

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
ESCUELA DE POSGRADO**

MAESTRÍA EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA

MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL



**EFECTO DEL MANEJO ORGÁNICO EN EL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE
Theobroma cacao L. (CACAO) EN LA REGIÓN HUÁNUCO.**

Tesis

Para optar el Grado Académico de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN AGROECOLOGÍA,
MENCIÓN: GESTIÓN AMBIENTAL**

PRESENTADO POR:

SEGISMUNDO CASADO ALVAREZ

Tingo María – Perú

2026



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
UNIDAD DE POSGRADO



DIRECCIÓN

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

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 003-2026-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 05:00 p.m. del jueves 05 de marzo del 2026, reunidos de manera presencial en el Auditorio de Segundo Nivel de la Escuela de Posgrado, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

“EFECTO DEL MANEJO ORGÁNICO EN EL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE Theobroma cacao L. (CACAO) EN LA REGIÓN HUÁNUCO”

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **SEGISMUNDO CASADO ALVAREZ**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **APROBADO** con el calificativo de **MUY BUENO** Acto seguido, a horas **06:20 p.m.** el presidente dio por culminada la sustentación; procediéndose a la suscripción de la presente acta por parte de los miembros del jurado, quienes dejan constancia de su firma en señal de conformidad.

Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO
Presidente del Jurado

Dr. LADISLAO RUIZ RENGIFO
Miembro del Jurado

ING. M.Sc. EDILBERTO DIAZ QUINTANA
Miembro del Jurado

DR. NELINO FLORIDA ROFNER
Asesor

DR. LUCIO MANRIQUE DE LARA SUAREZ
Asesor



UNAS

VICERRECTORADO DE
INVESTIGACIÓN

INSTITUTO DE
INVESTIGACIÓN

UNIDAD DE SOPORTE
CIENTÍFICO
REPOSITORIO INSTITUCIONAL

"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año de la Esperanza y el Fortalecimiento de la Democracia"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N 146 - 2026 - CS-RIDUNAS

El Jefe de la Unidad de Soporte Científico 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% y contenido generado por Inteligencia Artificial menor o igual al 20%. Según establece el Art. 29° y 30° del Acuerdo Nro.017-2025-CIUNAS-VRI-UNAS.

Programa de Estudio:


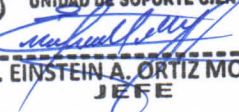
Maestría en Ciencias en Agroecología Mención: Gestión Ambiental

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE	
		SIMILITUD	CONTENIDO GENERADO POR INTELIGENCIA ARTIFICIAL
EFFECTO DEL MANEJO ORGÁNICO EN EL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE <i>Theobroma cacao</i> L. (CACAO) EN LA REGIÓN HUÁNUCO	SEGISMUNDO CASADO ALVAREZ	21 % Veintiuno	Menor a 20 %

Tingo María, 19 de mayo de 2026.


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE SOPORTE CIENTÍFICO

ING. EINSTEIN A. ORTIZ MORALES
JEFE

C.C. Archivo



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
REGISTRO DE TESIS PARA LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE
Y TESISISTA

(Resol. N° 113-2019-CU-R-UNAS)

I. Datos generales

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva
Facultad : FRNR-EPG-UNAS
Título de la tesis : Efecto del manejo orgánico en el suelo y la producción de *Theobroma cacao* L. (cacao) en la Región Huánuco.
Objetivo general : Evaluar el efecto del manejo orgánico en el suelo y la producción de *Theobroma cacao* L. (cacao) en la región Huánuco.
Autor : Ing. Segismundo Casado Alvarez
Asesor (es) : Dr. Nelino Florida Rofner
Programa de investigación : Gestión Ambiental
Línea de investigación : Desarrollo Sostenible
Eje temático : Gestión de suelos
Lugar de ejecución : Región Huánuco
Duración : Fecha de inicio : Febrero 2025
: Fecha de término : Noviembre 2025
Financiamiento : FEDU : S/. 0,00
: Propio : S/. 11 294,00
: Otros : S/. 0,00

Tingo María, Perú, enero 2026

.....
Ing. Segismundo Casado Álvarez
Tesisista

.....
Dr. Nelino, Florida Rofner
Asesor

DEDICATORIA

A Dios, a Jesucristo, al Espíritu santo, a la Virgen María Auxiliadora, a los Santos por escuchar mis oraciones y darme fortaleza, por haberme dado la vida y haberme otorgado una familia maravillosa a mí mismo por ser un Hombre Inteligente de voluntad y lucha.

A mis hermanos por ese gran amor que nos tenemos por darme su apoyo incondicional durante este periodo formativo y de investigación.

A mi amada familia, por haber sido fuerza emocional durante el desarrollo y culminación de esta investigación.

Al amor que le tengo a mi profesión de ingeniero Agrónomo y la dicha que tengo de ejercerla siempre.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme siempre fuerzas para continuar en lo adverso, por guiarme en el camino de lo prudente y darme sabiduría para mejorar día a día mi quehacer profesional.

A mi asesor Ing. Dr. Nelino Florida Rofner, por su esfuerzo y dedicación, sus conocimientos, sus orientaciones, su manera de trabajar, paciencia y motivación que ha sido fundamental para mi formación como investigador y el desarrollo científico y académico del presente trabajo de investigación.

Al Dr. José Dolores Lévano Crisóstomo; Dr. Ladislao Ruiz Rengifo; al M Sc Edilberto Diaz Quintana; jurados de la tesis, por brindarme su apoyo incondicional y constante en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Agronomía y la Escuela de Post Grado por brindarme la oportunidad de ser profesional, darme su acogedor calor en cada una de sus instalaciones durante toda mi formación profesional siendo mi querida Alma mater.

A mi familia por su comprensión y estímulo constante, además de su apoyo incondicional a lo largo de mis estudios.

ÍNDICE GENERAL

	Página
DEDICATORIA.....	3
AGRADECIMIENTOS.....	4
RESUMEN	10
ABSTRACT	11
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.1.1.Objetivo general	3
1.1.2.Objetivos específicos	3
II. REVISIÓN DE LITERATURA	4
2.1. Agricultura orgánica	4
2.2. Agricultura convencional o industrial	4
2.3. Calidad del suelo	4
2.4. Propiedades físicas del suelo	5
2.4.1.Textura	5
2.5. Propiedades químicas	6
2.5.1.Potencial de hidrógeno (pH).....	6
2.5.2.Materia orgánica (MO)	6
2.5.3.Nitrógeno (N).....	7
2.5.4.Fosforo (P).....	7
2.5.5.Potasio (K)	7
2.5.6.Calcio (Ca)	8
2.5.7.Magnesio (Mg).....	8
2.5.8.Capacidad de intercambio de cationes (CIC).....	9
2.6. Cacao.....	9
2.6.1.Genotipos de cacao.....	9
2.6.2.El cultivo de cacao.....	10
2.6.3.Exigencias ambientales	10
2.7. Rendimiento del cacao.....	11
2.8. Estado del arte.....	12
2.8.1.Antecedentes internacionales	12
2.8.2.Antecedentes nacionales	13
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	16
3.1. Área de estudio.....	16
3.1.1.Plantación 01 (JA).....	16
3.1.2.Plantación 02 (AT).....	17
3.1.3.Plantación 03 (JM).....	19

3.1.4. Plantación 04 (MP).....	20
3.1.5. Características bioclimáticas de las áreas evaluadas	21
3.2. Criterios de selección de las plantaciones evaluadas	21
3.3. Materiales y equipos	22
3.3.1. Materiales de campo y laboratorio	22
3.3.2. Equipos de campo y laboratorio	22
3.4. Metodología	22
3.4.1. Tipo y nivel de investigación	22
3.4.2. Diseño de la investigación.....	22
3.4.3. Variables en estudio	23
3.4.4. Población y muestra.....	23
3.5. Determinación de los indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo	24
3.6. Determinación de los indicadores de producción del cacao.....	24
3.7. Análisis estadístico	25
3.7.1. Determinación de diferencias.....	25
3.7.2. Modelo de regresión lineal múltiple (RLM)	26
3.7.3. Validación del modelo	26
3.7.4. Análisis de sensibilidad	29
3.7.5. Especificación de los modelos.....	29
3.8. Variables	30
3.8.1. Variable independiente	30
3.8.2. Variable dependiente	30
3.8.3. Variables intervinientes	30
IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	31
4.1. Indicadores físicos del suelo	31
4.1.1. Estadística descriptiva de los indicadores físicos	31
4.1.2. Impacto del manejo sobre indicadores físicos del suelo.....	31
4.2. Indicadores químicos del suelo	33
4.2.1. Estadística descriptiva de los indicadores químicos	33
4.2.2. Impacto del manejo sobre indicadores químicos del suelo.....	34
4.3. Indicadores de producción del cacao	37
4.3.1. Estadística descriptiva de los indicadores de producción	37
4.3.2. Impacto del manejo sobre indicadores de producción del T. cacao	37
V. CONCLUSIONES.....	41
VI. PROPUESTAS A FUTURO	42
VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	43
ANEXOS.....	50

