

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN Y EN EL RENDIMIENTO DE
***Coffea arabica* L. (café), DISTRITO HERMILIO VALDIZAN, PROVINCIA DE**
LEONCIO PRADO – HUÁNUCO

TESIS

Para optar el título de:

INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Presentado por:

ANITA GARCIA AGUIRRE

TINGO MARÍA – PERÚ

2025



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 085-2025-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 03 de julio de 2025, a horas 3:00 p.m. en la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN Y EN EL RENDIMIENTO DE
Coffea arabica L.(café), DISTRITO HERMILIO VALDIZAN, PROVINCIA DE
LEONCIO PRADO-HUÁNUCO”**

Presentado por la Bachiller: **GARCIA AGUIRRE, ANITA** después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENA”**.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN CONSERVACION DE SUELOS Y AGUA**, que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 30 de julio de 2025


Dr. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
PRESIDENTE


Dr. WILFREDO ALVA VALDIVIEZO
MIEMBRO


Ing. JAIME TORRES GARCIA
MIEMBRO




Ing. MSc. JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO
ASESOR



“Año de la recuperación y consolidación de la economía peruana”

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 261 - 2025 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

Tesis	X	Trabajo de Suficiencia Profesional	
-------	---	------------------------------------	--

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN Y EN EL RENDIMIENTO DEL Coffea arabica L. (café), DISTRITO HERMILIO VALDIZAN, PROVINCIA DE LEONCIO PRADO – HUÁNUCO	ANITA, GARCIA AGUIRRE	11 % Once

Tingo María, 07 de agosto de 2025

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN


Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE
SUELOS Y AGUA



VARIABILIDAD CLIMÁTICA EN LA PRODUCCIÓN Y EN EL RENDIMIENTO
DEL *Coffea arabica* L. (café), DISTRITO HERMILIO VALDIZAN, PROVINCIA DE
LEONCIO PRADO – HUÁNUCO

Autor : Br. Anita, Garcia Aguirre

Asesor : M.Sc. Juan Pablo, Rengifo Trigozo

Programa de investigación : Cambio climático

Línea de investigación : Escenarios climáticos futuros y sus potenciales impactos en los recursos suelo y agua

Eje temático : Degradación y uso de suelo y su efecto en el cambio climático

Lugar de ejecución : Distrito Hermilio Valdizan, Leoncio Prado – Huánuco.

Duración del trabajo :

Fecha de inicio : 22 de abril del 2024

Termino : 22 de enero del 2025

Financiamiento : S/. 2 146,65

FEDU : No

PROPIO : Si

OTROS : No

Tingo María - Perú

2025

DEDICATORIA

A Dios, fuente infinita de sabiduría y fortaleza, gracias por guiar mis pasos en cada momento de este camino. Por ser mi luz en los momentos de incertidumbre y por darme la perseverancia para alcanzar esta meta. Que esta tesis sea un testimonio de gratitud por tu amor y fidelidad incondicionales.

A mis padres y hermanos, pilares fundamentales de mi vida, les dedico con todo mi corazón este logro. Gracias por su apoyo incondicional, por sus palabras de aliento y por creer en mí incluso cuando yo dudaba. Cada sacrificio, cada consejo y cada sonrisa han sido el motor que me impulsó a seguir adelante. Esta tesis es también suya, porque sin ustedes, nada de esto habría sido posible.

AGRADECIMIENTO

- A mi alma mater, la Universidad Nacional Agraria de la Selva, institución que forjó mi formación académica y profesional. Gracias por brindarme las herramientas, los conocimientos y los valores que hoy me permiten alcanzar este logro.
- A los docentes de la carrera profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua, quienes con dedicación y pasión compartieron sus saberes y experiencias.
- Al Ing. Juan Pablo Rengifo Trigozo, mi asesor, por su invaluable guía, paciencia y apoyo durante todo el proceso de investigación. Sus conocimientos, críticas constructivas y motivación fueron fundamentales para culminar este trabajo.
- A mis jurados evaluadores, por honrarme con su tiempo, experiencia y valiosas aportaciones para enriquecer esta tesis.

ÍNDICE

Contenido	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivo general.....	2
1.2. Objetivos específicos	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA	3
2.1. Marco teórico	3
2.1.1. El cultivo de café	3
2.1.2. El café y los factores climáticos	5
2.1.3. Medidas adoptadas frente a las variaciones y cambio climático	6
2.1.4. Variedades de café cultivadas en el Perú.....	7
2.1.5. Condiciones climáticas y suelos del café	8
2.1.6. Categorías de café.....	9
2.1.7. El cambio climático	10
2.1.8. Causas del cambio climático	11
2.1.9. Indicadores del cambio climático a escala mundial	11
2.1.10. El impacto del cambio climático en la agricultura en el Perú.....	12
2.1.11. El cambio climático y adaptación del café.....	13
2.1.12. Posibles efectos del cambio climático en la producción de café.....	14
2.1.13. Adaptación a los cambios climáticos en la práctica.....	14
2.1. Estado del arte.....	15
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	19
3.1. Lugar de ejecución	19
3.1.1. Características climáticas	19
3.1.2. Ecología	20
3.1.3. Topografía	20
3.1.4. Hidrología.....	20
3.1.5. Accesibilidad	20
3.2. Materiales y equipos	20
3.2.1. Materiales	20
3.2.2. Equipos	20
3.3. Generalidades de la investigación.....	21
3.3.1. Tipo de investigación	21

3.3.2. Nivel o alcance de investigación	21
3.3.3. Diseño de investigación.....	21
3.4. Operacionalización de variables	22
3.5. Población, muestra y muestreo	22
3.6. Técnicas e instrumentos	22
3.6.1. Técnicas.....	22
3.6.2. Instrumentos	23
3.7. Metodología	23
3.7.1. Analizar el comportamiento de la variabilidad climática, rendimiento y producción de <i>C. arabica</i>	23
3.7.2. Determinar la incidencia de la variación de la temperatura, precipitación y humedad relativa en la producción de <i>C. arabica</i>	23
3.7.3. Determinar la relación de la temperatura, precipitación y humedad relativa en la producción de <i>C. arabica</i>	24
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	26
4.1. Comportamiento de la variabilidad climática, rendimiento y producción de <i>C. arabica</i>	26
4.2. Incidencia de la variabilidad de la temperatura, precipitación y humedad relativa en la producción de <i>C. arabica</i>	32
4.3. Relación de la variabilidad de temperatura, precipitación y humedad relativa con la producción de <i>C. arabica</i>	35
V. CONCLUSIONES.....	40
VI. PROPUESTAS A FUTURO	41
VII. REFERENCIAS	42
ANEXOS.....	50

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Producción de café en toneladas por departamentos	4
2. Estadios de Crecimiento, Temperatura y Precipitación para del cultivo del café	6
3. Operacionalización de variables	22
4. Interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson	24
5. Estadística descriptiva de la variabilidad climática y la producción de café.	31
6. Correlación de Pearson entre la variabilidad climática y la producción y rendimiento del café.....	32
7. Estimación del modelo para la producción y rendimiento del café.....	36
8. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2017.....	52
9. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2018.....	52
10. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2019.....	53
11. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2020.....	53
12. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2021.....	54
13. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2022.....	54
14. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2023.....	55
15. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2024.....	55
16. Análisis de varianza entre la producción del café y la variabilidad climática.....	61
17. Análisis de varianza entre el rendimiento del café y la variabilidad climática	61

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Ubicación de la zona de estudio.....	19
2. Comportamiento de la producción del café.....	26
3. Comportamiento del rendimiento del café.....	27
4. Comportamiento de la temperatura máxima y mínima.....	29
5. Comportamiento de la precipitación.....	30
6. Comportamiento de la humedad relativa.....	31
7. Lugar de ejecución del distrito de Hermilio Valdizan.....	51
8. Relación entre la variable producción de café y temperatura máxima.....	61
9. Relación entre la variable producción de café y temperatura mínima.....	62
10. Relación entre la variable producción de café y humedad relativa.....	62
11. Relación entre la variable producción de café y precipitación anual.....	63
12. Relación entre la variable rendimiento del café y temperatura máxima.....	63
13. Relación entre la variable rendimiento del café y temperatura mínima.....	64
14. Relación entre la variable rendimiento del café y humedad relativa.....	64
15. Relación entre la variable rendimiento del café y precipitación anual.....	65
16. Visita al distrito de Hermilio Valdizan.....	65
17. Visita a campo en el centro poblado Margarita.....	66
18. Sistema agroforestal con café.....	66
19. Georreferenciado predio con cultivo de café.....	67
20. Entrevista a un agricultor de Margarita.....	67

RESUMEN

Se evaluó la influencia de la variabilidad climática (temperatura, precipitación y humedad relativa) en la producción y rendimiento del *Coffea arabica* L. en el distrito Hermilio Valdizan, provincia de Leoncio Prado (Huánuco), durante el período 2017-2024. Mediante un enfoque cuantitativo y diseño no experimental, se analizaron datos climáticos históricos del SENAMHI y registros productivos de la Dirección Regional Agraria de Huánuco. El cultivo presentó una producción promedio de 1 141,58 toneladas anuales, mientras que el rendimiento mostró un promedio de 534,62 kg/ha. Las condiciones climáticas revelaron temperaturas máximas (22,58°C) superiores al óptimo y mínimas (14,90°C) inferiores al límite recomendado, con precipitaciones altamente variables (3 422,14 mm) y humedad relativa oscilante (90,58%). Los resultados mostraron que la temperatura máxima y mínima tuvieron correlaciones moderadas y fuertes con la producción ($r = 0,33$ y $0,24$) y el rendimiento ($r = 0,98$ y $0,53$), respectivamente. La precipitación presentó una relación inversa significativa con el rendimiento ($r = -0,81$), mientras que la humedad relativa mostró un impacto negativo en la producción ($r = -0,64$). El análisis estadístico sobre la relación entre factores climáticos y la producción de *Coffea arabica* L. reveló que, para la producción total, el modelo presentó un bajo poder explicativo (R^2 ajustado de 13,44%), con variables no significativas estadísticamente ($p > 0,05$). En contraste, el modelo para el rendimiento mostró una robusta capacidad explicativa (R^2 de 99,44%) con todas las variables estadísticamente significativas ($p < 0,05$).

Palabras clave: Variabilidad climática, *Coffea arabica* L., Hermilio Valdizan, modelo estadístico.

ABSTRACT

The influence of climate variability (temperature, precipitation, and relative humidity) on the production and yield of *Coffea arabica* L. was evaluated in the Hermilio Valdizan district, Leoncio Prado province (Huánuco), during the period 2017-2024. Using a quantitative approach and non-experimental design, historical climate data from SENAMHI and production records from the Huánuco Regional Agrarian Directorate were analyzed. The crop presented an average production of 1 141,58 tons per year, while the yield showed an average of 534,62 kg/ha. The climatic conditions revealed maximum temperatures (22,58°C) above the optimum and minimum temperatures (14,90°C) below the recommended limit, with highly variable rainfall (3 422,14 mm) and oscillating relative humidity (90,58%). The results showed that maximum and minimum temperatures had moderate and strong correlations with production ($r = 0,33$ and $0,24$) and yield ($r = 0,98$ and $0,53$), respectively. Precipitation had a significant inverse relationship with yield ($r = -0,81$), while relative humidity showed a negative impact on production ($r = -0,64$). Statistical analysis of the relationship between climatic factors and *Coffea arabica* L. production revealed that, for total production, the model presented low explanatory power (adjusted R^2 of 13,44%), with no variables statistically significant ($p > 0,05$). In contrast, the yield model showed robust explanatory power (R^2 of 99,44%), with all variables statistically significant ($p < 0,05$).

Keywords: Climate variability, *Coffea arabica* L., Hermilio Valdizán, statistical model.

I. INTRODUCCIÓN

El cambio climático se percibe con mayor intensidad y frecuencia durante los últimos siete años consecutivos. De acuerdo con los registros de la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2021), la temperatura global media en 2021 superó en más de 1°C los niveles preindustriales (1850-1900), lo que constituye un dato preocupante para la comunidad científica internacional. Perú ocupa en el tercer lugar mundial en cuanto a vulnerabilidad y riesgos frente al cambio climático, debido a que presenta siete de las nueve características de vulnerabilidad identificadas por la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (Gil *et al.*, 2014). La agricultura peruana es particularmente vulnerable ante los impactos del cambio climático debido a que sus sistemas productivos son altamente sensibles a las variaciones climáticas. Estos cambios afectan directamente a la productividad agrícola, lo que compromete la seguridad alimentaria de toda la población. En consecuencia, los efectos del cambio climático inciden tanto en el sustento económico de los agricultores como en el suministro de alimentos para el país (Julio, 2014).

El café es uno de los cultivos con mayor sensibilidad a los cambios climáticos (Bouroncle *et al.*, 2017). Para una producción óptima, requiere un rango específico de temperatura y necesidades hídricas bien definidas, precisando con lluvias intensas seguidas de etapa secas que estimulen su floración. Las alteraciones en los patrones climáticos incrementan la vulnerabilidad de esta especie a la exposición de plagas y enfermedades. El café es una planta de adaptación lenta a condiciones más cálidas y secas, siendo las variedades Arábicas las más susceptibles (Posada, 2019). Las principales variables que influyen principalmente al desarrollo del cultivo son la temperatura (máxima o mínima) y la precipitación (Robiglio *et al.*, 2017).

En el distrito Hermilio Valdizán, provincia de Leoncio Prado, la actividad agrícola predominante es el cultivo de café, del cual depende la economía local. En los últimos años, esta actividad agrícola ha experimentado importantes afectaciones causadas por enfermedades y plagas, las cuales han devastado los cultivos y generado significativas pérdidas económicas como consecuencia de la reducida productividad en las plantaciones cafetaleras de la zona. Este escenario genera dudas sobre el futuro de los productores y sus cultivos de café. Esta problemática, sumada al insuficiente apoyo técnico, las limitaciones culturales de los agricultores y la incipiente tecnología aplicada, nos lleva a cuestionar si los efectos de los factores climáticos están impactando la producción del distrito. A partir de esta problemática se formula la interrogante ¿Cómo influye la variabilidad climática en la producción y rendimiento de *C. arabica*, distrito Hermilio Valdizán, provincia de Leoncio Prado - Huánuco?

La variabilidad climática (temperatura, precipitación, y humedad relativa) afecta significativamente el rendimiento, pero no la producción, de *C. arabica* en el distrito Hermilio Valdizan, provincia de Leoncio Prado.

La importancia de esta investigación radica en la necesidad de obtener conocimientos y herramientas para enfrentar las variaciones climáticas, determinando cómo adaptarnos y qué medidas implementar ante estos cambios.

Esta investigación se justifica porque, frente a los impactos del cambio climático en la agricultura, se busca aplicar las bases teóricas desarrolladas por la comunidad científica que alertan a la humanidad sobre esta problemática. El cambio climático está provocando modificaciones en los elementos climáticos (temperatura, precipitación, humedad, entre otros), alterando sus patrones habituales. Estas alteraciones afectan significativamente la producción agrícola y el desarrollo socioeconómico de las poblaciones vulnerables. Con base en estas consideraciones, se plantean los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar variabilidad climática en la producción y rendimiento del *C. arabica* en el distrito Hermilio Valdizan, provincia de Leoncio Prado – Huánuco.

1.2. Objetivos específicos

- Analizar el comportamiento de la variabilidad climática, rendimiento y producción de *C. arabica*, periodo 2017 al 2024, distrito Hermilio Valdizan.
- Determinar la incidencia de la variabilidad de la temperatura, precipitación y humedad relativa en la producción de *C. arabica*, periodo 2017 al 2024, distrito Hermilio Valdizan.
- Determinar la relación de la variabilidad de temperatura, precipitación y humedad relativa con la producción de *C. arabica*, periodo 2017 al 2024, distrito Hermilio Valdizan.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Marco teórico

2.1.1. El cultivo de café

El MINAGRI (2015) señala que el cafeto forma parte de la familia Rubiáceas y del género *Coffea*, el cual incluye aproximadamente 60 especies, destacando dos principales cultivadas: *Coffea arábica*, originaria de Etiopía, y *Coffea canephora* (Robusta), de probable procedencia africana o indonesia.

Según Monroig Inglés (2005), este arbusto, clasificado por Linneo y agrupado en las Rubiáceas por Jussie, pertenece a una familia con más de 500 géneros y entre 6,000 a 8,000 especies descritas. Las variedades más conocidas son "Typica" y "Borbón", aunque de ellas han surgido múltiples cultivares como Caturra (Brasil, Colombia), Mundo Novo (Brasil), Tico (Centroamérica), San Ramón enano y Jamaican Blue Mountain. La especie Arábica, genéticamente distinta por poseer cuatro series de cromosomas en lugar de dos, es un arbusto de hojas ovaladas verde oscuro cuyo fruto madura en 7 a 9 meses, generalmente con dos semillas (granos de café) o, en casos excepcionales, una sola (grano caracol). No obstante, su susceptibilidad a plagas y enfermedades ha convertido la resistencia en un objetivo clave en los programas de mejora vegetal.

El café Arábica se produce principalmente en Latinoamérica, África Central y Oriental, India y en menor medida en Indonesia (ICO, 2011). Esta especie se adaptó originalmente al clima fresco y sombreado de los bosques montañosos de Etiopía, donde crece en condiciones de una única estación seca durante el invierno. Su rango óptimo de temperatura oscila entre 15°C y 24°C, ya que valores superiores afectan negativamente su productividad y calidad. Requiere precipitaciones anuales de 1 500 a 2 000 mm, aunque el riego artificial ha permitido su cultivo en áreas con menor pluviosidad (Hagggar y Baker, 2007).

En el Perú, específicamente en el VRAEM, estudios indican que el café crece mejor en altitudes que van desde los 900 hasta los 2 000 m.s.n.m., con temperaturas medias de 17°C a 23°C, radiación solar de 300 a 450 cal/cm² por día, y precipitaciones anuales entre 1 800 y 4 000 mm. Además, prospera en condiciones de humedad relativa del 70% al 85%, evapotranspiración diaria de 3 a 4 mm y vientos con velocidades inferiores a 5 km/h (Sánchez, 2015).

El café Robusta se desarrolló en las regiones bajas de África Ecuatorial, particularmente en los bosques de la cuenca del Congo y en las áreas cercanas al lago Victoria

en Uganda. Esta variedad prospera en zonas con elevadas precipitaciones, alrededor de 2,000 mm anuales, y en altitudes que no superan los 800 msnm. Al tener un sistema radicular superficial, requiere que las lluvias estén bien distribuidas a lo largo del año. Su rango óptimo de temperatura se sitúa entre 22°C y 26°C, siendo menos resistente que el arábica a temperaturas extremas, tanto altas como bajas (Haggar y Baker, 2007).

A nivel regional, Cajamarca encabeza la producción cafetalera en 2022, alcanzando 76 821 t, lo que representa un incremento del 0,6% respecto al año anterior. San Martín ocupa la segunda posición con 69 950 t, mostrando una disminución del 10,3%, seguido por Junín en tercer lugar con 65 951 t, reflejando una caída del 3,7%. En cuarta posición se encuentra Amazonas, destacándose por registrar el mayor crecimiento entre los cinco principales productores, con un aumento del 7,6% que le permitió llegar a 53 941 t. Cusco cierra esta clasificación en quinto lugar con 27 662 t, habiendo incrementado su producción en un 4,7%.

