73
Figura 22. Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Google Earth Engine para tres provincias cafetaleras en la region Amazonas a) Luya, b) Rodríguez de Mendoza y c) Utcubamba.....	74
Figura 23. Procesamiento de data estadística en R- studio para tres provincias cafetaleras de Amazonas a) Luya, b) Rodríguez de Mendoza y c) Utcubamba.....	75

RESUMEN

Las sequías y las temperaturas desfavorables son las principales limitaciones climáticas para la producción de café. En este sentido, la teledetección facilita la comprensión de las tendencias del cambio climático en el tiempo y espacio. Por tanto, esta investigación evaluó la dinámica temporal y espacial del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) a través de valores históricos promedios, durante 23 años (temporales) y espaciales referidas a tres provincias cafetaleras en la región Amazonas. En la metodología, se usó el producto MOD13Q1 V6 producto (MODIS) desde la plataforma GEE para crear mapas de Índice de Vegetación Estandarizado. Para las escalas de sequía se usó el programa ArcGIS. Se determinó que, en 23 años promedio de data, hubo presencia de sequías severas con registros históricos de hasta con -1,413 de SVI en octubre del 2007 en la provincia de Rodríguez de Mendoza y -1,453 de SVI en la provincia de Utcubamba en diciembre del 2016. Además, hubo sequías severas en Luya con registro de hasta -1,195 en marzo del 2004. La dinámica espacial del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) permitió determinar que, en las provincias cafetaleras de Amazonas (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba), existieron sequías de nivel moderado y severo que podrían comprometer el rendimiento del café en la región. Se espera que esta información nos permita plantear estrategias futuras para la gestión y prevención de afectaciones por sequía en zonas productoras de café.

Palabras claves: SVI, GEE, MOD13Q1 V6.

ABSTRACT

Droughts, extreme temperatures and climate change are the main climatic constraints for coffee production. In this sense, remote sensing facilitates the understanding of climate change trends in time and space. Therefore, this research evaluated the temporal and spatial dynamics of the Standardized Vegetation Index (SVI) through 23 years within the time scale and within the spatial scale we have three coffee growing provinces in the Amazon region. The MOD13Q1 V6 product (MODIS) from the GEE platform was used to create SVI maps. For the drought scales, the ArcGIS ver. 10.8 was used. It was determined that, in 23 years there was the presence of severe droughts with historical records of up to -1,413 SVI in October 2007 in the Rodríguez de Mendoza and -1,453 SVI in Utcubamba for December 2016. In addition, there were severe droughts in Luya with a record of up to -1,195 in March 2004. The spatial dynamics of the SVI allowed us to determine moderate and severe droughts that could compromise the coffee yields in these places. It is hoped that this information will allow us to propose future strategies for the management and prevention of drought in coffee producing areas.

Key words: SVI, GEE, MOD13Q1 V6.

I. INTRODUCCIÓN

La variabilidad climática, es el principal factor responsable de las fluctuaciones del rendimiento del café en el mundo (Camargo, 2010). Las relaciones entre los parámetros climáticos y la producción agrícola, son bastante complejas porque los factores ambientales afectan al crecimiento y al desarrollo de las plantas, de diferentes formas durante las fases fenológicas del cultivo del café (Cheserek & Gichimu, 2012).

En general, la sequía y las temperaturas desfavorables, son las principales limitaciones climáticas para la producción de café (DaMatta & Ramalho, 2006). Establecer una definición entre fenómenos hidrológicos y sequía es sumamente difícil, por el hecho que la sequía no es un fenómeno absoluto, es considerado una deficiencia relativa de humedad, la sequía se considera como un factor complejo y el que menos se entiende (Zhao et al., 2021).

Según este contexto, la elevada demanda del recurso hídrico puede generar una sequía y las precipitaciones fluctúen en rangos normales. La clasificación de sequías se subdivide meteorológica, agrícola y socioeconómica (Smakhtin & Hughes, 2007; Vanani et al., 2017).

Según los indicadores de la sequía dada, la gravedad y la duración de la sequía se representan mediante el Índice de Vegetación Estandarizado (SVI). Un índice asimila diferentes parámetros meteorológicos e hidrológicos que incluyen precipitación, temperatura, evapotranspiración, escorrentía y otros indicadores del suministro de agua en un único valor numérico o fórmula y ofrece una imagen completa para la toma de decisiones. Este índice es más fácilmente utilizable y comprensible que los datos brutos y suele presentarse como un valor numérico con el fin de crear un poder de decisión para los planificadores y los responsables políticos (Cheng & Huang, 2016; Veneros & García, 2022).

Así mismo, la teledetección facilita la comprensión de las tendencias del cambio climático en el tiempo y espacio, teniendo como principal indicador ambiental a la fenología de la vegetación (Workie & Debella, 2018). En la serie de índices derivados para detectar sequías a través de detección remota el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) genera la

implementación del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) que optimiza el monitoreo de sequías agrícolas (AghaKouchak et al., 2015).

En otro ámbito, el cultivo de café es muy importante para el Perú, y se posiciona como el primer producto agrícola de exportación (MIDAGRI, 2021). Genera el 25% de las divisas del sector agropecuario, asimismo dispone un aproximado de 50 millones de jornales en la cadena productiva del café que abarca desde la producción hasta la comercialización (PNUD, 2018).

Por tanto, es necesario generar estrategias de predicción referente a cómo influye el cambio climático en el manejo del cultivo de café, una de ellas es la gestión de sequías, con la cual se tendrá un prospecto para realizar una mejor planificación de las actividades esenciales que requiere el cultivo de café, en su manejo agronómico (Haggar & Schepp, 2012).

En este sentido, existen diferentes parámetros meteorológicos e hidrológicos, incluidos la precipitación, la temperatura, la evapotranspiración, la escorrentía y otros indicadores del suministro de agua en un solo valor numérico o fórmula que proporcionan una imagen completa para la toma de decisiones (Zargar et al., 2011). Estos valores, integrados a un manejo de cultivo según cada fase, permitirán alinearnos a los objetivos de desarrollo sostenible (ODS) para mejorar la seguridad alimentaria de manera que a largo plazo se reduzca el hambre en el mundo (ONU, 2020), proteger los ecosistemas terrestres y de agua dulce, asimismo mitigar el cambio climático (ONU, 2021). Se concuerda además con la necesidad de políticas nacionales y cooperación internacional que se basen en datos coherentes, independientes y oportunos sobre la extensión y la productividad agrícola (World Bank, 2011).

Uno de los factores que impacta negativamente en la agricultura peruana es la sequía generando pérdidas exorbitantes en los cultivos de secano, registrándose un promedio de 163 casos para el año 2010, cada vez se torna más severa por los efectos del cambio climático (ANA, 2010). El cultivo de café en la región Amazonas abarca una superficie de 41 044.27 ha como agricultura en secano (INEI, 2012).

La disminución de la producción de café en el mundo se acentuará en el futuro, principalmente debido al cambio climático impactando negativamente en la calidad del cultivo (Pham et al., 2019).

En los últimos años, la tecnología satelital, se usa ampliamente para analizar la vegetación (Ancira et al., 2015). Herramienta muy aprovechada en los últimos años para predicción y evaluación de cultivos, en aspectos de dinámica temporal y espacial a nivel mundial (Potapov et al., 2022) clasificación de fenotipos (Jiang et al., 2022), idoneidad global de cultivos como cacao, café, palto (Grüter et al., 2022), brindan datos de referencia a partir de los cuales monitorear los cambios en la vegetación asociados con eventos como incendios, sequías, conversiones de uso de la tierra, fluctuaciones climáticas y cambios climáticos direccionales y áreas prioritarias en agricultura para combatir sequías (Melendez et al., 2010; Veneros & García, 2022).

El SVI es utilizado para destacar la diferencia en el estado medio de la vegetación durante un tiempo determinado y, por lo tanto, proporciona información sobre condiciones similares a las de las sequías (UN-SPIDER., 2020). Esta información nos permitirá plantear estrategias futuras para la gestión y prevención de afectaciones por sequía en zonas productoras de café.

En este sentido la investigación evaluó la distribución de dinámica temporal y espacial del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) a través de valores históricos durante 23 años (temporales) y espaciales (tres provincias cafetaleras) en la región Amazonas. Para ello a) se determinó los valores históricos temporales durante 23 años, para el índice de sequías (SVI) en tres zonas cafetaleras en la región Amazonas, y luego, b) se evaluó los índices de SVI espaciales respecto a tres zonas cafetaleras en la región Amazonas. Los resultados permitieron registrar por primera vez la presencia de sequías moderadas en los últimos 23 años de las 3 provincias (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba).

II. MATERIAL Y MÉTODOS

2.1. Ubicación del estudio

Amazonas es una región montañosa en Perú con una alta cobertura de nubes, por lo que es difícil usar datos ópticos en el análisis de cambios superficiales (Gómez et al., 2022). El estudio se realizó en tres provincias cafetaleras de la región Amazonas, Perú (Figura 1), la provincia de Luya se encuentra ubicada a una latitud $6^{\circ}8'13.06''$ S y longitud $77^{\circ}57'1.19''$ W (INEI, 2018).

La provincia de Rodríguez de Mendoza se sitúa a una latitud $6^{\circ}23'44.41''$ S, longitud $77^{\circ}28'56.03''$ W (GOREA, 2010). La provincia de Utcubamba está localizada a una latitud de $5^{\circ}45'33.24''$ S, longitud $78^{\circ}26'36.23''$ W (INEI, 2018).

Las provincias cafetaleras de Luya y Utcubamba presentan un clima semiseco con humedad abundante todas las estaciones del año, templado. C (r) B' (SENAMHI, 2020). Una altitud que fluctúa entre 1500 m s. n. m. a 3000 m s. n. m. situado en el flanco oriental de la cordillera de los Andes, con temperaturas máximas que oscilan entre de 21°C a 25°C , temperaturas mínimas entre 7°C a 11°C y precipitaciones anuales 700 mm a 2000 mm aproximadamente (SENAMHI, 2020).

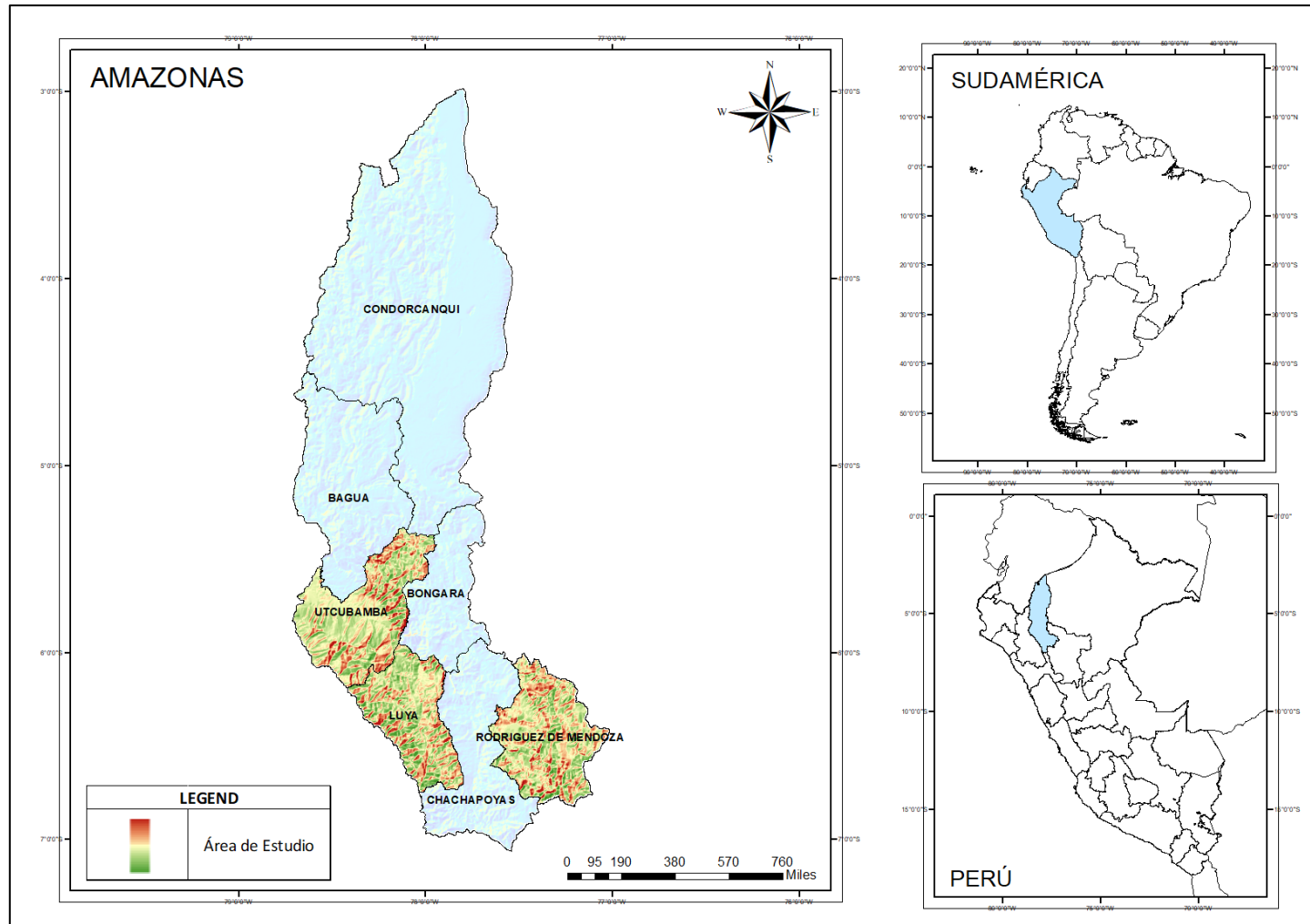
En la provincia de Rodríguez de Mendoza, se presenta un clima lluvioso con humedad abundante todas las estaciones del año, templado. B (r) B' (SENAMHI, 2020). Altitud entre las cotas de 2000 m s. n. m. y 1000 m s. n. m. del flanco oriental de la cordillera de los Andes, temperaturas máximas entre 25°C a 29°C , temperaturas mínimas entre 11°C a 17°C y precipitaciones anuales entre 1200 mm y 3000 mm aproximadamente (SENAMHI, 2020).

Dentro de las Áreas cultivables en la región Amazonas, el cultivo de café en 2017 ocupaba los lugares 17 y 18 en cuanto a áreas cultivables, destacándose dos distritos: Omia (Rodríguez de Mendoza) y Lonya Grande (Utcubamba) con 5668,46 ha y 5457,22 ha, respectivamente, que representan el 2,6% del área cultivable nacional (Díaz & Willems, 2017).

Se evaluaron todos los lugares desde una perspectiva transversal en el transcurso de 23 años, en la región Amazonas las coberturas vegetales determinadas presentan bosques, pastos, agricultura y relictos boscosos (Chizmar et al., 2020).

Figura 1

Mapa de ubicación de tres provincias cafetaleras en la región Amazonas.



2.2. Métodos

2.2.1. Uso de la plataforma GEE para valores históricos del SVI

Para esta investigación, mediante computación en la nube a través de la plataforma Google Earth Engine - GEE (<https://earthengine.google.com/>) creamos un mapa de Índice de Vegetación Estandarizado (Huang et al., 2017; Kumar & Mutanga, 2018).

Los valores históricos y las tendencias del SVI, fueron registrados a nivel temporal (Juntakut et al., 2021). Para 23 años (2000-2022), y a nivel espacial, aplicados como ejemplos de caso en 3 provincias cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba).

La selección de las provincias cafetaleras utilizando la herramienta de ArcGis 10.8 llamada Arc Toolbox: Data Management Tools > Feature Class > Create Random Points en formato shape, fueron exportados a GEE.

Las imágenes se obtuvieron desde la plataforma GEE para el producto MOD13Q1 V6 mismo que proporciona un valor de Índice de Vegetación (VI) por píxel ([MODIS/061/MOD13Q1](https://earthengine.google.com/modis/061/mod13q1), consultado el 16 de abril de 2022).

Hay dos capas principales de vegetación, la primera es el Índice de Vegetación de Diferencia Normalizada (NDVI), que se denomina índice de continuidad del NDVI derivado del Radiómetro Avanzado de muy Alta Resolución de la Administración Nacional Oceánica y Atmosférica (NOAA-AVHRR).

La segunda capa de vegetación es el Índice de Vegetación Mejorado (EVI) que minimiza las variaciones de fondo del dosel y mantiene la sensibilidad sobre las condiciones de vegetación densa.

El EVI también utiliza la banda azul para eliminar la contaminación atmosférica residual causada por el humo y las nubes subpixeladas.

Los productos MODIS NDVI y EVI se calculan a partir de reflectancias bidireccionales de la superficie corregidas atmosféricamente que han sido enmascaradas para el agua, las nubes, los aerosoles pesados y las sombras de las nubes.

Los píxeles se obtuvieron con una resolución espacial de 250 m y una resolución global de 16 días (<https://doi.org/10.5067/MODIS/MOD13Q1.006>, consultado el 11 de abril de 2022).

2.2.2. Obtención SVI en GEE

El SVI se basa en el cálculo de una puntuación Z para cada ubicación de píxel de AVRR en las Grandes Llanuras de Estados Unidos (2020 columnas por 2674 filas). La puntuación Z es una desviación de la media en unidades de la desviación estándar, calculada a partir de los valores de NDVI para cada ubicación de píxel para cada semana para cada año, durante los 12 años 1989 - 2000 (Peters et al., 2002) como:

$$z_{ijk} = \frac{NDVI_{ijk} - \overline{NDVI}_{ij}}{\sigma_{ij}}$$

Donde z_{ijk} es el valor z del píxel i durante la semana j del año k , $NDVI_{ijk}$ es el valor semanal del NDVI del píxel i durante la semana j del año k , \overline{NDVI}_{ij} es la media del NDVI del píxel i durante la semana j a lo largo de n años, y σ_{ij} es la desviación estándar del píxel i durante la semana j a lo largo de n años.

Se asumió que z_{ijk} se ajusta a una distribución normal estándar, que tiene más de cero y desviación estándar de 1, denotada como $z_{ijk} \sim N(0,1)$.

Para comprobar el supuesto de normalidad, se seleccionaron al azar 100 píxeles de las temporadas de cultivo de 1989 a 2000. De ellos, el 80,3 por ciento resultó tener una distribución normal según la prueba W de Shapiro Wilk al nivel $\alpha = 0,01$. Así, la función de densidad de probabilidad de z_{ijk} viene dada por






$$SVI = P(Z < z_{ijk})$$

2.3. Metodología

2.3.1. Mapas de sequías clasificadas

Luego de haber obtenido desde GEE los mapas de SVI para las tres provincias, se usó la herramienta de ArcGis 10.8 >Layer properties > Classified > classification > breake. Luego se representó el SVI en 5 categorías: (Tabla 1) (UN-SPIDER., 2020): SVI con color verde ≥ 0 (sin sequía), color amarillo -0,10 a -0,94 (Sequía leve), color naranja claro -0,95 a -1,44 (sequía moderada), color naranja oscuro -1,45 a -1,94 (sequía severa) y rojo color $\leq -1,95$ (sequía extrema).

Tabla 1*Clasificación de sequías*

Class	Value	Color
Extreme Drought	$\leq -1,95$	
Severe Drought	-1,45 a -1,94	
Moderate Drought	-0,95 a -1,44	
Mild Drought	-0,10 a -0,94	
No Drought	≥ 0	

2.3.2. Análisis estadístico

Los valores del SVI para las tres provincias, se analizaron usando el coeficiente de variación para determinar la medida estadística de la dispersión de los puntos de datos en torno a la media del SVI calculado. Se usaron gráficos de caja para mostrar la dispersión de los datos del SVI en las zonas de estudio. Estos gráficos de caja son un método estandarizado para representar gráficamente una serie de datos numéricos del SVI datos numéricos a través de sus cuartiles (Veneros & García, 2022).