Índice de tabla

Tabla	Página
01. Interacción textura, Da y crecimiento radicular	6
02. Niveles de pH del suelo	6
03. Niveles de materia orgánica del suelo	7
04. Niveles de nitrógeno del suelo.....	7
05. Niveles de fosforo en el suelo.....	7
06. Niveles de K ⁺ intercambiable	8
07. Niveles de Ca intercambiable	8
08. Niveles de Mg intercambiable	8
09. Niveles de CIC del suelo	9
10. Plan de fertilización orgánico-químico en plantaciones de cacao.....	20
11. Esquema del análisis de varianza (ANVA)	23
12. Operacionalización de variables.....	23
13. Indicadores fisicoquímicos del suelo a evaluarse.....	24
14. Tabla de ANOVA.....	25
15. Fracciones granulométricas del suelo.....	31
16. Modelo de regresión lineal múltiple para las propiedades físicas del suelo.....	31
17. Propiedades químicas del suelo.....	34
18. Modelo de regresión lineal múltiple para la calidad del suelo	34
19. Indicadores de producción.....	37
20. Modelo de regresión lineal múltiple para la producción de cacao	37
21. Análisis de varianza de la fracción arena	53
22. Análisis post hoc de Tukey para la fracción arena	53
23. Análisis de varianza de la fracción arcilla	53
24. Análisis post hoc de Tukey para la fracción arena	54
25. Análisis de varianza de la fracción limo.....	54
26. Análisis post hoc de Tukey para la fracción limo	54
27. Análisis de varianza para el pH	55
28. Análisis post hoc de Tukey para el pH.....	55
29. Análisis de varianza para la MO.....	55
30. Análisis post hoc de Tukey para la MO	56
31. Análisis de varianza para el N	56
32. Análisis post hoc de Tukey para el N.....	56
33. Análisis de varianza para el P.....	57
34. Análisis post hoc de Tukey para el P.....	57
35. Análisis de varianza para el K.....	57
36. Análisis post hoc de Tukey para el K.....	58
37. Análisis de varianza para el Ca.....	58
38. Análisis post hoc de Tukey para el Ca	58
39. Análisis de varianza para el Mg	59
40. Análisis post hoc de Tukey para el Mg	59
41. Análisis de varianza para el Al.....	59
42. Análisis post hoc de Tukey para el Al.....	60
43. Análisis de varianza para la CIC	60
44. Análisis post hoc de Tukey para la CIC	60
45. Análisis de varianza para las BC	61
46. Análisis post hoc de Tukey para las BC	61
47. Análisis de varianza para la AC	61
48. Análisis post hoc de Tukey para las AC.....	62

49. Datos generales de producción	63
50. Análisis de varianza para el número de frutos.....	64
51. Análisis post hoc de Tukey para número de frutos	64
52. Análisis de varianza para el índice de frutos	64
53. Análisis de varianza para el rendimiento.....	65
54. Análisis post hoc de Tukey para número de frutos	65

Índice de figura

Figura	Página
01. Triángulo para determinar las clases texturales.....	5
02. Localización de las plantaciones de <i>T. cacao</i> en estudio	16
03. Plantación (01) de cacao CCN-51 con manejo orgánico-químico en Pueblo Nuevo.....	17
04. Plantación (02) de cacao CCN-51 con manejo orgánico-químico en Sachavaca.....	18
05. Plantación (03) de cacao CCN-51 con manejo orgánico-químico en Shiringal.....	20
06. Plantación (04) de cacao CMP15 con manejo orgánico MOM en Castillo Grande.....	20
07. Conteo de frutos.....	50
08. Colecta de frutos.....	50
09. Desbabado de frutos y rotulado	51
10. Extracción de muestras de suelo.....	51
11. Extracción y rotulado de muestras de suelo.....	52
12. Medidas del distanciamiento de siembra	52

RESUMEN

El *Theobroma cacao* L. (cacao) representa 5,20% de la superficie cosechada del país y crece a un ritmo promedio anual de 8,80%, sin embargo, existe una problemática asociada a bajos rendimientos, producto del manejo aplicado. Por ello, el trabajo evalúa el efecto del manejo orgánico en el suelo y la producción de *T. cacao* en la Región Huánuco. Se evaluaron plantaciones con sistema agroforestal orgánico (MP) y manejo orgánico-químico bajo monocultivo en La Esperanza (JA), Sachavaca (AT), y Shiringal (JM); en ellas se evaluó variables fisicoquímicas del suelo y producción del *T. cacao*. Se encontró diferencias para las fracciones físicas del suelo, así como para los indicadores químicos, excepto MO, N y K, y para los indicadores de producción. El modelamiento mostró impacto positivo significativo del manejo orgánico-químico como del sistema agroforestal sobre la fracción arena; también el sistema agroforestal, densidad de siembra y edad de la plantación tienen impacto positivo significativo sobre el pH. Contrariamente el manejo orgánico-químico mostró impacto negativo sobre el pH, CIC, Ca²⁺ y Mg²⁺, mientras, la densidad de siembra y edad de plantación mostraron efectos positivos. El sistema agroforestal mostró un efecto positivo significativo sobre número de frutos y almendras secas, y el manejo orgánico-químico se asoció con aumento en el número de frutos, también la densidad de siembra mostró un efecto positivo sobre el índice de frutos y las almendras secas. El sistema agroforestal y la fertilización orgánica-química son una alternativa viable para mejorar la producción del cultivo de cacao del país.

Palabras clave: agroforestal, manejo orgánico-químico, modelado, rendimiento

The Effect of Organic Management on the Soil and the Production of *Theobroma cacao* L. (Cacao) in the Huánuco Region

ABSTRACT

Theobroma cacao L. (cacao) represents 5.20% of the harvested surface area within the country [of Peru,] and grows at an annual average of 8.80%, however, a problem associated with low yields exists, [which is] a product of the management that is applied. Due to this, in this work, the effect from organic management on the soil and *T. cacao* production in the Huánuco region was evaluated. Plantations with organic monoculture agroforestry (MP – acronym in Spanish) and organic-chemical management systems were evaluated in La Esperanza (JA – acronym in Spanish), Sachavaca (AT – acronym in Spanish) and Shiringal (JM – acronym in Spanish); the physicochemical variables of the soil and the *T. cacao* production were evaluated. Differences were found for the physical fractions in the soil, as well as for the chemical indicators, with the exception of OM (MO in Spanish), N and K; as well as for the production indicators. The modeling revealed a significant positive impact on the sand fraction from the organic-chemical management, as well as from the agroforestry system; also, the agroforestry system, planting density and age of the plantation had a significant positive impact on the pH. On the other hand, the organic-chemical management revealed a negative impact on the pH, CEC (CIC in Spanish), Ca²⁺, and Mg²⁺, while the planting density and age of the plantation proved to have positive effects. The agroforestry system showed a significant positive effect on the number of fruit and dry beans, and the organic-chemical management was associated with an increase in the number of fruit, [where] the planting density also showed a positive effect on the fruit index and the dry beans. The agroforestry system and the organic-chemical fertilization are a viable alternative for improving the production of the cacao crop within the country.