Tabla 1. Producción de café en toneladas por departamentos

Departamentos	2020	2021	2022
Amazonas	44 991	50 117	53 941
Ayacucho	2 212	2 878	3 138
Cajamarca	71 793	76 381	76 821
Cusco	27 627	26 433	27 662
Huánuco	11 921	12 409	12 524
Junín	72 335	68 463	65 951
La Libertad	202	203	200
Lambayeque	1 838	2 222	2 691
Pasco	13 193	20 43	15 813
Piura	4 987	4 854	5 216
Puno	8 105	8 314	7 925
San Martín	82 809	77 994	69 95
Ucayali	10 968	12 659	10 743
Otros	189	210	238
Total	353 17	363 567	352 813

Fuente: MIDAGRI-SIEA

2.1.2. El café y los factores climáticos

La Temperatura: es un factor climático clave que influye significativamente en el rendimiento del café. Al afectar la fisiología de la planta, provoca una maduración prematura del grano, lo que reduce progresivamente su calidad. Los cambios en las condiciones ecológicas habituales, como el aumento de temperatura y la variación en la humedad, están disminuyendo las áreas de cultivo. Según *The Climate Institute*, para el 2050, la superficie cafetalera podría reducirse en un 50% debido al incremento de la temperatura. Además, las lluvias excesivas, combinadas con estos cambios graduales, pueden alterar drásticamente las condiciones agroclimáticas necesarias para el cultivo del café, incrementando también los costos de producción (Navarro, 2015). Países como Nicaragua, Etiopía y Burundi ya enfrentan los impactos del cambio climático, y se proyecta que en los próximos años, Honduras, Guatemala y Vietnam también sufrirán consecuencias negativas. Perú no es ajeno a este fenómeno: un ejemplo claro fue la crisis causada por el brote de roya amarilla, que, aunque en gran medida ha sido controlada, aún requiere esfuerzos continuos para mitigar sus efectos a largo plazo (CPCC, 2017). Cuando las temperaturas superan los 25°C, se observa una disminución significativa en la actividad fotosintética. La exposición prolongada a temperaturas extremas (superiores a 30°C) provoca daños foliares que comprometen el desarrollo del cultivo (MINAG, 2003).

Luz: Es un factor clave que influye directamente en los procesos fisiológicos del café, como la respiración y transpiración. Cuando la luz solar es escasa, la actividad fotosintética disminuye debido al cierre parcial de las estomas, lo que reduce la producción de carbohidratos y limita el crecimiento de la planta. Por otro lado, una mayor intensidad de luz favorece el metabolismo del cafeto, ya que promueve la apertura estomática y, en consecuencia, incrementa la fotosíntesis y la eficiencia productiva. Sin embargo, el exceso de luminosidad puede tener efectos adversos: las estomas se cierran como mecanismo de defensa, la fotosíntesis se reduce y la transpiración aumenta, generando un desbalance energético que afecta la disponibilidad de carbohidratos para la planta (Haggar y Schepp; Muschler, citados en Guzmán, 2013).

Precipitación: El café requiere condiciones pluviométricas específicas para su óptimo desarrollo, con un rango ideal entre 1 500 mm y 1 800 mm anuales. Aunque muestra cierta resistencia a períodos secos, su productividad se ve significativamente afectada cuando las lluvias caen por debajo de 1 000 mm anuales, manifestándose síntomas de estrés hídrico como amarillamiento foliar y defoliación. Por el contrario, el exceso de humedad

(precipitaciones superiores a 3 000 mm anuales) genera condiciones adversas que favorecen la proliferación de enfermedades fúngicas y el lavado de nutrientes del suelo, factores que en conjunto reducen drásticamente el rendimiento del cultivo (MINAG, 2003).

Tabla 2. Estadios de Crecimiento, Temperatura y Precipitación para del cultivo del café

Meses	Feb	Mar	Abr	May	Jun	Jul	Ago	Set	Oct	Nov	Dic	Ene
Estadios de crecimiento	Hinchazón de yemas		Botón Floral			Floración		Fructificación		Maduración		
Tem. Optima	18 °C a 22°C		18 °C a 22°C			18 °C a 24°C		18 °C a 24°C		18 °C a 24°C		
Tem. Critica	<15°C		<15°C a 25°C>			<15°C a 28°C>		<15°C a 28°C>		<15°C a 28°C>		
Precipitación	Inferior critico				<1 400 a 1 700 mm/año>				Superior critico			

Fuente: Dirección General de Políticas Agrarias (Ministerio de Agricultura y Riego, 2017)

2.1.3. Medidas adoptadas frente a las variaciones y cambio climático

Para enfrentar el aumento de temperatura, se sugiere sembrar variedades de café resistentes al calor, uniformizar la sombra en el cafetal diversificando la producción y optar por plantas injertadas de arábico sobre robusta. Ante lluvias irregulares, es clave incrementar la materia orgánica del suelo, realizar obras de conservación y cosecha de agua, usar coberturas en el suelo y aplicar nutrientes foliares. En zonas con altas precipitaciones y riesgo de derrumbes, se recomienda implementar sistemas agroforestales, evitar cultivos en áreas vulnerables y mantener el suelo cubierto. Para sequías, se debe priorizar la cosecha de agua, aumentar la materia orgánica, conservar un dosel protector y resguardar las cabeceras de cuenca, además de instalar cortinas rompevientos en áreas ventosas. Si hay floración irregular, caída de flores u hojas, se debe adoptar un programa de fertilización basado en análisis de suelo, monitorear plagas y enfermedades, renovar cafetales viejos con variedades resistentes o implementar podas postcosecha. Estas medidas están adaptadas del Manual técnico para el fortalecimiento del sector de café en Guatemala frente al cambio climático (PRCC, 2016).

La roya del cafeto, provocada por el hongo *Hemileia vastatrix* (un parásito obligado que solo completa su ciclo de vida en tejido vivo), es una de las enfermedades más devastadoras a nivel mundial. Esta patología afecta principalmente el follaje de las plantas de *C. arabica*, causando daños fisiológicos como la caída prematura de hojas, lo que reduce la capacidad fotosintética y la productividad. Además, perjudica el desarrollo, llenado y maduración de los frutos, lo que resulta en una disminución significativa del rendimiento y la calidad del café (Hruska & Rivillas, 2015).

Entre 2012 y 2014, la roya y otras enfermedades favorecidas por las lluvias y las altas temperaturas redujeron significativamente el rendimiento del café. Aunque los cultivos se han recuperado, persisten desafíos como el manejo técnico inadecuado, la presencia de plantas débiles por falta de fertilización y cafetales envejecidos por no renovarse. La aparición de esta plaga no está directamente ligada al calentamiento global, ya que sus brotes periódicos e irregulares no coinciden con los patrones del cambio climático. No obstante, existe consenso en que un planeta más cálido incrementa el riesgo de plagas, generando preocupación entre los productores por las pérdidas en sus cosechas (CPCC, 2016).

Nombre científico: *Coffea arabica* L.

Nombre comercial: *Coffea arabica* l., café, coffee.

Formas de presentación: Grano verde, tostado, tostado molido, descafeinado Zonas de Producción: Junín, Cajamarca, San Martín, Cusco, Amazonas, Puno, Ayacucho y Huánuco.

2.1.4. Variedades de café cultivadas en el Perú

En las distintas zonas cafetaleras del país, las variedades de *Coffea arabica* han demostrado una notable adaptabilidad gracias a su rusticidad, cultivándose en diversos rangos altitudinales (m.s.n.m.) y condiciones climáticas. Las variedades más extendidas incluyen typica, bourbón, caturra, paches y catimor, mientras que otras como mundo nuevo, catuaí y villa sarchi tienen menor presencia. Los cultivares de porte alto son especialmente favorables para pequeños productores, quienes suelen manejarlos sin técnicas adecuadas, en suelos poco fértiles y sin fertilización. Su flexibilidad en tallos y ramas facilita la cosecha y les permite soportar un manejo deficiente, aunque su cultivo extensivo genera bajos rendimientos. Por otro lado, los cultivares de porte bajo, si bien son más productivos por sus características genotípicas, demandan mayores cuidados y labores culturales (MINAGRI, 2003).

Las dos principales especies de café cultivadas a nivel comercial son *Coffea arabica* (arábica) y *Coffea canephora* (robusta o canephora). De estas, la variedad arábica es la más valorada en el mercado y domina la producción global, representando aproximadamente el 75% del café producido en el mundo. Su mayor aceptación se debe a su perfil de sabor más suave y aromático en comparación con la especie robusta, que, aunque más resistente a plagas y condiciones adversas, tiene un carácter más amargo y fuerte.

El café arábigo (*Coffea arabica* L., también conocida como *C. vulgaris* Moench o *C. laurijolia* Salisb.) presenta un menor contenido de cafeína comparado con la variedad robusta. Esta especie, la más cultivada a nivel mundial, se produce principalmente en países como Perú, Colombia, Brasil y diversas naciones centroamericanas. Entre sus variedades más destacadas se encuentran Típica, Caturra, Catimor y Borbón. Por otro lado, la variedad robusta (*Coffea canephora*), aunque menos extendida que la arábica, es conocida por su mayor resistencia y mayor contenido de cafeína.

El café robusta (*Coffea canephora*) se caracteriza por su mayor contenido de cafeína en comparación con el arábica, además de ser más resistente a plagas y requerir menos cuidados, lo que lo convierte en una opción más económica. Esta especie, la segunda más cultivada a nivel mundial, tiene su principal producción en África e Indonesia. En la selva peruana, algunas variedades de robusta han demostrado una notable adaptabilidad, destacándose por su rendimiento en estas condiciones climáticas.

Típica: Originario de Etiopía

Bourbon: Mutación del Bourbon rojo

Mundo novó: Cruzamiento entre Sumatra y Bourbon amarillo

Caturra: Mutación del Bourbon

Catuai: Cruzamiento entre Mundo novó y Caturra

CR 95: Cruce entre Híbrido timor y Caturra

Gran Colombia: Cruce entre Híbrido timor y Caturra

Pache: Mutación del Tipica

Otras especies: Existen otras especies menos importantes y difundidas, como son: *Coffea liberica*, *Coffea dewevrei*, *Coffea stenophylla*, *Coffea congensis*, *Coffea abeokutae*, *Coffea klainii*, *Coffea zanguebariae* y *Coffea racemosa*.

2.1.5. Condiciones climáticas y suelos del café

El café Arábica se desarrolla óptimamente en altitudes superiores a 900 metros, donde a mayor elevación, mejora la calidad organoléptica del grano. Su cultivo requiere precipitaciones anuales entre 750 mm (7.5 m³/ha) y 3 000 mm (30 m³/ha), aunque las mejores calidades se obtienen en zonas de 1 200 a 1 700 msnm, con lluvias anuales de 2 000-3 000 mm y temperaturas medias de 16°C a 22°C. Sin embargo, el factor clave es la distribución temporal

de las precipitaciones: durante el ciclo vegetativo (de noviembre a septiembre) se necesita agua abundante y bien distribuida para el desarrollo de frutos y crecimiento vegetativo, mientras que en otoño resulta esencial un período seco que estimule la floración para la siguiente cosecha.

El cultivo de café requiere suelos con excelente drenaje para evitar encharcamientos, siendo los de textura franco-arenosa o franco-arcillosa los más adecuados por su equilibrio entre permeabilidad y retención de humedad. Un factor determinante es el pH del suelo, que debe mantenerse en un rango ligeramente ácido (6.0 - 6.5) para garantizar la disponibilidad óptima de nutrientes clave como nitrógeno, fósforo y potasio. Además, los suelos más productivos son aquellos con alta concentración de materia orgánica y abundantes minerales, condiciones que favorecen el desarrollo saludable de las plantas de café (López *et al.*, 2022).

2.1.6. Categorías de café

Tudela (2006) señala que en el contexto global está creciendo significativamente la demanda de café producido bajo principios de sostenibilidad, basados en dos pilares fundamentales: la conservación ambiental y la equidad social. Cada vez más caficultores están adoptando prácticas ecológicamente responsables que, además de proteger los ecosistemas, generan mejores retornos económicos y beneficios comunitarios. Esta tendencia ha dado lugar a cuatro tipos de cafés sostenibles reconocidos como "especiales": orgánico (cultivado sin agroquímicos), de sombra (que preserva bosques), de comercio justo (con precios garantizados para productores) y gourmet (de alta calidad sensorial). Todos comparten el compromiso con la sostenibilidad, aunque cada variedad presenta características distintivas en sus métodos de producción y valor agregado.

- **Café orgánico:** Se cultiva mediante técnicas que protegen la tierra y evitan el uso de agroquímicos artificiales.
- **Café de comercio justo:** Se adquiere de forma directa a cooperativas de pequeños productores, asegurándoles un pago justo y estable.
- **Café de sombra:** Crece bajo la cubierta de árboles en ecosistemas boscosos, favoreciendo la diversidad biológica y la conservación de aves.
- **Café gourmet:** Es de excelente calidad y se produce bajo condiciones específicas. Para reconocerlo, se consideran factores como su origen geográfico, altitud, tipo de grano, grado de madurez, método de

procesamiento, tamaño del grano y cualidades sensoriales (aroma, sabor, cuerpo, etc.).

A pesar de que estas categorías de café poseen sistemas y estándares de comercialización diferenciados, en la realidad productiva sus características suelen integrarse en un mismo sistema de producción. Es común encontrar, por ejemplo, que el café de comercio justo frecuentemente -aunque no de manera exclusiva- cumpla también con estándares orgánicos; así como el café orgánico en ocasiones se cultiva bajo sombra, pero no sistemáticamente. De igual forma, el café gourmet de altura muchas veces -mas no siempre- sigue prácticas orgánicas, demostrando cómo estos atributos sostenibles frecuentemente se solapan y complementan en las fincas cafetaleras.

2.1.7. El cambio climático

El cambio climático se refiere a las alteraciones significativas y persistentes en los patrones climáticos promedio o en su variabilidad, que pueden extenderse por periodos prolongados, desde años hasta décadas o más. Estas transformaciones pueden originarse tanto por procesos naturales (como erupciones volcánicas o fenómenos meteorológicos extremos) como por actividades humanas que impactan el sistema climático (IPCC, 2014).

La Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) establece una distinción clave entre variabilidad climática natural y cambio climático antropogénico. Define este último como aquella modificación del clima causada directa o indirectamente por actividades humanas, la cual altera la composición atmosférica global y se superpone a las fluctuaciones naturales del clima. A diferencia de la variabilidad climática (de origen natural), el cambio climático está impulsado principalmente por emisiones humanas de Gases de Efecto Invernadero (GEI), que elevan las temperaturas globales y exacerban la frecuencia e intensidad de fenómenos meteorológicos extremos (Navarro, 2015).

El cambio climático representa una transformación progresiva y sostenida de los patrones climáticos predominantes, alterando la dinámica de los componentes del sistema climático global (atmósfera, hidrosfera, criosfera, litosfera y biosfera). Esta modificación ambiental está fundamentalmente asociada a la acción antropogénica, particularmente al aumento significativo de Gases de Efecto Invernadero (GEI) en la atmósfera, resultado de actividades como la quema de combustibles fósiles, cambios en el uso del suelo, procesos industriales intensivos y otras prácticas humanas insostenibles (Nieto & Costa, 2018).

2.1.8. Causas del cambio climático

El cambio climático tiene su principal origen en las emisiones antropogénicas de gases de efecto invernadero (GEI), siendo estas el factor dominante del calentamiento global. Según datos del IPCC (2019), entre 1970 y 2010 se observó un aumento sostenido de estas emisiones, con un pico especialmente notable durante la década 2000-2010. Este incremento responde fundamentalmente al crecimiento económico y demográfico mundial, que ha impulsado actividades generadoras de CO₂ como: la combustión de hidrocarburos, la industria cementera, la transformación de usos de suelo y la tala forestal. Entre los demás GEI destacan el metano (proveniente de la agricultura arroceras y la digestión animal), el óxido nitroso y los halocarbonos (compuestos fluorados, clorados y bromados) que, aunque menos abundantes, presentan un elevado potencial de calentamiento.

2.1.9. Indicadores del cambio climático a escala mundial

Los efectos del cambio climático se manifiestan a través de transformaciones significativas en los patrones climáticos globales, siendo los principales indicadores:

- Temperatura global

El análisis comparativo de períodos históricos revela un marcado incremento térmico global: entre 1850-1900 y 2006-2015, la temperatura superficial terrestre registró un aumento de 1.53°C, mientras que el promedio planetario (considerando superficies oceánicas y terrestres) se elevó 0.87°C (IPCC, 2019), evidenciando que el calentamiento del aire superficial ha progresado al doble del ritmo del promedio global desde la revolución industrial. Este patrón ascendente alcanzó hitos preocupantes en 2016 -el año más cálido registrado, influenciado por el fenómeno de El Niño 2015-2016- y en 2019, que se posicionó como segundo año más caluroso con 1.1°C por encima de los niveles preindustriales (OMM, 2021), confirmando la tendencia acelerada del calentamiento global.

La evidencia científica sugiere con alta probabilidad que las actividades humanas -particularmente las emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) y otros factores antropogénicos- contribuyeron en más del 50% al incremento de la temperatura global promedio observado entre 1951 y 2010. Asimismo, existe un consenso robusto que demuestra un aumento significativo en la frecuencia de días y noches cálidos a escala planetaria, acompañado de una disminución paralela en la ocurrencia de períodos fríos, patrón que se ha vuelto estadísticamente inequívoco según los registros climáticos (IPCC, 2014).

Los registros oceanográficos muestran un calentamiento progresivo en las capas marinas superficiales, con un incremento térmico estimado de 0,11°C (rango: 0,09-0,13°C) por década en aguas por debajo de los 75 metros de profundidad durante el período 1971-2010, según datos reportados por el IPCC (2013).

- **Precipitación**

Los registros climáticos globales revelan que, si bien los cambios en los patrones de precipitación desde 1901 han sido moderados a escala planetaria, el hemisferio norte ha experimentado un aumento significativo, con variaciones regionales donde tanto la frecuencia como la intensidad de las lluvias se han incrementado en algunas zonas mientras disminuyen en otras (IPCC, 2013). El cambio climático ha alterado sustancialmente estos patrones, intensificando los eventos extremos como sequías, heladas y huracanes en diversas regiones (IPCC, 2019). Además, existe consenso científico de alta confiabilidad en que el fenómeno de El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) seguirá siendo el principal modulador de la variabilidad climática en el Pacífico tropical, con impactos que se extenderán a nivel global (IPCC, 2014).

- **Factores de la variabilidad climática a corto plazo**

Los océanos desempeñan una función crucial en la regulación del sistema climático global, donde el aumento de sus temperaturas ha provocado una mayor intensidad y frecuencia de eventos climáticos extremos, particularmente fenómenos como El Niño-Oscilación del Sur (ENOS) y el Dipolo del Océano Índico (IOD), según reporta la Organización Meteorológica Mundial (OMM, 2022).

2.1.10. El impacto del cambio climático en la agricultura en el Perú

Perú figura entre los países más vulnerables a los efectos del cambio climático debido a su compleja geografía, diversidad de ecosistemas, economía emergente y variedad de sistemas agrícolas (Lozano *et al.*, 2021). El sector agrícola, pilar fundamental para las comunidades rurales y su desarrollo socioeconómico, enfrenta especial vulnerabilidad por su alta sensibilidad a las variaciones climáticas, las cuales afectan directamente las etapas fenológicas de los cultivos, la producción agropecuaria y la seguridad alimentaria (Morales & Zuniga, 2016). Esta vulnerabilidad se agrava ante la mayor frecuencia de eventos extremos como sequías, heladas, inundaciones y deslizamientos, que amenazan constantemente la actividad agrícola nacional (INEI, 2012).

El cambio climático está afectando significativamente la productividad agrícola, reduciendo los rendimientos de los cultivos y generando pérdidas sustanciales en las cosechas, lo que ha llevado a numerosas familias rurales a abandonar sus tierras y migrar hacia zonas urbanas en busca de alternativas económicas más estables (Blackmore *et al.*, 2021).

2.1.11. El cambio climático y adaptación del café

El cambio climático amenaza con extinguir el 60% de las variedades silvestres de café a nivel global, siendo la *Coffea arabica* -la especie más comercializada mundialmente- una de las más vulnerables debido a su sensibilidad al aumento de temperaturas. Esta crítica situación llevó a la Unión Internacional para la Conservación de la Naturaleza (UICN) a incluir al café arábico en su Lista Roja de Especies Amenazadas, catalogándolo oficialmente como especie en riesgo de desaparecer (EFEverde, 2020).