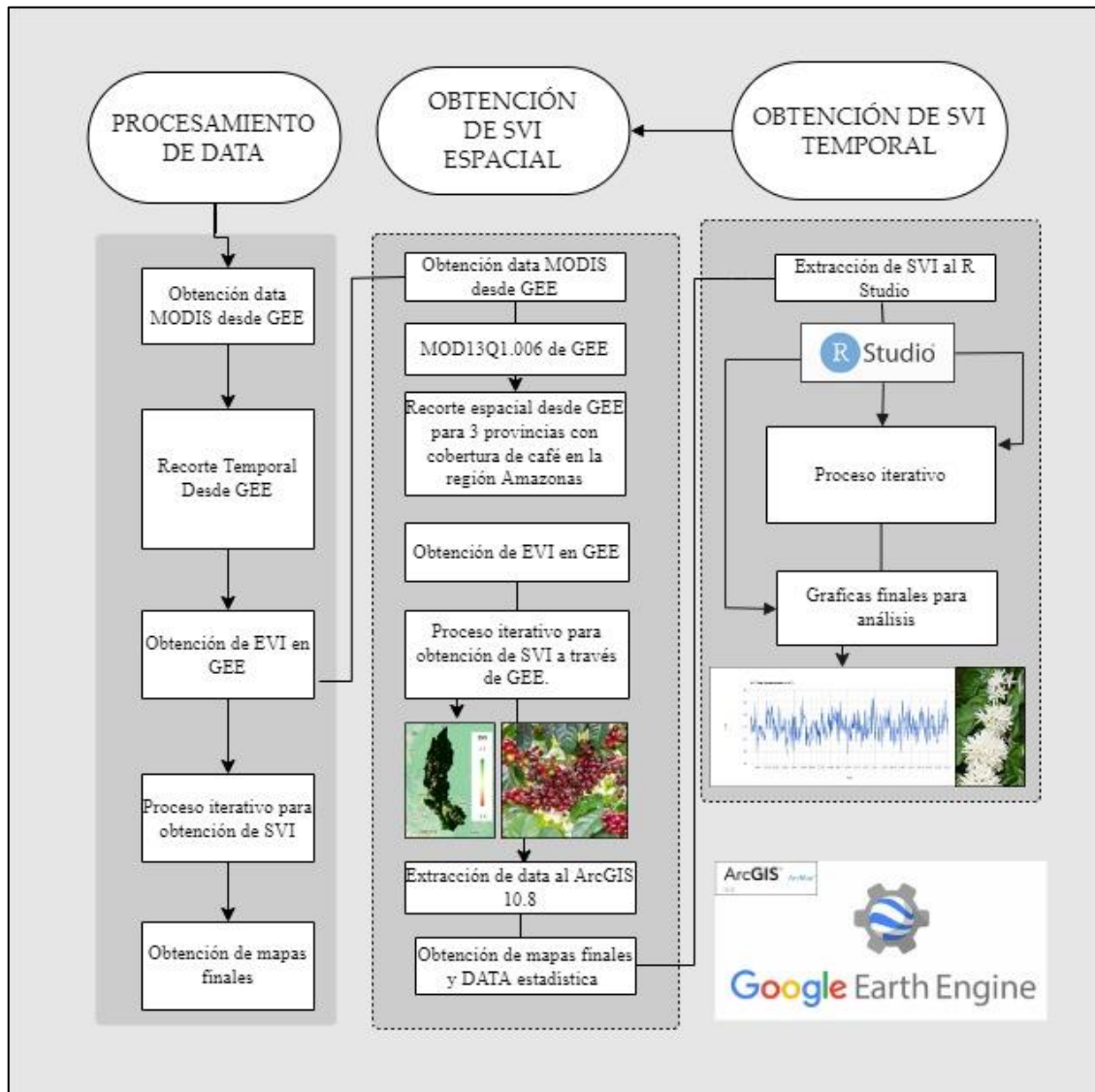
Además, se obtuvieron datos mínimos, máximos, coeficiente de variación, que fueron representados en diagramas de cajas, en histogramas, y en series de tiempo para el análisis respectivo.

La prueba de normalidad de datos se obtuvo usando Shapiro -Wilk, por la naturaleza de las muestras (Gandica, 2020), usando el programa R (<https://www.r-project.org/>), es uno de los test de normalidad empleados para datos meteorológicos (Marcos et al., 2019). El esquema metodológico se detalla en la Figura 2.

2.3.3. Esquema metodológico

Figura 2

Esquema metodológico para obtención de índices de sequía a través del SVI en tres provincias cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) de la región Amazonas.



III. RESULTADOS

3.1. Valores históricos promedios, para el índice de sequías (SVI).

La Tabla 2, Figura 3, muestra la data histórica recopilada para la variación estacional del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI), en representación mensual promedio de 23 años en Luya. El mayor valor se presentó el 17 de enero de 2006 con 1,187 del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI). El menor valor fue el 21 de marzo de 2004 con -1,195 del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) que corresponde a sequía moderada. Los valores promedios mensuales presentan rangos entre -0,02068 (julio) hasta 0,02814 (octubre).

Respecto a la provincia de Rodríguez de Mendoza en la tabla 2 y figura 4, el SVI presenta el mayor valor 1.364 el 18 de febrero de 2014 y el menor valor el 16 de octubre de 2007 con -1,413 del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) que corresponde a sequía moderada.

Los valores promedios mensuales presentan rangos entre -0,02423 (julio) hasta 0,0563 (abril).

La provincia de Utcubamba en la tabla 2, figura 5, presentó un valor máximo 16 de octubre de 2021 con 1,556 y un valor mínimo 2 de diciembre del 2016 con -1,453 del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) que corresponde a sequía severa. Los valores promedios mensuales oscilan en los rangos entre -0,02386 (julio) 0,04967857 (octubre).

Tabla 2

Resumen de valores para los rangos promedios del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) por meses en data histórica de 23 años (2000 – 2022) en tres zonas cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) de la región Amazonas.

Mes	Valores	SVI		
		Luya	Rod, de Mendoza	Utcubamba
Jan	Max	1,187	1,119	1,275
	Min	-1,064	-1,044	-0,841
	Mean	0,02216667	0,02068	0,04839
	SD	0,4734132	0,5316597	0,4858751
Feb	Max	1,079	1,364	1,3
	Min	-1,349	-1,039	-0,925
	Mean	-0,00339	0,04171	0,03789
	SD	0,568756	0,6525473	0,5708765
Mar	Max	0,996	0,994	1,026
	Min	-1,195	-0,81	-1,075
	Mean	0,01405	-0,007295	0,0468
	SD	0,4366563	0,4900239	0,5271933
Apr	Max	0,853	0,923	0,993
	Min	-0,668	-1,198	-0,778
	Mean	0,01277	0,0563	0,0227
	SD	0,3305617	0,5340514	0,4159624
May	max	0,622	0,774	0,667
	min	-0,737	-0,948	-0,982
	mean	-0,001455	-0,008841	0,002295
	SD	0,3231871	0,4425569	0,3647167
Jun	max	0,72	0,627	1,275
	min	-0,838	-1,198	-0,841
	mean	-0,0004773	-0,006227273	0,04839

Jul	SD	0,3618234	0,4073589	0,4858751
	max	0,876	1,002	0,648
	min	-0,735	-1,058	-1,098
	mean	-0,02068	-0,02423	-0,02386
Aug	SD	0,4137829	0,4964165	0,411724
	max	1,091	1,031	0,879
	min	-0,768	-0,867	-0,771
	mean	0,01027	-0,0075	0,007568
Sep	SD	0,4507212	0,4826512	0,4985906
	max	1,014	0,933	1,007
	min	-0,878	-0,923	-0,715
	mean	-0,006568	0,0035	-0,006045
Oct	SD	0,4676041	0,509909	0,455657
	max	1,174	0,778	1,556
	min	-0,859	-1,413	-0,594
	mean	0,02814	-0,01039	0,04967857
Nov	SD	0,4960073	0,5487012	0,4804291
	max	0,87	0,895	1,159
	min	-1,01	-0,892	-0,827
	mean	0,003243	0,0007895	-0,002842105
Dec	SD	0,467239	0,5184709	0,5521497
	max	0,823	1,034	1,309
	min	-1,047	-1,301	-1,453
	mean	-0,01266	0,04534	-0,006325581
	SD	0,5404979	0,595584	0,5735889

Nota. SD: desviación estándar, Min: valor de SVI mínimo, Max: valor de SVI máximo y mean: promedio.

Figura 3

Diagrama de cajas para valores históricos mensuales del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Luya – Amazonas.

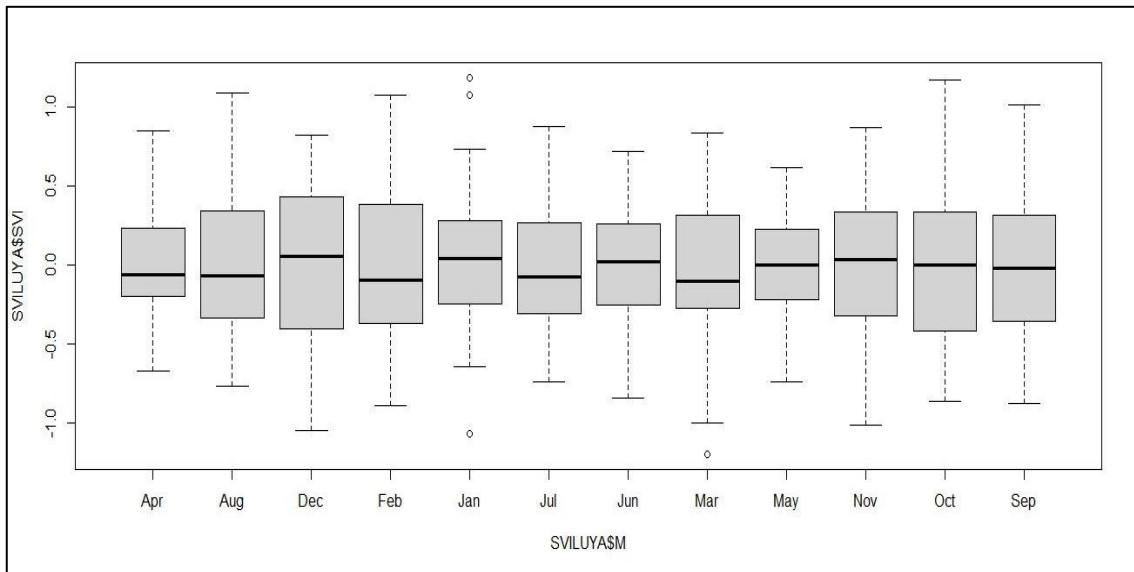


Figura 4

Diagrama de cajas para valores históricos mensuales del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Rodríguez de Mendoza – Amazonas.

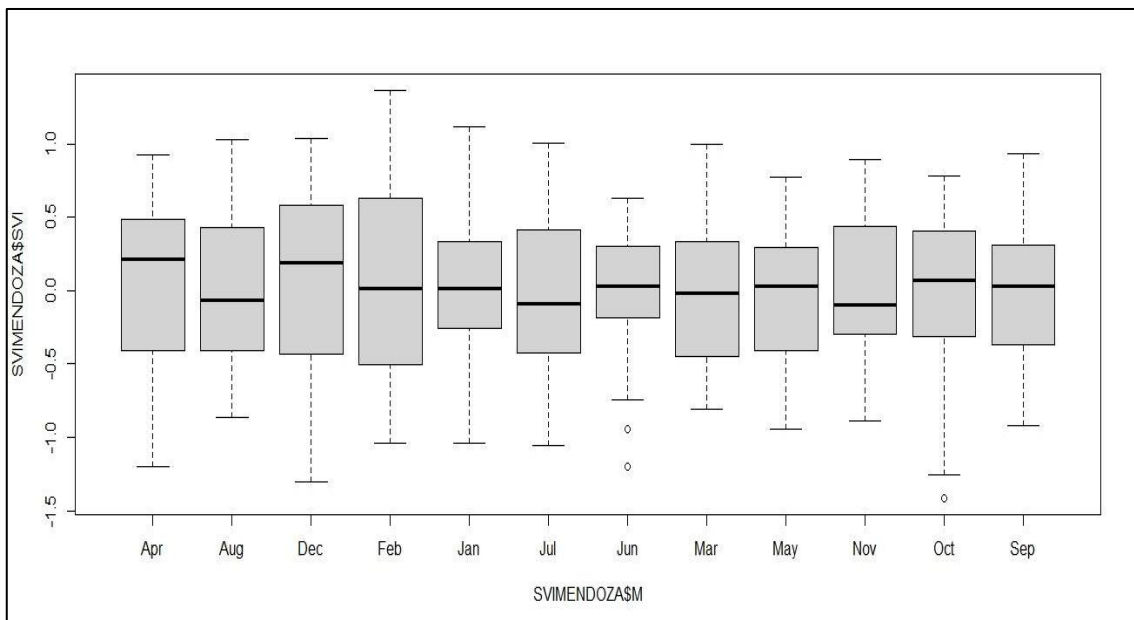
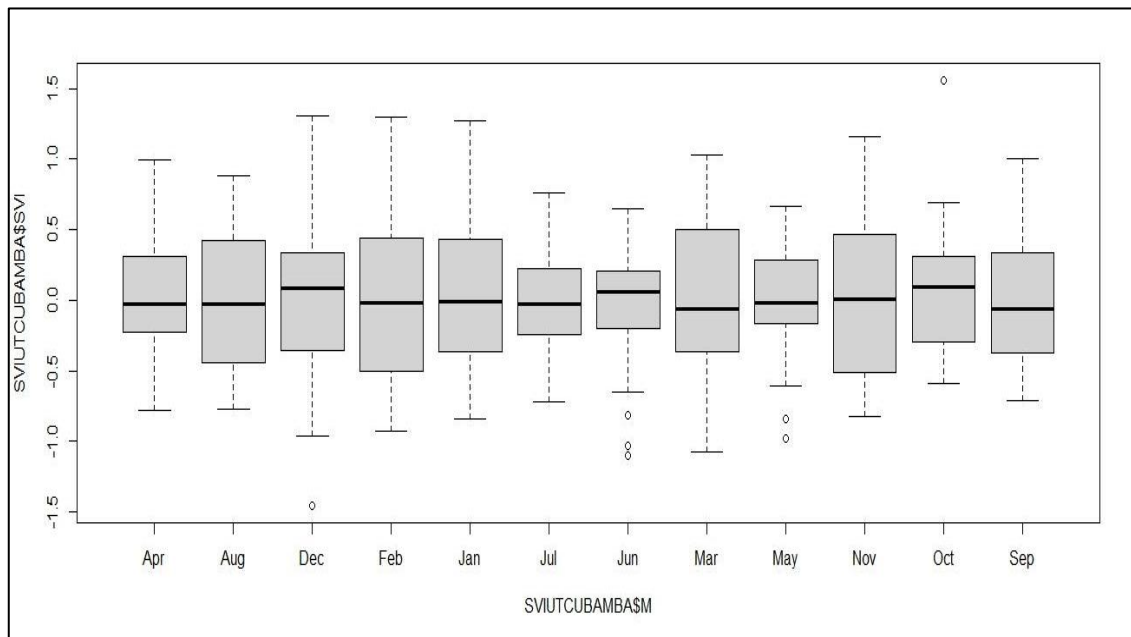


Figura 5

Diagrama de cajas para valores históricos mensuales del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Utcubamba – Amazonas.



Shapiro - Wilk e histogramas para valores históricos temporales y espaciales

Los histogramas y valores para el test aplicado (Shapiro - Wilk) en la data histórica mensual de 23 años (2000 – 2022) en el SVI para la zona de Luya, presentan una tendencia de distribución normal (La tabla 3, figura 6), en todos los casos ($p < 0,05$). Sin embargo, no se desestiman valores de 0,06092 presentados en el mes de diciembre.

Tabla 3

Resumen de valores de distribución de normalidad de datos con el test Shapiro -Wilk para valores del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) por meses en data histórica de 23 años (2000 – 2022) en tres zonas cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) de la región Amazonas.

Mes	Shapiro – Wilk					
	Luya		Rod, de Mendoza		Utcubamba	
	W	p-value	W	p-value	W	p-value
Jan	0,97899	0,5937	0,96962	0,2934	0,97249	0,3695
Feb	0,9587	0,109	0,962	0,1456	0,96654	0,216
Mar	0,97467	0,4369	0,96004	0,1306	0,96674	0,2312
Apr	0,97601	0,4828	0,92419	0,006592**	0,98279	0,745
May	0,98861	0,9374	0,9715	0,3414	0,96994	0,3011
Jun	0,98873	0,9401	0,95119	0,06093	0,94413	0,03341*
Jul	0,9723	0,364	0,97767	0,5431	0,97302	0,3851
Aug	0,95814	0,1109	0,96389	0,1816	0,94207	0,02809*
Sep	0,98241	0,7302	0,97009	0,305	0,96528	0,2045
Oct	0,95824	0,3165	0,93393	0,07749	0,92385	0,04323*
Nov	0,98335	0,8316	0,96022	0,193	0,93871	0,03806*
Dec	0,95119	0,06092	0,95917	0,1211	0,98528	0,8388

Nota. W: prueba de normalidad de Shapiro Wilk, *Significancia estadística y **Alta significancia estadística. * = no normal.

Figura 6

Histogramas de frecuencia mensual de la data histórica de SVI en 23 años (2000 - 2022) en Luya - Amazonas.

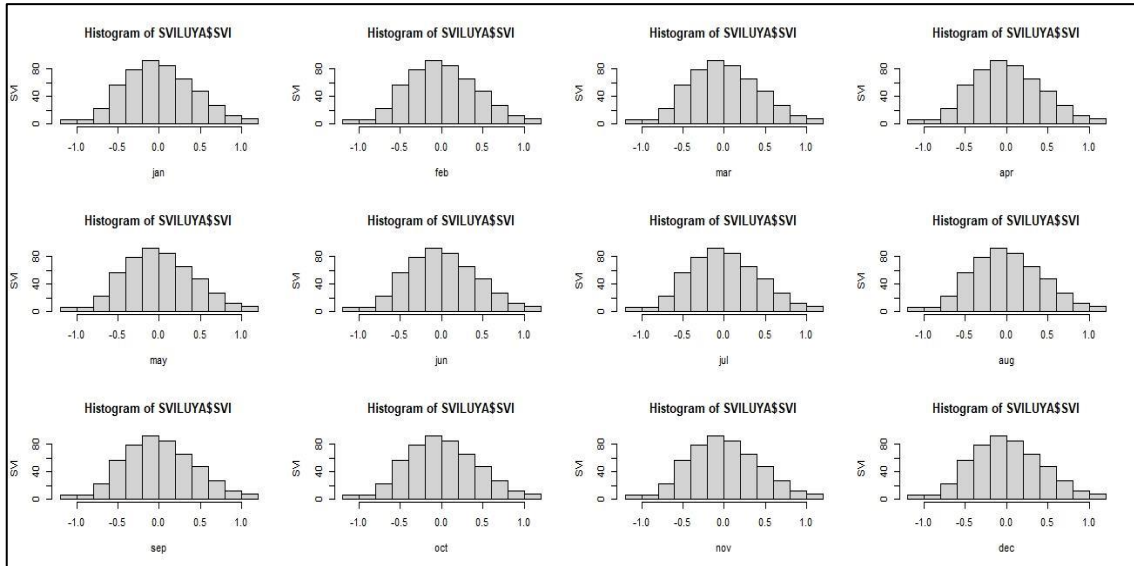


Figura 7

Histogramas de frecuencia mensual de la data histórica de SVI en 23 años (2000 - 2022) en Rodríguez de Mendoza - Amazonas.