Keywords: agroforestry, organic-chemical management, modeling, yield

I. INTRODUCCIÓN

De acuerdo con las estadísticas del Ministerio de la Producción-PRODUCE (2024), en la campaña 2023/2024, la producción mundial de *T. cacao* en grano alcanzó 4,449 mil toneladas. Costa de Marfil se destacó como el principal productor, aportando 40,50% de la producción global, seguida por Ghana (13,00%), Ecuador (9,70%) y Camerún (6,70%), y Perú, con 160 mil toneladas, ocupa el octavo lugar entre los países productores de cacao. Además, a nivel nacional, el cultivo es socialmente significativo, siendo el 6° cultivo más importante en términos de productores, con más de 1,228 involucrados en 2022, y en términos de superficie cosechada representa 5,20% de la superficie del país. También, el Instituto Nacional de Estadística e Informática-INEI (2023), señala que entre 2014 y 2023, la producción agrícola del cacao creció un promedio anual de 8.8%, y las principales regiones productoras, basadas en la Encuesta Nacional Agraria – ENA-2022, los mayores productores son: San Martín (27,40%), Amazonas (11,40%), Cusco (10,40%), Huánuco (10,00) y Junín (7,50%) (PRODUCE, 2024).

Es necesario destacar que la producción nacional de cacao en grano viene incrementándose desde hace diez años y crece a una tasa de 12,6% en promedio anual, que alcanza al 2020 cifra récord de 151,6 mil toneladas (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego-MIDAGRI, 2021). Perú figura como tercer exportador mundial de cacao orgánico solo detrás de México e Indonesia (MIDAGRI, 2023), y cuarto mayor exportador de la región después de Brasil, Colombia y Ecuador. Además, los países con mayor rendimiento en el mundo (3 y 2.6 t ha⁻¹) para Tailandia y Guatemala (Florida et al., 2020; MINAGRI, 2016). Los rendimientos alcanzados en cada región del territorio nacional son relativamente menores (Junín 1 192 kg/ha, La Libertad 1 161 kg/ha, Tumbes 1 039 kg/ha, Loreto con 989 kg/ha, San Martín con 950 kg/ha y Cusco 412 kg/ha, siendo la media nacional 827 kg/ha (MINAGRI, 2019). Pese a que el 53,3% corresponde al grupo de los Trinitarios, cuya variedad más difundida es el CCN-51, especie aparentemente considerado de alto rendimiento, precoz y resistente a enfermedades (Carrión, 2012), a pesar de estas bondades, el rendimiento es aún deficiente en las diferentes regiones del Perú en comparación a los países con mayor rendimiento en el mundo (2,6 a 3 t ha⁻¹ para Guatemala y Tailandia).

Frente a ello, el manejo orgánico representan alternativas viables que producen cambios que mejoran las propiedades del suelo a largo plazo y puede aplicarse en sistemas agroforestales (SAF), este último, traen beneficios adicionales en la producción del cacao, entendiendo que los SAF incluyen un conjunto de técnicas de manejo de tierra para combinar cultivos y especies forestales que contribuyen a la sostenibilidad del sistema mediante la producción de hojarasca,

reciclaje de nutrientes y prevención de la erosión del suelo. En este contexto, la propuesta de proyecto plantea como problema central ¿Cuál es el efecto de diferentes sistemas de manejo orgánico en la calidad del suelo y la producción en plantaciones de *Theobroma cacao* L. (cacao) en la Región Huánuco?

La investigación se justifica en la búsqueda de información sobre sistemas de manejo orgánico con alto rendimiento, así, generar conocimientos que ayuden a mejorar la producción del cacao en la región, en tal sentido la justificación se fundamenta, en que, las prácticas agrícolas convencionales que incluyen el monocultivo y uso de agroquímicos degradan el suelo y reducen su potencial productivo (Navarro et al., 2019). En cambio, el manejo conservacionista mejora integralmente el suelo y puede lograr rendimientos similares a los convencionales (García et al., 2018), promoviendo la sostenibilidad y contribuyendo a la prevención de erosión, reciclaje de nutrientes, reducir las emisiones de CO₂ y mantener el equilibrio de los agroecosistemas.

El manejo orgánico es una alternativa viable, estudiada por muchos investigadores quienes muestran que este tipo de sistema en el mediano y largo plazo presenta mejoras en el rendimiento y producen cambios que mejoran las propiedades del suelo (García et al. 2018; Pascual et al. 2017). Además, Florida et al. (2022) en Leoncio Prado-Huánuco, mostraron una nueva tecnología denominada “manejo MOM (Manejo Orgánico Mendis)”, que consiste en integrar poda drástica anual (70% del follaje), aplicación de compost al suelo, biofertilización foliar triple (nutrientes, fungicida e insecticida), basado en insumos locales, uso del genotipo Colección Mendis Paredez CMP-15, y manejo en sistema agroforestal (*T. cacao* y *G. crinita*); los rendimientos alcanzados con el manejo MOM son: 2.7 t ha⁻¹ para CMP15 2 x 2 m, de 4 años; 3,5 t ha⁻¹ CMP15 de 2 x 1 m, de 5 años, y 3,3 t ha⁻¹ CMP15 3 x 2 m, con 13 años de instalación, constituyendo el rendimiento más alto reportado en Perú.

También la investigación se justifica en la búsqueda de información para determinar la influencia de la aplicación de compost (Florida et al., 2020), microorganismos eficientes y biofertilizantes (Ramírez et al., 2019), labores de poda (Rojas et al., 2021) y, selección de genotipos (Justo, 2019), cada una de ellas muestran tener beneficios en la producción y conservación del agroecosistema, sin embargo, es limitada la disponibilidad de esta información en el ámbito regional sobre experiencias de manejo orgánico exitosos adoptados por algunos agricultores, aspecto que amerita ser evaluado.

Los alcances del trabajo tienen el propósito de identificar aquellas experiencias de aplicación de sistemas de manejo orgánico con altos rendimientos, caracterizarlo y determinar su efecto en el suelo y el rendimiento del cacao, estos conocimientos contribuirán con la

comunidad científica a través de la difusión en las revistas científicas, y servirán para que las instituciones como el Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (MIDAGRI) a través del Instituto Nacional de Innovación Agraria (INIA), de intervención regional, así como los pequeños agricultores asociados e independientes puedan conocer y adoptar sistemas de manejo sostenible y mejorar su producción.

En este contexto se contrastó la hipótesis planteada “Los sistemas de manejo orgánico tienen efectos positivos significativos en la calidad del suelo y la producción, alcanzando altos rendimientos ($>2,00 \text{ t ha}^{-1}$) en plantaciones de *Theobroma cacao* L. (cacao) desarrollados en la región Huánuco”.

1.1. Objetivos

1.1.1. Objetivo general

- Evaluar el efecto del manejo orgánico en el suelo y la producción de *Theobroma cacao* L. (cacao) en la región Huánuco

1.1.2. Objetivos específicos

- Determinar el efecto del manejo orgánico en los indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo: textura, Da, Rp, pH, MO, P, K, Ca, Mg, Al, CIC, AC y BC.
- Determinar el efecto del manejo en los indicadores de producción del cacao: número de mazorcas, índice de mazorcas y almendra seca.
- Determinar el impacto, a través del modelamiento, del manejo orgánico sobre indicadores de calidad del suelo y de producción del *T. cacao* cultivadas en la región.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Agricultura orgánica

Se trata de un sistema holístico de gestión de la producción que promueve y mejora la salud del agroecosistema, teniendo en cuenta la biodiversidad, los ciclos y la actividad biológica del suelo, así como las condiciones regionales y locales (Charvet, 2013). La agricultura ecológica promueve la protección de los suelos y los cultivos mediante prácticas como el reciclaje de nutrientes y materia orgánica (mediante el uso de compost elaborado con materiales locales y cubiertas vegetales), la rotación de cultivos y la no utilización de pesticidas y fertilizantes (Cáceres, 2003). La agricultura orgánica proporciona conocimientos y métodos para desarrollar una agricultura ambientalmente adecuada, viable desde el punto de vista productivo, económico y social.

La agricultura orgánica es una forma de practicar la agricultura que se acerca lo máximo posible a los procesos que se desencadenan de manera espontánea en la naturaleza. Este enfoque implica el uso adecuado de los recursos naturales involucrados en los procesos productivos sin alterar su equilibrio (Charvet, 2012). Esta manera de desarrollar la agricultura incorpora ideas sobre un enfoque agrícola más ligado al medio ambiente y más sensible socialmente, centrado no solo en la producción, sino también en la sostenibilidad ecológica del sistema de producción (Altieri, 1999).