El cambio climático emerge como el factor más determinante para la caficultura global según la Organización Internacional del Café (OIC), particularmente por su impacto desproporcionado en los pequeños productores, el eslabón más vulnerable de la cadena. El aumento de temperaturas volverá improductivas muchas zonas cafetaleras actuales, forzando la reubicación de cultivos a mayores altitudes, mientras intensifica la aparición de plagas y enfermedades que degradan la calidad del grano. Esta transición geográfica implicará mayores necesidades de irrigación -elevando costos productivos y presión hídrica- y reducirá significativamente las áreas cultivables. Paradójicamente, la propia industria cafetalera contribuye al problema mediante emisiones de GEI, lo que exige un enfoque dual: implementar estrategias de adaptación para proteger a los productores (como desarrollo de variedades resistentes y sistemas agroforestales) y simultáneamente adoptar medidas de mitigación (optimización de procesos, reducción de huella de carbono en toda la cadena de valor) para garantizar la sostenibilidad del sector (CCI, 2011).

Las estrategias de adaptación al cambio climático en la caficultura se implementan en diferentes plazos: a corto plazo, incluyen técnicas mejoradas de cultivo y procesamiento en finca, adoptadas regularmente por agricultores tecnificados, pero con dificultades de implementación para pequeños productores por limitaciones económicas y técnicas. A largo plazo, requieren desarrollo de capacidades, mapeo climático, mejoramiento de suelos, evaluación de modelos productivos, e introducción de variedades resistentes a sequías y enfermedades - llegando incluso a contemplar, en situaciones críticas, la diversificación productiva o reubicación geográfica de los cultivos. Paralelamente, las estrategias de mitigación inmediatas se enfocan en cuantificar y reducir huellas de carbono a

nivel de finca, mientras que las de largo plazo buscan conectar a los productores, especialmente pequeños, con mercados de carbono para capitalizar oportunidades de financiamiento climático (CCI, 2011).

El desarrollo óptimo del cultivo de café depende críticamente de dos variables climáticas clave: la temperatura y la precipitación. Temperaturas inferiores a 15°C pueden dañar los frutos e incluso causar la muerte de las plantas, mientras que valores superiores a 30°C provocan quemaduras foliares, afectan flores y frutos, reducen la productividad por estrés hídrico, aumentan la formación de granos vanos y favorecen el desarrollo de plagas. En cuanto a las precipitaciones, un régimen anual inferior a 800-1 200 mm genera estrés hídrico que disminuye tanto el rendimiento como la calidad del café; por el contrario, precipitaciones superiores a 2 000 mm sin un período seco definido para inducir la floración, reducen significativamente este proceso fisiológico y aumentan la incidencia de enfermedades fúngicas (Tucker, Eakin y Castellanos, 2010; Wintgens, 2004).

2.1.12. Posibles efectos del cambio climático en la producción de café

El cambio climático impacta significativamente la calidad del café: las altas temperaturas aceleran la maduración, disminuyendo su calidad, particularmente en la variedad arábica cultivada en zonas tropicales bajas, que desarrolla sabores inferiores comparado con el producido en mayores altitudes. En cuanto al rendimiento, temperaturas extremas durante etapas críticas como la floración o el desarrollo de frutos -especialmente cuando se combinan con escasas precipitaciones- reducen drásticamente la productividad. El calentamiento global también favorece la proliferación y expansión geográfica de plagas y enfermedades como el barrenador de la cereza, minador de la hoja, nematodos y roya del café, incrementando los costos y complejidad de producción. Además, muchas regiones que actualmente no requieren riego necesitarán sistemas de irrigación debido al aumento de la evaporación, mientras otras enfrentarán mayor variabilidad pluvial. Los modelos proyectan que un aumento de 3°C para fines de siglo desplazará las zonas aptas para arábica de calidad unos 15 pies anuales hacia mayores altitudes, haciendo posible el cultivo en áreas actualmente demasiado frías pero inhabilitando muchas regiones bajas tradicionales (Hagggar y Baker, 2007).

2.1.13. Adaptación a los cambios climáticos en la práctica

De acuerdo con el Plan de Gestión de Riesgos y Adaptación al Cambio Climático en el Sector Agrario 2012-2021 (PLANGRACC) del Ministerio de Agricultura, los suelos cafetaleros enfrentan un proceso de degradación acelerado por prácticas agrícolas

inadecuadas, agravado por la mayor variabilidad climática y la recurrencia de eventos meteorológicos extremos que, sumados a la disminución de la resiliencia ecosistémica, elevan la vulnerabilidad de las comunidades rurales y comprometen tanto la productividad cafetalera como los medios de subsistencia. Las proyecciones climáticas para la selva alta al 2030 anticipan alteraciones moderadas que no afectarían drásticamente los volúmenes de producción, pero podrían favorecer la emergencia de plagas y enfermedades debido al incremento térmico y pluviométrico.

La implementación de buenas prácticas agrícolas contribuye simultáneamente a la conservación de suelos y recursos hídricos, facilitando la adaptación al cambio climático mientras reduce su impacto ambiental. En el ámbito productivo destacan técnicas como el acolchado (que minimiza la evaporación, previene erosión y mejora fertilidad), sistemas de terrazas y contornos para manejo hídrico, setos vivos como barreras contra viento y lluvia, optimización de riegos, y uso de sombra para regular temperatura y humedad. En la etapa de procesamiento, las prácticas sostenibles incluyen: tecnologías de despulpado ecoeficientes que reducen consumo de agua, tratamiento adecuado de aguas residuales, aprovechamiento de residuos compostables, utilización de energía solar para secado, adopción de energías renovables en secadores mecánicos, y uso racional de insumos procesadores (combustibles, briquetas, tablas) (Díaz y Carmen, 2017).

Las estrategias de adaptación a largo plazo para el sector cafetalero comprenden el fortalecimiento institucional, el mejor acceso a información climática, la elaboración de mapas de vulnerabilidad ante el cambio climático, el mejoramiento de la fertilidad edáfica, la evaluación de sistemas productivos alternativos (como cultivos de alta densidad), el desarrollo de variedades resistentes a estrés hídrico y patógenos, la reubicación de áreas de producción cuando sea viable, y la creación de instrumentos financieros para implementar estas medidas. Paralelamente, en materia de mitigación, se plantea: cuantificar y reducir las emisiones de carbono a nivel de finca, evaluar la creación de sumideros de carbono comercializables, y conectar a los pequeños productores con mercados de carbono, permitiéndoles capitalizar las oportunidades derivadas de la gestión de sus huellas ambientales (Díaz y Carmen, 2017).

2.1. Estado del arte

Novelli y Tabares (2014) desarrollan un análisis multidimensional de la crisis ambiental, examinando específicamente el marco jurídico de la Unión Europea para enfrentar el cambio climático. Su estudio inicia con una revisión del efecto invernadero y sus riesgos

asociados, para luego evaluar los principales instrumentos internacionales, destacando la Convención Marco sobre Cambio Climático y el Protocolo de Kioto. La investigación profundiza particularmente en el Sistema de Comercio de Emisiones de la UE, establecido por la Directiva 2003/87 y sus posteriores reformas, concluyendo que este mecanismo de mercado representa la principal estrategia del bloque europeo para reducir el impacto del cambio climático mediante la regulación de emisiones de gases de efecto invernadero.

Burbano (2016) en su investigación "Evaluación del impacto de la variabilidad climática interanual y cambio climático en el cultivo de café en Colombia", examina los efectos sobre el rendimiento cafetalero bajo los escenarios RCP 4,5 y 8,5 para los periodos 2050 y 2070, demostrando que la productividad está directamente relacionada con la intensidad del fenómeno ENSO (El Niño-Oscilación del Sur). Durante eventos de El Niño, los rendimientos disminuyen entre 6% y 24% debido al estrés hídrico, especialmente en suelos con poca capacidad de retención de humedad. No obstante, el estudio revela que el riego complementario (207,7-362 mm durante sequías) no solo mitiga estas pérdidas, sino que puede incrementar los rendimientos entre 1,62% y 17,2% respecto a periodos neutros. Las proyecciones del modelo SIMPROC indican reducciones de hasta 33% para 2050, siendo los municipios de Taminango y Policarpa -actualmente óptimos para café- los más afectados, principalmente por el aumento de temperatura más que por la disminución de precipitación. Para 2070, se anticipa un desplazamiento altitudinal de la producción hacia zonas entre 1 848-2 118 msnm en Ricaurte, donde las condiciones climáticas serán más favorables

Del Águila (2018) en su investigación "Análisis estratégico del sector cafetalero en la región San Martín, 2016", identificó mediante encuestas a especialistas y productores asociados a diversas organizaciones los factores clave que impulsaron la producción cafetalera en la región durante el periodo 2011-2016. El estudio concluye que el sector experimentó un crecimiento sostenido desde 2016 con perspectivas positivas, atribuyendo este desarrollo principalmente a: 1) la implementación de nuevas prácticas agronómicas en cafetales renovados y nuevos, resultado de iniciativas estatales como el Plan Nacional Antirroya (SENASA) y el Plan Nacional de Renovación de Cafetales (MINAGRI/AGROBANCO); 2) la adopción de técnicas de poda sistemática y ocasional; y 3) la creciente demanda de cafés de calidad que incentivó la cosecha selectiva y mejoras en los procesos postcosecha, generando un impacto positivo en la productividad regional.

Parada-Molina *et al.* (2020) investigaron cómo la disponibilidad de agua, factor prioritario para la agricultura, afecta los cultivos perennes como el café, cuya principal fuente

hídrica es la precipitación. Ante la sensibilidad del café a los cambios en los patrones climáticos, este estudio buscó identificar el efecto de la variabilidad pluviométrica en la fenología del *Coffea arabica* mediante un caso en la zona cafetalera Xalapa-Coatepec, Veracruz (México). La investigación delimitó una parcela de café variedad Garnica bajo sombra de *Acrocarpus fraxinifolius* (19,51998° N, 96,94339° W; 1 320 msnm), realizando observaciones semanales en 30 plantas para determinar inicio y duración de fases fenológicas, midiendo variables microclimáticas con instrumentos especializados durante dos ciclos productivos (2017-2019). Los resultados revelaron correlaciones positivas ($p < 0,05$) entre las fases de floración, crecimiento, llenado y maduración con la precipitación, influenciadas por los fenómenos de La Niña (2017-2018) y El Niño (2018-2019), con precipitaciones por encima y debajo de la media anual, respectivamente. Las temperaturas máxima y mínima también mostraron gran influencia sobre las fases fenológicas, concluyendo que el monitoreo de condiciones pluviométricas y su variabilidad permitirá planear estrategias para mitigar los efectos de los períodos de sequía.

Saavedra (2020) evaluó el impacto del cambio climático en la producción cafetalera durante el periodo 2010-2018, centrándose en el análisis de temperatura, precipitación, humedad relativa y rendimiento de granos de café. El estudio empleó un enfoque metodológico cuantitativo para evaluar la vulnerabilidad y adaptabilidad del cultivo de café mediante encuestas participativas, analizando la relación entre variables climáticas y rendimiento productivo. Los hallazgos revelaron que el 18% de las plantaciones presentan baja vulnerabilidad con capacidad de adaptación inmediata al cambio climático, mientras que el 82% muestra vulnerabilidad regular, pero con adaptabilidad conservada. El análisis de correlación demostró una relación lineal negativa débil entre el rendimiento y factores como temperatura y precipitación, y una correlación positiva débil con la humedad relativa. Se registró una producción promedio de 0,55 t/ha bajo condiciones climáticas específicas (22,1°C, 31,3 mm/24h y 85% HR), afectada significativamente por brotes de roya en 2013. La investigación concluye que el cambio climático afecta moderadamente la producción cafetalera en el caserío San Vicente, presentando una vulnerabilidad regular con adaptabilidad media y riesgos potenciales a mediano plazo.

Parada-Molina *et al.* (2022), en su artículo científico, anticipan impactos negativos del cambio climático en la producción de *Coffea arabica* L., uno de los agroproductos tropicales más comercializados mundialmente. Observando que la mayor parte de las investigaciones utilizan modelos de circulación global poco aplicables para decisiones a escala de finca, los investigadores se propusieron identificar la aptitud del cultivo de *C. arabica* frente

al cambio climático y evaluar cómo la cobertura arbórea mitiga sus impactos en sistemas agroforestales. La metodología incluyó el cálculo de índices de extremos climáticos (períodos 1961-2016 para Coatepec y 1985-2016 para Briones) y análisis de tendencias mediante Mann-Kendall, junto con un monitoreo bianual (2017-2019) de temperatura dentro de una parcela agroforestal y en un sitio abierto, correlacionando estos datos con los requerimientos climáticos del café. Los resultados identificaron tendencias significativas ($p < 0,05$) de incremento en temperaturas mínima y mínima extrema anual en ambas estaciones ($0,24$ y $0,69$ °C·década⁻¹ en Coatepec; $0,46$ y $0,79$ °C·década⁻¹ en Briones), mientras que la temperatura máxima no mostró cambios significativos, reduciendo así la amplitud térmica. Adicionalmente, tanto la precipitación anual como estacional evidenciaron tendencias de mayor intensidad, aunque estas condiciones continúan siendo aptas para el cultivo. A escala de parcela, se demostró que la cobertura arbórea en el sistema agroforestal reduce la temperatura máxima en $1,9$ °C comparada con áreas abiertas, permitiendo además mitigar eventos climáticos extremos.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Lugar de ejecución

La investigación se llevará a cabo en el distrito Hermilio Valdizan, con una extensión de 12 900 ha o (129 km²), con una población aproximada de 3 475 habitantes, políticamente el distrito Hermilio Valdizan, pertenece a la provincia de Leoncio Prado del departamento de Huánuco. Geográficamente, se localiza en las coordenadas UTM 412 046 Este y 8 986 470 Norte.

La estación meteorológica SENAMHI La Divisoria está ubicada en el distrito de Hermilio Valdizán, dentro del departamento de Huánuco. Sus coordenadas UTM corresponden a la zona 18 S, con un valor de Este = 413 441 y Norte = 8 988 304. Además, se encuentra a una altitud de 1 672 m.s.n.m.

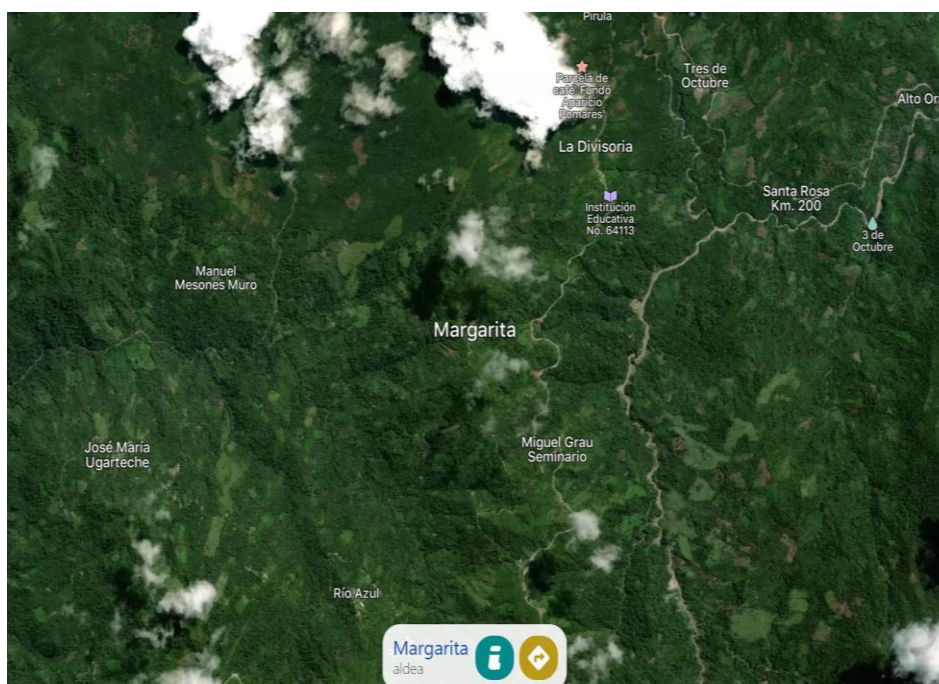


Figura 1. Ubicación de la zona de estudio.

3.1.1. Características climáticas

El distrito de Hermilio Valdizán presenta un clima tropical de selva alta caracterizado por temperaturas medias entre 18°C y 30°C, con una humedad relativa promedio del 77,5%. Su compleja topografía y sistema hidrográfico generan una diversidad de microclimas en la zona. Climáticamente se distinguen dos estaciones marcadas: una lluviosa de noviembre a marzo con precipitaciones anuales que varían entre 2 500 y 3 500 mm, seguida de una estación seca de abril a noviembre (Espinoza, 2019).

3.1.2. Ecología

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida de Holdridge (1987), el distrito de Hermilio Valdizan comprende principalmente las categorías de Bosque Muy Húmedo Premontano Tropical y Bosque Muy Húmedo Tropical, mientras que el área específica de estudio se localiza dentro de la zona de vida Bosque Húmedo Tropical.

3.1.3. Topografía

La zona presenta una topografía sumamente abrupta, ubicada en la frontera entre los departamentos de Huánuco y Ucayali, donde predominan numerosas quebradas que sirven como cauces naturales para corrientes de agua, configurando un paisaje de relieve marcadamente irregular.

3.1.4. Hidrología

El sistema hidrográfico de la zona está dominado por el río Azul, cuyo curso se origina en el sector norte del distrito de Hermilio Valdizán y, tras recorrer diversas localidades, fluye en dirección suroeste para finalmente atravesar el mencionado distrito.

3.1.5. Accesibilidad

La vía de acceso hacia el distrito es vía terrestre por una carretera asfaltada con dirección de Tingo María a Pucallpa. Partiendo desde la ciudad de Tingo María por vía terrestre el recorrido de 10 km, doblando a la margen derecha a la altura del óvalo con destino a la ciudad de Pucallpa y el tiempo es de aproximadamente 30 minutos, en automóvil.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales

Los materiales cartográficos que se utilizaron en la investigación fueron mapa de ubicación, carpeta de campo, tableta para sujetar papeles, registros históricos del año 2017 al 2024 de la fuente de información de SENAMHI y DRA-Huánuco.

3.2.2. Equipos

Los equipos serán GPS marca Garmin 62 SCx, cámara celular 12 mega píxeles, Laptop HP Omen i7.

3.3. Generalidades de la investigación

3.3.1. Tipo de investigación

Cuantitativo que permite medir sistemáticamente las variables climáticas (temperatura máxima y mínima, precipitación y humedad relativa) y su impacto en la producción de *C. arabica*, mediante la recolección de datos que fueron procesados con métodos estadísticos estructurados para establecer relaciones cuantificables y responder a los objetivos de investigación planteados (Hernández & Mendoza, 2018).

3.3.2. Nivel o alcance de investigación

Metodología dual que integra el análisis descriptivo de datos empíricos con un enfoque explicativo causal, permitiendo no solo caracterizar el fenómeno de estudio sino también determinar las relaciones causales entre variables climáticas y la productividad de *C. arabica* (Hernández & Mendoza, 2018). A través de técnicas estadísticas, se cuantificó el impacto de los factores climáticos en la producción y rendimiento del café, identificando tanto correlaciones significativas como los procesos subyacentes que explican dichas interacciones en el contexto geográfico analizado.

3.3.3. Diseño de investigación

Diseño no experimental al analizar variables preexistentes sin manipulación deliberada, observando la relación natural entre los indicadores climáticos históricos (temperatura, precipitación y humedad relativa) y la producción de *C. arabica*, donde tanto los factores climáticos como sus efectos en los cultivos son registrados retrospectivamente para su análisis estadístico sin intervención alguna (Hernández & Mendoza, 2018).