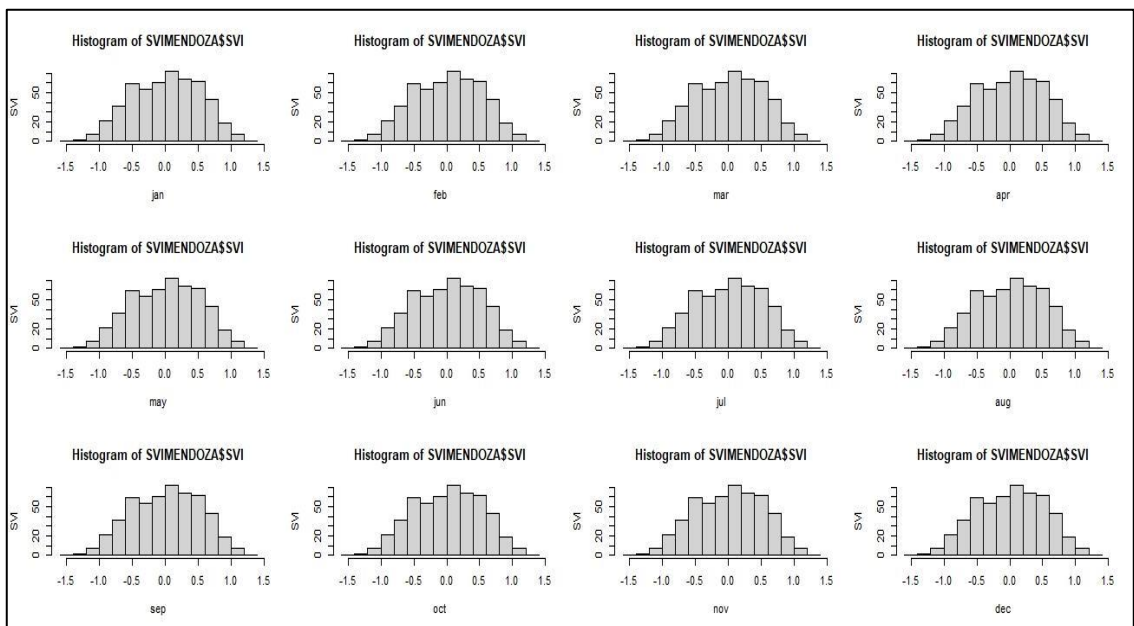
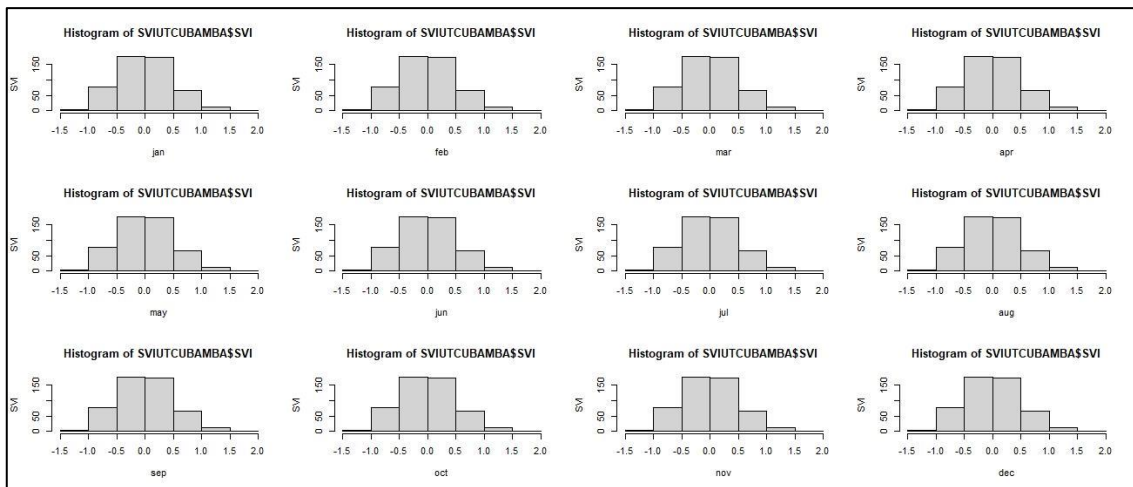


Figura 8

Histogramas de frecuencia mensual de la data histórica de SVI en 23 años (2000 - 2022) en Utcubamba - Amazonas.



Para la provincia de Luya, en la tabla 3 Figura 6 se muestran los valores de Shapiro - Wilk con un valor de normalidad p value mayor a 0,05 en todos los meses. Así mismo, el histograma muestra una distribución normal. La misma tendencia en los valores, se presentó en la provincia de Rodríguez de Mendoza (tabla 6 figura 7). De acuerdo a la prueba de normalidad Shapiro - Wilk, no se muestra nivel de significancia estadística, exceptuando el mes de abril que presenta un p value de 0,006592, presenta alta significancia estadística. El histograma para el mes de abril muestra distribución bimodal asimétrica.

La provincia de Utcubamba tabla 6 figura 8 exceptuando significancia estadística en los valores históricos para los meses de junio 0,03341 agosto 0,02809 octubre 0,04323 y noviembre 0,03806, los cuales muestran una distribución bimodal asimétrica.

3.2. Valores históricos promedio para SVI anuales

Conseguimos registrar los valores históricos (años 2000-2022), promedio para el SVI en Luya, Rodríguez de Mendoza y Amazonas en la tabla 4. Para Luya, el SVI máximo fue de 0,23478 en el año 2002, y el SVI mínimo promedio se registró en -0,3533 para el año 2004. En tanto que, Rodríguez de Mendoza presentó el máximo SVI fue de 0,2823 en el año 2014, y el año 2003 se presentó el valor mínimo con -0,2656 para índice SVI. Así mismo, en la provincia de Utcubamba, un valor de 0,47674 para SVI fue registrado con el máximo valor en el año 2021, y un índice SVI de -0,3886 fue registrado como valor mínimo en el año 2001.

Tabla 4

Valores históricos promedio anuales para el índice SVI en áreas cafetaleras de las provincias de Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba.

Luya				Rodríguez de Mendoza				Utcubamba			
años	máx	min	promedio	años	máx	min	promedio	años	máx	min	promedio
2000	1,014	-1,047	-0,07055	2000	0,918	-0,867	-0,2307	2000	1,007	-0,96	0,2617
2001	0,662	-0,564	-0,18643478	2001	0,432	-0,941	-0,16134783	2001	0,392	-1,098	-0,3886087
2002	1,081	-0,55	0,23478261	2002	1,118	-1,259	-0,04752174	2002	1,013	-0,344	0,13926087
2003	0,836	-0,623	0,00117391	2003	1,072	-0,938	-0,26556522	2003	0,733	-0,759	-0,14147826
2004	0,533	-1,195	-0,35326087	2004	0,811	-1,198	-0,2416087	2004	0,691	-1,075	-0,22621739
2005	0,87	-0,699	-0,05478261	2005	0,622	-0,79	0,10186957	2005	1,159	-0,184	0,19343478
2006	1,187	-0,771	-0,12317391	2006	0,808	-0,948	-0,11152174	2006	1,027	-0,842	-0,08717391
2007	0,812	-0,768	-0,12865217	2007	0,51	-1,413	-0,23517391	2007	1,309	-0,687	-0,01417391
2008	0,737	-0,529	0,10217391	2008	0,778	-0,541	0,1316087	2008	0,897	-0,478	0,20430435
2009	0,853	-0,599	0,21343478	2009	0,923	-0,861	0,18334783	2009	0,818	-0,594	0,20891304
2010	1,052	-1,037	-0,02682609	2010	0,662	-0,892	0,03330435	2010	0,498	-0,84	-0,22486957
2011	0,583	-1,064	-0,08669565	2011	1,034	-0,964	0,04386957	2011	0,758	-0,541	-0,04469565
2012	0,687	-0,838	0,002	2012	0,756	-1,198	-0,03173913	2012	1,275	-0,771	0,07365217
2013	1,174	-0,534	0,19956522	2013	0,986	-0,81	0,25991304	2013	0,697	-0,982	-0,08065217
2014	0,861	-0,859	-0,00973913	2014	1,364	-0,72	0,28234783	2014	0,893	-0,489	0,28013043
2015	0,935	-0,576	0,12726087	2015	1,119	-0,923	0,15204348	2015	0,994	-0,662	0,18217391

2016	0,495	-1,033	-0,16278261	2016	0,849	-0,7	0,14417391	2016	0,403	-1,453	-0,30395652
2017	1,079	-0,533	0,13673913	2017	0,987	-0,591	0,07604348	2017	1,037	-0,826	0,18808696
2018	0,643	-0,735	-0,06034783	2018	0,637	-0,56	0,00786957	2018	0,657	-0,841	-0,21986957
2019	0,823	-0,725	0,12586957	2019	1,133	-1,116	0,00904348	2019	0,85	-0,764	-0,01226087
2020	0,535	-0,712	-0,11413043	2020	0,704	-1,039	0,05278261	2020	1,3	-0,705	-0,11204348
2021	1,121	-0,308	0,19956522	2021	0,649	-0,832	-0,01504348	2021	1,556	-0,146	0,47673913
2022	0,36	-0,316	0,02625	2022	0,866	-0,683	0,2265	2022	0,366	-0,557	-0,1315

Nota. Promedios de data histórica (Índice de Vegetación Estandarizado).

Así mismo, se realizaron diagramas de caja para representar valores mínimos, máximos y promedios históricos del SVI. Se obtuvo que, en la provincia de Luya, los años 2000, 2001, 2003 y 2010 presentaron valores atípicos para aumentos en SVI, y en los años 2000, 2010 y 2012 hubo valores atípicos para disminución en valores de SVI (Figura 9a).

En tanto que, para la provincia de Rodríguez de Mendoza, solamente en el año 2000 hubo una tendencia en subida para SVI y una tendencia a menores valores de SVI se presentó en los años 2002, 2007 y 2009 (Figura 9b).

En la provincia de Utcubamba, se presentaron valores atípicos en aumento para los años 2005, 2007, 2012, 2020 y 2021, y valores atípicos para SVI en reducción, se presentó en los años 2000 y 2014 (Figura 9c).

Figura 9

Diagramas de caja para promedios anuales históricos (2000-2022) del SVI en las zonas de a) Luya, b) Rodríguez de Mendoza y c) Utcubamba.

Figura 9a

Luya

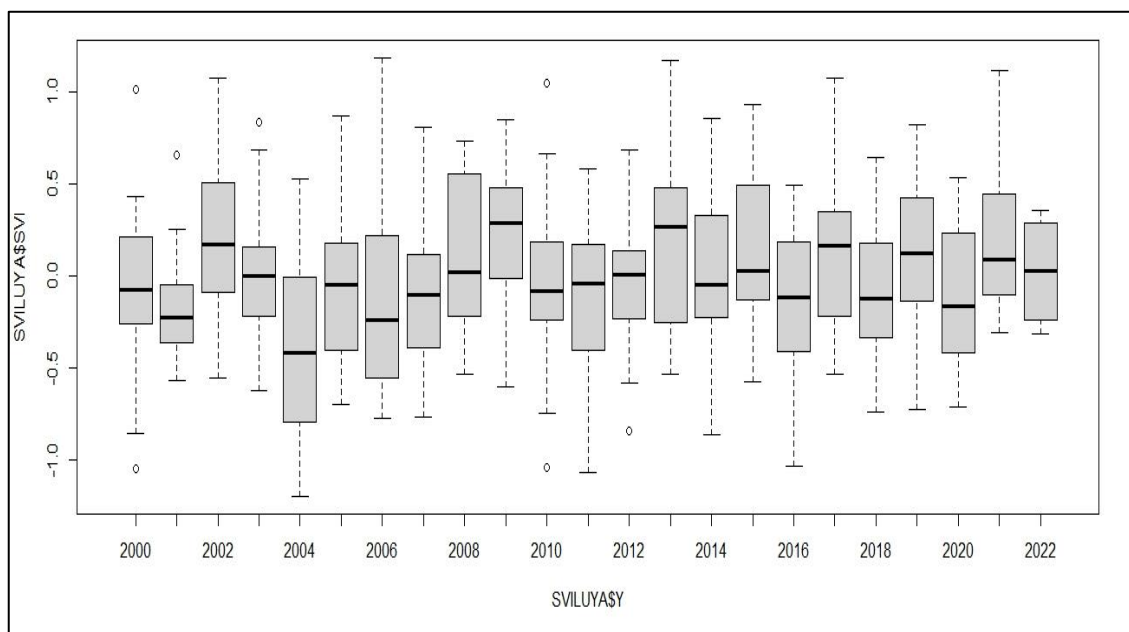


Figura 9b

Rodríguez de Mendoza

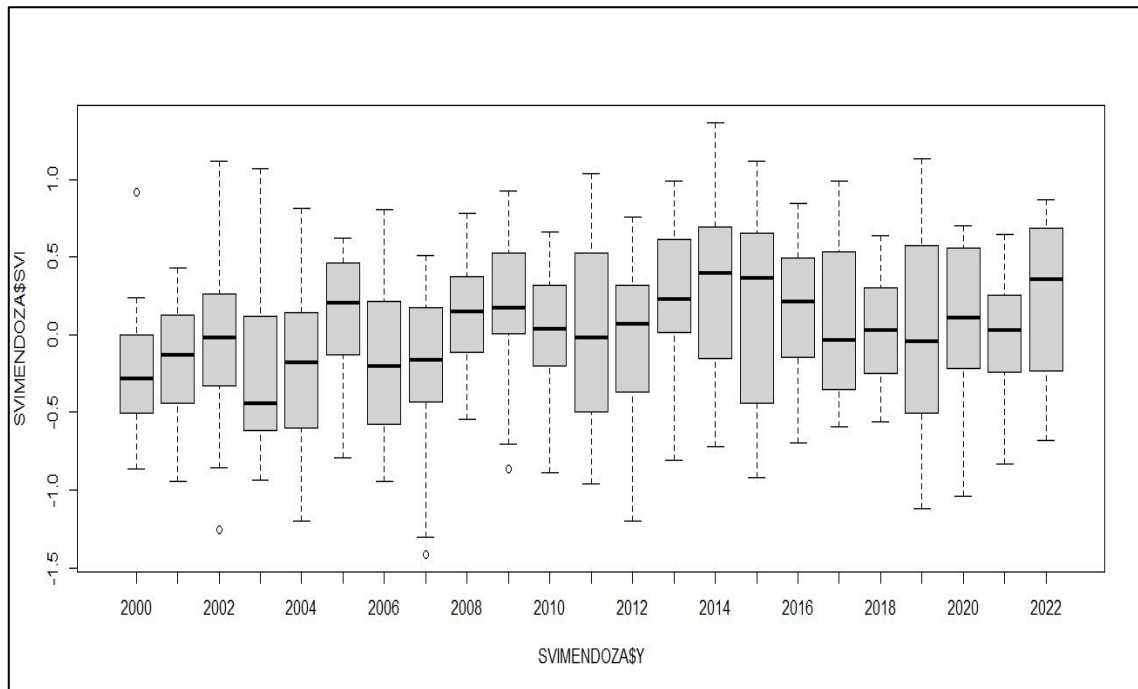
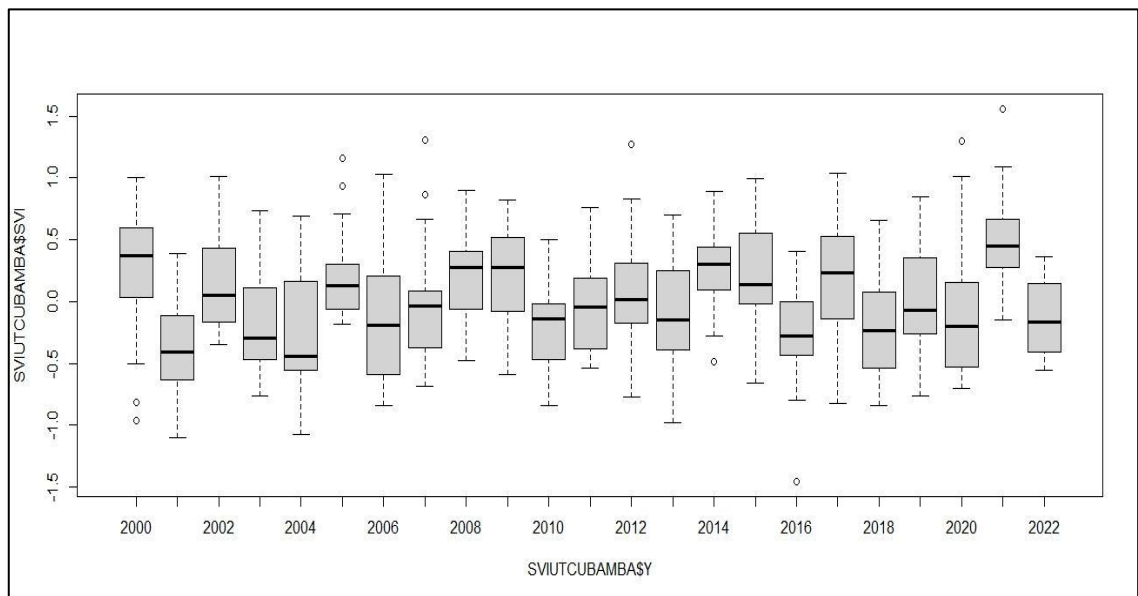


Figura 9c

Utcubamba



Se realizaron además los diagramas de serie de tiempo para representar los valores picos que se obtuvieron en los registros SVI, así como el grupo de datos en forma secuencial para, Luya (Figura 10a), Mendoza (Figura 10b) y Utcubamba (Figura 10c). La gráfica

representa el comportamiento a largo plazo (para 23 años) para el SVI en cada zona, mismo que denota el comportamiento cíclico en cada serie para los tres casos.

Para la provincia de Luya, los mayores picos de valores se presentaron en el año 2001, 2010, y 2017. En tanto que, en Rodríguez de Mendoza los mayores picos fueron en los años 2003, 2012 y 2019. Finalmente, para Utcubamba los mayores picos de valores se presentaron en los años 2001, 2004, 2017.

Figura 10

Diagramas de serie de tiempo para 23 años de SVI en las zonas de a) Luya, b) Rodríguez de Mendoza y c) Utcubamba.