2.2. Agricultura convencional o industrial

Es un modelo de producción agrícola, que Cáceres (2003), define como un tipo de producción agropecuaria de alto rendimiento, uso intensivo de capital (tractores y maquinarias de alta productividad) e insumos externos (semillas altamente productivas, fertilizantes y otros). Se trata de un modelo de agricultura basado en un conjunto de técnicas y paquetes tecnológicos, con una tendencia mundial hacia la industrialización de la agricultura, que Norman Borlaug denominó revolución verde en 1968. Consiste en un modelo implementado en la agricultura para obtener mayores rendimientos. Este modelo nació en Estados Unidos como respuesta a los cambios climáticos impredecibles de gran efecto entre ellos: sequías, inundaciones, aparición de plagas y enfermedades, que llamo la atención de la comunidad científica que promovieron la investigación en nuevas variedades, paquetes de fertilización y productos químicos para el control de plagas y enfermedades (Pichardo, 2006).

2.3. Calidad del suelo

Para el Servicio de Conservación de Recursos Naturales (NRCS) del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), lo define como la capacidad del suelo

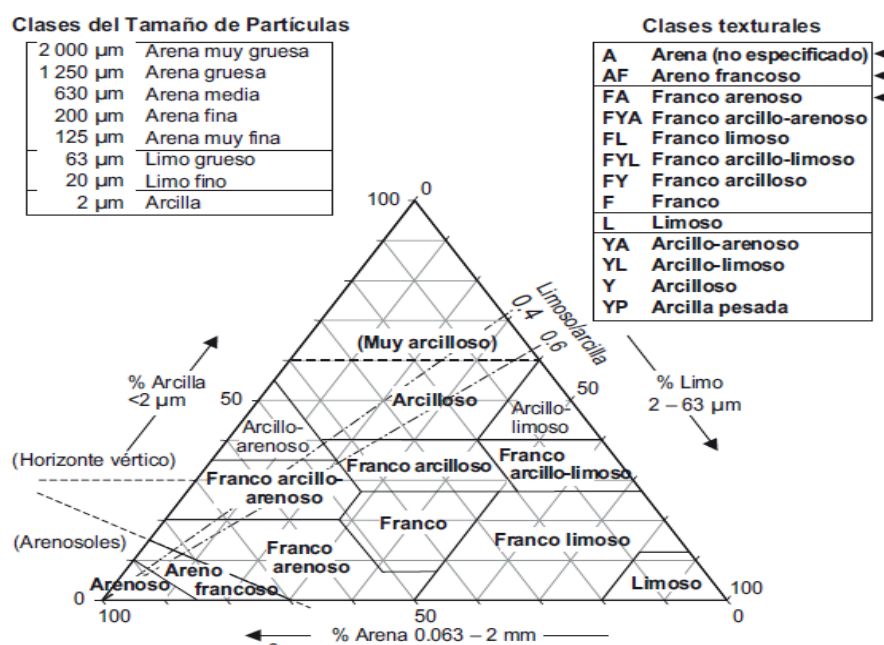
para desempeñar sus funciones en el presente y preservarlas para su uso futuro (USDA-NRCS, 2008; Machado & Mielniczuk, 2009). Por tanto, la calidad depende de los principales indicadores de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo (Cantú et al., 2007).

2.4. Propiedades físicas del suelo

El abono orgánico por su color oscuro absorbe mejor la radiación solar, el suelo adquiriendo más temperatura y se pueden absorber con mayor facilidad los nutrientes; además de ello mejora la textura/estructura del suelo, haciendo más ligeros a los suelos arcillosos y más compactos los suelos arenosos influyendo en el drenaje y aireación de este. Disminuyen la erosión del suelo, aumentan la retención del agua en el suelo absorbiendo más el agua y reteniéndolo por mucho tiempo incluso para épocas de verano (Huamán, 2021).

2.4.1. Textura

Proporción de arena, limo y arcilla, fracciones minerales de diferentes dimensiones. Las dimensiones de cada fracción tienen una nomenclatura estándar fijada por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos-USDA (Figura 1), como un mecanismo para clasificar la textura en diferentes clases (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura-FAO, 2009). Este indicador físico tiene relación directa con la retención del agua, aireación, drenaje y contenido de MO del suelo (FAO, 2020).



Fuente: FAO (2009)

Figura 1. Triángulo para determinar las clases texturales

De acuerdo con la Secretaría de Agricultura, Ganadería Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación-SAGARPA (2013), existe interacción entre la densidad y la textura (Tabla 1) que determinan en el crecimiento de las plantas.

Tabla 1. Interacción textura, Da y crecimiento radicular

Textura	Ideal (g cm ⁻³) Da	Aceptable (g cm ⁻³)	Puede afectar el crecimiento radicular (g cm ⁻³)	Restringe crecimiento radicular (g. cm ⁻³) Da
Ar, Ar - fr	< 1,60	1,60 ≤ Da < 1,69	1,69 ≤ Da < 1,80	> 1,80
Fr - ar, Fr	< 1,40	1,40 ≤ Da < 1,63	1,63 ≤ Da < 1,80	> 1,80
Fr - arc - ar, Fr - arc	< 1,40	1,40 ≤ Da < 1,60	1,60 ≤ Da < 1,75	> 1,70
Li	< 1,30	1,30 ≤ Da < 1,60	1,60 ≤ Da < 1,75	> 1,75
Fr - li, fr - ar - li	< 1,40	1,40 ≤ Da < 1,55	1,55 ≤ Da < 1,65	> 1,65
Arc - ar, Arc - li	< 1,10	1,10 ≤ Da < 1,39	1,39 ≤ Da < 1,58	> 1,58
Arc (> 45 %)	< 1,10	1,10 ≤ Da < 1,39	1,39 ≤ Da < 1,47	> 1,47

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5. Propiedades químicas

Es una de las propiedades más importantes del suelo, abarca no solo la composición elemental y nutricional del suelo, sino, los procesos que en ella ocurren por interacción y sinergias generadas por sus propios componentes (SAGARPA, 2012; Huamán, 2017).

2.5.1. Potencial de hidrógeno (pH)

Expresa la concentración de iones de hidrógeno en la solución del suelo y tiene efectos determinantes en la solubilidad de los minerales (SAGARPA, 2012). El pH define el grado de adsorción de iones H⁺ por las partículas del suelo y determina el nivel de acidez o alcalinidad. Además, influye en la solubilidad, movilidad y disponibilidad de otros constituyentes y contaminantes inorgánicos presentes en el suelo (FAO, 2020a).

Tabla 2. Niveles de pH del suelo

Nivel	pH
Fuertemente ácido	< 5,00
Medianamente ácido	5,00 a 6,50
Neutro	6,51 a 7,30
Medianamente alcalino	7,31 a 8,49
Fuertemente alcalino	≥ 8,50

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5.2. Materia orgánica (MO)

Material oscuro presente naturalmente en la capa superficial del suelo, con gran influencia en las propiedades físicas y químicas del suelo (SAGARPA, 2012). Presente en el suelo en distintos grados de descomposición: lábiles (carbohidratos, ligninas, proteínas, taninos, ácidos grasos) y húmicos (fúlvicos, húmicos y huminas). Sus niveles pueden mejorar la retención de humedad, formación de agregados, y elevar la CIC del suelo, con este último, mejorar la capacidad de retener nutrientes esenciales para las plantas (FAO, 2020a).

Tabla 3. Niveles de materia orgánica del suelo

Clase	%
Muy bajo	$MO < 0,50$
Bajo	$0,50 \leq MO < 1,50$
Medio	$1,50 \leq MO < 3,50$
Alto	$3,50 \leq MO < 6,00$

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5.3. Nitrógeno (N)

Determinante en la nutrición de los vegetales y el mayor constituyente de la naturaleza. Pese a ello, su asimilación en forma inorgánica por las plantas requiere la ayuda de los microorganismos. Es el principal constituyente de las proteínas, absorbidas por la raíz en forma catiónica como ion amonio y nitrato (FAO, 2020a).

Tabla 4. Niveles de nitrógeno del suelo

Categorías	(%)
Muy bajo	$< 0,05$
Bajo	0,05 a 0,09
Medio	0,1 a 0,15
Alto	0,16 a 0,24
Muy alto	$\geq 0,25$

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5.4. Fosforo (P)

En el suelo se encuentra en forma de ácidos fosfóricos o fosfatos y forma parte de las estructuras y componentes energéticos de las plantas, como las semillas. Además, las plantas lo absorben con dificultad porque en el suelo es muy reactivo y forma compuestos químicos poco solubles, sobre todo en suelos ácidos (SAGARPA, 2012), por lo que su suministro depende del proceso de meteorización de las rocas y de la aplicación de fertilizantes.