3.4. Operacionalización de variables

Tabla 3. Operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Escala de medición
Variable independiente: Variabilidad climática	Cambio climático	Precipitaciones	mm
		Temperatura máxima	°C
		Temperatura mínima	°C
		Humedad relativa	%
Variable dependiente: Producción de <i>C. arabica</i>	Producción agrícola	Producción	t
		Rendimiento	kg/ha

3.5. Población, muestra y muestreo

Analizó series históricas de variables climáticas (temperatura, precipitación, humedad) y datos productivos de *C. arabica* en el distrito de Hermilio Valdizán (Leoncio Prado), constituyendo la población de estudio.

Se seleccionaron específicamente los registros de temperatura, precipitación y humedad relativa que evidencian alteraciones significativas en sus patrones desde el periodo preindustrial, representando los cambios climáticos más relevantes para el análisis.

Para tablas y figuras, se utilizaron datos climáticos históricos (temperatura mínima y máxima, precipitación y humedad relativa), producción y rendimientos de *C. arabica* del periodo 2017-2024, aplicando un criterio de aleatorización en la selección de eventos climáticos extremos y su correspondiente impacto productivo.

3.6. Técnicas e instrumentos

3.6.1. Técnicas

Para el desarrollo de la investigación, se recopilaron datos climáticos del Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología (SENAMHI), específicamente de La Divisoria. Complementariamente, se accedió a la base de datos del aplicativo de información hidrometeorológica del SENAMHI, así como al portal agricultura.regionhuanuco.gob.pe de la Dirección Regional Agraria de Huánuco (GOREHCO) y a los registros de la Cooperativa Industrial La Divisoria. Toda esta información será debidamente tabulada y procesada para su posterior análisis.

3.6.2. Instrumentos

Se utilizaron diversas herramientas para recopilar y analizar información climática e hidrometeorológica, incluyendo bases de datos oficiales como el aplicativo del SENAMHI (<https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>), registros documentales de la Cooperativa Industrial La Divisoria y el portal de la Dirección Regional Agraria de Huánuco (GOREHCO) (<http://agricultura.regionhuanuco.gob.pe/pagina/20>), además de software de análisis como Microsoft Excel y SPSS para tabular y procesar los datos obtenidos. Toda la información fue organizada mediante tablas y formularios, garantizando su validez y confiabilidad para el posterior análisis de tendencias climáticas en la zona de estudio.

3.7. Metodología

Se utilizaron el método de observacional para examinar la relación entre los indicadores climáticos (temperatura, precipitación y humedad), productividad y el rendimiento de *C. arabica*, utilizando tanto instrumentos digitales como mecánicos para la recolección de datos, los cuales serán procesados mediante análisis estadísticos con el fin de validar las hipótesis planteadas.

3.7.1. Analizar el comportamiento de la variabilidad climática, rendimiento y producción de *C. arabica*

Para analizar el comportamiento de la variabilidad climática, el rendimiento y la producción de *C. arabica* en el distrito Hermilio Valdizán (2017-2024), se empleó estadística descriptiva mediante los siguientes pasos: (1) se calcularon medidas de tendencia central (media, mediana) y de dispersión (valor máximo, valor mínimo, desviación estándar); (2) se determinó la curtosis para evaluar el grado de concentración de los datos alrededor de la media; (3) se generaron gráficos de series temporales (líneas) y (4) se elaboraron tablas comparativas con los estadísticos obtenidos. Los análisis se realizaron de manera independiente para las variables climáticas (precipitación, temperatura y humedad relativa) y agrícolas (rendimiento, producción), sin establecer inferencias estadísticas.

3.7.2. Determinar la incidencia de la variación de la temperatura, precipitación y humedad relativa en la producción y rendimiento de *C. arabica*

Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre cada variable climática y la producción, determinando la fuerza y dirección de la relación y se interpretaron los resultados considerando la Tabla 4.

Tabla 4. Interpretación de la magnitud del coeficiente de correlación de Pearson

Rango de valores de r_{XY}	Interpretación
$0.00 \leq r_{XY} < 0.10$	Correlación nula
$0.10 \leq r_{XY} < 0.30$	Correlación débil
$0.30 \leq r_{XY} < 0.50$	Correlación moderada
$0.50 \leq r_{XY} < 1.00$	Correlación fuerte

Fuente: Hernández *et al.* (2018)

3.7.3. Determinar la relación de la temperatura, precipitación y humedad relativa en la producción y rendimiento de *C. arabica*

- Medidas de la dispersión

El análisis de dispersión permitió evaluar la variabilidad y distribución de los datos entre las variables independiente y dependiente, complementándose con una línea de tendencia que podrá mostrar una relación directa (ascendente) o inversa (descendente), utilizando para este propósito la ecuación propuesta por Gutiérrez y Vladimirovna (2016).

$$S_x^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1} \dots\dots(1)$$

- Prueba de regresión

Mediante un análisis de regresión lineal, se identificó la tendencia central para evaluar el grado de influencia de la variable independiente sobre la dependiente, aplicando para ello la ecuación metodológica propuesta por Gutiérrez y Vladimirovna (2016).

$$Y = \beta_0 + \beta_1 x + \varepsilon \dots\dots(2)$$

- Coeficiente de correlación de Pearson

Se empleó el coeficiente de correlación de Pearson para cuantificar la relación lineal entre las variables independiente y dependiente, utilizando para este análisis la ecuación propuesta por Gutiérrez y Vladimirovna (2016).

$$r = \frac{\sigma_{xy}}{\sigma_x \sigma_y} \dots\dots(3)$$

- **Coefficiente de determinación**

El coeficiente de determinación (R^2) se empleó para cuantificar el porcentaje de variabilidad de la variable dependiente explicado por el modelo, utilizando para dicho cálculo la ecuación desarrollada por Gutiérrez y Vladimirovna (2016).

$$r^2 = \frac{\sum_{t=1}^T (\widehat{Y}_t - \bar{Y})^2}{\sum_{t=1}^T (Y_t - \bar{Y})^2} \dots \dots (4)$$

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Comportamiento de la variabilidad climática, rendimiento y producción de *C. arabica*

En la Figura 2 se observa el comportamiento de la producción del café entre los años 2017 y 2024. Durante este período, la producción mostró una tendencia consistente y creciente hasta 2022, año en que alcanzó su pico máximo con 1 240 toneladas. Sin embargo, en 2023 experimentó un descenso significativo, cuando la producción se redujo a 1 082 toneladas. Para 2024, la producción de café retomó su trayectoria de crecimiento. Según Camargo (2010), las fluctuaciones anuales en la producción de café están intrínsecamente vinculadas a las condiciones climáticas, factores determinantes en el desarrollo de las fases fenológicas del cultivo, como también lo sugiere Bacsí *et al.* (2022), quienes además destacan que la producción agrícola depende considerablemente de condiciones externas incontrolables, como la calidad del suelo, la presencia de plagas y la incidencia de enfermedades.

En promedio, el cultivo registró 1 141,58 toneladas anuales, con valores extremos de 1 240 toneladas (máximo) y 1 008 toneladas (mínimo) por campaña agrícola. Además, la variabilidad de la producción se refleja en una desviación estándar de 71,04 toneladas por año, indicando fluctuaciones moderadas en la producción del cultivo (Tabla 5).

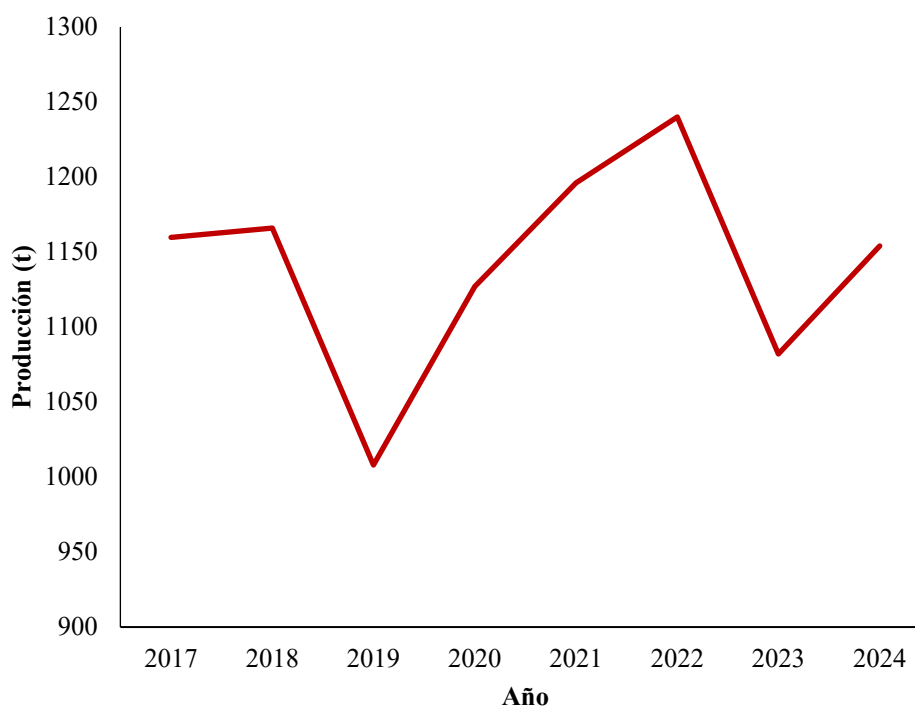


Figura 2. Comportamiento de la producción del café.

Al comparar los resultados con otras zonas productoras, se observa que el distrito de Hermilio Valdizán, situado a 1 400 msnm, presenta características productivas intermedias. Según datos de la DRA-Huánuco (2025), el distrito de Monzón, ubicado a menor altitud (962 msnm) y con un perfil climático diferente, registra una producción promedio superior de 1 349 toneladas. Por otro lado, el distrito de Cholón (provincia de Marañón), a una altitud considerablemente mayor (2 350 msnm) y bajo condiciones climáticas distintas, presenta una producción promedio más baja de 1 015,25 toneladas.

El análisis del rendimiento del café durante el período 2017-2024 revela un patrón evolutivo característico, con una primera fase de estabilidad (2017-2019) seguida por un crecimiento sostenido a partir de 2020, alcanzando su valor máximo de 600,18 kg/ha en 2024 (Figura 3). La Organización Internacional del Café (OIC, 2009) identifica la variabilidad climática como el principal factor determinante de las fluctuaciones anuales en el rendimiento cafetero a nivel global.

En consecuencia con este planteamiento Bacsi *et al.* (2022), señalan que si bien la fluctuación del rendimiento es un fenómeno normal debido a la variabilidad de las condiciones climáticas y ambientales anuales, la implementación de tecnologías adecuadas de producción puede mitigar significativamente los efectos adversos causados por anomalías ambientales típicas.

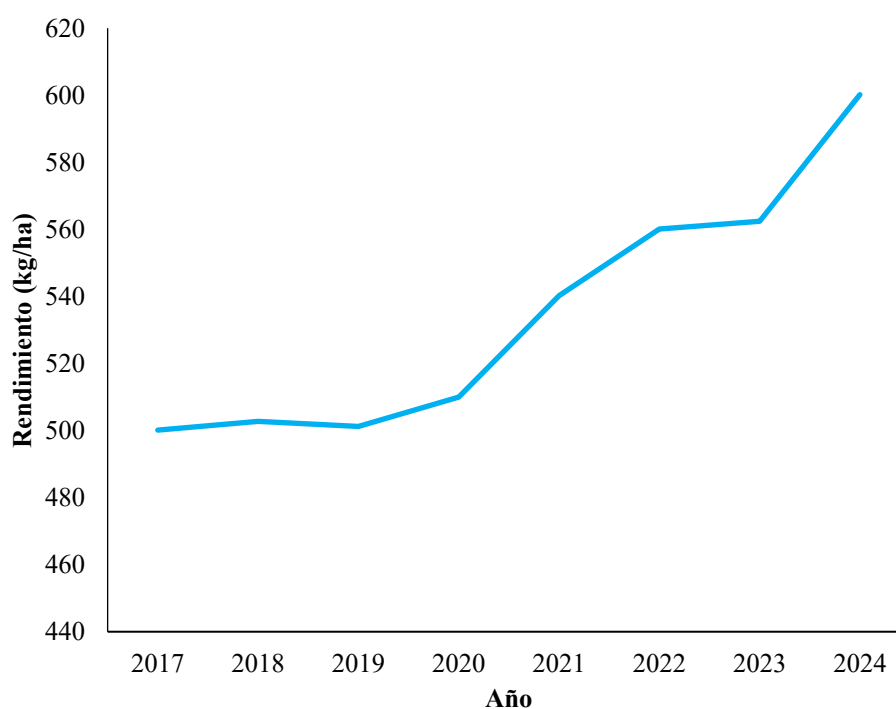


Figura 3. Comportamiento del rendimiento del café.

A lo largo del período analizado, el rendimiento promedio fue de 534,62 kg/ha, con valores extremos de 600,18 kg/ha (máximo) y 500,13 kg/ha (mínimo). La desviación estándar de 37,18 kg/ha por año (Tabla 5) indica una variabilidad moderada en los resultados por campaña agrícola.

Al contrastar estos hallazgos con los datos reportados DRA-Huánuco (2025), se observa un panorama revelador sobre las diferencias productivas entre distintas zonas cafetaleras de la región. Particularmente notable es el caso del distrito de Cholón, que presenta un rendimiento promedio significativamente superior de 752,76 kg/ha, superando en aproximadamente 40% al rendimiento observado en Hermilio Valdizán. Esta marcada diferencia podría atribuirse a diversos factores, entre ellos las condiciones edafoclimáticas particulares de Cholón, posibles diferencias en las variedades cultivadas, así como variaciones en los sistemas de manejo agronómico implementados por los productores locales.

Por otro lado, el rendimiento promedio en Hermilio Valdizán es ligeramente superior al registrado en el distrito de Monzón (531 kg/ha), aunque esta diferencia podría considerarse marginal desde una perspectiva productiva. Esta similitud sugiere que ambos distritos podrían implementar sistemas de producción con niveles tecnológicos semejantes, lo que resultaría en rendimientos prácticamente equiparables.

Respecto al análisis de temperatura durante el período 2017-2024, los registros máximos superaron consistentemente el umbral óptimo establecido, alcanzando su punto más elevado en 2024 con 23,12°C (Figura 4). La temperatura máxima promedio para la zona durante el período de estudio fue de 22,58°C, con una desviación estándar de 0,36 (Tabla 5).

De acuerdo con Gil (2019), las temperaturas que exceden los 23°C provocan un acelerado crecimiento vegetativo, lo que aumenta significativamente la mortalidad de brotes y disminuye tanto la floración como la fructificación. Estas condiciones térmicas elevadas también aceleran el envejecimiento de los frutos, interfieren con el proceso fotosintético y, consecuentemente, reducen el desarrollo general de la planta y su capacidad productiva.

No obstante, durante la visita de campo realizada, se verificó que la mayoría de los agricultores de Hermilio Valdizán implementan sistemas agroforestales (SAF). La investigación de Parada *et al.* (2022) confirmó que los SAF reducen la temperatura en un promedio de 1,9°C en comparación con áreas sin cobertura vegetal, lo que representa una estrategia adaptativa ante las condiciones térmicas adversas.

En contraste, las temperaturas mínimas se mantuvieron por debajo del límite óptimo inferior durante todos los años analizados, registrándose el valor más bajo en 2017 con 14,58 °C (Figura 4). Para este parámetro, el promedio en el período fue de 14,90°C, con una desviación estándar de 0,21 (Tabla 5).

Estas condiciones térmicas mínimas tienen implicaciones significativas para el desarrollo fenológico del cultivo. Como señala Monroig (2016), las bajas temperaturas propician un desarrollo lento y una maduración de frutos tardía en los cafetos. Si bien las temperaturas mínimas registradas se mantuvieron por encima del umbral crítico de 13°C mencionado por Gil (2019), por debajo del cual se generan problemas severos en la producción debido a afectaciones en los procesos de floración y llenado de frutos.

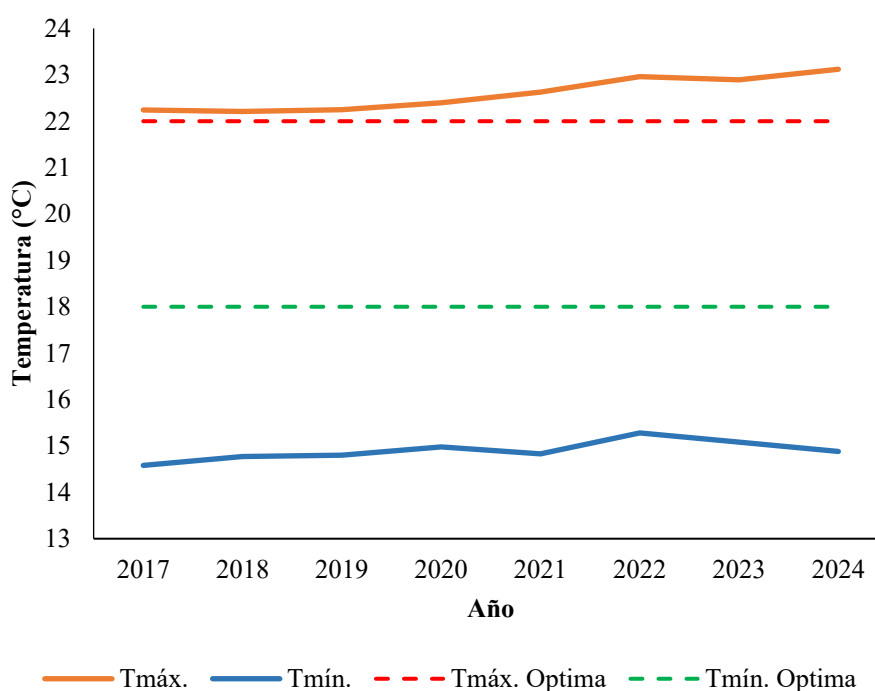


Figura 4. Comportamiento de la temperatura máxima y mínima.

Los resultados obtenidos sobre las precipitaciones en el distrito revelan un patrón complejo y variable, con un promedio anual de 3 422,14 mm, oscilando entre un máximo de 4 366,60 mm y un mínimo de 2 766,00 mm, y presentando una desviación estándar de 470,32 mm (Tabla 5).

Desde la perspectiva de los requerimientos hídricos del cultivo, los datos de SENAMHI (2021) establecen un rango óptimo de precipitación anual entre 1 400 y 3 000 mm para el café arábigo. En este contexto, el promedio de precipitaciones en Hermilio Valdizán (3 422,14 mm) supera significativamente este rango recomendado. Esta condición, según CICAFFE

(2011), puede ser potencialmente perjudicial, ya que precipitaciones superiores a los 3 000 mm pueden afectar negativamente la calidad del café y dificultar el control de plagas y enfermedades.

Según Robiglio *et al.* (2017), los agricultores han comenzado a notar cambios significativos en el clima de sus regiones. Las lluvias son ahora impredecibles: los períodos secos son más largos y cuando llueve, las precipitaciones son más intensas. Estos cambios provocan erosión del suelo y aumentan el riesgo de plagas y enfermedades en los cultivos. El patrón observado, caracterizado por un incremento significativo en 2018, seguido de una reducción gradual hasta 2022, un ligero aumento en 2023 y un nuevo descenso en 2024 (Figura 5), ejemplifica la imprevisibilidad de las precipitaciones descrita por los productores.

Un aspecto particularmente crítico lo constituye el impacto de estas condiciones pluviométricas en la dinámica de plagas. Jaramillo *et al.* (2009) destacan que la broca del café (*Hypothenemus hampei*), principal plaga del cultivo en la zona, ve su dinámica de infestación directamente influenciada por factores climáticos como la precipitación y la humedad relativa. El exceso de precipitaciones observado (promedio de 3 422,14 mm) podría crear condiciones propicias para la proliferación de esta plaga, así como para el desarrollo de enfermedades en el cultivo.