Figura 10a

Luya

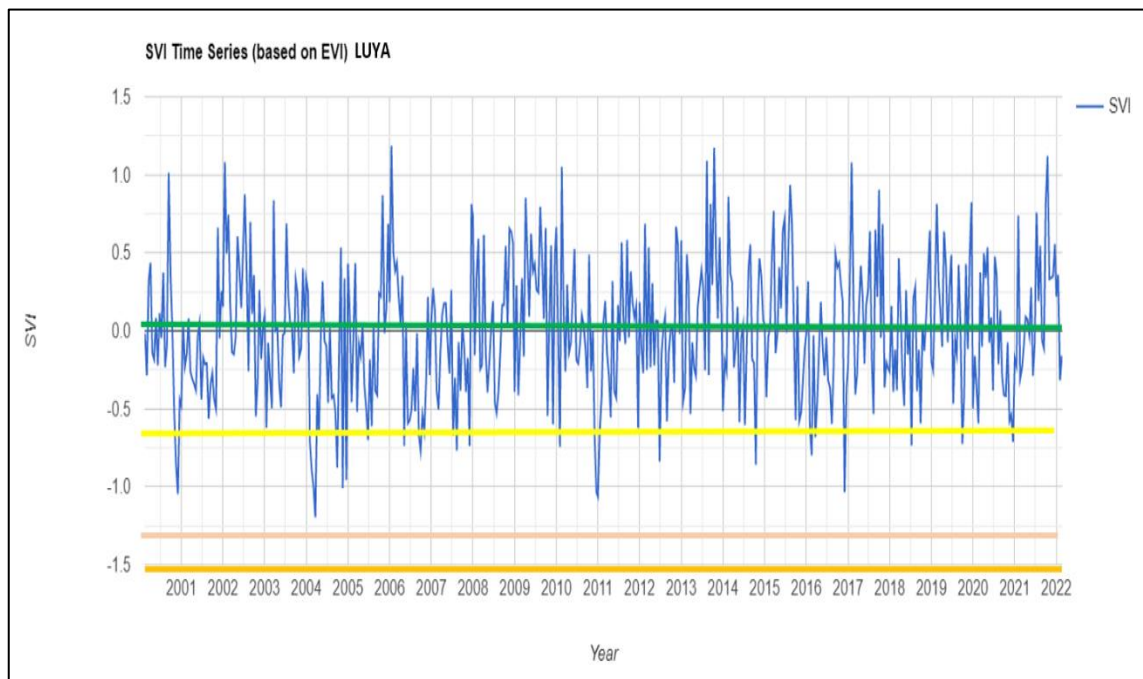


Figura 10b

Rodríguez de Mendoza

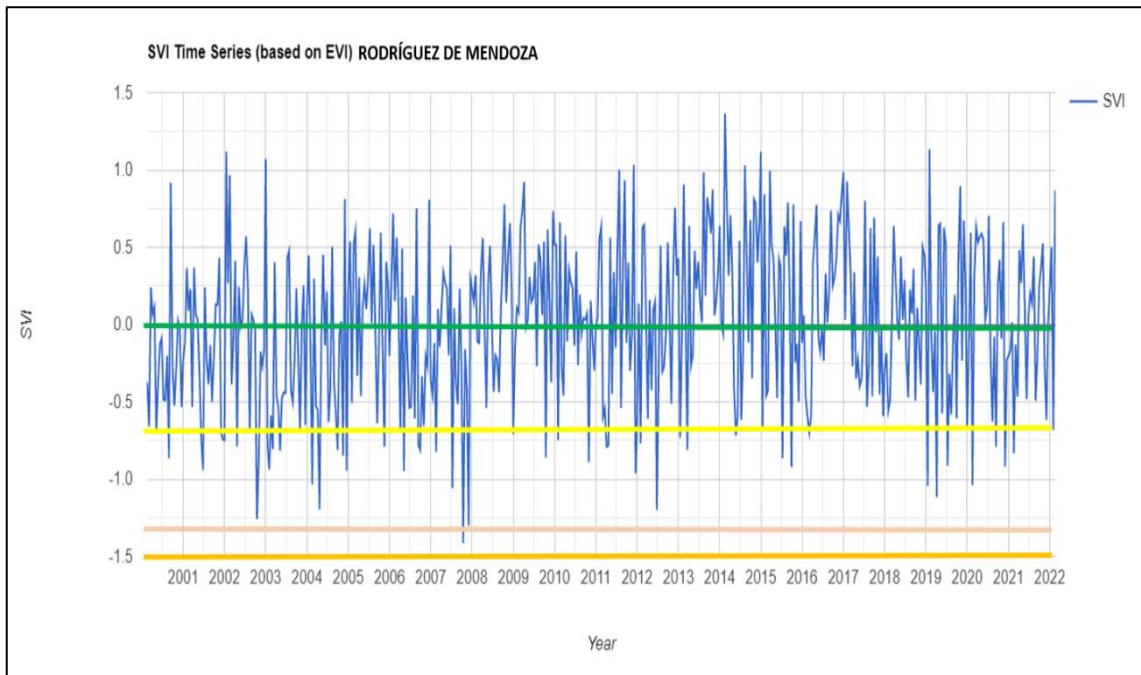
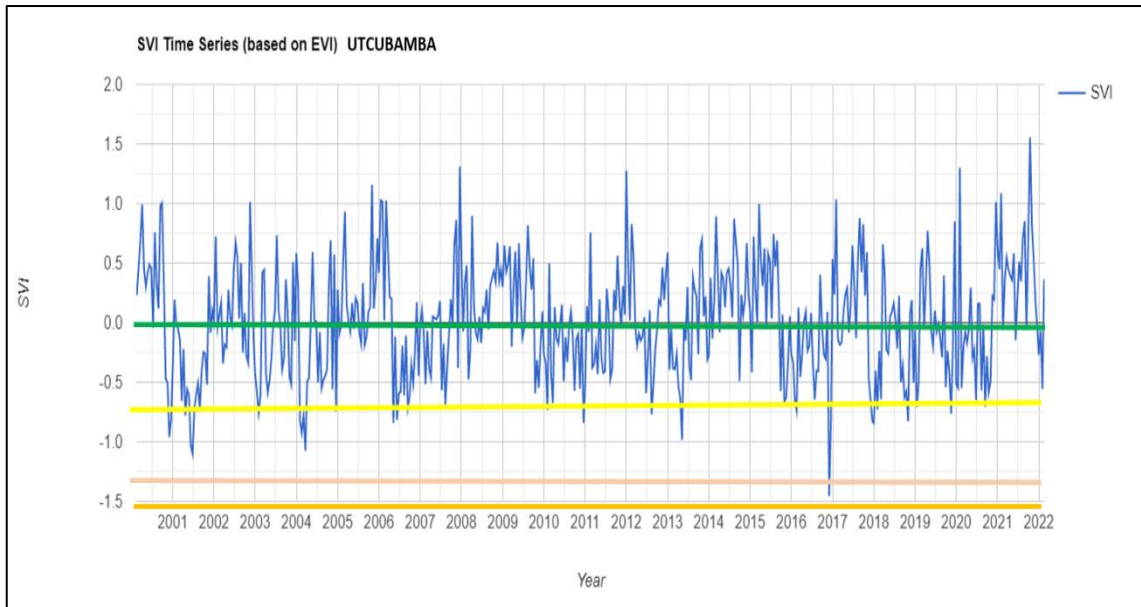


Figura 10c

Utcubamba



3.3. Distribución espacial de la sequía mediante el uso de índice de SVI espaciales respecto en un escenario histórico (2001) en tres zonas cafetaleras en la región Amazonas.

Se consiguió obtener áreas para los rangos de índices SVI, bajo un escenario histórico para las 3 provincias. En ese sentido, las áreas de SVI en la región Amazonas están representadas en forma de barras apiladas en la figura 11a, figura 11b y figura 11c para las provincias cafetaleras de Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba respectivamente, todos según rangos clasificadas en tabla 1.

Así mismo, bajo un contexto histórico (año 2001), la provincia de Luya presentó un máximo valor en el mes de julio con 6856,25 has, para el rango de sequía extrema, sin embargo, la sequía severa registró la cantidad de 4650 ha en el mes de noviembre. Asimismo, la sequía moderada obtuvo 15268,75 ha en el mes de enero, en tanto el rango de sequía leve se identificó el máximo valor en el mes de noviembre con 32412,5 ha y las áreas sin sequía registraron 29937,5 ha en el mes de agosto (figura 11a, tabla 5 y figura 12).

Para la provincia de Rodríguez de Mendoza, en un contexto histórico, el rango de sequía extrema registró 11275 ha en el mes de febrero, en cambio se obtuvo 3681,25 ha en la sequía severa para el mes de setiembre, asimismo el rango de sequía moderada presentó como máximo valor de 12812,5 ha en el mes de diciembre, la sequía leve registró 55350 ha en el mes de agosto y sin sequía representa el mayor valor con 46637,5 ha en el mes de abril (figura 11b, tabla 6 y figura 13).

Para el año 2001 (contexto histórico), la provincia de Utcubamba en el mes de julio presentó la mayor cantidad de hectáreas (7456,25 ha) en la clasificación de sequía extrema, en cambio la clasificación de sequía severa obtuvo 9500 ha en el mes de agosto, el rango de sequía moderada registró 13193,75 ha en el mes de noviembre, asimismo el rango de sequía leve presentó 38212,5 ha en el mes de noviembre y sin sequía presentó 22612,5 ha en el mes de agosto (figura 11c, tabla 7 y figura 14).

Figura 11

Áreas (Ha) determinadas según clasificación de sequías en 3 provincias cafetaleras de la región Amazonas (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba).

Figura 11a

Gráfico de barras apiladas para áreas evaluadas con SVI en la provincia de Luya, bajo un escenario histórico (2001)

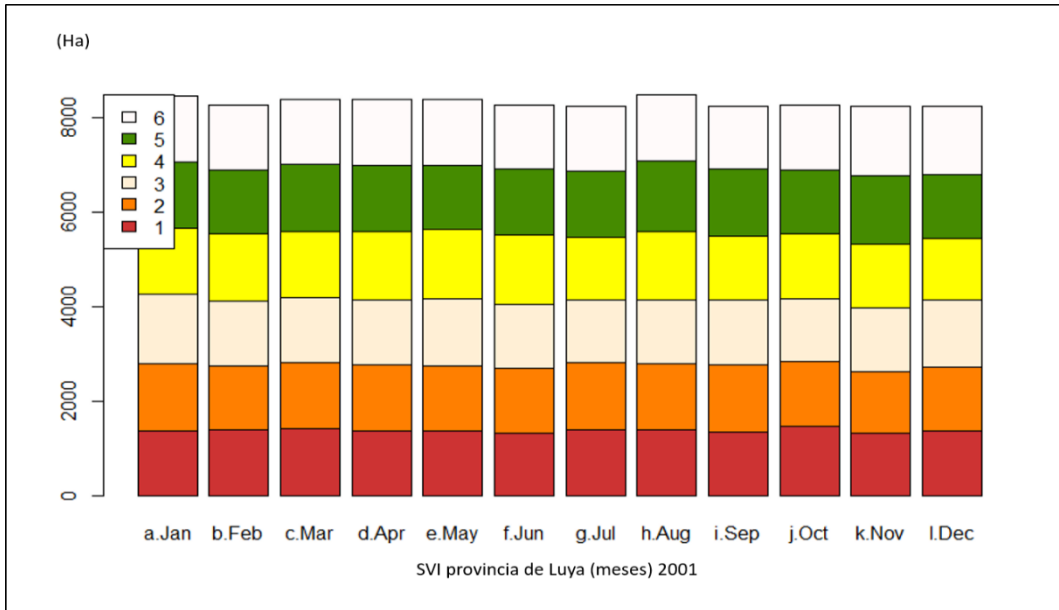


Figura 11b

Gráfico de barras apiladas para áreas evaluadas con SVI en la provincia de Rodríguez de Mendoza, bajo un escenario histórico (2001)

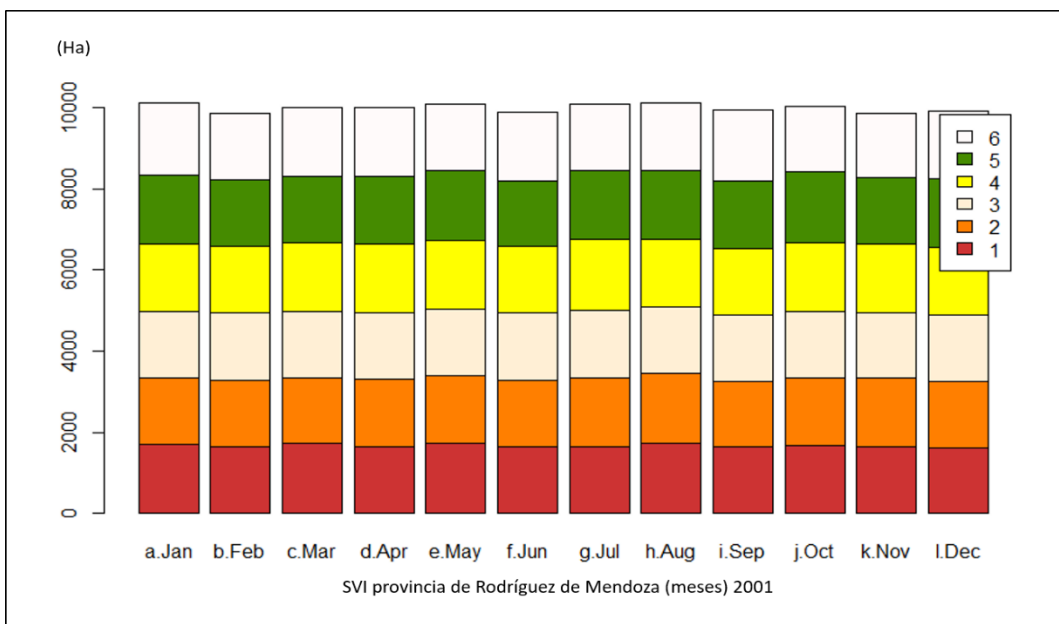


Figura 11c

Gráfico de barras apiladas para áreas evaluadas con SVI en la provincia de Utcubamba, bajo un escenario histórico (2001)

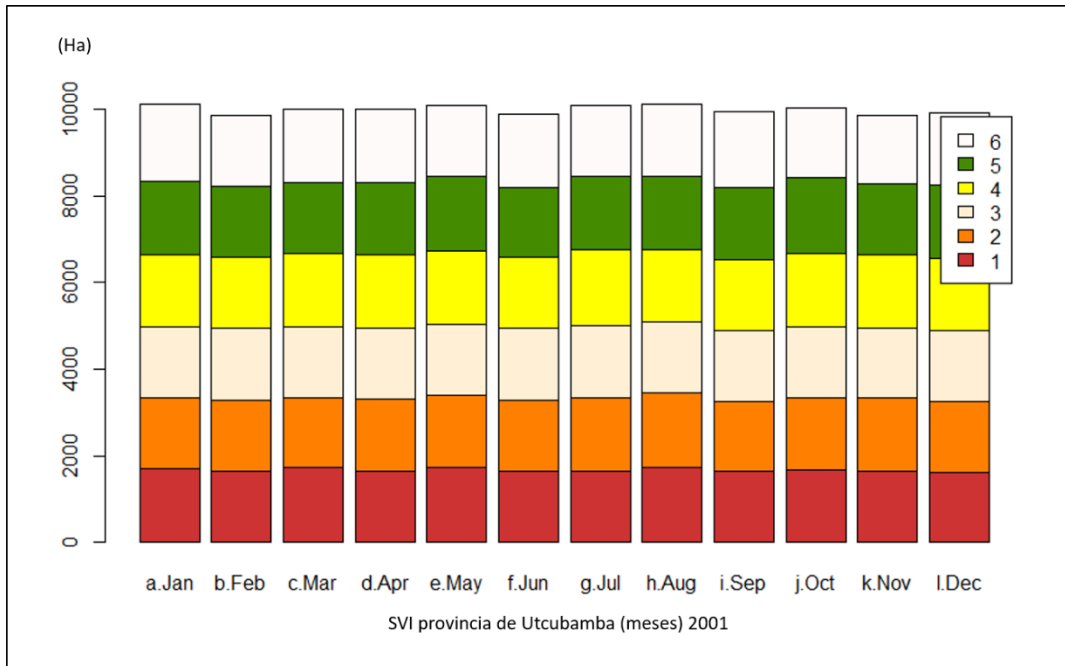


Tabla 5*Áreas (ha) por meses en un escenario histórico (2001) en la provincia de Luya*

LUYA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
Clasificación de sequias	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	315	1968,75	289	1806,25	695	4343,75	469	2931,25	503	3143,75	547	3418,75
2	366	2287,5	232	1450	164	1025	352	2200	539	3368,75	146	912,5
3	2443	15268,75	435	2718,75	320	2000	810	5062,5	881	5506,25	112	700
4	908	5675	1232	7700	834	5212,5	1491	9318,75	2516	15725	299	1868,75
5	26	162,5	852	5325	1887	11793,75	1433	8956,25	1766	11037,5	692	4325
6 (No data)	7142	44637,5	8160	51000	7300	45625	6645	41531,25	4995	31218,75	9404	58775
LUYA	JULIO		AGOSTO		SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
Clasificación de sequias	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	1097	6856,25	333	2081,25	538	3362,5	555	3468,75	469	2931,25	692	4325
2	301	1881,25	345	2156,25	536	3350	521	3256,25	744	4650	276	1725
3	407	2543,75	730	4562,5	1060	6625	662	4137,5	2098	13112,5	367	2293,75
4	1156	7225	4075	25468,75	3084	19275	1430	8937,5	5186	32412,5	1362	8512,5
5	1759	10993,75	4790	29937,5	2063	12893,75	983	6143,75	2233	13956,25	1415	8843,75
6 (No data)	6480	40500	927	5793,5	3919	24493,75	7049	44056,25	470	2937,5	7088	44300

Tabla 6*Áreas (ha) por meses en un escenario histórico (2001) en la provincia de Rodríguez de Mendoza*

ROD DE MENDOZA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
Clasificación de sequias	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	1101	6881,25	1804	11275	1017	6356,25	1037	6481,25	780	4875	653	4081,25
2	483	3018,75	305	1906,25	230	1437,5	62	387,5	272	1700	196	1225
3	861	5381,25	682	4262,5	539	3368,75	196	1225	551	3443,75	188	1175
4	1839	11493,75	1103	6893,75	1415	8843,75	1451	9068,75	2827	17668,75	344	2150
5	1567	9793,75	2924	18275	5785	36156,25	7462	46637,5	6163	38518,75	503	3143,75
6 (No data)	10149	63431,25	9182	57387,5	7014	43837,5	5792	36200	5407	33793,75	14116	88225
ROD DE MENDOZA	JULIO		AGOSTO		SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
Clasificación de sequias	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	1338	8362,5	114	712,5	676	4225	600	3750	1743	10893,75	523	3268,75
2	198	1237,5	253	1581,25	589	3681,25	178	1112,5	581	3631,25	587	3668,75
3	249	1556,25	1210	7562,5	2001	12506,25	431	2693,75	1726	10787,5	2050	12812,5
4	761	4756,25	8856	55350	5966	37287,5	2313	14456,25	3560	22250	3569	22306,25
5	3867	24168,75	4006	25037,5	2563	16018,75	3996	24975	2951	18443,75	634	3962,5
6 (No data)	9587	59918,75	1561	9756,25	4205	26281,25	8482	53012,5	5439	33993,75	8637	53981,25

Tabla 7*Áreas (ha) por meses en un escenario histórico (2001) en la provincia de Utcubamba*

UTCUBAMBA	ENERO		FEBRERO		MARZO		ABRIL		MAYO		JUNIO	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	369	2306,25	190	1187,5	726	4537,5	726	4537,5	724	4525	209	1306,25
2	433	2706,25	38	237,5	531	3318,75	531	3318,75	975	6093,75	124	775
3	820	5125	152	950	1141	7131,25	1141	7131,25	1250	7812,5	156	975
4	1576	9850	573	3581,25	2200	13750	2200	13750	1985	12406,25	164	1025
5	891	5568,75	699	4368,75	2342	14637,5	2342	14637,5	2077	12981,25	101	631,25
6 (No data)	8711	54443,75	11148	69675	5860	36625	5860	36625	5789	36181,25	12046	75287,5
UTCUBAMBA	JULIO		AGOSTO		SETIEMBRE		OCTUBRE		NOVIEMBRE		DICIEMBRE	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	1193	7456,25	615	3843,75	780	4875	931	5818,75	360	2250	988	6175
2	1106	6912,5	1520	9500	914	5712,5	600	3750	556	3475	267	1668,75
3	1147	7168,75	1940	12125	1731	10818,75	1045	6531,25	2111	13193,75	802	5012,5
4	1294	8087,5	3389	21181,25	3508	21925	2124	13275	6114	38212,5	2192	13700
5	1124	7025	3618	22612,5	2443	15268,75	1796	11225	3046	19037,5	2371	14818,75
6 (No data)	6936	43350	1718	10737,5	3424	21400	6304	39400	613	3831,25	6180	38625

Figura 12

Mapa del SVI histórico (2001) para la provincia de Luya.