Tabla 5. Niveles de fosforo en el suelo

Categoría	P (ppm)
Bajo	Menores a 5,50
Medio	5,50-11,00
Alto	Mayores a 11,01

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5.5. Potasio (K)

Está disponible en forma de ion K^+ y su concentración en solución depende del potasio ubicado en la estructura laminar de las arcillas (SAGARPA, 2012). Los suelos recientes tienen elevadas concentraciones de K^+ y los suelos ricos en materia orgánica (MO) son pobres en K^+ (menos del 0,03 %), debido a la baja presencia de arcillas (Navarro y Navarro, 2003). Además, se le considera el elemento más importante en la fisiología vegetal por formar parte de los tejidos, por sus funciones como constituyente de estructuras básicas

esenciales y por neutralizar los ácidos orgánicos resultantes del metabolismo (Navarro y Navarro, 2003).

Tabla 6. Niveles de K^+ intercambiable

Categoría	($Cmol^{(+)} kg^{-1}$)
Muy bajo	Menores a 0,20
Bajo	0,20 - 0,30
Medio	0,30 - 0,60
Alto	Mayores a 0,61

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5.6. Calcio (Ca)

Es el catión metálico de reacción básica más abundante en los vegetales después del K^+ . Tiene su origen principalmente en la descomposición del material madre y los minerales que componen el suelo, por lo que su concentración puede presentar grandes variaciones, desde el 0,1 al 0,2 % en suelos ácidos y hasta el 25 % en suelos alcalinos (Havlin et al., 1999; SAGARPA, 2012; Acuña, 2020). Es un catión con baja capacidad de transporte dentro de las plantas, por lo que los tejidos prematuros son los primeros en manifestar deficiencias de este nutriente (Navarro y Navarro, 2003).

Tabla 7. Niveles de Ca intercambiable

Categorías	($Cmol^{(+)} kg^{-1}$)
Muy bajo	Menores a 2,00
Bajo	2,00 a 5,00
Medio	5,01- 10,00
Alto	Mayores a 10,01

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5.7. Magnesio (Mg)

Es un elemento esencial que ocupa el octavo lugar, con una concentración media del 2,1 %. Las formas comunes se encuentran como constituyentes de minerales e iones intercambiables en disolución. Los niveles de Mg^{2+} en solución varían según el material de origen, tipo de minerales, clase textural, los niveles de otros cationes, acidez, pluviometría, extracción vegetal, retención microbiana y los aportes vía enmiendas calcáreas. Por tanto, se encuentran bajos niveles en suelos ácidos, arenosos, fuertemente lavados y con baja CIC (Havlin et al., 1999).

Tabla 8. Niveles de Mg intercambiable

Categoría	($Cmol^{(+)} kg^{-1}$)
Muy bajo	Menores a 0,50
Bajo	0,50 a 1,30
Medio	1,30 a 3,00
Alto	Mayores a 3,01

Fuente: SAGARPA (2012)

2.5.8. Capacidad de intercambio de cationes (CIC)

Mide el número de cargas negativas presentes en las superficies de los minerales de arcilla y en la materia orgánica del suelo, y representa la cantidad de cationes (Ca, Mg, Na, K, NH₄, Al³⁺, Fe²⁺, etc.) que las superficies de los coloides pueden retener. (FAO, 2020a). Un alto nivel de CIC indica una buena capacidad del suelo para retener cationes; por el contrario, un bajo nivel de CIC indica una pobre capacidad para retener nutrientes (suelos arenosos o con baja MO). Tanto las partículas de arcilla como las moléculas orgánicas atraen a los cationes (SAGARPA, 2012).

Tabla 9. Niveles de CIC del suelo

Clase	(Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy alto	Mayores a 40,01
Alto	25,00 a 40,00
Medio	15,00 a 25,00
Bajo	5,00 a 15,00
Muy bajo	Menores a 5,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.6. Cacao

El cultivo del cacao se encuentra confinado a las zonas de bosque húmedo tropical, concentrándose su producción en una franja estrecha de no más de 20°C al norte y al sur de la línea ecuatorial (Quintero, 2004). La temperatura debe mantenerse entre 21 °C y 32 °C, y se requiere una precipitación anual de entre 1150 y 2500 mm para obtener una buena producción de cacao (MINAGRI, 2016). Es originario de América tropical y pertenece a la familia Sterculiaceae. Según la clasificación botánica, el cacao pertenece al género *Theobroma*, especie *cacao*. La planta empieza a producir entre el tercer y el quinto año después de la siembra (según la variedad) y alcanza su máximo rendimiento entre el octavo y el décimo año. No obstante, el cacaotero es productivo hasta los cuarenta y cinco años, siempre que se emplee un manejo agronómico adecuado (Quintero, 2004).

2.6.1. Genotipos de cacao

En la región de Huánuco se cultivan principalmente clones de cacao, es decir, plantas con idéntico componente hereditario que se han derivado de una planta madre seleccionada mediante propagación asexual por estacas, acodos o injertos, y que se propagan de modo exclusivo por medios vegetativos (Gamboa-Tabares et al., 2021). El clon más cultivado es el CCN-51, un cacao convencional obtenido en Naranjal, provincia de Guayas (Ecuador), en 1965, por el agrónomo Homero Castro Zurita. Su denominación CCN alude a la «Colección Castro Naranjal», y su numeración, 51, alude al número de cruces realizados para obtener la variedad deseada. Se trata de una variedad precoz, ya que inicia su producción a los

dos años; es resistente a plagas y enfermedades, y se adapta fácilmente a diversas zonas tropicales. Además, posee un alto porcentaje de grasa (54 %), lo que lo hace muy cotizado por la industria (Morales et al., 2015).

Sin embargo, la finca Alborada introdujo el clon VRAE-15 (Valle del Río Apurímac y Ene), un clon prometedor de tipo forastero, adaptado a suelos húmedos de la selva. Su mazorca es de color rojo cuando está inmaduro y rojo anaranjado cuando madura. El peso de su semilla es de 1,3 g y se considera de tamaño medio. Su forma es aplanada en sección transversal y su fruto es grande y ligeramente rugoso. Según estudios realizados en Tingo María, puede alcanzar un rendimiento de 3000 kg/ha cuando se siembra a alta densidad (Paredes, 2003). Se trata de un cacao de alto aroma, que recibe el nombre de «Colección Mendis Paredes» (CMP-15) en honor al ingeniero Mendis Paredes Arce, quien lo colectó de Palmapampa, región Ayacucho (Justo, 2019).

2.6.2. El cultivo de cacao

El cacao se cultiva en la parte baja de la vertiente occidental de los andes, pero se ha desarrollado básicamente en la selva peruana entre los 300 y 900 m s.n.m. La producción cayó en los años 90, presentando una etapa con bajos rendimientos. Un estimado de la producción en la zona de Quillabamba arrojaba rendimientos de 500 kg/ha. La producción promedio para Tingo María era de 300 kg/ha (Banco Agropecuario–AGROBANCO, 2012).

La variedad del cacao CCN-51, es un cacao convencional obtenido en Naranjal, provincia de Guayas en Ecuador, en el año 1965, por el agrónomo Homero Castro Zurita. Su denominación CCN alude a Colección Castro Naranjal y su numeración como 51 al número de cruces realizados para obtener la variedad deseada. Este cacao ha adquirido gran popularidad entre los agricultores por tener características de alta productividad por hectárea. Es auto compatible al no necesitar de polinización cruzada para su fructificación; de cultivo precoz al iniciar su producción a los dos años; resistente a plagas y enfermedades; fácilmente adaptable y posee un alto porcentaje de grasa (54%), haciéndolo económicamente viable en la industria (Ministerio de Agricultura y riego - MINAGRI, 2016).