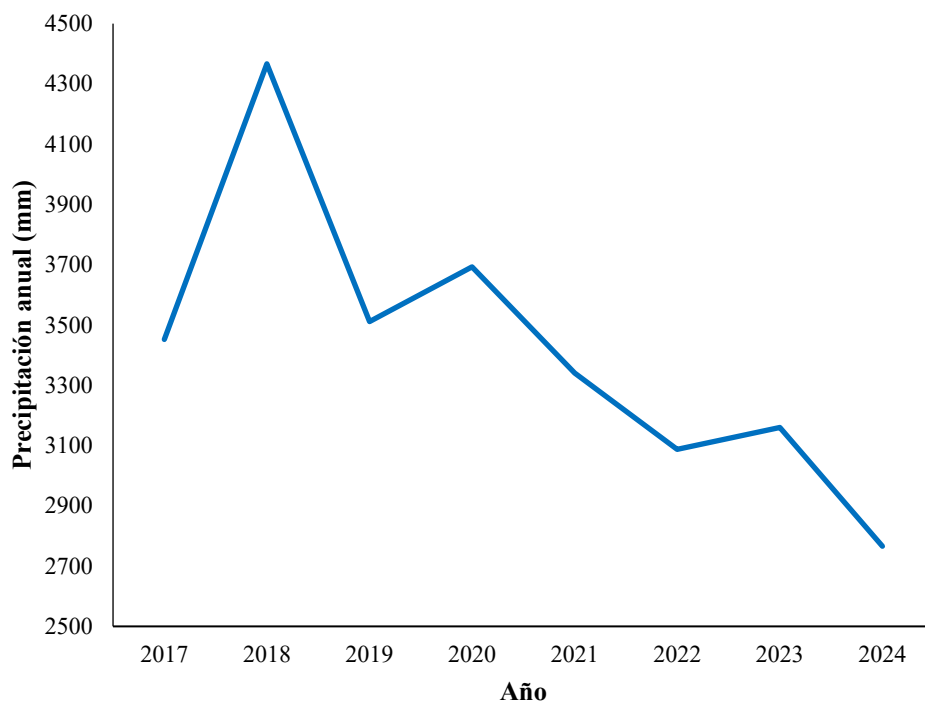


Figura 5. Comportamiento de la precipitación.

En cuanto al comportamiento de la humedad relativa, se observa un incremento gradual desde 2017 hasta alcanzar un máximo en 2019, a partir de ahí, se registra una caída hasta el 2021, seguida de un incremento hasta el 2024 (Figura 6). La humedad relativa promedio para todo el período fue de 90,58%, oscilando entre un máximo de 91,50% y un mínimo de 89,55%, presentando una desviación estándar de 0,70 (Tabla 5).

Según Burbano *et al.* (2022), el rango óptimo de humedad relativa para el cultivo de café se sitúa entre 70% y 90%, destacando su importancia sobre el crecimiento de tejidos, transpiración de la planta, fecundación de las flores, entre otras. En este contexto, los valores registrados en Hermilio Valdizán no solo se encuentran dentro del rango recomendado, sino que se posicionan consistentemente en el límite superior del mismo, rozando e incluso superando ligeramente el máximo recomendado.

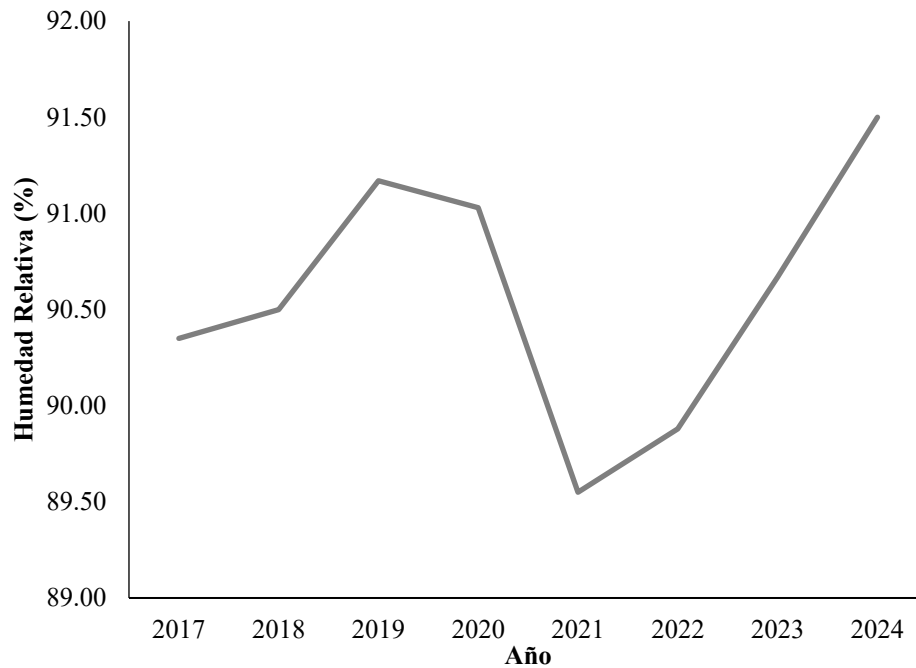


Figura 6. Comportamiento de la humedad relativa.

Tabla 5. Estadística descriptiva de la variabilidad climática y la producción de café del 2017 al 2024

Estadístico	Producción de café	Rendimiento de producción	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación	Humedad relativa
Media	1 141,58	534,62	22,58	14,90	3 422,14	90,58
Mediana	1 156,90	525,07	22,51	14,85	3 396,20	90,43
Valor máximo	1 240	600,18	23,12	15,26	4 366,60	91,50
Valor mínimo	1 008	500,13	22,21	14,58	2 766,00	89,55
Desviación estándar	71,04	37,18	0,36	0,21	470,32	0,65
Curtosis	0,94	0,67	1,83	3,82	1,92	1.19

4.2. Incidencia de la variabilidad de la temperatura, precipitación y humedad relativa en la producción de *C. arabica*

La temperatura máxima presenta una relación directa con la producción y rendimiento del café, evidenciando que sus incrementos provocan un aumento en ambos parámetros productivos. Según el análisis de correlación de Pearson (Tabla 6), se obtuvo un coeficiente de 0,33 para la relación temperatura-producción, lo que indica una asociación directa de intensidad moderada. En contraste, la relación temperatura-rendimiento presentó un coeficiente de 0,98, evidenciando una correlación directa de alta significancia estadística.

Tabla 6. Correlación de Pearson entre la variabilidad climática y la producción y rendimiento del café del 2017 al 2024

Estadístico	Producción de café	Rendimiento de producción	Temperatura máxima	Temperatura mínima	Precipitación	Humedad relativa
Producción de café	1	0,29	0,33	0,24	-0,1	-0,64
Rendimiento de producción	0,29	1	0,98	0,53	-0,81	0,11
Temperatura máxima	0,33	0,98	1	0,66	-0,82	0,02
Temperatura mínima	-0,24	-0,53	0,66	1	-0,38	-0,13
Precipitación	-0,1	-0,81	-0,82	-0,38	1	-0,1
Humedad relativa	-0,64	0,11	0,02	-0,13	-0,1	1

Estos resultados presentan contrastes notables cuando se comparan con estudios previos realizados en diferentes contextos cafetaleros. En el caso de la relación temperatura-producción, nuestros hallazgos difieren de lo reportado por Arango y Gonzales (2021), quienes encontraron una relación inversa, aunque débil, con un coeficiente de Pearson de -0,023. De manera similar, Ñique (2021) también documentó una correlación inversa con un valor de -0,03. Estas discrepancias sugieren que el comportamiento de la producción cafetalera frente a las temperaturas máximas puede estar fuertemente influenciado por las condiciones específicas de cada zona de estudio, incluyendo factores como la altitud, las características del suelo y las prácticas de manejo implementadas.

Sin embargo, nuestros resultados encuentran cierta consonancia con lo reportado por Saavedra (2020), quien también identificó una relación directa, aunque débil, entre la temperatura y la producción de café. Esta coincidencia parcial podría indicar que, bajo determinadas condiciones agroclimáticas, el incremento de las temperaturas máximas puede efectivamente favorecer la producción cafetalera, siempre que se mantengan dentro de rangos tolerables para el cultivo y no generen estrés térmico.

En cuanto a la relación temperatura máxima-rendimiento, nuestro hallazgo de una correlación directa altamente significativa ($r=0,98$) encuentra respaldo parcial en el estudio de Jayakumar *et al.* (2016), quienes también documentaron una correlación positiva entre la temperatura máxima y el rendimiento de *C. arabica*, aunque con un coeficiente menor ($r=0,7$). Esta convergencia de resultados sugiere que, bajo determinadas condiciones, las temperaturas máximas elevadas pueden efectivamente potenciar los procesos fisiológicos que contribuyen al rendimiento del café. No obstante, el panorama científico sobre esta relación dista de ser unánime. Bugingo (2018) reportó resultados diametralmente opuestos, encontrando una relación inversa significativa entre la temperatura máxima y el rendimiento del café, con un valor de $r=-0,26$.

De manera similar, la temperatura mínima exhibe una relación directa con los parámetros productivos del café. Los resultados demuestran que los incrementos en la temperatura mínima favorecen tanto la producción como el rendimiento del cultivo. El análisis estadístico arrojó coeficientes de correlación de Pearson de 0,24 para producción, lo que indica una asociación directa de intensidad débil. En contraste, la relación temperatura mínima-rendimiento presentó un coeficiente de 0,53, evidenciando una correlación fuerte (Tabla 6).

Al contrastar estos hallazgos con investigaciones previas, se observan tanto coincidencias como discrepancias. En relación con la correlación temperatura mínima-producción, nuestros resultados ($r=0,24$) muestran cierta consonancia con lo reportado por Arango y Gonzales (2021), quienes también encontraron una relación directa, aunque más débil, con un coeficiente de Pearson de 0,08. Esta coincidencia en la dirección de la correlación, aunque con diferente intensidad, sugiere que, en determinados contextos cafetaleros, el incremento de las temperaturas mínimas puede efectivamente favorecer la producción del cultivo, posiblemente al reducir el estrés térmico por frío y propiciar mejores condiciones para procesos fisiológicos clave como la floración y el cuajado de frutos.

Sin embargo, en lo que respecta a la relación temperatura mínima-rendimiento, nuestros hallazgos ($r=0,53$) contrastan notablemente con la literatura científica consultada. Jayakumar *et al.* (2016) encontraron una relación inversa débil entre el rendimiento y la temperatura mínima ($r=-0,2$), mientras que Bugingo (2018) reportó una correlación inversa considerablemente más fuerte ($r=-0,66$). Esta discrepancia en los resultados podría deberse a diferencias en las condiciones agroclimáticas de las zonas estudiadas que podrían estar modulando la respuesta del café a las temperaturas mínimas en diferentes contextos agroclimáticos.

En cuanto a la relación entre las precipitaciones pluviales con la producción y el rendimiento del café, se observa una relación inversa, evidenciando que el incremento en los niveles de lluvia tiende a propiciar una disminución en ambos parámetros productivos. El análisis estadístico reveló coeficientes de correlación de Pearson de -0,1 para la relación precipitación-producción, indicando una asociación negativa débil, y de -0,81 para la relación precipitación-rendimiento, lo que evidencia una correlación inversa de alta significancia (Tabla 6).

Ñique (2021) encontró una relación directa entre la precipitación y la producción de café con un coeficiente de Pearson de 0,49, lo cual difiere de nuestros resultados. Esta discrepancia puede explicarse por las diferencias significativas en los regímenes pluviométricos de ambas zonas de estudio. Mientras que, en La Convención, donde se realizó la investigación de Ñique, el promedio de precipitación total anual es de 1 275 mm, en nuestra área de investigación este valor asciende a 3 422,14 mm. Esta cantidad considerablemente mayor de precipitación supera el nivel óptimo para el cultivo del café, lo cual explicaría la correlación inversa observada en nuestro estudio. Cuando las precipitaciones superan los requerimientos hídricos ideales de la planta, pueden generar efectos adversos como la lixiviación de nutrientes, problemas fitosanitarios o afectaciones en la floración y cuajado del fruto. Así mismo, Félix & Figueroa (2018) encontraron una relación directa entre la precipitación y la producción de café

En contraste, Saavedra (2020) reportó una relación directa negativa muy débil entre estas variables, lo que se alinea parcialmente con nuestros hallazgos sobre la relación precipitación-producción (-0,1), que también muestra una asociación negativa débil.

Estos hallazgos contrastan con lo reportado por Bustamante *et al.* (2015), quienes encontraron una fuerte relación entre las precipitaciones anuales y los rendimientos máximos estables, sugiriendo una asociación más favorable entre estas variables.

En contraposición, y más en línea con nuestros resultados, Jayakumar *et al.* (2016) encontraron una relación inversa débil entre el rendimiento y la precipitación ($r=-0,4$), aunque con un coeficiente menos pronunciado que el observado en nuestra investigación ($r=-0,81$). Esto refuerza la idea de que el exceso de precipitaciones puede ser perjudicial para el rendimiento del café.

Curiosamente, Bugingo (2018) reportó una relación directa entre el rendimiento y la precipitación, aunque con un coeficiente casi nulo ($r=0,008$), lo que sugiere prácticamente una ausencia de correlación entre ambas variables en dicho contexto.

El análisis de la humedad relativa revela un comportamiento diferenciado en su influencia sobre los parámetros productivos del café. Por un lado, presenta una relación inversa significativa con la producción, con un coeficiente de correlación de Pearson de $-0,64$, lo que indica que los incrementos en la humedad relativa están asociados a disminuciones considerables en la producción cafetera. Por otro lado, su relación con el rendimiento muestra una tendencia opuesta, evidenciando una correlación directa, aunque de baja intensidad ($r = 0,11$). Esto sugiere que niveles más elevados de humedad relativa favorecen ligeramente el rendimiento del cultivo, pese a su efecto negativo sobre la producción total.

Saavedra (2020) encontró una relación directa positiva débil entre la humedad relativa y la producción, lo que contrasta notablemente con nuestros hallazgos, donde se observó una correlación negativa considerable ($r = -0,64$). Esta discrepancia podría atribuirse a diferencias en las condiciones agroecológicas específicas de cada zona de estudio, incluyendo la interacción de la humedad relativa con otros factores climáticos como temperatura, radiación solar y precipitaciones. Asimismo, es posible que existan umbrales críticos de humedad relativa que, al ser superados, transformen su efecto de beneficioso a perjudicial para la producción cafetalera.

Por otra parte, Jayakumar *et al.* (2016) reportaron que el rendimiento del café *C. arabica* se correlacionó positivamente con la humedad relativa ($r = 0,4$), lo cual coincide con la tendencia observada en nuestra investigación, aunque con una intensidad considerablemente mayor que la detectada en nuestro estudio ($r = 0,11$). Esta convergencia de resultados refuerza la hipótesis de que niveles adecuados de humedad relativa pueden favorecer aspectos fisiológicos relacionados con la calidad y peso del grano, que son componentes fundamentales del rendimiento.

4.3. Relación de la variabilidad de temperatura, precipitación y humedad relativa con la producción de *C. arabica*

Analizando las estimaciones para la producción de café, la Tabla 5 revela que la temperatura máxima es la variable con mayor influencia explicativa, seguida por la temperatura mínima, la humedad relativa y finalmente la precipitación. Cabe recalcar que el R^2 ajustado en la regresión aplicada es relativamente bajo, por ende, los cambios en las variables independientes no explican de manera consistente las variaciones en la producción de café ya que el valor de R^2 ajustado es de 13,44%.

Tabla 7. Estimación del modelo para la producción y rendimiento del café del 2017 al 2024

Variables	Producción de café (t)	Rendimiento de la producción (kg/ha)
Temperatura máxima	196,35	129,82
Temperatura mínima	-100,47	-42,70
Precipitación	0,083	0,012
Humedad relativa	-70,87	3,55
R²	0,6291	0,9976
R² ajustado	0,1344	0,9944
F stat.	1,272	316,49
Sig.	0,439	0,000

Respecto al nivel de significancia individual, todas las variables presentan valores superiores al 5%, lo que indica que no son estadísticamente significativas al nivel de confianza establecido. Es importante resaltar que la base de datos empleada ha facilitado la obtención de resultados a corto plazo. A pesar de esta limitación estadística, los coeficientes estimados sugieren las siguientes relaciones: un incremento del 1% en la temperatura máxima se asociaría con un aumento de 196,35 toneladas en la producción cafetalera; un incremento similar en la temperatura mínima correspondería a una disminución de -100,47 toneladas; mientras que un incremento del 1% en las precipitaciones se relacionaría con un aumento de 0,083 toneladas. En contraste, un incremento del 1% en la humedad relativa se vincularía con una reducción de 70,87 toneladas en dicha producción (Tabla 7).

Según los datos existentes, la producción de café en Hermilio Valdizan no sufre impactos por la variabilidad del clima, gracias tanto a su posición geográfica como a las técnicas de cultivo empleadas por los agricultores locales. Al estar ubicado lejos de la costa peruana, este distrito presenta menor vulnerabilidad frente a las consecuencias del cambio climático. Cabe destacar que, conforme al IPCC (2014), los territorios con mayor riesgo y que experimentarán los efectos más severos del cambio climático son principalmente las pequeñas islas, zonas costeras, grandes ciudades, áreas montañosas y regiones polares.

Estos hallazgos presentan similitudes y diferencias al contrastarlos con investigaciones previas. Torres *et al.* (2015) reportaron resultados comparables en su estudio realizado en Espíndola, donde concluyeron que los cambios en las variables climáticas no explican consistentemente las variaciones en la producción de café, con valores de R² oscilando entre -2% y 4%. Esta consonancia en los bajos coeficientes de determinación sugiere que, en

ambos contextos, la producción cafetalera está sujeta a una multiplicidad de factores que trascienden las variables climáticas analizadas, posiblemente incluyendo aspectos agronómicos, biológicos y socioeconómicos no contemplados en los modelos.

En contraste, Alfonse *et al.* (2018) encontraron resultados sustancialmente diferentes en su estudio en Veracruz, Chiapas y Oaxaca, donde identificaron que las variaciones en la producción del café son explicadas principalmente por las precipitaciones y no por la temperatura, con un R^2 considerablemente alto de 0,703. Está marcada discrepancia con nuestros resultados, donde la temperatura máxima emerge como la variable de mayor influencia y la precipitación como la de menor impacto. Es plausible que en regiones con regímenes pluviométricos más limitados o irregulares, como podrían ser ciertas zonas de México, la precipitación constituya un factor limitante crítico para la producción, mientras que, en nuestra área de estudio, con alta pluviosidad (>3000 mm) la temperatura adquiera mayor relevancia como modulador del desarrollo y productividad del cultivo.

Rayo *et al.* (2013) señalaron que el factor climático principal que puede afectar la productividad del cultivo de café (*C. arabica*) es la disminución esperada de la precipitación. Si bien esta afirmación no contradice directamente nuestros hallazgos, enfatiza un aspecto que nuestro modelo no identificó como determinante. Cabe mencionar que los autores refieren a proyecciones futuras en escenarios de cambio climático, mientras que nuestro análisis se basa en datos históricos, donde la precipitación ha sido relativamente constante y no un factor limitante.

Por último, Ferreira *et al.* (2019) reportaron que la temperatura mínima media anual es la variable más importante para la producción de café en Brasil, lo cual se alinea parcialmente con nuestros resultados que identifican la temperatura (aunque en nuestro caso la máxima) como un factor relevante. Sin embargo, estos autores destacan un aspecto crucial no contemplado en nuestro estudio: la implementación de insumos tecnológicos como el factor principal para incrementar la productividad y producción cafetalera. Esta observación podría explicar, en parte, el bajo poder explicativo de nuestro modelo basado exclusivamente en variables climáticas, sugiriendo que la incorporación de factores tecnológicos y prácticas agronómicas podría enriquecer significativamente la comprensión de la variabilidad en la producción de café.

Realizando un análisis a los factores determinantes del rendimiento en la producción cafetalera, se obtuvo una bondad de ajuste de 99,44%, lo que confirma la alta consistencia del modelo estadístico, indicando que las variables independientes explican el

99,44% de la variabilidad en el rendimiento. La prueba de significancia individual para todas las variables arroja valores inferiores al 5%, confirmando su relevancia estadística e influencia significativa sobre la variable dependiente (Tabla 5). Este hallazgo contrasta significativamente con lo reportado por Jayakumar *et al.* (2016), quienes obtuvieron un valor de R^2 de 0,57 entre las variables climáticas y el rendimiento del café. Está marcada diferencia en el poder explicativo de los modelos podría atribuirse a diferencias metodológicas o a particularidades agroecológicas de las zonas de estudio que podrían hacer que la respuesta del cultivo a las variables climáticas sea más predecible y consistente en nuestra área de investigación.