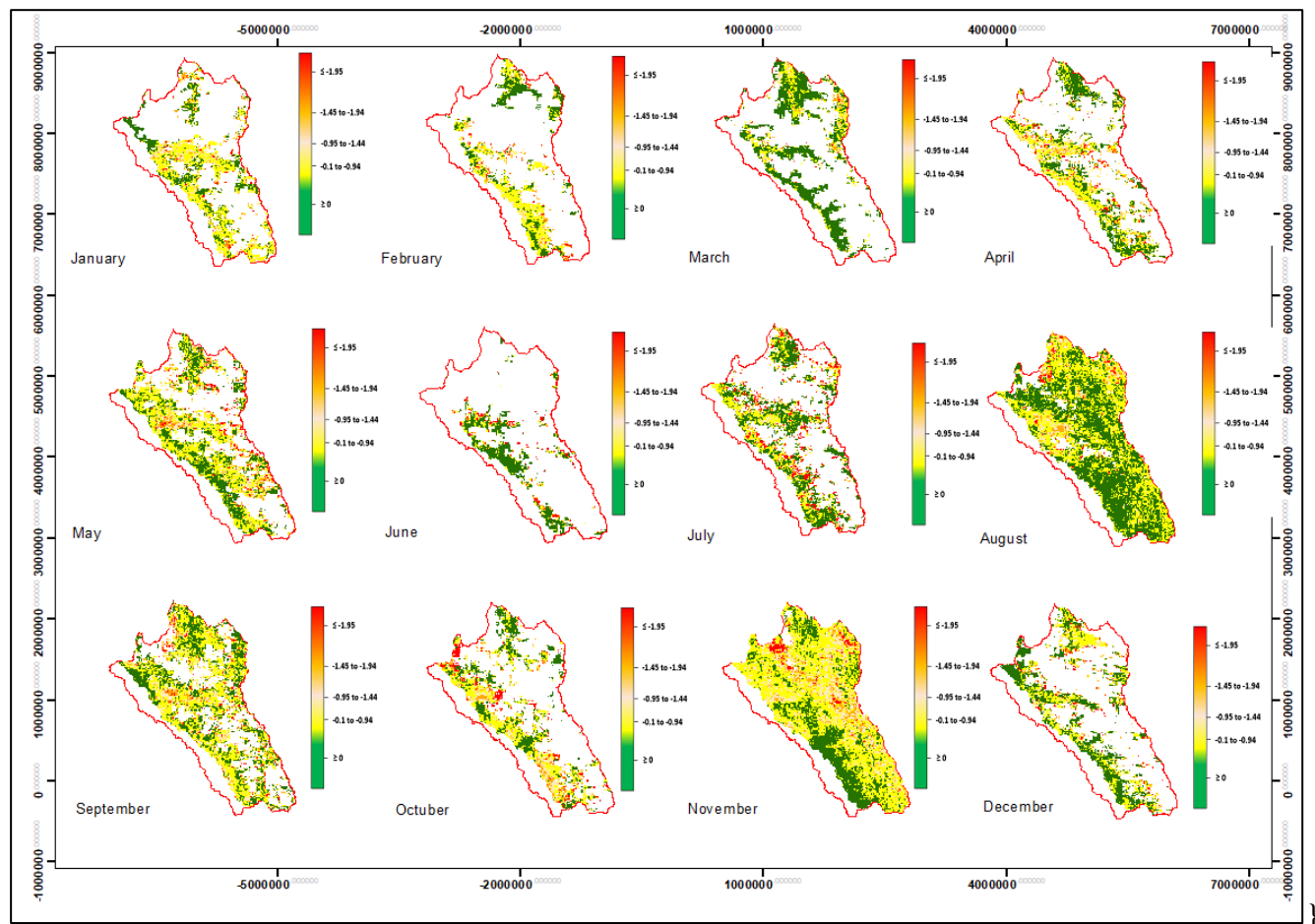


Figura 13

Mapa del SVI histórico (2001) para la provincia de Rodríguez de Mendoza.

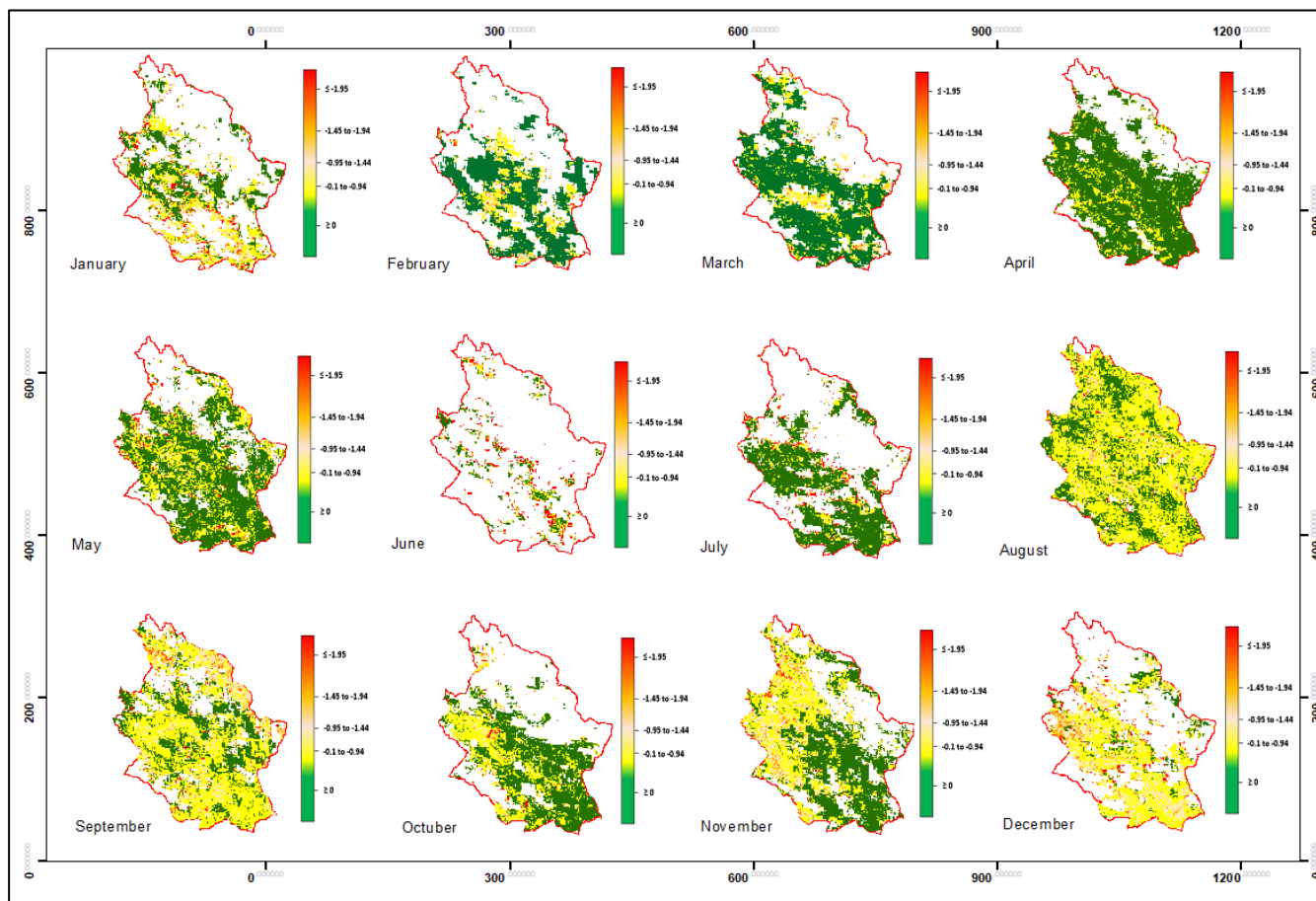
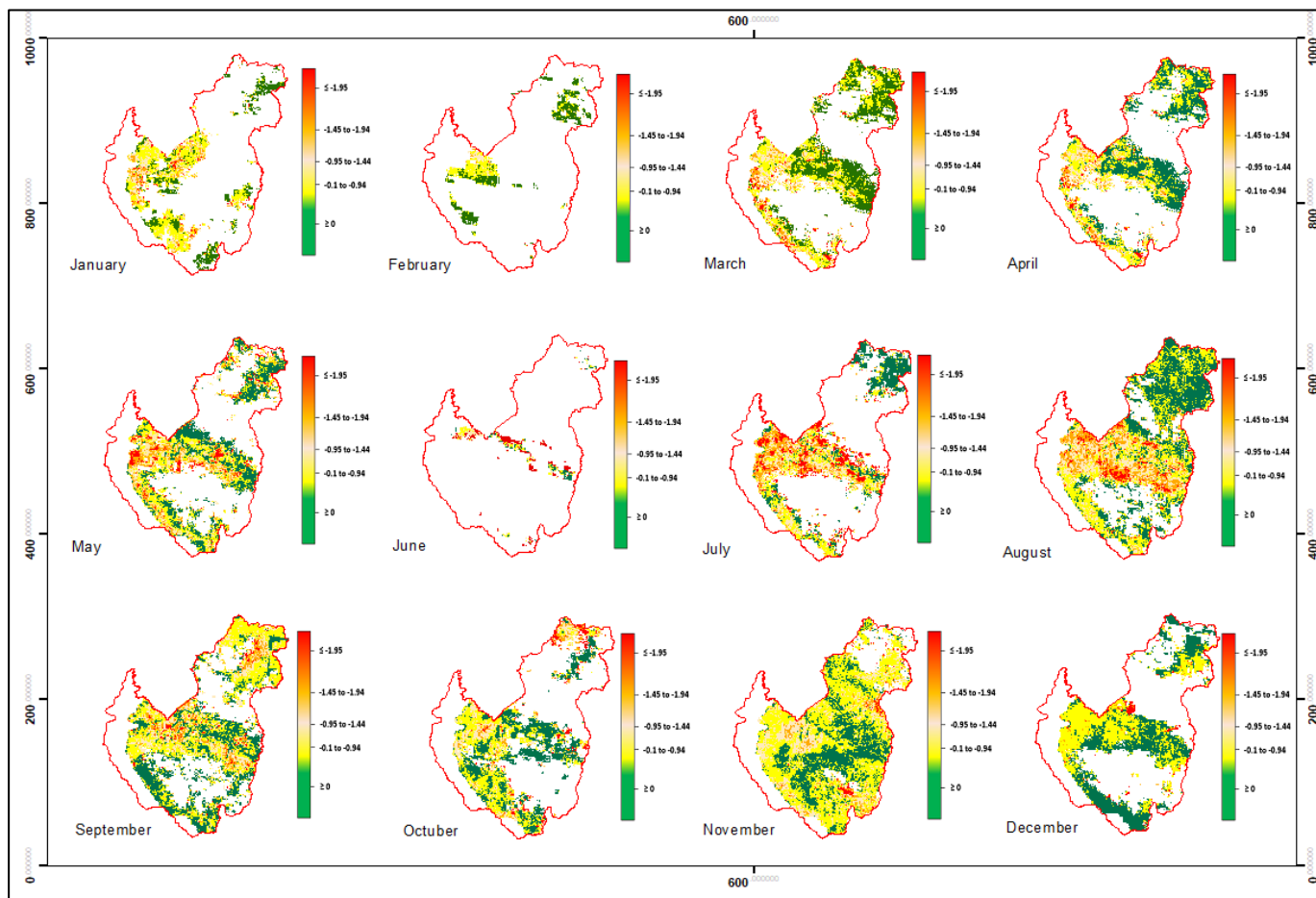


Figura 14

Mapa del SVI histórico (2001) para la provincia de Utcubamba.



3.4. Distribución espacial de la sequía mediante el uso de índice de SVI espaciales respecto a un escenario actual (2021) en tres zonas cafetaleras en la región Amazonas.

Se consiguió obtener áreas para los rangos de índices SVI, bajo un escenario actual para las 3 provincias. En ese sentido, las áreas de SVI en la región Amazonas están representadas en forma de barras apiladas en la figura 15a, figura 15b y figura 15c para las provincias cafetaleras de Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba respectivamente, todos según rangos clasificadas en tabla 1.

El GEE también permitió obtener mapas de color, respecto a un promedio histórico mensual representativo para Amazonas en formato ráster (figura 16), resultado que agregamos con objeto de tener una percepción más general de los resultados por provincia cafetalera, respecto a un promedio regional.

Así mismo, bajo un contexto actual (año 2021), la provincia de Luya presentó un máximo valor en el mes de agosto con 2850 has, para el rango de sequía extrema, sin embargo, la sequía severa registró la cantidad de 3125 ha en el mes de setiembre. Asimismo, la sequía moderada obtuvo 8775 ha en el mes de febrero, en tanto el rango de sequía leve se identificó el máximo valor en el mes de febrero con 32712,5 ha y las áreas sin sequía registraron 61781,25 ha en el mes de julio (figura 15a, tabla 8 y figura 17).

Para la provincia de Rodríguez de Mendoza, en un contexto actual, el rango de sequía extrema registró 5631,25 ha en el mes de agosto, en cambio se obtuvo 7231,25 ha en la sequía severa para el mes de setiembre, asimismo el rango de sequía moderada presentó como máximo valor de 19318,75 ha en el mes de febrero, la sequía leve registró 31856,25 ha en el mes de diciembre y sin sequía representa el mayor valor con 54000 ha en el mes de julio (figura 15b, tabla 9 y figura 18).

Para el año 2021 (contexto actual), la provincia de Utcubamba en el mes de setiembre presentó la mayor cantidad de hectáreas (2087,5 ha) en la clasificación de sequía extrema, en cambio la clasificación de sequía severa obtuvo 4368,75 ha en el mes de setiembre, el rango de sequía moderada registró 10175 ha en el mes de setiembre, asimismo el rango de sequía leve presentó 19425 ha en el mes de setiembre y sin sequía presentó 46093,75 ha en el mes de noviembre (figura 15c, tabla 10 y figura 19).

Figura 15

Áreas (Ha) determinadas según clasificación de sequías en 3 provincias cafetaleras de la región Amazonas (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba).

Figura 15a

Gráfico de barras apiladas para áreas evaluadas con SVI en la provincia de Luya, bajo un escenario actual (2021)

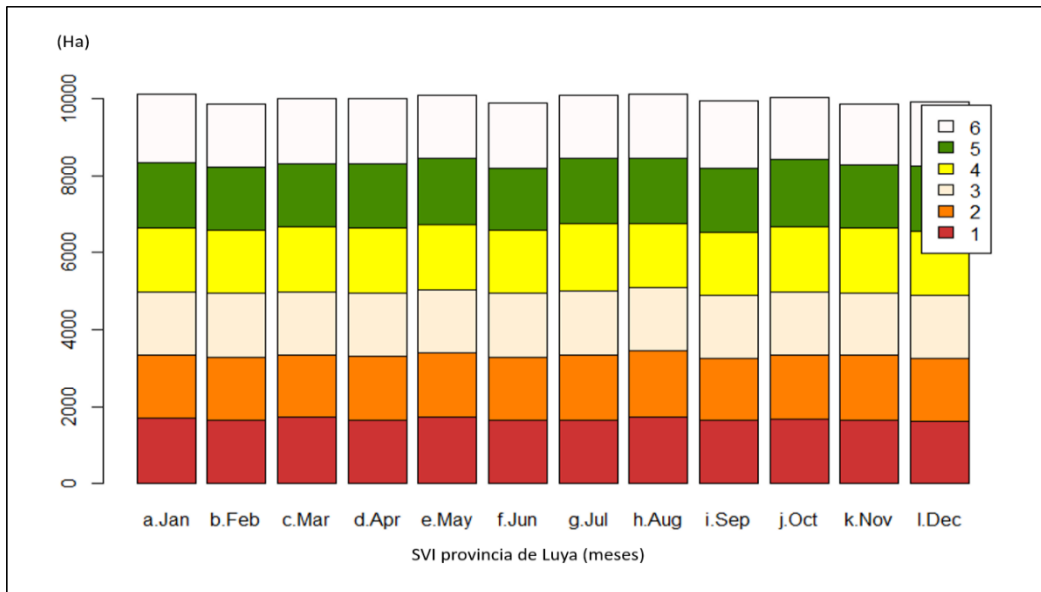


Figura 15b

Gráfico de barras apiladas para áreas evaluadas con SVI en la provincia de Rodríguez de Mendoza, bajo un escenario actual (2021)

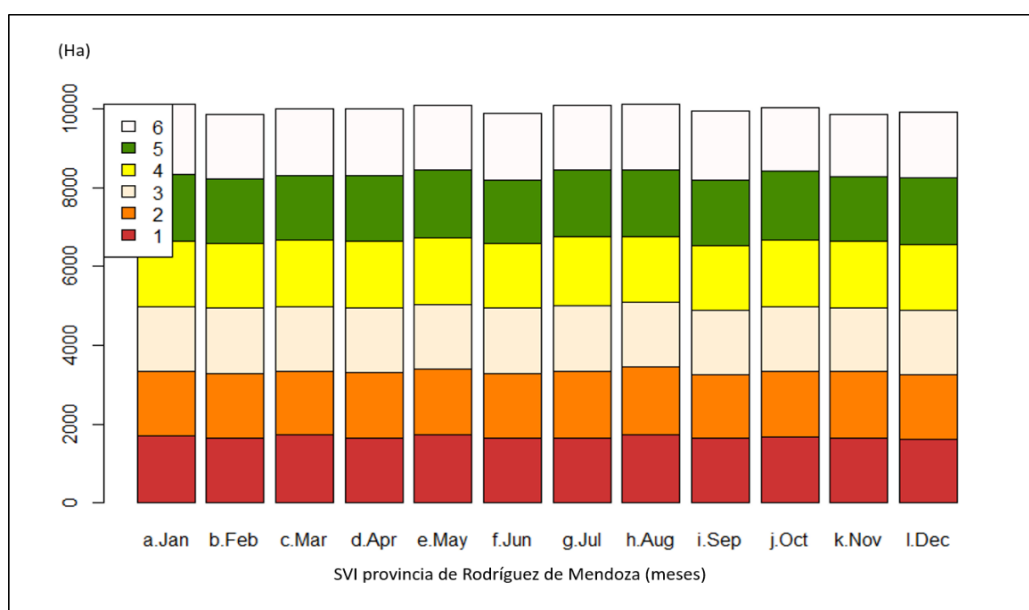


Figura 15c

Gráfico de barras apiladas para áreas evaluadas con SVI en la provincia de Utcubamba, bajo un escenario actual (2021)

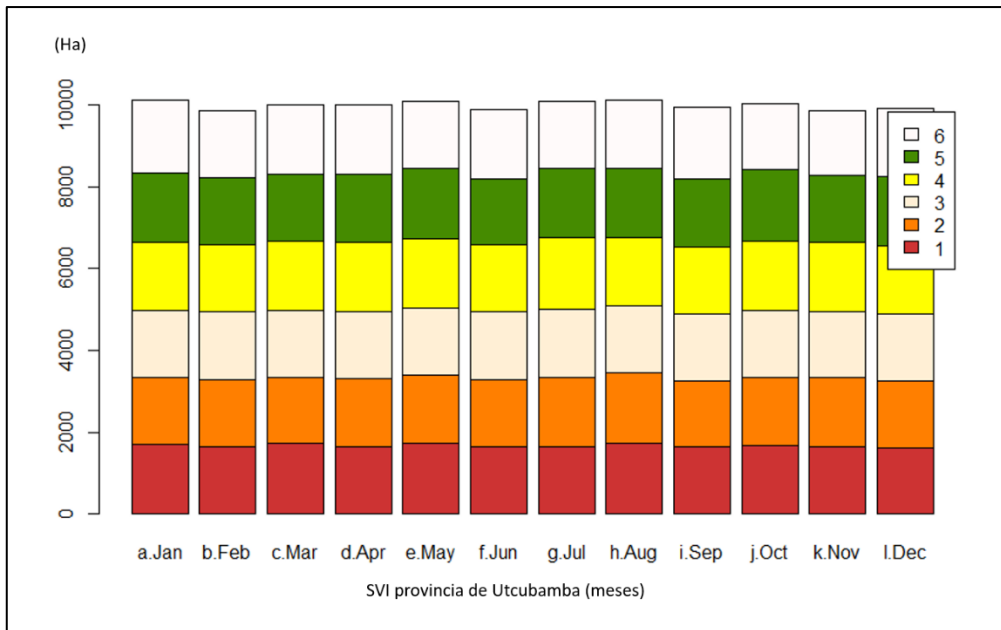


Tabla 8*Áreas (ha) por meses en un escenario actual (2021) en la provincia de Luya*