2.6.3. Exigencias ambientales

El cacao cuenta con los siguientes requerimientos climáticos para su buen crecimiento y rendimiento (Banco Agrario-AGROBANCO, 2012):

a). Temperatura

El límite medio anual del cultivo es de 21 °C, ya que es difícil cultivar cacao satisfactoriamente con una temperatura más baja. Las temperaturas extremadamente altas pueden provocar alteraciones fisiológicas en el árbol, por lo que es un cultivo que debe estar a

la sombra para evitar que los rayos solares aumenten la temperatura directamente. La temperatura determina la formación de flores. Si es inferior a 21 °C, la floración es menor que si es de 25 °C, donde la floración es normal y abundante. Esto provoca que, en determinadas zonas, la producción de mazorcas sea estacional y que, durante algunas semanas, no haya cosecha cuando las temperaturas sean inferiores a 22 °C.

b). Agua

El cacao es una planta sensible a la escasez de agua, pero también al encharcamiento por lo que se precisarán de suelos provistos de un buen drenaje. Un anegamiento o estancamiento puede provocar la asfixia de las raíces y su muerte en muy poco tiempo. Las necesidades de agua oscilan entre 1500 y 2500 mm en las zonas bajas más cálidas y entre 1200 y 1500 mm en las zonas más frescas o los valles altos.

c). Viento

Vientos continuos pueden provocar un desecamiento, muerte y caída de las hojas. Por ello en las zonas costeras es preciso el empleo de cortavientos para que el cacao no sufra daños. Los cortavientos suelen estar formados por distintas especies arbóreas (frutales o madereras) que se disponen alrededor de los árboles de cacao.

d). Sombra

Cuando el cultivo este establecido el sombreado podrá estar en 25 o 30%, en los primeros años de vida debe estar comprendida al 50% para que alcancen buen desarrollo y limiten el crecimiento de las malas hierbas, las especies más usadas son las musáceas y leguminosas.

e). Suelo

En zonas con más lluvia, hay que tener cuidado con el drenaje. Esta planta se desarrolla en suelos no inundables, fértiles, ricos en materia orgánica, profundos y con buen drenaje, con un pH entre 4,5 y 6,5. Crece bien en suelos desde franco arenosos hasta arcillosos. El subsuelo debe ser permeable y permitir la fácil penetración de la raíz pivotante. Se adapta peor que otras especies nativas de la Amazonía a los suelos ácidos de baja fertilidad. No tolera niveles altos de aluminio. Otro factor importante de la materia orgánica es que constituye el alimento de los microorganismos del suelo, que participan de forma activa en la formación y desarrollo del suelo. El resultado de la descomposición de la materia orgánica en el suelo es el humus, que constituye un depósito de calcio, magnesio y potasio (MINAGRI, 2011).

2.7. Rendimiento del cacao

Uno de los productos agrícolas que más ha crecido en Perú es el cacao: en 16 años, ha pasado de 41 000 hectáreas sembradas a más de 140 000 hectáreas en 2016, y la producción

ha pasado de 25 000 toneladas a 108 000 toneladas en ese mismo período. Asimismo, los rendimientos del cacao han ido en aumento, sobre todo desde 2004, cuando el rendimiento medio nacional era de 486 kg por hectárea; en 2016, el rendimiento medio era de 769 kg por hectárea, que vincula a unos 420 000 peruanos dependen directamente de esta actividad (Alvarado & Iturrios, 2017).

El cacao dura más de cien años, pero su vida económica no pasa de 40 años. Sin embargo, no existe una curva rendimiento-edad para todas las regiones cacaoteras, porque depende de múltiples factores, como suelo, clima, germoplasma, manejo y las fluctuaciones de precios. La producción de frutos comienza a los 2-4 años, el rendimiento aumenta cada año hasta los 8 a 10 años, se estabiliza entre los 11-15 años y se mantiene desde los 16 hasta los 30-35 años. El rendimiento declina rápidamente entre los 46-60 años.

2.8. Estado del arte

2.8.1. Antecedentes internacionales

Charry et al. (2025) evaluaron el desempeño económico de diferentes sistemas de producción de cacao de Colombia, Ecuador y Perú. realizaron un análisis comparativo de quince sistemas de producción en seis regiones agroecológicas distintas. Ocho de los quince sistemas analizados resultaron económicamente viables, influenciadas por factores, como precios, rendimientos y disponibilidad de tierras adecuados, adecuada asignación de mano de obra, diversificación oportuna, subsidios y bajos costos de los factores productivos, condiciones mínimas para lograr rentabilidad e ingresos dignos.

Olarte-Libreros et al. (2025) evaluaron los efectos de las crisis internacionales y la generada por el COVID-19 en el comercio mundial de cacao. Identificaron cinco productores que representan el 75% de las exportaciones. Encontraron también que el comercio agrícola del cacao fue duramente afectado, pero que resistió la pandemia de 2020. Además, el efecto negativo fue mayor en los pequeños productores, ya que durante el COVID-19 se incrementó los costos de producción, redujo la probabilidad de exportación y generó volatilidad en los ingresos.

Huera (2018), con el objetivo de evaluar el efecto de "Full Cacao" con la fertilización convencional, y el comportamiento agronómico productivo del cacao CCN51; sus tratamientos fueron T0= Testigo, sin fertilización; T1= Fertilización inorgánica "Ferticacao", producto comercial usado en la zona en dosis de 250g/planta; T2 Fertilización orgánica "Biocompost", producto comercial, en dosis de 1 250 g/planta; T3 Fertilización compuesta (Orgánico e inorgánico) "Full Cacao" en dosis de 1 136 g/planta, como opción alternativa. Concluye, que existe diferencias entre los rendimientos logrados, T3 (Full cacao) presentó el

mayor rendimiento de almendra seca, 2 727.45 kg/ha, con 1 982.05 kg/ha para biocompost, 1 953.87 kg/ha con Fertilicacao y apenas 985.82 kg/ha para el testigo sin fertilización.

Gómez (2017), con el objetivo de evaluar agronómicamente el efecto de la aplicación de fertilizantes orgánicos y químicos en el cultivo de cacao, y Realizar un análisis económico de los fertilizantes orgánicos y los fertilizantes químicos en el cultivo de cacao. Concluye: que las diferentes aplicaciones de nutrientes no causaron efectos en la cantidad de frutos enfermos, y los tratamientos con fertilizantes químicos y orgánicos obtuvieron las mayores cantidades de frutos sanos con 21.-33 y 20.00 respectivamente, el rendimiento se benefició con las aplicaciones de los fertilizantes, el químico con uno 1.35 y el orgánico con 1.27 t/ha y el tratamiento con fertilizante químico alcanzó el mayor beneficio económico con una tasa de retorno marginal de 183 %.

Romero (2016), el estudio tuvo por objetivo determinar la respuesta eco morfológica del cultivo de cacao en condiciones agroforestales, con la aplicación de dos tratamientos de fertilización; concluye, que la respuesta de las plantas a la fertilización biológica (T1) y química (T2), no presenta diferencias estadísticas, sugiere en este caso, que no puede recomendarse ninguno de estos tratamientos en especial.

Álvarez et al. (2015) evaluaron el efecto de diferentes estrategias de manejo con la aplicación de enmiendas sobre el cultivo de cacao bajo SAF; se evaluaron cuatro tratamientos: T1, la fertilización convencional (AG); T2, el sulfato de potasio (SP); T3, ecocacao + Súper 4 (ECO-S4); y T4, la combinación (químico + orgánico) sulfato de potasio + ecocacao (SP-ECO). concluye, que existe efecto del esquema de fertilización sobre los parámetros agronómicos de cacao evaluados, especialmente sobre el rendimiento, con respuestas similares entre los tratamientos químico y orgánico, con promedios de: 2 730 kg/ha para AG, 2 125 para ECO-S4, 2 521,43 para SP y 1 837,5 para SP-ECO. Ambos esquemas de fertilización son una excelente propuesta para mejorar la producción de cacao en pequeños productores.

2.8.2. Antecedentes nacionales

Gutierrez (2024), evaluó el efecto de los sistemas agroforestales y monocultivo de cultivo de *T. Cacao* sobre los indicadores físicos del suelo. Encontró que el suelo del T4 (cacao con pino chuncho) obtuvo los mejores resultados: medianamente estable (50,92 % de estabilidad), porosidad alta (28,44 %), moderadamente profundo (profundidad de 67,13 cm), resistencia a la penetración de 0,70 kg/cm² (suelo muy suave), levemente ácido (pH de 6,37), materia orgánica media (2,99 %), rendimiento de 891 kg/ha (promedio rentable de este cultivo); a comparación del T1 (cacao en monocultivo) con el más bajo rendimiento (513

kg/ha). Concluye que los sistemas agroforestales mejoran físicamente al suelo y la rentabilidad del cultivo de cacao.