Uno de los hallazgos más destacables de nuestro estudio es el efecto adverso de la temperatura mínima sobre el rendimiento, donde un incremento del 1% se traduciría en una reducción de 42,70 kg/ha. Este resultado encuentra respaldo en la literatura científica reciente. Craparo *et al.* (2015) identificaron el aumento de las temperaturas mínimas como un factor crucial para la reducción del rendimiento en la producción de café, señalando que temperaturas mínimas más elevadas aceleran el período de maduración del café Arábica, reduciendo tanto los rendimientos como la calidad. Más específicamente, estos autores proyectaron que un aumento de la temperatura mínima por encima de 1°C conduciría a una disminución del rendimiento de Arábica de aproximadamente $137 \pm 16,87$ kg/ha para 2060 en Tanzania. Si bien la magnitud del efecto encontrado en nuestro estudio es considerablemente menor, la dirección del impacto coincide, reforzando la hipótesis de que el incremento en las temperaturas nocturnas representa una amenaza significativa para la sostenibilidad productiva del café.

Por otra parte, nuestros resultados indican que un incremento del 1% en la temperatura máxima se traduciría en un aumento de 129,82 kg/ha en el rendimiento del cultivo, lo que parecería contradecir la percepción generalizada sobre los efectos negativos del calentamiento global en la caficultura. Sin embargo, este hallazgo podría alinearse con lo reportado por Torres (2010), quien identificó una relación cóncava entre el rendimiento del café y los niveles de temperatura, señalando que, ante un aumento en la temperatura mínima y máxima, el rendimiento del cultivo aumentaría en un 41%. Esta aparente contradicción con respecto al efecto de la temperatura mínima podría explicarse si consideramos que el estudio de Torres no diferencia los efectos específicos de las temperaturas máximas y mínimas, sino que analiza un efecto combinado o promedio.

Es importante contextualizar estos resultados en el marco de las proyecciones climáticas actuales. El IPCC pronostica una disminución del 10-20% en los rendimientos totales de los cultivos mundiales para 2050, lo que sugiere que, aunque actualmente ciertas variables

como la temperatura máxima puedan estar ejerciendo un efecto positivo en el rendimiento del café en nuestra área de estudio, la tendencia a largo plazo podría ser menos favorable si se superan ciertos umbrales críticos.

En cuanto a la humedad relativa y las precipitaciones, nuestro modelo indica que incrementos del 1% en estas variables resultarían en aumentos marginales en el rendimiento (3,55 kg/ha y 0,0012 kg/ha, respectivamente). Estos efectos positivos, aunque modestos, contrastan con la afirmación de Camargo (2010), quien sugiere que la humedad relativa, si bien influye en muchos procesos fisiológicos del cafeto, generalmente no desempeña un papel tan importante como las condiciones térmicas y pluviométricas en la definición del rendimiento potencial o las limitaciones ecológicas para este cultivo. En nuestro estudio, la humedad relativa muestra un efecto estadísticamente significativo, aunque su impacto cuantitativo es considerablemente menor que el de la temperatura máxima.

V. CONCLUSIONES

1. El cultivo presentó una producción promedio de 1 141,58 toneladas anuales, mientras que el rendimiento mostró un promedio de 534,62 kg/ha. Las condiciones climáticas revelaron temperaturas máximas (22,58°C) superiores al óptimo y mínimas (14,90°C) inferiores al límite recomendado, con precipitaciones altamente variables (3 422,14 mm) y humedad relativa oscilante (90,58%)
2. Los resultados mostraron que la temperatura máxima y mínima tuvieron correlaciones moderadas y fuertes con la producción ($r = 0,33$ y $0,24$) y el rendimiento ($r = 0,98$ y $0,53$), respectivamente. La precipitación presentó una relación inversa significativa con el rendimiento ($r = -0,81$), mientras que la humedad relativa mostró un impacto negativo en la producción ($r = -0,64$)
3. Para la producción total, el modelo mostró un bajo poder explicativo ($R^2=13,44\%$), con variables no significativas ($p>0,05$). En cambio, el modelo de rendimiento tuvo una alta capacidad explicativa ($R^2=99,44\%$), con todas las variables estadísticamente significativas ($p<0,05$).

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Considerar los factores externos tales como la calidad del suelo, la presencia de plagas y la incidencia de enfermedades.
2. Para futuras investigaciones se recomienda recolectar datos de un centro poblado específico ubicado cerca de una estación meteorológica.
3. Desarrollar programas de capacitación en buenas prácticas agrícolas y manejo integrado de plagas adaptadas a la variabilidad climática.

VII. REFERENCIAS

- Acuña, D. & Robles, D. (2015). Manual de Meteorología y de Gestión de la Información Climática. Proyecto "Asegurando el Agua y los Medios de Vida en la Montaña".
- Alfonse, A., Trejo, J., Martínez, M. (2018). Opción climática para la producción de café en México. *Ens. Rev. econ.*, Monterrey, v. 37, n. 2, p. 135-154. Disponible: https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S244884022018000200135
- Andrade, M. C. y Muñoz, C. (2012). La didáctica crítica: una opción pedagógica para la universidad de hoy. *Revista de investigaciones UNAD*. Vol. 11. N° 2. https://www.researchgate.net/publication/318357814_La_didactica_critica_una_opcion_pedagogica_para_la_universidad_de_hoy
- Arango, K., Gonzales, C. (2021). Variabilidad climática y su influencia en la producción del café: Una revisión sistemática. Universidad Cesar Vallejo. Tesis de grado. <https://repositorio.ucv.edu.pe/handle/20.500.12692/135820>
- Blackmore, I., Rivera, C. y Waters, W. (2021). El impacto de la estacionalidad y la variabilidad climática en la seguridad de los medios de subsistencia de los Andes ecuatoriana. *Climate Risk Management*. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v12n1/2306-6741-agro-12-01101.pdf>
- Bouroncle, C., Imbach, P., Beardsley, M., Medellín, C., Laderach, P., Hidalgo, H., Alfaro, E., Van Etten, J., Allan, R., Hemming, D., Stone, R., Hannah, L y Donatti, C. I. (2017). *Climate change, ecosystems and smallholder agricultura in Central America: an introduction to the special issue*. Edit. Climate Change. Springer Science + Business Media Dordrecht. <file:///C:/Users/UNAS/Downloads/s10584-017-1920-5.pdf>.
- Bugingo, S. (2018). Impact of temperature and rainfall variability on coffee production in Maraba. University of Rwanda. Postgraduate thesis. Obtained from <https://dr.ur.ac.rw/bitstream/handle/123456789/531/Thesis%20BUGINGO%20Samuel.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Burbano Salazar, J.M. (2016). Evaluación del impacto de la variabilidad climática interanual y cambio climático en el cultivo de café en Colombia. [Tesis de Maestría]. Santiago de Chile: Universidad de Chile. Disponible en: <https://n9.cl/8kwe>

- Burbano, P., Valencia, A., Lagos-Burbano, T. (2022). Componentes de rendimiento en *Coffea arabica* L. en tres zonas altitudinales del sur de Colombia. *Revista de Investigación Agraria y Ambiental*, 13(1), 51 – 62. DOI: <https://doi.org/10.22490/21456453.4350>
- Bustamante, C., Pérez, A., Rivera, R., Martín, G., Viñals, R. (2015). Influencia de las precipitaciones en el rendimiento de *Coffea canephora* Pierre ex Froehner cultivado en suelos Pardos de la región oriental de Cuba. *Cultivos Tropicales*, 36(4), 21-27. Recuperado de http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258593620-15000400003&lng=es&tlng=es
- Camargo, M. (2010). The impact of climatic variability and climate change on *Arabic Coffee* crop in Brazil. *Bragantia* 69: 239-247.
- CCI. (Cámara del Comercio Internacional). (2011). La guía del café - Compendio. Guía del café. Disponible en: <https://n9.cl/e4ifq>
- Centro de Investigaciones en Café-CICAFFE. (2011). Guía Técnica para el Cultivo del Café. 1^{ra} ed. Heredia, Costa Rica. 72 p.
- CPCC. (Cámara Peruana de Café y Cacao). (2016). Reduciendo la vulnerabilidad al cambio climático del sector cafetalero en Guatemala. Manual Técnico para el fortalecimiento del sector de café en Guatemala frente al cambio climático. Disponible en: <https://repositorio.catie.ac.cr/handle/11554/8393>
- CPCC. (Cámara Peruana de Café y Cacao). (2017). Estudio de mercado del café peruano: Posición internacional y el segmento de café sostenibles. *Café y clima*. Disponible en: <https://n9.cl/7nqpc>
- Craparo, A., Van Asten, P., Läderach, P., Jassogne, L., Grab, S. (2015). *Coffea arabica* yields decline in Tanzania due to climate change: Global implications. *Agricultural and Forest Meteorology*. 7. Pág. 1-10. <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2015.03.005>
- Del Águila Solano, D. (2018). Análisis estratégico del sector cafetalero en la región San Martín. [Tesis de Maestría]. Tarapoto - Perú: Universidad Científica del Perú. Disponible en: <http://repositorio.ucp.edu.pe/handle/UCP/596>
- Díaz Vargas, C. y Carmen Willems, M., (2017). Línea de base del sector café en el Perú. S.I.: PNUD. Disponible en: <https://n9.cl/28q7>
- Dirección Regional de Agricultura de Huánuco - DRAH. (2025). Campañas agrícolas. Obtenido: <http://agricultura.regionhuanuco.gob.pe/pagina/20>

- EFEVERDE. (2020). El cambio climático ¿nos dejará sin café? EFEverde. Disponible en: <https://n9.cl/h6hox>
- Espinoza, N. D. (2019). Efecto de cuatro dosis de dolomita en las propiedades físicas y químicas del suelo en una plantación de *Schizolobium parahyva* Var. Amazonicum (Pino Chunchu), en Antonio Raymondi – Las Vegas – Daniel Alomia Robles. [Tesis de grado]. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María Perú. 96 p. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/20.500.14292/1610/EVND_2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Felix, R., & Figueroa, R. (2018). Cambio climático y producción del café en el valle de La Convención, Cusco: 2000-2016. Universidad Global, Cusco.
- Ferreira, W. P. M., Ribeiro Júnior, J. I., & de Fátima Souza, C. (2019). Climate change does not impact on *Coffea arabica* yield in Brazil. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 99(12), 5270-5282.
- Gil, D., Vílchez, A., Toscano, J. C., y Macías, O. (2014). Frenar el cambio climático. Artículo. OEI. ISBN 978-84-7666-213-7. <https://www.oei.es/decada/accion.php?accion=13>
- Gil, M. (2019). Indicadores bióticos del cambio climático: casos granadilla y café. *Rev Yachay*. 8 (1). 522-529 p.
- Gutiérrez, E. & Vladimirovna, O. (2016). Estadística inferencial 1. Para ingeniería y ciencias. Grupo editorial patria S. A. https://www.sancristoballibros.com/libro/estadistica-inferencial-1_66907
- Guzmán Vidal, F.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. [Tesis de Maestría]. Lima: Universidad Nacional Agraria La Molina. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/UNALM/1075>
- Haggar, J.P. y Baker, P.S. (2007). Global warming: the impact on coffee. , vol. 9, no. 53, pp. 1689-1699. 2007. ISSN CBO9781107415324.004. Hernández & Mendoza. (2018). Metodología de la investigación "Las Rutas Cuantitativas, Cualitativas y Mixtas". MÉXICO.
- Hernández-Sampieri, R. & Mendoza, C. (2018). Metodología de la investigación. Las rutas cuantitativa, cualitativa y mixta. *Revista Universitaria Digital de Ciencias Sociales*.

- (RUDICS). Universidad Autónoma de México https://virtual.cuautitlan.unam.-mx/rudics/wpcontent/uploads/2019/02/RUDICSv9n18p92_95.pdf
- Holdridge, L. (1978). *Ecología basada en zonas de vida*. Editorial IICA. Instituto Interamericano de Ciencias Agrícolas.
- Hruska, A.J. y Rivillas O, C.A. (2015). *Manejo agroecológico de la roya del café: Memorias del seminario científico internacional*. Rome, Italy: FAO. Disponible en: <http://www.fao.org/3/a-i5137s.pdf>. ISBN 978-92-5-308966-6.
- ICO. (International Coffee Organization). (2011). Aspectos botánicos del café. Disponible en: http://www.ico.org/es/botanical_c.asp
- ICO. (International Coffee Organization). (2019). International Coffee Organization - Datos históricos. Disponible en: http://www.ico.org/es/new_historical_c.asp
- INEI (2012). Resultados definitivos. IV Censo Nacional Agropecuario. Lima. Instituto Nacional de Estadística e Informática; Ministerio de Agricultura y Riego. (Disponible en: <http://proyec-tos.inei.gob.pe/web/DocumentosPublicos/ResultadosFinales>)
- International Coffee Organization (ICO). (2009). *Climate change and coffee*. Report presented to the International Coffee Council 103rd session. 23–25th September 2009. London, UK.
- IPCC. (2007). Summary for Policymakers. pp. 2–18. In *Climate Change 2007*, published for the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. Cambridge.
- IPCC. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). (2013). *CAMBIO CLIMÁTICO: Bases Físicas. Resumen para Responsables de Políticas*. Quinto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de expertos sobre el Cambio Climático - IPCC. Suiza.
- IPCC. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). (2014.). *CAMBIO CLIMÁTICO. Quinto Informe de Síntesis de la Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático*. Ginebra - Suiza.
- IPCC. (Grupo Intergubernamental de Expertos sobre Cambio Climático). (2019). *El Cambio Climático y la Tierra. Informe Especial sobre el Cambio Climático, la Desertificación, la Degradación de la Tierra, la gestión Sostenible de las Tierras, la Seguridad Alimentaria y los Flujos de Gases de Efecto Invernadero en los Ecosistemas*. Ginebra - Suiza.

- Jaramillo, J.; Chaby-Olaye, A.; Kamonjo, C.; Jaramillo, A.; Vega, F.; Poehling, H.; Borgemeister, C. (2009). Thermal tolerance of the coffee berry borer *Hypothenemus hampei*: Predictions of climate change impact on a tropical insect pest. *PlosOne* 4(8):1-11.
- Jayakumar M, Rajavel M, Surendran U. (2016). Climate-based statistical regression models for crop yield forecasting of coffee in humid tropical Kerala, India. *Int J Biometeorol.* 60 (12): 1943-1952. Doi: [10.1007/s00484-016-1181-4](https://doi.org/10.1007/s00484-016-1181-4)
- Julio, P. (2014). Cambio Climático y Agricultura una relación con un fuerte impacto en el Perú. *La Revista Agraria*, 22 - 23.
- Lozano-Povis, A., Alvarez-Montalvan, C. E., Moggiano, N. (2021). El cambio climático en los andes y su impacto en la agricultura: una revisión sistemática. *Review Scientia Agropecuaria.* Universidad Nacional de Trujillo. <http://www.scielo.org.pe/pdf/agro/v12n1/2306-6741-agro-12-01-101.pdf>.
- MINAGRI. (2015). Ministerio de Agricultura y Riego. Obtenido de Problemas Tipo de la Agricultura Peruana: [http:// minagri.gob.pe/portal/objetivos/22-sector agrario/visi-ongeneral/190-problemas-en-la-agricultura-peruana](http://minagri.gob.pe/portal/objetivos/22-sector_agrario/visi-ongeneral/190-problemas-en-la-agricultura-peruana).
- MINAGRI. (Ministerio de Agricultura y Riego). (2003). Caracterización de las zonas cafetaleras en el Perú. Final. Lima: Ministerio de Agricultura. Disponible en: <https://n9.cl/68tx>.
- MINAGRI. (Ministerio de Agricultura y Riego). (2016). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola y Ganadera 2015. Lima. Disponible en: http://siea.minagri.gob.pe/siea/sites/default/files/anuario_produccion_agricola_ganadera_2015.pdf.
- Monroig, M. (2016). El café y el cambio climático. Puerto Rico. Recuperado de: http://academic.uprm.edu/mmonroig/HTMLobj1657/El_Cafeto_y_el_Cambio_Climatico.pdf
- Monroig, M.F. (2005). Descripción botánica del café. *Ecos del café*. Disponible en: <https://n9.cl/j0bt>
- Morales & Zuniga. (2016). Impactos del Cambio Climático en la Agricultura y Seguridad Alimentaria. *Iberoamericana de Bioeconomía y Cambio Climático*, 1. <https://camjol.info/index.php/RIBCC/article/view/5700>

- Navarro, L. (2015). El cambio climático y la caficultura: La caficultura peruana, ayer y hoy. 2015. S.l.: Info Cafés. Disponible en: <https://n9.cl/td6x0>.
- Nieto & Costa. (2018). Entendiendo el Clima de la la Cuenca del Río Mantaro - Perú. Lima. Obtenido de <http://cuencasresilientes-ciifen.org/es/images/pdf/Entendiendo-el-clima-de-la-cuenca-del-rio-Mantaro.pdf>
- Novelli, M. H & Tabares, J. C. (2014). El cambio climático y el comercio de derechos de emisión en la Unión Europea. ISSN 1993-450. N° 17.
- Ñique, R. (2021). Cambio climático y su relación con la producción de café en el valle de la Convención periodo 2000 – 2018. Universidad Alas Peruanas. Tesis de grado. <https://repositorio.uap.edu.pe/handle/20.500.12990/10426>
- OMM. (2021). ORGANIZACIÓN DE METEOROLOGÍA MUNDIAL. Declaración Sobre el Estado del Clima Mundial. Suiza.
- OMM. (2022). Estado Provisional del Clima Mundial. Organización Mundial de Meteorología. Ginebra - Suiza.
- Parada, P., Barradas, V., Ortiz, G., Cervantes, J., Cerdán, C. (2022). Aptitud climática para *Coffea arabica* L. ante eventos climáticos extremos: Importancia de la cobertura arbórea. Scientia Agropecuaria. 13 (1). 53-62 p. Doi: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2-022.005>
- Parada-Molina, P. C., Cervantes-Pérez, J., Ruiz-Molina, E. V., y Cerdán, C. R. (2020). Efectos de la variabilidad de la precipitación en la fenología del café: caso zona cafetalera Xalapa Coatepec, Veracruz, México. Revista Ingeniería y Región. Vol. 24. Artículo de Investigación. DOI: [10.25054/22161325.2752](https://doi.org/10.25054/22161325.2752).
- Posada, G. P. (2019). El proceso y la tutela de los derechos. Pontificia Universidad Católica del Perú. Fondo Editorial. (Lima: Tarea Asociación Gráfica Educativa). ISBN 978-612 317-500-9. Lima – Perú. 199 p. <https://repositorio.pucp.edu.pe/index/bitstream/handle/1234-56789/170698/42%20El%20proceso%20y%20la%20tutela%20de%20los%20derechos%20con%20sello.pdf>.
- PRCC. (Programa Regional de Cambio Climático). (2016). Manual Técnico para el fortalecimiento del sector de café en Guatemala frente al cambio climático. Anacafé, CNCG, Insivumeh, PRCC, CATIE. Disponible en: <https://n9.cl/5hie>.