Luya	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	86	537,5	21	131,25	85	531,25	221	1381,25	44	275	75	468,75
2	247	1543,75	173	1081,25	187	1168,75	188	1175	102	637,5	290	1812,5
3	432	2700	1404	8775	391	2443,75	243	1518,75	236	1475	1029	6431,25
4	513	3206,25	5234	32712,5	1324	8275	614	3837,5	2344	14650	4266	26662,5
5	1094	6837,5	3522	22012,5	1258	7862,5	1847	11543,75	7358	45987,5	5777	36106,25
6 (No data)	10428	65175	2446	15287,5	9555	59718,75	9687	60543,75	2716	16975	1363	8518,75
Luya	Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	68	425	456	2850	343	2143,75	25	156,25	172	1075	87	543,75
2	74	462,5	441	2756,25	500	3125	59	368,75	182	1137,5	172	1075
3	151	943,75	651	4068,75	1017	6356,25	81	506,25	315	1968,75	413	2581,25
4	1118	6987,5	951	5943,75	2722	17012,5	190	1187,5	1287	8043,75	1704	10650
5	9885	61781,25	2662	16637,5	3479	21743,75	2629	16431,25	4448	27800	6524	40775
6 (No data)	1504	9400	7639	47743,75	4739	29618,75	9816	61350	6396	39975	3900	24375

Tabla 9*Áreas (ha) por meses en un escenario actual (2021) en la provincia de Rodríguez de Mendoza*

Rodríguez De Mendoza		Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	
1	323	2018,75	120	750	133	831,25	112	700	133	831,25	74	462,5	
2	346	2162,5	945	5906,25	295	1843,75	163	1018,75	120	750	215	1343,75	
3	782	4887,5	3091	19318,75	648	4050	311	1943,75	352	2200	724	4525	
4	1321	8256,25	2624	16400	1448	9050	791	4943,75	3240	20250	4112	25700	
5	2378	14862,5	834	5212,5	2676	16725	5521	34506,25	8510	53187,5	8130	50812,5	
6 (No data)	10850	67812,5	8386	52412,5	10800	67500	9102	56887,5	3645	22781,25	2745	17156,25	
Rodríguez De Mendoza		Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	
1	93	581,25	901	5631,25	252	1575	78	487,5	105	656,25	125	781,25	
2	121	756,25	895	5593,75	1157	7231,25	128	800	146	912,5	514	3212,5	
3	315	1968,75	878	5487,5	2975	18593,75	256	1600	349	2181,25	2033	12706,25	
4	3484	21775	1557	9731,25	3671	22943,75	663	4143,75	1426	8912,5	5097	31856,25	
5	8640	54000	3025	18906,25	5214	32587,5	4181	26131,25	5602	35012,5	1583	9893,75	
6 (No data)	3347	20918,75	8744	54650	2731	17068,75	10694	66837,5	8372	52325	6648	41550	

Tabla 10*Áreas (ha) por meses en un escenario actual (2021) en la provincia de Utcubamba*

Utcubamba	Enero		Febrero		Marzo		Abril		Mayo		Junio	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	46	287,5	24	150	52	325	133	831,25	78	487,5	127	793,75
2	153	956,25	134	837,5	106	662,5	177	1106,25	155	968,75	216	1350
3	266	1662,5	493	3081,25	202	1262,5	310	1937,5	357	2231,25	487	3043,75
4	377	2356,25	1854	11587,5	835	5218,75	951	5943,75	1103	6893,75	2295	14343,75
5	1890	11812,5	2675	16718,75	2777	17356,25	3599	22493,75	6545	40906,25	6262	39137,5
6 (No data)	8468	52925	6020	37625	7228	45175	6030	37687,5	2962	18512,5	1813	11331,25
Utcubamba	Julio		Agosto		Setiembre		Octubre		Noviembre		Diciembre	
Clasificación de sequías	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha	Píxel	Ha
1	152	950	110	687,5	334	2087,5	25	156,25	104	650	86	537,5
2	217	1356,25	171	1068,75	699	4368,75	30	187,5	136	850	214	1337,5
3	476	2975	271	1693,75	1628	10175	58	362,5	231	1443,75	592	3700
4	1532	9575	829	5181,25	3108	19425	155	968,75	862	5387,5	2998	18737,5
5	7320	45750	5318	33237,5	5255	32843,75	2261	14131,25	7375	46093,75	6847	42793,75
6 (No data)	1503	9393,75	4501	28131,25	176	1100	8671	54193,75	2492	15575	463	2893,75

Figura 16

Mapas de color del SVI para tres zonas cafetaleras (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) en la región Amazonas.

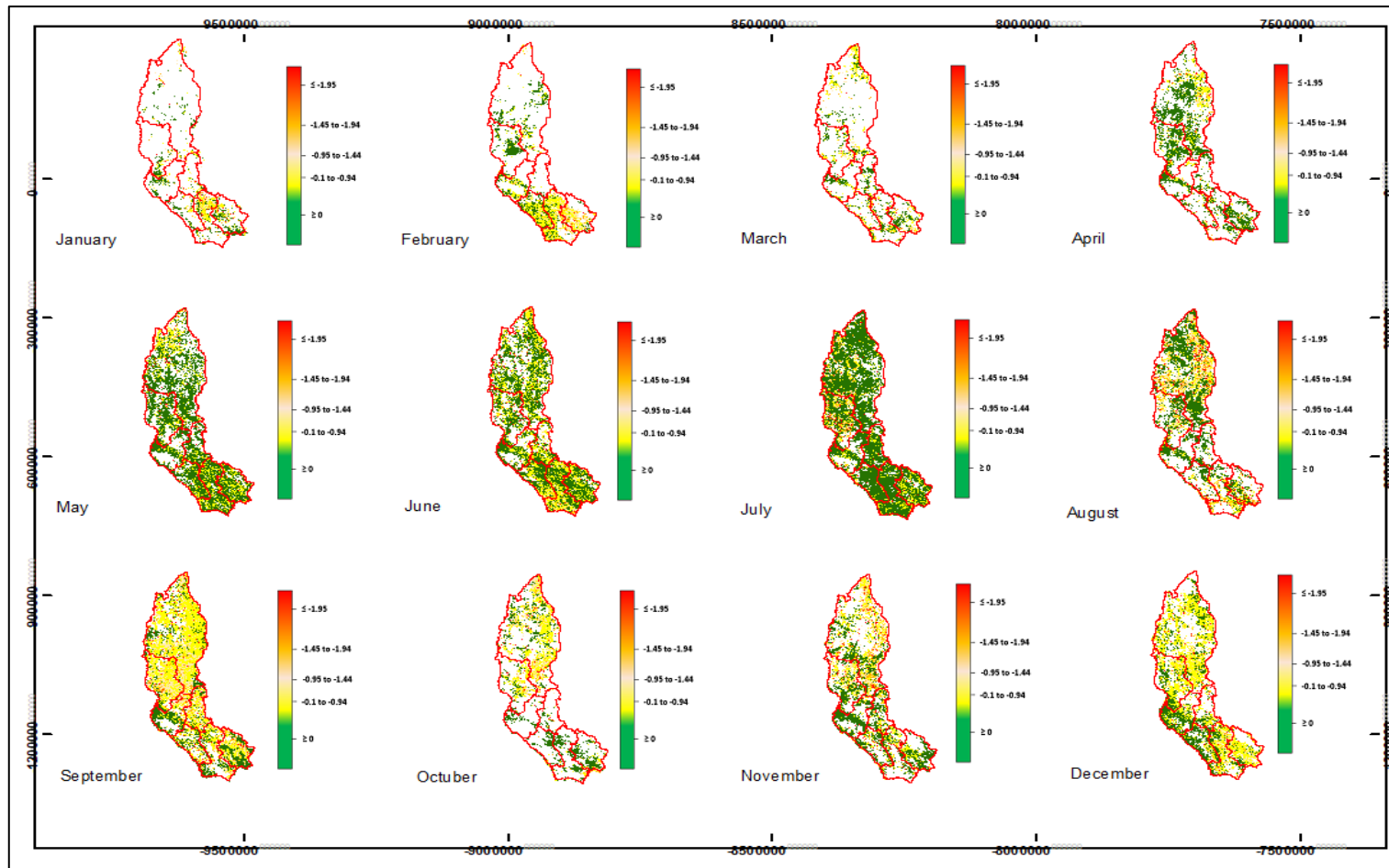


Figura 17

Mapa del SVI (2021) para la provincia de Luya.

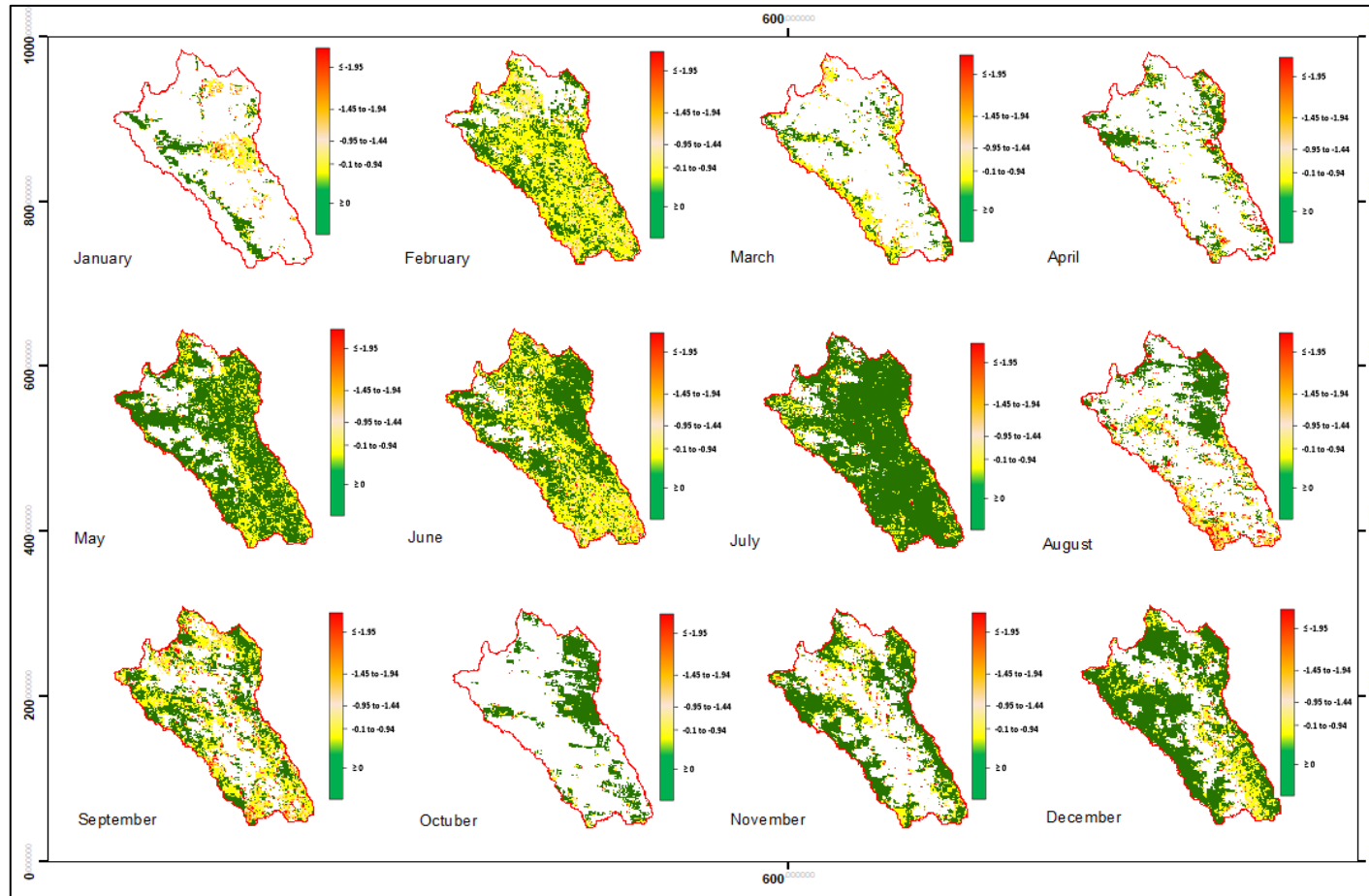


Figura 18

Mapa de color para SVI histórico para la provincia de Rodríguez de Mendoza.

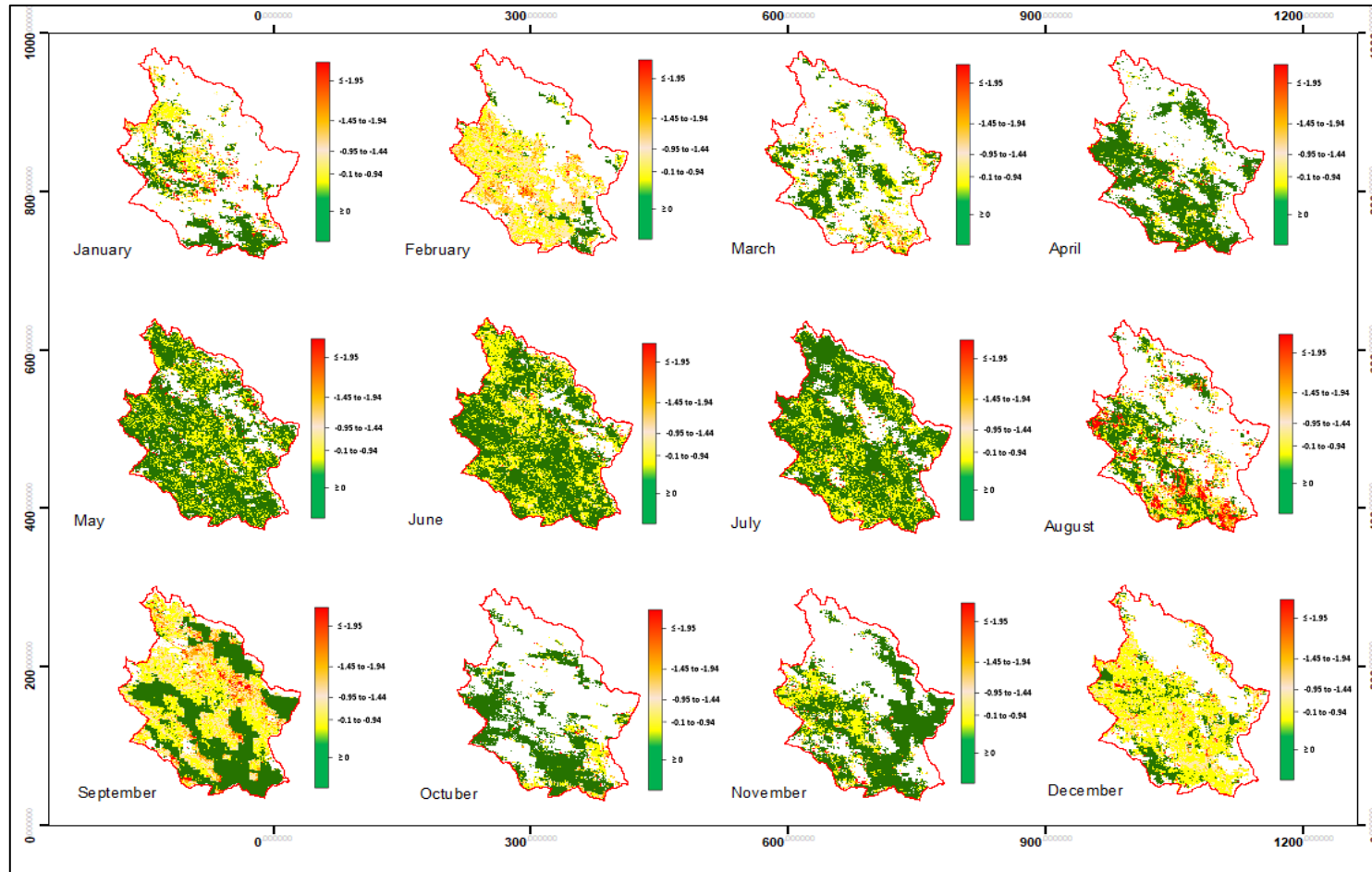
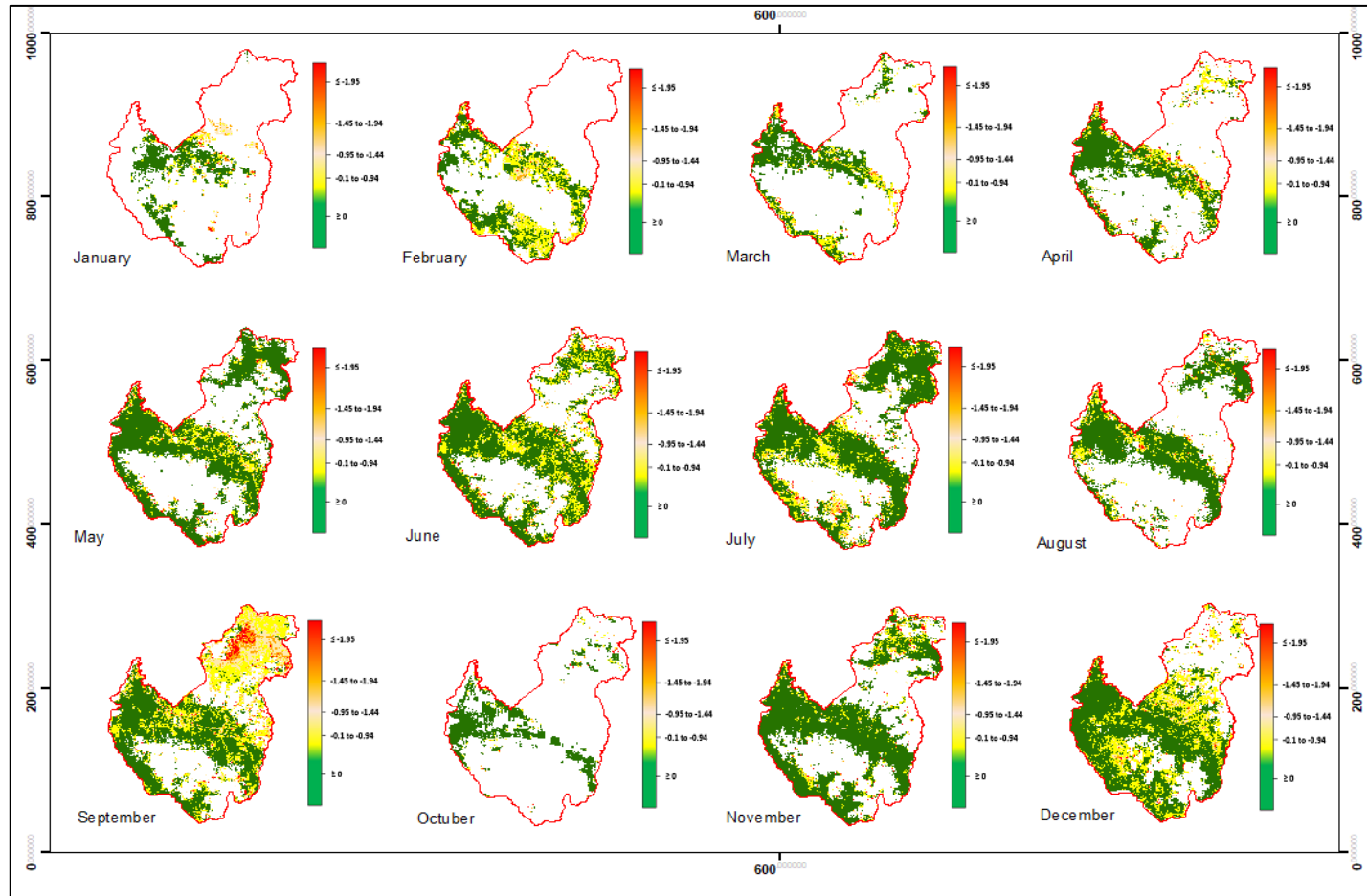


Figura 19

Mapa de color para SVI histórico para la provincia de Utcubamba.