Quiroga (2024), en el Centro experimental CIPTALD - Tulumayo determino el efecto del mucílago de cacao como herbicida orgánico en el control de malezas del cacao. Se usaron seis concentraciones de mucílago de cacao fermentado (100 %, 90 %, 80 %, 70 %, 60 %, 50 %). Los resultados en altura de malezas a 1, 7, 15, 45, 75 y 90 días después de la aplicación de los tratamientos usados y el análisis económico. El T7 (100 % de mucílago de cacao fermentado) tuvo mayor rentabilidad y efecto de control de malezas a siete días después de la aplicación, con 64,3 %, una diferencia estadísticamente significativa con un precio de S/. 13,6 en comparación con otras concentraciones por día de control. Los extractos de mucílago de cacao fermentado (T2, T3, T4, T5, T6, T7) todos redujeron el aumento en la altura de malezas en promedio 15,46 % en comparación con el tratamiento Testigo (T1).

Lucano & Orihuela (2023), en Campo Verde, región Ucayali, realizaron una investigación para evaluar la calidad y eficiencia de un biol elaborado a partir de residuos de cosecha de cacao clon fino de aroma TSH-565 en una parcela con arreglo agroforestal. Se aplicó T1 biol diluido a una concentración de 10%, T2 al 15%, T3 al 20% y para el T4 se combinó biol al 15% adicionando la fertilización del productor (1kg de gallinaza, 250 g roca fosfórica y 250 g de dolomita). El N y K en el suelo no evidenció variación entre tratamientos, a excepción del P. En temporada de sequía solo variables de peso, diámetro (T1 y T2) y cantidad de mazorcas (T4 y T2) fueron significativamente superiores ($P < 0,05$). Los rendimientos más altos para grano seco fueron obtenidos en T1 (366 kg/ha) y T2 (380 kg/ha), siendo el más bajo el control con 185 kg/ha.

Mora (2023), evaluó el efecto de manejo orgánico en la calidad de suelo y el rendimiento de *Theobroma cacao* L. (cacao) del clon CCN51 en Huamancoto, Leoncio Prado. Evaluó plantaciones de 4 años (MO4), 6 años (MO6) y 8 años (MO8), y manejo tradicional de 8 años (MT8). Analizo variables físicos y químicos del suelo e indicadores de producción. encontró diferencias para textura, D_a y R_p , estos dos último, con tendencia a disminuir con el tiempo. Los indicadores químicos presentan diferencias, excepto, Na^+ , al igual que los indicadores de producción, todos muestran diferencias. Concluye, que el manejo orgánico supera en producción al manejo tradicional y mejora los indicadores del suelo con el tiempo.

Florida et al. (2022) evaluaron el efecto de la gestión del manejo orgánico en la calidad del suelo con plantaciones de cacao (variedades CCN-51 y CMP-15), en sistema agroforestal desarrollado en la finca Alborada, provincia de Leoncio Prado, Huánuco, Perú.

Evaluaron indicadores físicos y químicos del suelo. Encontrando diferencias significativas entre los tratamientos, el análisis de componentes principales (ACP) consideró relevante la fracción de arena, arcilla, OM, N, Ca^{2+} , Mg^{2+} , K^+ y CEC. El modelado, independientemente de la variedad y densidad de plantación, muestra aumentos significativos en pH, materia orgánica, N, P, Ca^{2+} , Mg^{2+} y CEC. Concluyen que el manejo orgánico es una alternativa tecnológica con capacidad para mejorar la calidad del suelo en plantaciones de cacao bajo sistemas agroforestales.

Justo (2019), realizó la caracterización mediante descriptores morfo agronómicos para determinar el grado de similaridad de clones de cacao de la Colección Mendis Paredes. El material genético estuvo constituido por seis clones colectados en Cusco (3), Ayacucho (2) y Huánuco (1). Con este propósito se utilizó una lista de descriptores morfológicos y agronómicos de Trinidad y Tobago, con 13 caracteres, ocho de mazorcas (5 cualitativos y 3 cuantitativos) y cinco de semillas (3 cualitativos y 2 cuantitativos). La caracterización morfológica mostró, con excepción de la antocianina en lomo de la mazorca (ALM), y el color de cotiledón (CCS), una baja a moderada variación fenotípica; en cambio, la caracterización agronómica mostró, con excepción del peso fresco de semilla (PFS) y el número de mazorcas/árbol (NUM), coeficiente de variación de 23.8 % y 16.1 %, respectivamente. El dendrograma a 0.75 de similaridad mostró dos grupos: I (CMP-15, CMP, 81 y CMP-99), y el II (CMP-6, CMP-102 y CMP-91), según su afinidad fenética.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

La investigación se desarrolló en el ámbito de la región Huaónuco, que involucra a 4 plantaciones de cacao con alto rendimiento, que se detallan a continuación:

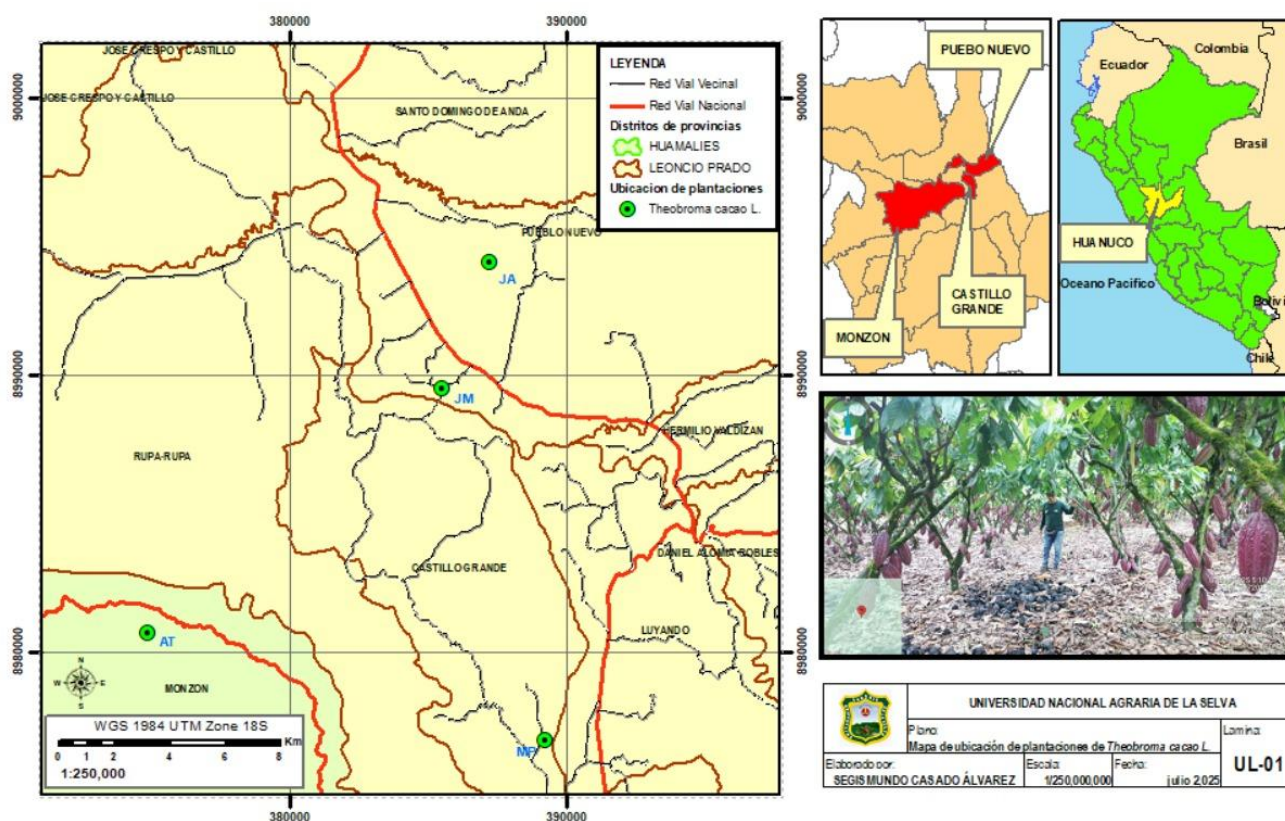


Figura 2. Localización de las plantaciones de *T. cacao* en estudio

3.1.1. Plantación 01 (JA)

La plantación 01, pertenece al Sr. Julio Asencio Bravo, ubicado en la zona 18L, coordenadas UTM 387198 E y 8994039 N, a 630 m s.n.m. Políticamente se encuentra en el poblado de La Esperanza, distrito Pueblo Nuevo, provincia Leoncio Prado en la región Huanuco.