- Rivera, F., Alvarado, L. (2010). Impacto del Cambio Climático sobre los ingresos del café convencional: Un análisis de panel balanceado, periodo 1991 -2010. *Natura@economía*, 1(2), 49-68. Obtenido de <http://revistas.lamolina.edu.pe/index.php/neu/article/view/43>
- Rivera, M., Nikolski, L., Castillo, M., Ordaz, V., Diaz, G., Guajardo, R. (2013). Vulnerabilidad de la producción del café (*Coffea arabica* L.) al cambio climático global. *Terra Latinoamericana*. 31 (4). 305-313 p. Disponible <https://www.redalyc.org/pdf/573-57329629005.pdf>
- Robiglio, V., Baca, M. G., Dónovan, J., Bunn, C., Reyes, M., Gonzáles, D. y Sánchez, C. (2017). Guía Técnica de Caficultura sostenible adaptada al Cambio Climático. Publicación del proyecto “Café y Clima” ejecutado por la Cámara Peruana de Café y Cacao, en el marco del Programa SEMICOMPETITIVO de la Cooperación Suiza – SECO. <https://camcafeperu.com.pe/admin/recursos/publicaciones/Guia-tecnicacaficultura-sostenible-adaptada-cambio-climatico.pdf>.
- Robiglio, V; Baca, M; Donovan, J; Bunn, C; Reyes, M; Gonzáles, D; Sánchez, C. (2017). Impacto del cambio climático sobre la cadena de valor del café en el Perú. ICRAF Oficina Regional para América Latina, Lima, Perú & CIAT Centro Internacional de Agricultura Tropical, Cali, Colombia.
- Saavedra, K. (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. Tesis de grado. <https://repositorio.unsm.edu.pe/item/9aa70bde-527f-4370-aad8-79081e6ce992>
- Sánchez Escalante, J.A. (2015). Plan de manejo de café en el ámbito del VRAEM. S.l.: MINAGRI. Disponible en: <https://n9.cl/imk5>.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI. (2021). Ficha técnica agroclimática – Café.
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología - SENAMHI. (2025). Datos Hidrometeorológicos a nivel nacional. Obtenido: <https://www.senamhi.gob.pe/?p=estaciones>
- Torres Ruiz, L. (2010). Análisis Económico del Cambio Climático en la Agricultura de la Región Piura-Perú, Caso: Principales Productos Agroexportables. CIES. Universidad Nacional de Piura.

- Tucker, C.M., Eakin, H. y Castellanos, E.J. (2010). Perceptions of risk and adaptation: Coffee producers, market shocks, and extreme weather in Central America and Mexico. *Global Environmental Change*, vol. 20, no. 1, pp. 23-32. ISSN 0959-3780. DOI [10.1016/j.gloenvcha.2009.07.006](https://doi.org/10.1016/j.gloenvcha.2009.07.006).
- Tudela M., J.W. (2006). Determinantes de la Producción Orgánica: Caso del Café Orgánico en los Valles de San Juan del Oro. Consorcio de investigación económica y social. Puno, Perú. <https://cies.org.pe/wp-content/uploads/2016/07/10-tudela.pdf>.
- Wintgens, J.N. (2004). Coffee: growing, processing, sustainable production. A guidebook for growers, processors, traders, and researchers. Germany: WILEY-VCH Verlag GmbH & Co. KGaA. 2004. ISBN 3-527-33981-7.

ANEXOS

Apéndice B: Mapa de ubicación

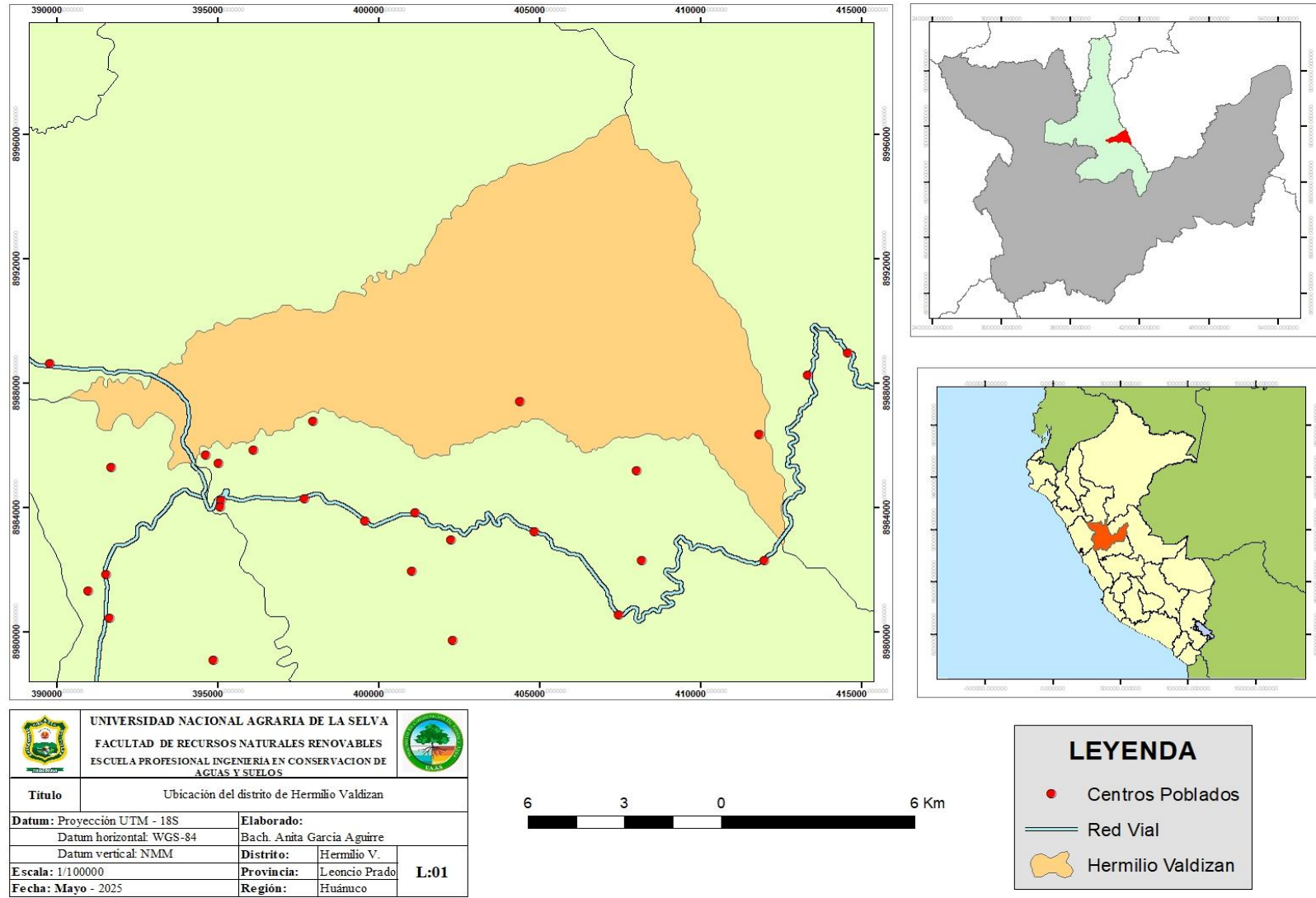


Figura 7. Mapa de Ubicación del distrito de Hermilio Valdizan.

Apéndice B: Tablas complementarias

Tabla 8. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2017

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	21,37	14,08	90,26	447,90	-	-
Febrero	21,44	13,08	92,44	376,30	40,20	-
Marzo	21,68	14,79	91,23	357,6	89,00	-
Abril	22,06	14,91	90,81	234,2	120,60	-
Mayo	22,63	15,16	91,35	204,70	209,00	-
Junio	22,86	14,60	89,53	183,10	250,00	-
Julio	21,60	13,99	90,13	75,90	210,00	-
Agosto	22,80	14,69	89,73	78,40	159,00	-
Setiembre	22,67	14,72	90,41	172,5	82,00	-
Octubre	23,05	15,00	88,08	221,70	-	-
Noviembre	22,26	14,95	90,80	407,20	-	-
Diciembre	22,45	15,03	89,42	692,20	-	-
Promedio y suma	22,24	14,58	90,35	3451,70	1159,80	500,13

Tabla 9. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2018

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	22,02	14,93	90,76	475,10	-	-
Febrero	22,35	14,95	92,02	504,80	37,60	-
Marzo	22,05	15,18	91,10	286,30	93,00	-
Abril	22,26	14,83	89,85	330,20	111,30	-
Mayo	22,22	14,75	91,29	63,00	197,00	-
Junio	21,71	13,92	89,99	225,20	260,00	-
Julio	21,86	13,97	89,43	37,10	220,00	-
Agosto	22,15	14,35	90,10	80,30	162,00	-
Setiembre	23,38	14,63	88,19	123,80	85,00	-
Octubre	22,43	15,08	91,43	388,70	-	-
Noviembre	22,00	15,26	90,95	557,80	-	-
Diciembre	22,13	15,41	90,91	1294,30	-	-
Promedio y suma	22,21	14,77	90,91	4366,00	1165,80	502,76

Tabla 10. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2019

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	21,77	15,05	91,06	554,20	-	-
Febrero	21,78	14,81	90,69	317,60	39,0	-
Marzo	21,99	14,99	91,05	456,70	96,0	-
Abril	22,43	15,08	89,68	341,20	109,0	-
Mayo	22,22	14,69	91,21	179,40	146,0	-
Junio	22,69	14,61	89,93	70,70	217,0	-
Julio	21,98	14,15	91,88	99,30	173,0	-
Agosto	23,21	14,54	92,37	85,10	149,0	-
Setiembre	22,78	14,73	91,52	120,40	79,0	-
Octubre	22,04	14,86	92,32	207,80	-	-
Noviembre	22,53	15,10	90,76	368,80	-	-
Diciembre	21,64	15,01	91,50	710,10	-	-
Promedio y suma	22,25	14,80	91,17	3511,30	1008	501,24

Tabla 11. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2020

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	22,35	14,95	90,53	518,3	-	-
Febrero	22,4	14,76	89,85	412,1	18,0	-
Marzo	22,45	14,38	89,64	337,3	107,0	-
Abril	22,5	14,88	90,06	220,3	122,0	-
Mayo	22,55	14,63	89,22	136,5	153,0	-
Junio	22,6	14,52	89,75	210,5	235,0	-
Julio	22,65	14,95	89,37	75,9	260,0	-
Agosto	22,7	15,08	89,43	80,3	215,0	-
Setiembre	22,75	14,81	88,19	120,4	86,0	-
Octubre	22,8	14,58	88,08	209,3	-	-
Noviembre	22,85	15,11	90,18	407,2	-	-
Diciembre	22,9	15,28	90,31	612,6	-	-
Promedio y suma	22,63	14,83	89,55	3340,70	1196	509,95

Tabla 12. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2021

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	22,35	14,95	90,53	518,3	-	-
Febrero	22,4	14,76	89,85	412,1	18,0	-
Marzo	22,45	14,38	89,64	337,3	107,0	-
Abril	22,5	14,88	90,06	220,3	122,0	-
Mayo	22,55	14,63	89,22	136,5	153,0	-
Junio	22,6	14,52	89,75	210,5	235,0	-
Julio	22,65	14,95	89,37	75,9	260,0	-
Agosto	22,7	15,08	89,43	80,3	215,0	-
Setiembre	22,75	14,81	88,19	120,4	86,0	-
Octubre	22,8	14,58	88,08	209,3	-	-
Noviembre	22,85	15,11	90,18	407,2	-	-
Diciembre	22,9	15,28	90,31	612,6	-	-
Promedio y suma	22,63	14,83	89,55	3340,70	1196	540,20

Tabla 13. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2022

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	22,88	15,73	90,59	448,15	-	-
Febrero	22,97	15,53	90,88	420,56	22,0	-
Marzo	23,15	15,47	89,37	345,70	110,0	-
Abril	23,41	15,54	89,99	296,38	145,0	-
Mayo	23,01	14,89	91,74	121,91	155,0	-
Junio	22,31	14,73	91,16	80,20	234,0	-
Julio	22,29	14,15	90,82	72,70	256,0	-
Agosto	23,25	14,43	86,50	57,60	230,0	-
Setiembre	24,39	14,91	88,38	87,70	88,0	-
Octubre	23,49	14,82	87,61	177,50	-	-
Noviembre	22,23	16,71	90,97	424,10	-	-
Diciembre	22,15	16,43	90,51	554,80	-	-
Promedio y suma	22,96	15,28	89,88	3087,30	1240	560,07

Tabla 14. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2023


Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	22,2	14,85	91,76	464,8	-	-
Febrero	22,25	14,31	92,41	395,14	20,0	-
Marzo	22,3	13,88	91,1	370,6	102,0	-
Abril	22,35	14,35	90,85	320,6	136,0	-
Mayo	22,40	13,97	91,24	290,20	145,0	-
Junio	22,07	14,15	89,99	135,56	237,0	-
Julio	23,08	15,59	90,82	59,10	240,0	-
Agosto	23,90	15,79	88,71	91,30	119,0	-
Setiembre	24,47	15,96	85,85	84,20	83,0	-
Octubre	24,07	16,28	89,62	175,30	-	-
Noviembre	22,94	15,83	92,27	377,80	-	-
Diciembre	22,66	15,95	93,46	395,80	-	-
Promedio y suma	22,89	15,08	90,67	3160,40	1082,0	562,44

Tabla 15. Datos climáticos, producción y rendimiento del café en el distrito de Hermilio Valdizan – 2024

Meses	Tmax (°C)	Tmin (°C)	HR (%)	Precipitación (mm)	Producción (t)	Rendimiento (kg/ha)
Enero	22,88	15,73	93,59	498,00	-	-
Febrero	22,97	15,53	92,88	410,50	23,0	-
Marzo	23,15	15,47	92,37	275,70	100,0	-
Abril	23,41	15,54	92,99	201,30	137,0	-
Mayo	23,01	14,89	93,74	75,90	140,0	-
Junio	22,31	13,99	92,16	120,20	235,0	-
Julio	22,08	13,05	90,82	72,70	245,0	-
Agosto	23,25	13,43	88,50	57,60	184,0	-
Setiembre	25,27	13,91	81,88	67,70	90,0	-
Octubre	24,69	13,82	87,61	177,50	-	-
Noviembre	22,23	16,71	92,97	374,10	-	-
Diciembre	22,15	16,43	92,51	434,80	-	-
Promedio y suma	23,12	14,88	91,00	2766,00	1154,00	600,18

Apéndice C: Datos de la fuentes descargadas

Tabla 16. Bases de datos de producción y rendimiento de la página de DRA-Huánuco

		Dirección Regional de Agricultura - Huánuco 														
DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO														
HUANUCO	LEONCIO PRADO	HERMILIO VALDIZAN														
EJECUCION Y PERSPECTIVAS DE LA INFORMACION AGRICOLA																
CAMPAÑA AGRICOLA:																
2017																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	2,319.00											2,319.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	500.13													
		Produccion (t.)	1,159.80		40.20	89.00	120.60	209.00	250.00	210.00	159.00	82.00				
2018																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	2,319.00											2,319.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	502.76													
		Produccion (t.)	1,165.90		37.60	93.00	111.30	197.00	260.00	220.00	162.00	85.00				
2019																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	2,011.00											2,011.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	501.24													
		Produccion (t.)	1,008.00		39.00	96.00	109.00	146.00	217.00	173.00	149.00	79.00				
2020																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	2,210.00											2,210.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	509.95													
		Produccion (t.)	1,127.00		16	106	119	149	228	264	165	80				
2021																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	2,214.00											2,214.00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	540.20													
		Produccion (t.)	1,196.00		18,00	107,00	122,00	153,00	235,00	260,00	215,00	86,00				
2022																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	2,214,00											2,214,00		
		Rendimiento (Kg./ha.)	560,07													
		Produccion (t.)	1,240,00		22,00	110,00	145,00	155,00	234,00	256,00	230,00	88,00				
2023																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	1.923,75											1.923,75		
		Rendimiento (Kg./ha.)	562,44													
		Produccion (t.)	1.082,00		20,00	102,00	136,00	145,00	237,00	240,00	119,00	83,00				
2024																
COD.CULTIVO	CULTIVO	VARIABLES	TOTAL EJEC.	COSECHAS												
				ENE	FEB	MAR	ABR	MAY	JUN	JUL	AGO	SET	OCT	NOV	DIC	
13020030100	CAFE	Cosechas (ha.)	1.922,75											1.922,75		
		Rendimiento (Kg./ha.)	600,18													
		Produccion (t.)	1.154,00		23,00	100,00	137,00	140,00	235,00	245,00	184,00	90,00				

Fuente: D DRA-Huánuco (2025)

Tabla 17. Datos de temperatura máxima descargados de la base de datos del SENAMHI

Estación : LA DIVISORIA												
Departamento : HUANUCO			Provincia : LEONCIO PRADO			Distrito : HERMILIO VALDIZAN						
Latitud : 9°12'3.27" S			Longitud : 75°48'50.15" W			Altitud : 1672 msnm.						
Tipo : - Convencional Meteorológica			Codigo : 108025									
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MAXIMA MEDIA MENSUAL
2017	21,37	21,44	21,68	22,06	22,63	22,86	21,60	22,80	22,67	23,05	22,26	22,45
2018	22,02	22,35	22,05	22,26	22,22	21,71	21,86	22,15	23,38	22,43	22,00	22,13
2019	21,77	21,78	21,99	22,43	22,22	22,69	21,98	23,21	22,78	22,04	22,53	21,64
2020	22,42	22,15	23,20	22,88	22,40	22,39	21,75	22,5	22,10	22,3	22,4	22,3
2021	22,35	22,4	22,45	22,5	22,55	22,6	22,65	22,7	22,75	22,8	22,85	22,9
2022	22,88	22,97	23,15	23,41	23,01	22,31	22,29	23,25	24,39	23,49	22,23	22,15
2023	22,2	22,25	22,3	22,35	22,40	22,07	23,08	23,90	24,47	24,07	22,94	22,66
2024	22,88	22,97	23,15	23,41	23,01	22,31	22,08	23,25	25,27	24,69	22,23	22,15

Tabla 18. Datos de temperatura mínima descargados de la base de datos del SENAMHI

Estación : LA DIVISORIA												
Departamento : HUANUCO Provincia : LEONCIO PRADO Distrito : HERMILIO VALDIZAN Latitud : 9°12'3.27" S Longitud : 75°48'50.15' W Altitud : 1672 msnm. Convencional Tipo : Meteorológica Código : 108025												
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL	TEMPERATURA MINIMA MEDIA MENSUAL
2017	14,08	13,08	14,79	14,91	15,16	14,60	13,99	14,69	14,72	15,00	14,95	15,03
2018	14,93	14,95	15,18	14,83	14,75	13,92	13,97	14,35	14,63	15,08	15,26	15,41
2019	15,05	14,81	14,99	15,08	14,69	14,61	14,15	14,54	14,73	14,86	15,10	15,01
2020	15,21	14,91	14,86	14,66	14,85	14,98	14,81	14,84	14,85	15,18	15,26	15,31
2021	14,95	14,76	14,38	14,88	14,63	14,52	14,95	15,08	14,81	14,58	15,11	15,28
2022	15,73	15,53	15,47	15,54	14,89	14,73	14,15	14,43	14,91	14,82	16,71	16,43
2023	14,85	14,31	13,88	14,35	13,97	14,15	15,59	15,79	15,96	16,28	15,83	15,95
2024	15,73	15,53	15,47	15,54	14,89	13,99	13,05	13,43	13,91	13,82	16,71	16,43