IV. DISCUSIÓN

La sequía es una catástrofe natural, que tiene un impacto considerable en la agricultura y la economía (Saeid et al., 2017) y la posible ocurrencia de una sequía sobre el cultivo de café en la región Amazonas no es la excepción. Generalmente, las subidas de temperaturas y la presencia de sequías podrían estar relacionados con el desplazamiento de las zonas óptimas de crecimiento, los cambios en las precipitaciones (cantidad y distribución), y cambios en la dinámica de enfermedades y plagas de los cultivos, la pérdida de tierras agrícolas debido al aumento del nivel del mar y/o la desertificación (Cheserek & Gichimu, 2012).

Pese a que el café es originario de regiones africanas caracterizadas por lluvias abundantemente distribuidas y una humedad atmosférica frecuentemente cercana a la saturación (Pinheiro et al., 2005), éste es un cultivo muy dependiente del medio ambiente (Ceballos & Dall'Erba, 2021). Por tanto, un aumento de unos pocos grados de la temperatura media y/o cortos periodos de sequía en las regiones cafeteras pueden disminuir sustancialmente el rendimiento de los cafés de calidad (Cheserek & Gichimu, 2012).

En este sentido, la sequía es considerada como una consecuencia de la escasez permanente de precipitaciones frente a las condiciones medias normales a largo plazo (Oladipo, 1985), por lo que, valores históricos de sequías moderadas en Luya (-1,195, registrada el 21 de marzo del 2004), y Rodríguez de Mendoza (-1,413 del 16 de octubre del 2007) y sequía severa en la provincia de Utcubamba (-1,453 del 02 de diciembre del 2016) registradas en la presente investigación, representan una alerta en la reducción de rendimiento en el cultivo de café en esta zonas. Por tanto, debería ser utilizada ampliamente para la gestión de los recursos hídricos, la supervisión y la predicción de la sequía agrícola (Saeid et al., 2017).

En este sentido, esta herramienta de obtención de data para predicción de sequías, permitirá reducir las probabilidades de exposición a falta de agua en el cultivo de café, tal como en modelos desarrollados para severidad del riesgo de sequía en cultivos de maíz y soja en Nebraska, USA (Hong et al., 2004). Así, modelos de sequía permitieron calcular el agua agrícola necesaria para superar los periodos de sequía en la provincia de Isfahán (Irán) (Ginkel & Biradar, 2021) y permitieron evaluar las condiciones de sequía en Argelia utilizando imágenes de satélite en el período (2000-2021).

A manera de ejemplo, los resultados obtenidos pueden ser utilizados para mejorar la gestión de los recursos hídricos y la intervención temprana para evitar impactos severos (Rogawski et al., 2018), o para evaluar índices de vegetación espectral típicos para el monitoreo de sequías en tierras de cultivo de llanura como lo realizado en China (Sun et al., 2017).

Se recalca entonces, la necesidad de detectar las sequías en una fase temprana y, lo que es más importante, evaluar sus impactos en la productividad de los sistemas de cultivo. Las herramientas satelitales nos han permitido obtener valores históricos para predicción y prevención de estas eventualidades. Solo así se pueden tomar medidas de control y mitigación de riesgos (IPCC, 2012; UNISDR, 2013).

Entonces, a medida que los episodios de sequía se vuelven cada vez más frecuentes, es crucial medir con precisión los impactos de las sequías en el desempeño general de los agrosistemas (García et al., 2019), y el cultivo de café en la región no es la excepción.

Normalmente se utilizan varios índices de sequía para monitorear la sequía y su gestión de riesgos (Adnan et al., 2018) y las diferencias numéricas y estadísticas determinadas en esta investigación, muestran la capacidad de la aplicación de sensores remotos y el SVI para examinar áreas de sequías en la región Amazonas del Perú debido al cambio de las condiciones de vegetación, como en otras investigaciones (Rotjanakusol & Laosuwan, 2019).

Respecto a dinámicas en fenología del cultivo de café frente a eventualidades de sequía, poco se ha explorado, y es la primera vez que se determinada valores de SVI para áreas cultivadas con café en el Perú. Sin embargo investigaciones en el mundo ya prevén que el cambio climático provoque grandes disminuciones en las áreas aptas para la producción de café (Bunn et al., 2015; Grüter et al., 2022). Incluso las especies de café (p. ej., café robusta, (*Coffea canephora*) que se adaptan a condiciones más cálidas son excepcionalmente sensibles a la variación climática (Kath et al., 2020; Tournebize et al., 2022).

Así mismo, los cambios en la fenología de las plantas debería tenerse en cuenta para evaluar con mayor precisión el riesgo climático y los impactos de la gestión en el rendimiento de las plantas y el rendimiento de los cultivos (Kath et al., 2023).

Estudios recientes indican que el momento de estas fenofases vegetales críticas está cambiando considerablemente a medida que cambia el clima (Ge et al., 2015; Menzel et al., 2020; Stuble et al., 2021). Por ejemplo, la floración temprana cambia la sensibilidad de la producción de café al estrés y manejo del clima (Kath et al., 2023), pese a que las consecuencias de la floración temprana son potencialmente profundas. Pero para el café, como para muchas especies de plantas tropicales, permanecen relativamente inexploradas (Stuble et al., 2021).

Además, las precipitaciones también son un factor esencial en el crecimiento del café. Demasiadas precipitaciones provocan la caída de las flores y el deterioro de los frutos, mientras que muy pocas precipitaciones provocan sequías y reducen la producción (Läderach et al., 2017).

Es conocido que, el café arábica (sembrado en la región Amazonas) es muy sensible al cambio climático. Con base en GCM, se puede predecir que el área apta para la plantación de café disminuye debido a los cambios de temperatura y sistema de precipitaciones (Bunn et al., 2015; Gomes et al., 2020).

Las variaciones climáticas en las diferentes etapas de maduración influyen en la calidad del café (Cheng et al., 2018). Las condiciones más adecuadas para el cultivo del café se relacionan con la disponibilidad de humedad, marca mayor cantidad de floración (Masarirambi et al., 2009).

Para que el árbol crezca bien y mantenga la edad foliar en buenas condiciones, es necesario que las lluvias de distribución uniforme, por lo que condiciones de sequía podrían comprometer los rendimientos del cultivo, tal como en otras investigaciones donde, el estrés por sequía indujo una considerable disminución del área foliar total por planta de café (DaMatta et al., 2003).

Sobreestimar impactos del cambio climático podría no tener en cuenta la adaptación en la gestión del cultivo (Minoli et al., 2022).

Se indica que el incremento de temperatura, solo explica la mitad de la tendencia negativa en la fecha de aparición de la inflorescencia del trigo de invierno (Alemania y China) (He et al., 2015; Rezaei et al., 2018), en tanto el rendimiento del maíz en USA se incrementa a pesar del aumento de temperatura mayor a 29 °C (Butler et al., 2018).

V. CONCLUSIONES

Se evaluó la dinámica temporal para el Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) a través de valores históricos durante 23 años en tres provincias cafetaleras de la Región Amazonas.

Se determinó que, en 23 años de data, sí hubo presencia de sequías severas en las tres Provincias. En Luya, los registros históricos presentaron valores de SVI de hasta -1,195 en marzo del 2004. Para la en la provincia de Utcubamba se registró un valor de SVI de hasta -1,453 en diciembre del 2016. En tanto que, Hubo un SVI de -1,413 en octubre del 2007 en la provincia de Rodríguez de Mendoza.

La dinámica espacial del Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) permitió determinar que, en las provincias cafetaleras de Amazonas (Luya, Rodríguez de Mendoza y Utcubamba) existieron todas las clasificaciones de sequías (extrema, severa, moderada, leve) que podrían comprometer el rendimiento del café en la región.

Para el índice de sequía extrema, bajo un contexto actual, se registraron 2850 ha con SVI extremo en Luya en el mes de agosto. Para el mismo mes, en Rodríguez de Mendoza estuvieron comprometidas 5631,25 ha con SVI extremo, y en Utcubamba, en el mes de septiembre, se registraron 2087,5 ha con SVI extremo.

VI. RECOMENDACIONES

- Realizar evaluaciones de SVI para más áreas de cultivos en la región Amazonas, que permitan determinar la situación histórica y actual de las sequías.
- Usar la presente información de índices de sequías, como una herramienta de gestión gubernamental en los actores comprometidos.
- Socializar esta información con los caficultores amazonenses.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Adnan, S., Ullah, K., Shuanglin, L., Gao, S., Khan, A., & Mahmood, R. (2018). Comparison of various drought indices to monitor drought status in Pakistan. *Climate Dynamics*, 51(5–6), 1885–1899. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3987-0>
- AghaKouchak, A., Farahmand, A., Melton, F., Teixeira, J., Anderson, M., Wardlow, B., & Hain, C. (2015). Remote sensing of drought: Progress, challenges and opportunities. En *Reviews of Geophysics* (Vol. 53, Número 2, pp. 452–480). Blackwell Publishing Ltd. <https://doi.org/10.1002/2014RG000456>
- ANA. (2010). *Las condiciones de sequía y estrategias de gestión en el Perú. Autoridad Nacional del Agua. Informe Nacional del Perú.*
- Ancira, L., Javier, E., & Garza, T. (2015). *manejo forestal del noreste de México Using satellite images for forest management in northeast Mexico* (Vol. 21).
- Bunn, C., Läderach, P., Ovalle, O., & Kirschke, D. (2015). A bitter cup: climate change profile of global production of Arabica and Robusta coffee. *Climatic Change*, 129(1–2), 89–101. <https://doi.org/10.1007/s10584-014-1306-x>
- Butler, E., Mueller, N., & Huybers, P. (2018). Peculiarly pleasant weather for US maize. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 115(47), 11935–11940. <https://doi.org/10.1073/pnas.1808035115>
- Camargo, M. (2010). The impact of climatic variability and climate change on arabic coffee crop in Brazil. *Bragantia*, 69(1), 239–247. <https://doi.org/10.1590/S0006-87052010000100030>
- Ceballos, F., & Dall’Erba, S. (2021). The effect of climate variability on Colombian coffee productivity: A dynamic panel model approach. *Agricultural Systems*, 190. <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2021.103126>
- Cheng, B., Furtado, A., & Henry, R. (2018). The coffee bean transcriptome explains the accumulation of the major bean components through ripening. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-29842-4>
- Cheng, S., & Huang, J. (2016). Enhanced soil moisture drying in transitional regions under a warming climate. *Journal of Geophysical Research*, 121(6), 2542–2555.

<https://doi.org/10.1002/2015JD024559>

- Cheserek, J., & Gichimu, B. (2012). Drought and heat tolerance in coffee: a review. En *International Research Journal of Agricultural Science and Soil Science* (Vol. 2, Número 12).
- Chizmar, S., Castillo, M., Pizarro, D., Vasquez, H., Bernal, W., Rivera, R., Sills, E., Abt, R., Parajuli, R., & Cubbage, F. (2020). A discounted cash flow and capital budgeting analysis of silvopastoral systems in the Amazonas region of Peru. *Land*, 9(10), 1–15. <https://doi.org/10.3390/land9100353>
- DaMatta, F., Chaves, A., Pinheiro, H., Ducatti, C., & Loureiro, M. (2003). Drought tolerance of two field-grown clones of *Coffea canephora*. *Plant Science*, 164(1), 111–117. [https://doi.org/10.1016/S0168-9452\(02\)00342-4](https://doi.org/10.1016/S0168-9452(02)00342-4)
- DaMatta, F., & Ramalho, J. (2006). Impacts of drought and temperature stress on coffee physiology and production: a review. *Brazilian Journal of Plant Physiology*, 18(1), 55–81. <https://doi.org/10.1590/S1677-04202006000100006>
- Díaz, C., & Willems, C. (2017). Línea base del sector café en el Perú. *Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo-PNUD Lima, Perú.*, 58–18.
- Gandica, E. (2020). Potencia y Robustez en Pruebas de Normalidad con Simulación Montecarlo. *Revista Científica*, 5(18), 108–119. <https://doi.org/10.29394/scientific.issn.2542-2987.2020.5.18.5.108-119>
- García, D., Contreras, S., & Hunink, J. (2019). Comparison of meteorological and satellite-based drought indices as yield predictors of Spanish cereals. *Agricultural Water Management*, 213, 388–396. <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2018.10.030>
- Ge, Q., Wang, H., Rutishauser, T., & Dai, J. (2015). Phenological response to climate change in China: A meta-analysis. *Global Change Biology*, 21(1), 265–274. <https://doi.org/10.1111/gcb.12648>
- Ginkel, M., & Biradar, C. (2021). Drought early warning in agri-food systems. En *Climate* (Vol. 9, Número 9). MDPI. <https://doi.org/10.3390/cli9090134>
- Gomes, L., Bianchi, F., Cardoso, I., Fernandes, R., Filho, E., & Schulte, R. (2020). Agroforestry systems can mitigate the impacts of climate change on coffee production: A spatially explicit assessment in Brazil. *Agriculture, Ecosystems and*

- Environment*, 294. <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106858>
- Gómez, D., Salas, R., Rojas, N., Silva, J., & Oliva, M. (2022). Dynamics of the Burlan and Pomacochas Lakes Using SAR Data in GEE, Machine Learning Classifiers, and Regression Methods. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 11(11), 534. <https://doi.org/10.3390/ijgi11110534>
- GOREA. (2010). *Zonificación Ecológica Ecológica y Económica del Departamento de Amazonas*.
- Grüter, R., Trachsel, T., Laube, P., & Jaisli, I. (2022). Expected global suitability of coffee, cashew and avocado due to climate change. *PLOS ONE*, 17(1 January). <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261976>
- Haggar, J., & Schepp, K. (2012). *Coffee and Climate Change Impacts and options for adaption in Brazil, Guatemala, Tanzania and Vietnam*. <https://doi.org/https://www.nri.org/publications/working-paper-series/4-coffee-and-climate-change/file>
- He, L., Asseng, S., Zhao, G., Wu, D., Yang, X., Zhuang, W., Jin, N., & Yu, Q. (2015). Impacts of recent climate warming, cultivar changes, and crop management on winter wheat phenology across the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 200, 135–143. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2014.09.011>
- Hong, W., Hubbard, K., & Wilhite, D. (2004). An agricultural drought risk-assessment model for corn and soybeans. *International Journal of Climatology*, 24(6), 723–741. <https://doi.org/10.1002/joc.1028>
- Huang, H., Chen, Y., Clinton, N., Wang, J., Wang, X., Liu, C., Gong, P., Yang, J., Bai, Y., Zheng, Y., & Zhu, Z. (2017). Mapping major land cover dynamics in Beijing using all Landsat images in Google Earth Engine. *Remote Sensing of Environment*, 202, 166–176. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.02.021>
- INEI. (2012). IV Censo Nacional Agropecuario 2012. *Instituto Nacional de Estadística e Informática*, 47. <http://censos.inei.gob.pe/cenagro/tabulados/>.
- INEI. (2018). *AMAZONAS: Resultados Definitivos. Censos económicos Instituto Nacional de Estadística e Informática*, 1060.
- IPCC. (2012). Managing the risks of extreme events and disasters to advance climate

- change adaptation. A special report of working groups I and II of the intergovernmental panel on climate change, 582. En *JOURNAL OF CLIMATOLOGY* (Vol. 5).
- Jiang, J., Johansen, K., Stanschewski, C., Wellman, G., Mousa, M., Fiene, G., Asiry, K., Tester, M., & McCabe, M. (2022). Phenotyping a diversity panel of quinoa using UAV-retrieved leaf area index, SPAD-based chlorophyll and a random forest approach. *Precision Agriculture*, 23(3), 961–983. <https://doi.org/10.1007/s11119-021-09870-3>
- Juntakut, P., Jantakat, Y., & Jantakat, C. (2021). Google Earth Engine for Monitoring Drought Impacts on Urban Tree Using the Standardized Vegetation Index (SVI) in Amphoe Mueang, Nakhonratchasima Province, Thailand. *Department of Civil Engineering, Academic Division of Chulachomklao Royal Military Academy, Nakhon-Nayok 26001, Thailand*, 18, 14–20. <https://doi.org/10.14456/built.2021.9>
- Kath, J., Byrareddy, V., Craparo, A., Nguyen-Huy, T., Mushtaq, S., Cao, L., & Bossolasco, L. (2020). Not so robust: Robusta coffee production is highly sensitive to temperature. *Global Change Biology*, 26(6), 3677–3688. <https://doi.org/10.1111/gcb.15097>
- Kath, J., Byrareddy, V., Reardon-Smith, K., & Mushtaq, S. (2023). Early flowering changes robusta coffee yield responses to climate stress and management. *Science of The Total Environment*, 856, 158836. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.158836>
- Kumar, L., & Mutanga, O. (2018). Google Earth Engine applications since inception: Usage, trends, and potential. *Remote Sensing*, 10(10). <https://doi.org/10.3390/rs10101509>
- Läderach, P., Ramirez-Villegas, J., Navarro-Racines, C., Zelaya, C., Martinez-Valle, A., & Jarvis, A. (2017). Climate change adaptation of coffee production in space and time. *Climatic Change*, 141(1), 47–62. <https://doi.org/10.1007/s10584-016-1788-9>
- Marcos, R., González, N., Torralba, V., Soret, A., & Doblas, F. (2019). Characterization of the near surface wind speed distribution at global scale: ERA-Interim reanalysis and ECMWF seasonal forecasting system 4. *Climate Dynamics*, 52(5), 3307–3319. <https://doi.org/10.1007/s00382-018-4338-5>

- Masarirambi, M., Chingwara, V., & Shongwe, V. (2009). The effect of irrigation on synchronization of coffee (*Coffea arabica* L.) flowering and berry ripening at Chipinge, Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth*, 34(13–16), 786–789. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2009.06.013>
- Melendez, I., Navarro, J., Koch, M., Gómez, I., & Hernández, E. (2010). Land-cover phenologies and their relation to climatic variables in an anthropogenically impacted mediterranean coastal area. *Remote Sensing*, 2(3), 697–716. <https://doi.org/10.3390/rs2030697>
- Menzel, A., Yuan, Y., Matiu, M., Sparks, T., Scheifinger, H., Gehrig, R., & Estrella, N. (2020). Climate change fingerprints in recent European plant phenology. *Global Change Biology*, 26(4), 2599–2612. <https://doi.org/10.1111/gcb.15000>
- MIDAGRI. (2021). Situación actual del Café en el Perú. *Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego* <https://www.midagri.gob.pe/portal/485-feria-sc.>, 20–33.
- Minoli, S., Jägermeyr, J., Asseng, S., Urfels, A., & Müller, C. (2022). Global crop yields can be lifted by timely adaptation of growing periods to climate change. *Nature Communications*, 13(1), 7079. <https://doi.org/10.1038/s41467-022-34411-5>
- Oladipo, O. (1985). A Comparative Performance Analysis of three Meteorological Drought Indices. En *JOURNAL OF CLIMATOLOGY* (Vol. 5).
- ONU. (2020). *Objetivo 2: Poner fin al hambre. Objetivos de Desarrollo Sostenible.* <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/h.>
- ONU. (2021). Objetivo 15: Gestionar sosteniblemente los bosques, luchar contra la desertificación, detener e invertir la degradación de las tierras, detener la pérdida de biodiversidad. *Objetivos de Desarrollo Sostenible*, 1-2 <https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/b.> *Organización de las Naciones Unidas.*
- Peters, A., Shea, E., Ji, L., Viña, A., Hayes, M., & Svoboda, M. (2002). *Drought monitoring with NDVI-based Standardized Vegetation Index Climate change impact assessment on the hydrological cycle in Europe View project.*
- Pham, Y., Reardon, K., Mushtaq, S., & Cockfield, G. (2019). The impact of climate change and variability on coffee production: a systematic review. *Climatic Change*,

- 156(4), 609–630. <https://doi.org/10.1007/s10584-019-02538-y>
- Pinheiro, H., DaMatta, F., Chaves, A., Loureiro, M., & Ducatti, C. (2005). Drought tolerance is associated with rooting depth and stomatal control of water use in clones of *Coffea canephora*. *Annals of Botany*, 96(1), 101–108. <https://doi.org/10.1093/aob/mci154>
- PNUD. (2018). *Plan Nacional de Acción del café Peruano*. <https://doi.org/https://www.midagri.gob.pe/porta1/images/cafe/PlanCafe2018.pdf>
- Potapov, P., Turubanova, S., Hansen, M., Tyukavina, A., Zalles, V., Khan, A., Song, X., Pickens, A., Shen, Q., & Cortez, J. (2022). Global maps of cropland extent and change show accelerated cropland expansion in the twenty-first century. *Nature Food*, 3(1), 19–28. <https://doi.org/10.1038/s43016-021-00429-z>
- Rezaei, E., Siebert, S., Hüging, H., & Ewert, F. (2018). Climate change effect on wheat phenology depends on cultivar change. *Scientific Reports*, 8(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-018-23101-2>
- Rogawski, E., Liu, J., Platts, J., Kabir, F., Lertsethtakarn, P., Siguas, M., Khan, S., Praharij, I., Murei, A., Nshama, R., Mujaga, B., Havt, A., Maciel, I., Operario, D., Taniuchi, M., Gratz, J., Stroup, S., Roberts, J., Kalam, A., ... Nyathi, E. (2018). Use of quantitative molecular diagnostic methods to investigate the effect of enteropathogen infections on linear growth in children in low-resource settings: longitudinal analysis of results from the MAL-ED cohort study. *The Lancet Global Health*, 6(12), e1319–e1328. [https://doi.org/10.1016/S2214-109X\(18\)30351-6](https://doi.org/10.1016/S2214-109X(18)30351-6)
- Rotjanakusol, T., & Laosuwan, T. (2019). Drought Evaluation with Ndvi-Based Standardized Vegetation Index in Lower Northeastern region of Thailand. *Geographia Technica*, 14, 130. https://doi.org/10.21163/GT_2019
- Saeid, E., Kaveh, O., Vijay, S., Nicolas, R., Mohsen, G., Yohannes, Y., & Mohammed, M. (2017). A Review of Drought Indices. *International Journal of Constructive Research in Civil Engineering*, 3(4). <https://doi.org/10.20431/2454-8693.0304005>
- SENAMHI. (2020). Mapa Climático del Perú SENAMHI - Amazonas. *Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú*.
- Smakhtin, V., & Hughes, D. (2007). Automated estimation and analyses of

- meteorological drought characteristics from monthly rainfall data. *Environmental Modelling and Software*, 22(6), 880–890. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2006.05.013>
- Stuble, K., Bennion, L., & Kuebbing, S. (2021). Plant phenological responses to experimental warming – A synthesis. *Global Change Biology*, 27. <https://doi.org/10.1111/gcb.15685>
- Sun, H., Liu, W., Wang, Y., & Yuan, S. (2017). Evaluation of Typical Spectral Vegetation Indices for Drought Monitoring in Cropland of the North China Plain. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 10(12), 5404–5411. <https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2734800>
- Tournebize, R., Borner, L., Manel, S., Meynard, C., Vigouroux, Y., Crouzillat, D., Fournier, C., Kassam, M., Descombes, P., Tranchant, C., Parrinello, H., Kiwuka, C., Sumirat, U., Legnate, H., Kambale, J. L., Sonké, B., Mahinga, J. C., Musoli, P., Janssens, S. B., ... Poncet, V. (2022). Ecological and genomic vulnerability to climate change across native populations of Robusta coffee (*Coffea canephora*). *Global Change Biology*, 28(13), 4124–4142. <https://doi.org/10.1111/gcb.16191>
- UN-SPIDER. (2020). Drought monitoring using the Standard Vegetation Index (SVI). *Office for Outer Space Affairs UN-SPIDER Knowledge Portal*, 571, <https://un-spider.org/advisory-support/recommend>.
- UNISDR. (2013). *Global assessment report on disaster risk reduction: From shared risk to shared value: The business case for disaster risk reduction*. Geneva, Switzerland: United Nations International Strategy for Disaster Reduction.
- Vanani, H., Shayannejad, M., Soltani, A., Ostad, K., Eslamian, S., Mohri, E., Haeri, M., & Jabbari, H. (2017). Development of a new method for determination of infiltration coefficients in furrow irrigation with natural non-uniformity of slope. *Sustainable Water Resources Management*, 3(2), 163–169. <https://doi.org/10.1007/s40899-017-0091-x>
- Veneros, J., & García, L. (2022). Application of the Standardized Vegetation Index (SVI) and Google Earth Engine (GEE) for Drought Management in Peru. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 13.
- Workie, T., & DeBella, H. (2018). Climate change and its effects on vegetation phenology

- across ecoregions of Ethiopia. *Global Ecology and Conservation*, 13. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2017.e00366>
- World Bank. (2011). Estrategia global para mejorar las estadísticas agrícolas y rurales. *The World Bank. Global Strategy to Improve Agricultural and Rural Statistics*, 31-34 <https://openknowledge.worldbank.org/handle/1.>
- Zargar, A., Sadiq, R., Naser, B., & Khan, F. I. (2011). A review of drought indices. En *Environmental Reviews* (Vol. 19, Número 1, pp. 333–349). National Research Council of Canada. <https://doi.org/10.1139/a11-013>
- Zhao, X., Xia, H., Pan, L., Song, H., Niu, W., Wang, R., Li, R., Bian, X., Guo, Y., & Qin, Y. (2021). Drought monitoring over yellow river basin from 2003–2019 using reconstructed MODIS land surface temperature in google earth engine. *Remote Sensing*, 13(18). <https://doi.org/10.3390/rs13183748>

ANEXOS

Figura 20

Plataforma Google Earth Engine.

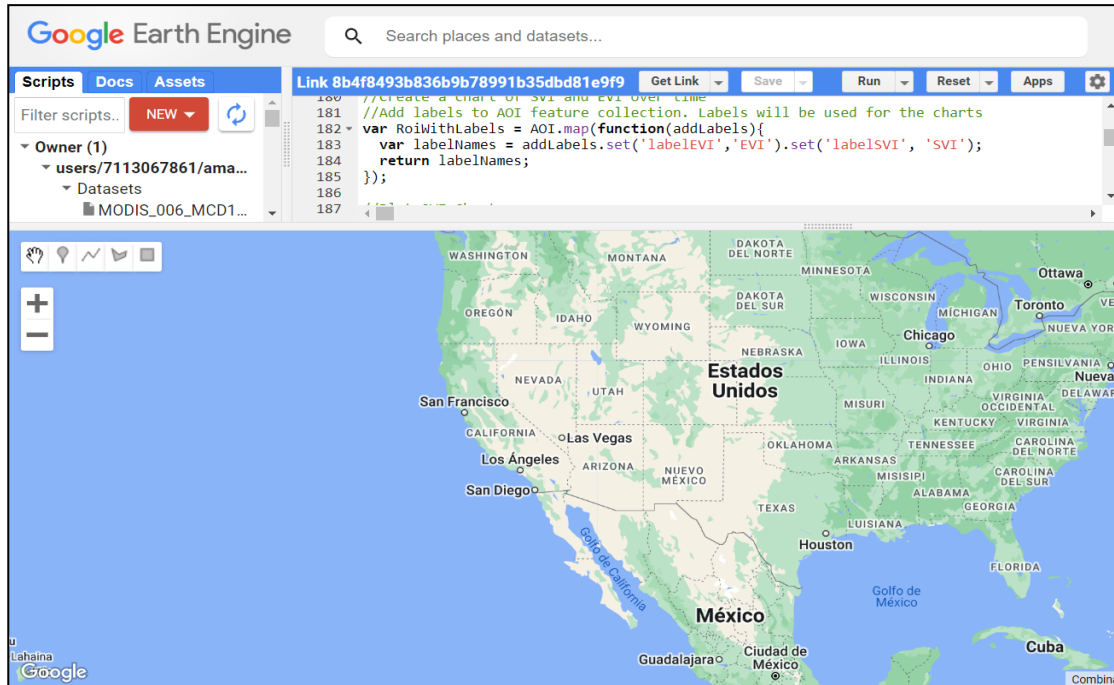


Figura 21

Códigos para determinar el Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Google Earth Engine.

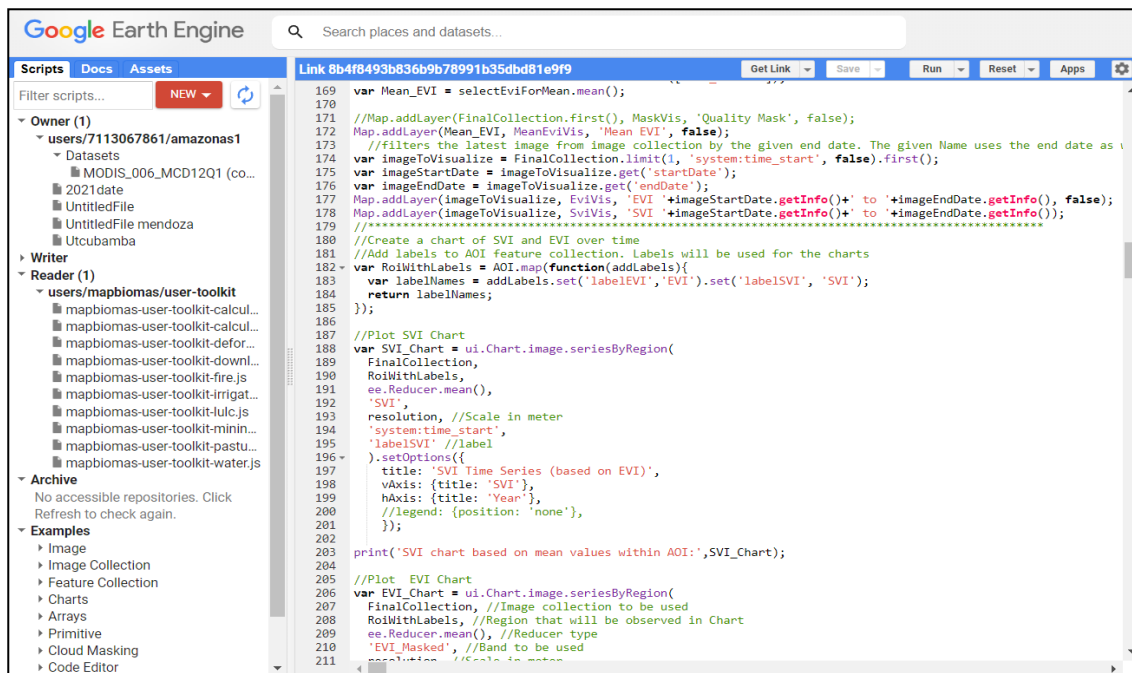


Figura 22

Índice de Vegetación Estandarizado (SVI) en Google Earth Engine para tres provincias cafetaleras en la region Amazonas a) Luya, b) Rodríguez de Mendoza y c) Utcubamba.

Figura 22a

Provincia de Luya

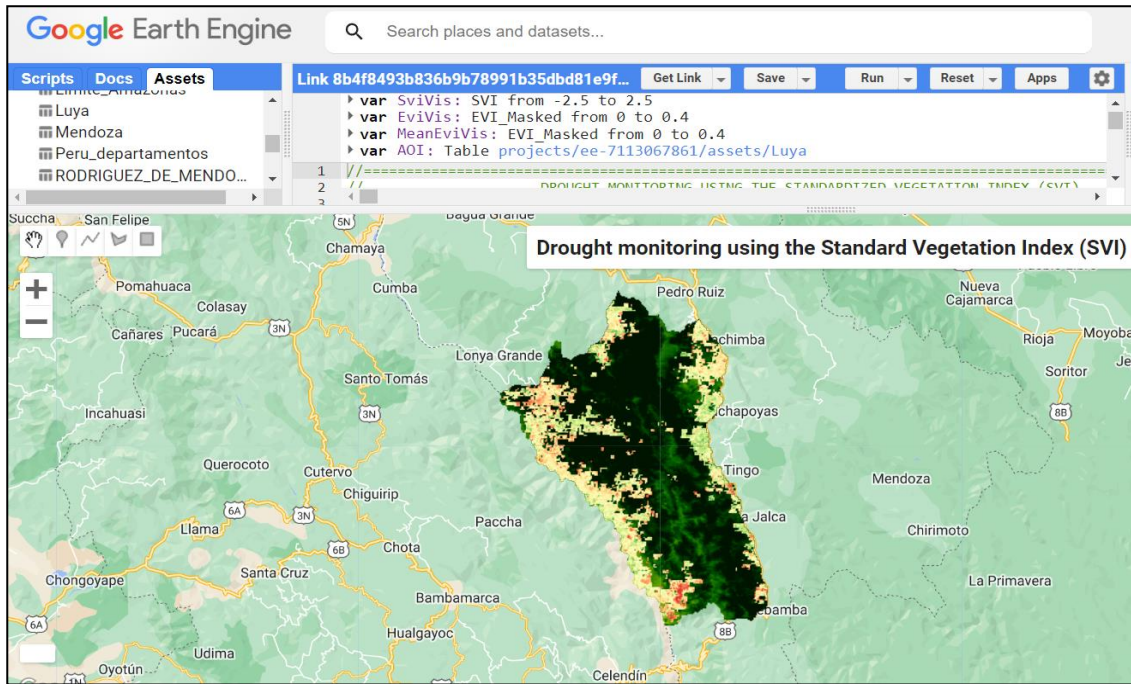


Figura 22b

Provincia de Rodríguez de Mendoza

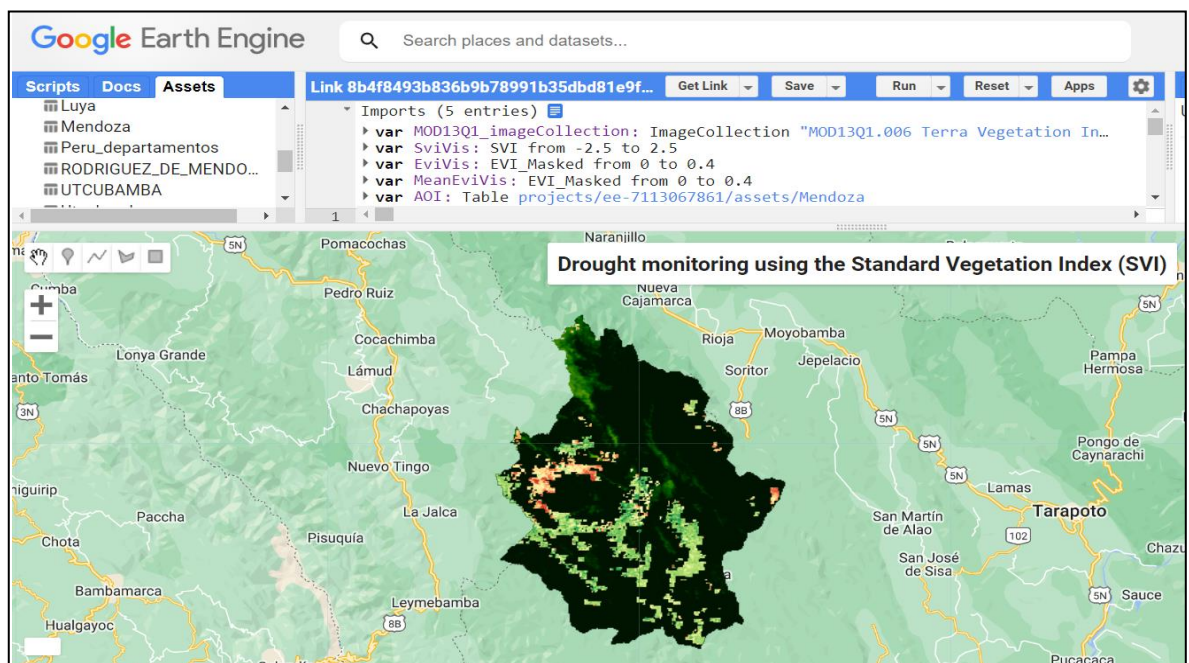


Figura 23b

Provincia de Rodríguez de Mendoza.

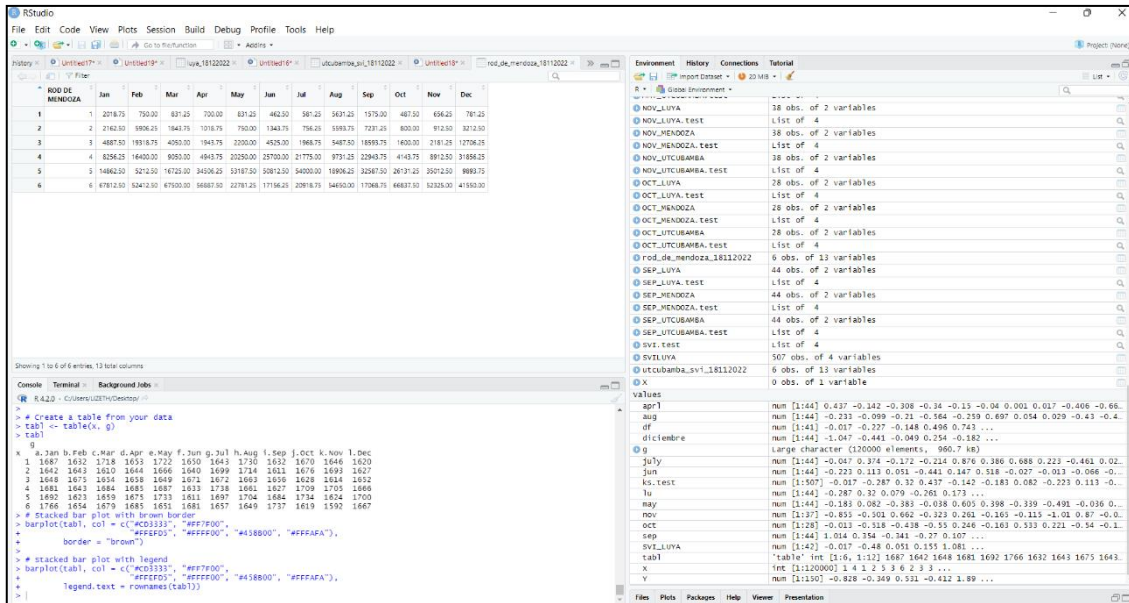


Figura 23c

Provincia de Utcubamba.