Tabla 19. Datos de precipitación descargados de la base de datos del SENAMHI

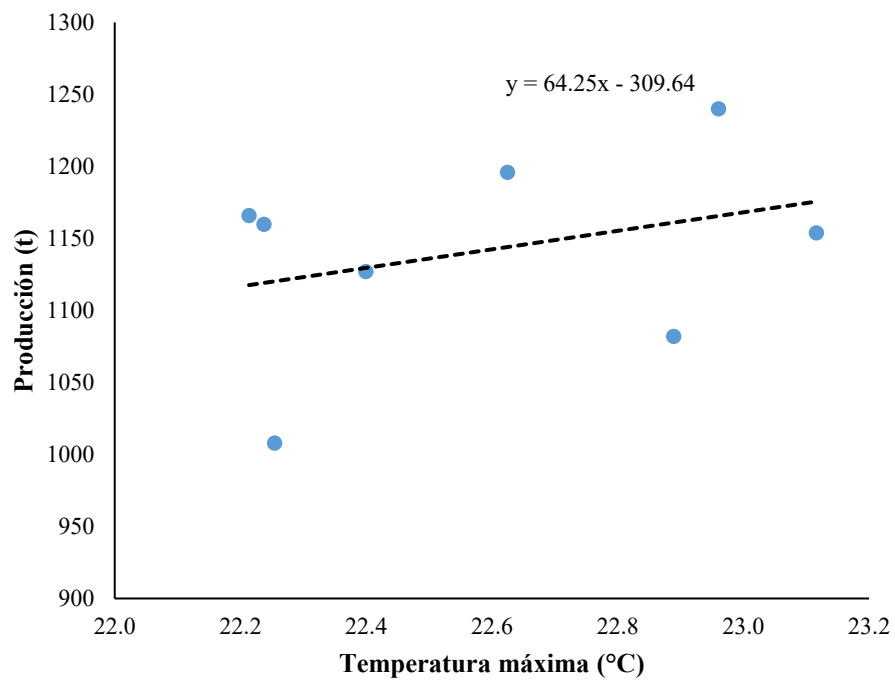
Estación : LA DIVISORIA												
Departamento : HUANUCO			Provincia : LEONCIO PRADO		Distrito : HERMILIO VALDIZAN							
Latitud : 9°12'3.27" S			Longitud : 75°48'50.15" W		Altitud : 1672 msnm.							
Tipo : - Convencional Meteorológica			Codigo : 108025									
AÑO	ENERO	FEBRERO	MARZO	ABRIL	MAYO	JUNIO	JULIO	AGOSTO	SETIEMBRE	OCTUBRE	NOVIEMBRE	DICIEMBRE
	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL	PRECIPITACION MEDIA MENSUAL
2017	447,90	376,30	357,6	234,2	204,70	183,10	75,90	78,40	172,5	221,70	407,20	692,20
2018	475,10	504,80	286,30	330,20	63,00	225,20	37,10	80,30	123,80	388,70	557,80	1294,30
2019	554,20	317,60	456,70	341,20	179,40	70,70	99,30	85,10	120,40	207,80	368,80	710,10
2020	546,00	451,20	310,60	276,70	159,60	217,50	124,80	75,35	97,58	230,1	426,9	776,8
2021	518,3	412,1	337,3	220,3	136,5	210,5	75,9	80,3	120,4	209,3	407,2	612,6
2022	448,15	420,56	345,70	296,38	121,91	80,20	72,70	57,60	87,70	177,50	424,10	554,80
2023	464,8	395,14	370,6	320,6	290,20	135,56	59,10	91,30	84,20	175,30	377,80	395,80
2024	498,00	410,50	275,70	201,30	75,90	120,20	72,70	57,60	67,70	177,50	374,10	434,80

Tabla 21. Análisis de varianza entre la producción del café y la variabilidad climática

FV	SM	GL	MC	F	Sig.
Clima	22225,49	4	5556,37	1,27	0,439
Error	13106,19	3	4368,73		
Total	35331,68	7			

Tabla 22. Análisis de varianza entre el rendimiento del café y la variabilidad climática

FV	SM	GL	MC	F	Sig.
Clima	9655,47	4	2413,86	316,49	0,000
Error	22,88	3	7,62		
Total	9678,35	7			

Apéndice D: Gráficos complementarios**Figura 8.** Relación entre la variable producción de café y temperatura máxima.

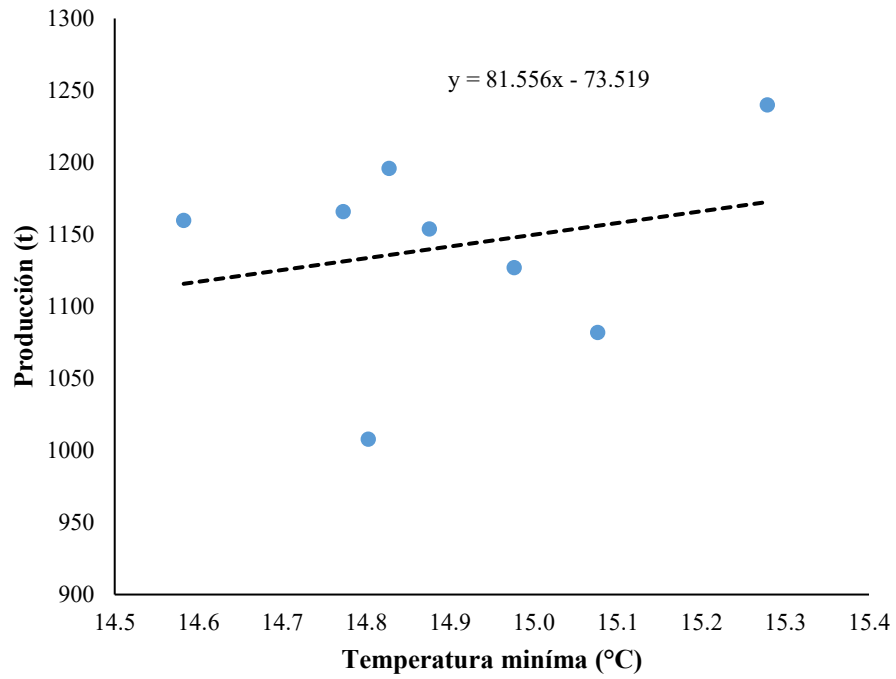


Figura 9. Relación entre la variable producción de café y temperatura mínima.

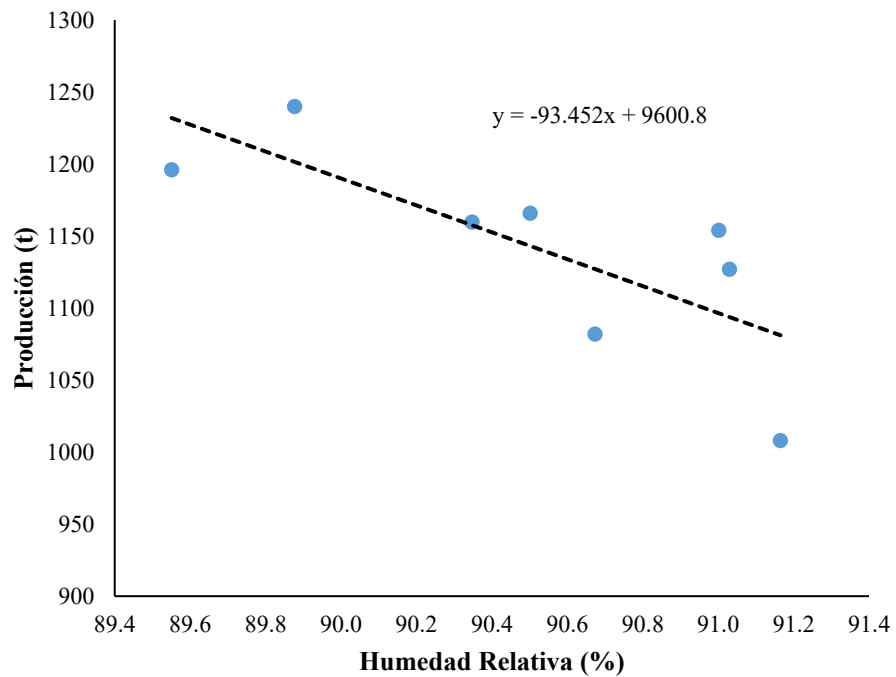


Figura 10. Relación entre la variable producción de café y humedad relativa.

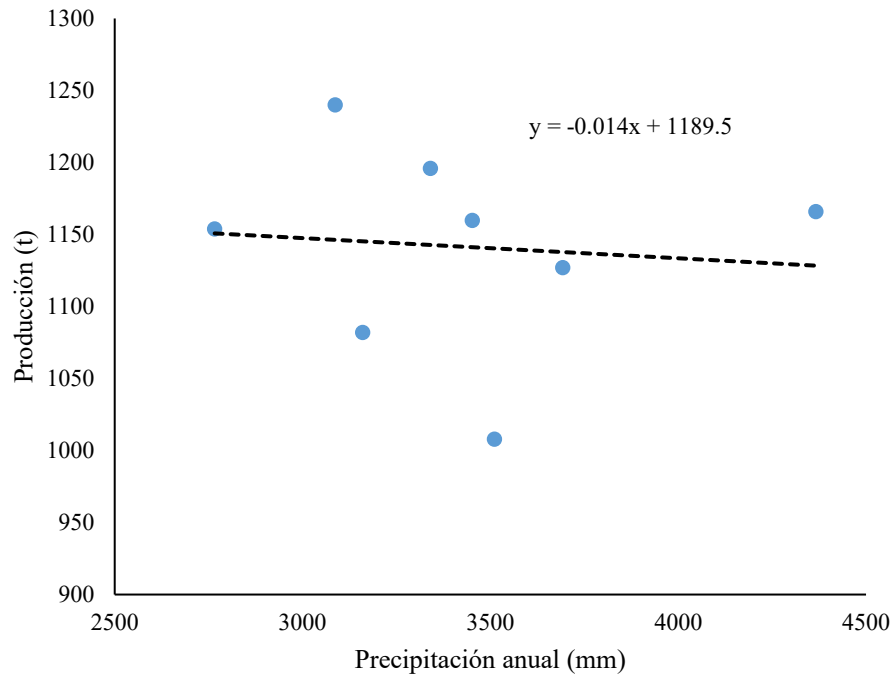


Figura 11. Relación entre la variable producción de café y precipitación anual.

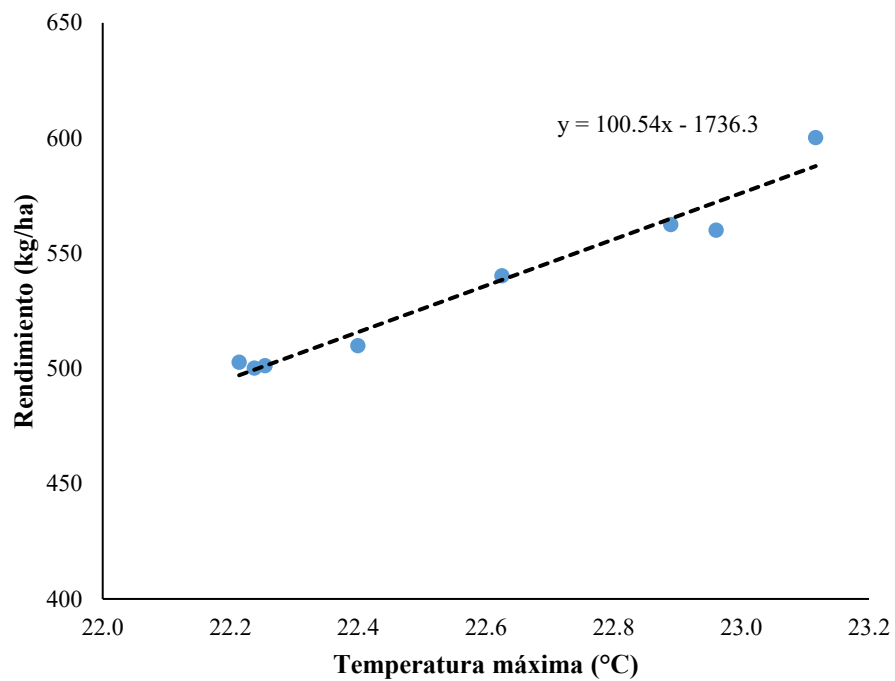


Figura 12. Relación entre la variable rendimiento del café y temperatura máxima.

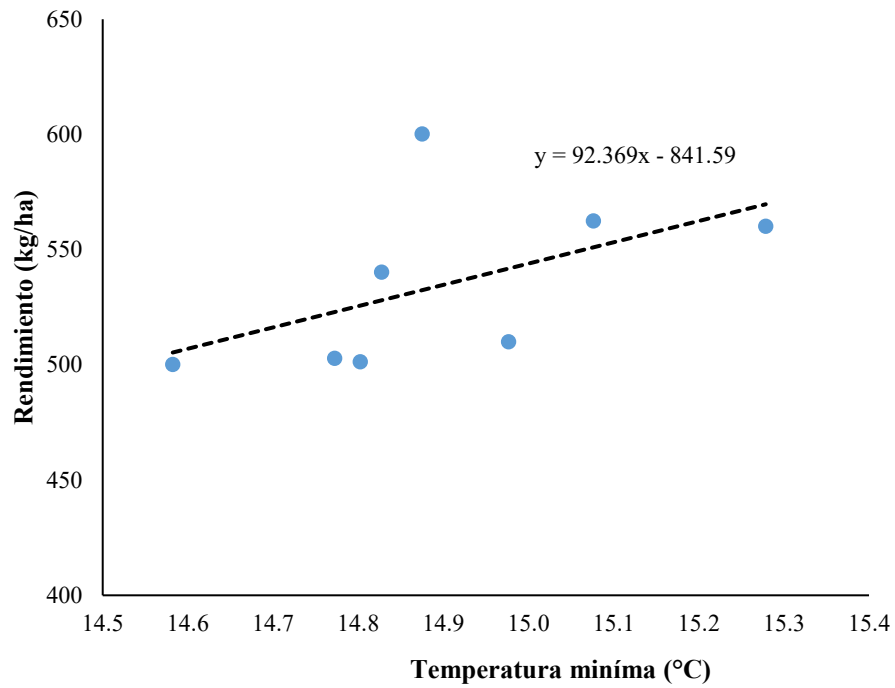


Figura 13. Relación entre la variable rendimiento del café y temperatura mínima

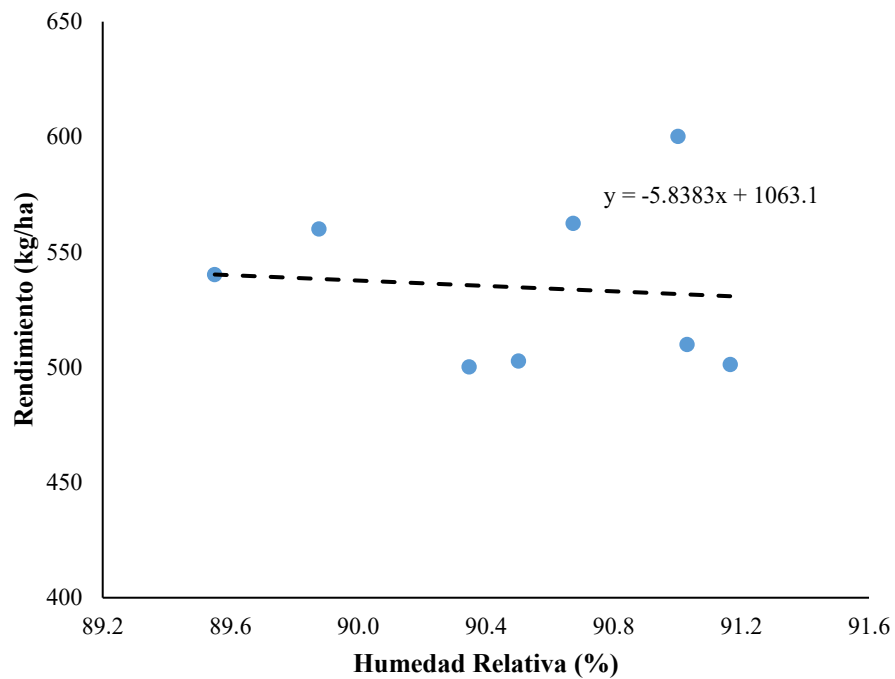


Figura 14. Relación entre la variable rendimiento del café y humedad relativa.

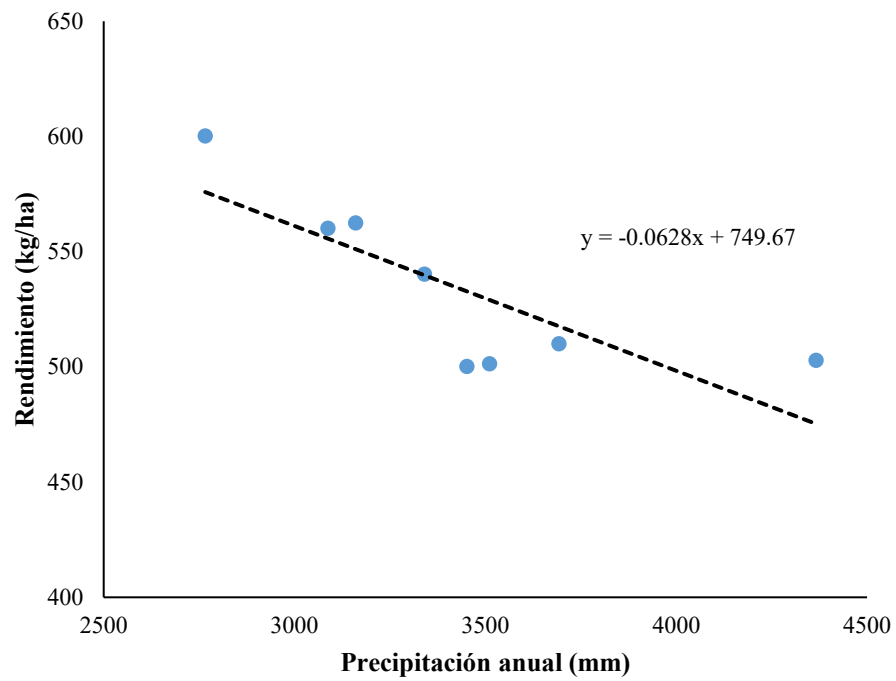


Figura 15. Relación entre la variable rendimiento del café y precipitación anual.

Apéndice E: Panel fotográfico



Figura 16. Visita al distrito de Hermilio Valdizan



Figura 17. Visita a campo en el centro poblado Margarita.

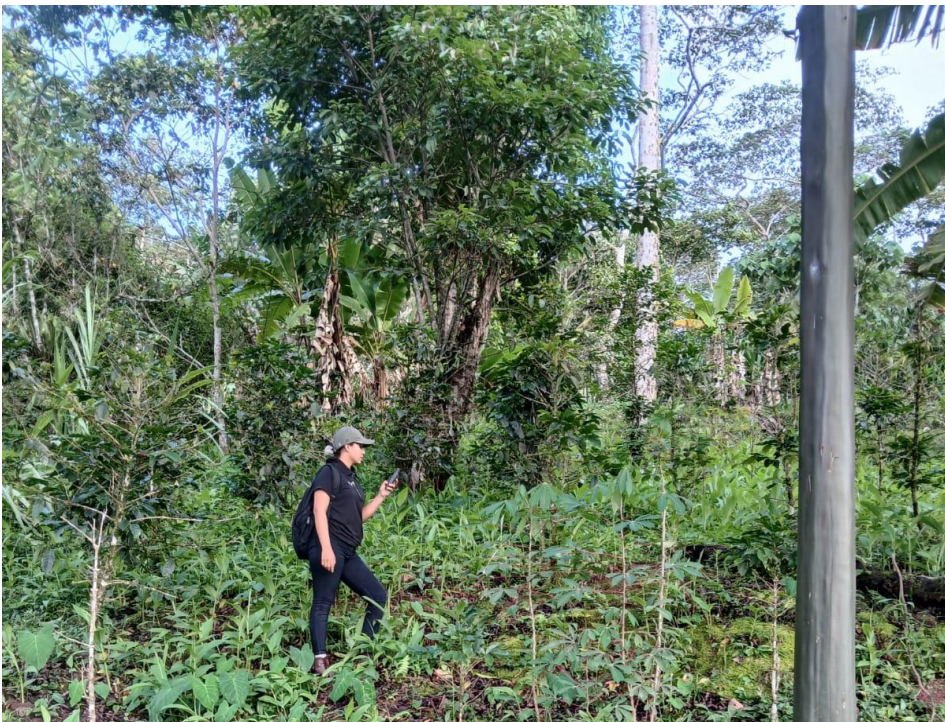


Figura 18. Sistema agroforestal con café.



Figura 19. Georreferenciado predio con cultivo de café.



Figura 20. Entrevista a un agricultor de Margarita.