Plantación del clon CCN-51 de 12 años, con distanciamiento de 2,50 x 2,50 m entre planta y entre filas, sistema de siembra tres bolillos y con densidad de 1 848 plantas por hectárea, bajo sistema de monocultivo, con manejo combinado orgánico-químico. La plantación recibe anualmente manejo cultural consistente en una poda de bajada de altura en agosto lo cual permite mantener la forma y altura adecuada de la planta; también, poda de apertura de calles y copa, y poda fitosanitaria de manera permanente. El control de malezas de la plantación se desarrolla de forma manual, entre dos a tres veces al año con ayuda de una motoguadaña.

Respecto al plan de fertilización de la plantación, consiste en:

1. Al inicio de botón floral(jul-agos), aplica al suelo un producto formulado: guano de isla, fosfato diamónico, sulfato de potasio, urea, magnocal, ulexita, sulfato de cobre, sulfato de magnesio, sulfato de zinc y sulfato de manganeso (289 gramos/planta), las proporciones se detallan en la Tabla 10.
2. Segunda etapa, inicio de la floración (nov-dic), aplica una formulación de guano de isla, sulfato de potasio, fosfato diamónico, urea, magnocal y ulexita(180 gramos/planta).
3. Tercera etapa, inicio de la fluctuación (feb-mar), aplica una formulación de guano de isla, sulfato de potasio, fosfato diamónico, urea y magnocal(134 gramos/planta).
4. En etapa de reposo (julio-agosto) y previo al inicio del botón floral aplica foliares Ca y B, y P-K como sulfopotásico (2 litros/cilindro de 200 litros), cada 15 días, 3 veces/campaña. En esta etapa de reposo también aplica quelato de cobre 1 litro/ cilindro de 200 litros, 2 veces/campaña,
5. Fertilización orgánica al suelo (agos-set-oct), a base de compost 1 kg/planta/año y humato de potasio 10 litros/ cilindro de 200 litros/ha/año).



Figura 3. Plantación (01) de cacao CCN-51 con manejo orgánico-químico en Pueblo Nuevo

3.1.2. Plantación 02 (AT)

Pertenece al Sr. Abel Timoteo Alcedo Bacilio, ubicado en la zona 18L, coordenadas UTM 374838E y 8980676N a 854 m s.n.m. Políticamente se encuentra en el poblado de Sachavaca, distrito Monzón, provincia de Huamalíes. Plantación de CCN-51 de 9 años con distanciamiento de 2,70 x 2,70 m a tres bolillos, con densidad de 1 584 plantas por

hectárea bajo sistema de monocultivo con manejo combinado orgánico-químico. En la plantación se aplica un control de malezas manual y el propietario aplica el plan de fertilización aplicado en la plantación 01 (Tabla 10) y el control fitosanitario de manera permanente, a través de la remoción de frutos y tejidos enfermos cada 15 días y aplicación de caldos minerales.

1.- Al inicio de botón floral(jul-agos), aplica al suelo un producto formulado: guano de isla, fosfato diamónico, sulfato de potasio, magnocal, superfosfato triple, ulexita, kisierita, roca fosforica sulfato de cobre, sulfato de zinc y sulfato de manganeso (374 gramos/planta).

2.- Segunda etapa, inicio de la floración (nov-dic), aplica una formulación de guano de isla, sulfato de potasio, fosfato diamónico, superfosfato triple, ulexita y roca fosforica(152 gramos/planta).

3.- Tercera etapa, inicio de la fluctificación (feb-mar), aplica una formulación de guano de isla, sulfato de potasio, fosfato diamónico, superfosfato triple, ulexita y roca fosforica (110 gramos/planta).

La diferencia con la plantación 01 (JA) la aplicación de foliares (Ca-B), (k), sulfopotásico 3 litros/cilindro de 200 litros, cada 15 días, se aplican 04 en lugar de tres veces/campaña. También el quelato de cobre 1 litro/ cilindro de 200 litros, 2 veces en lugar de una/campaña, y el humato de potasio 10 litros/ cilindro de 200 litros, cada 21 días, 3 veces/campaña, en lugar de dos aplicaciones.



Figura 4. Plantación (02) de cacao CCN-51 con manejo orgánico-químico en Sachavaca

3.1.3. Plantación 03 (JM)

Pertenece al Sr. Jean Moises Pilco Tolentino, ubicado en la zona 18L, coordenadas UTM 385505E y 8989495N a 627 m s.n.m. Políticamente se encuentra en el poblado de Shiringal, distrito Pueblo Nuevo, provincia de Leoncio Prado. Plantación de CCN-51 de 12 años con distanciamiento de 2,50 x 2,50 m a tres bolillos con densidad de 1 848 plantas por hectárea bajo sistema de monocultivo con manejo combinado orgánico-químico.

En la plantación se aplica el plan de fertilización de la plantación 01, según la Tabla 10.

1.- Al inicio de botón floral(jul-agos), aplica al suelo un producto formulado: guano de isla, fosfato diamonico, sulfato de potasio, urea, magnocal, superfosfato triple, ulexita, sulfato de cobre, sulfato de magnesio, sulfato de zinc y sulfato de manganeso (263 gramos/planta).

2.- Segunda etapa, inicio de la floración (nov-dic), aplica una formulación de guano de isla, sulfato de potasio, fosfato diamónico, urea, magnocal, superfosfato triple y ulexita(165 gramos/planta).

3.- Tercera etapa, inicio de la fluctificacion (feb-mar), aplica una formulación de guano de isla, sulfato de potasio, fosfato diamónico, urea, magnocal, superfosfato triple y ulexita (131 gramos/planta).

La plantación recibe anualmente manejo cultural consistente en una poda de bajada de altura en agosto lo cual permite mantener la forma y altura adecuada de la planta; tambien, poda de apertura de calles y copa, y poda fitosanitaria de manera permanente (cada 15 días). El control de malezas de la plantación se desarrolla de forma manual, entre dos a tres veces al año con ayuda de una motoguadaña.



Figura 5. Plantación (03) de cacao CCN-51 con manejo orgánico-químico en Shiringal

3.1.4. Plantación 04 (MP)

Pertenece al Sr. Mendis Paredes Arce, ubicado en la zona 18L, coordenadas UTM 389235E y 8976797N a 661 m s.n.m. Políticamente se encuentra en la localidad de Papayal, distrito Castillo Grande, provincia de Leoncio Prado. Plantación de cacao aromático CMP-15 de 7 años con distanciamiento de 1,00 x 2,50 m y una densidad de siembra de 4000 plantas /ha. Aplica la tecnología 100% orgánica denominada “manejo MOM” descrita en Florida et al. (2022), que consiste en:

- Gestión en sistema agroforestal (*T. cacao* L. y *G. crinita* Mart.).
- Poda drástica anual (70 % del follaje).
- Aplicación de compost al suelo antes de la poda drástica (400 g/planta).
- Biofertilización foliar triple (combina: biol, biofungicida y bioinsecticida), basada en insumos locales a 3 días de la poda y a 21 días de la primera aplicación.
- Uso del genotipo CMP-15 de la Colección Méndiz Paredes.



Figura 6. Plantación (04) de cacao CMP15 con manejo orgánico MOM en Castillo Grande

Tabla 10. Plan de fertilización orgánico-químico en plantaciones de cacao

Insumo	1° abonamiento (Agosto)			2° Abonamiento (Noviembre)			3° Abonamiento (Febrero)		
	JA	AT	JM	JA	AT	JM	JA	AT	JM
Dolomita (kg ha ⁻¹)							1500.00		
Guano de Isla (kg ha ⁻¹)	200.00	125.00	125.00	120.00	75.00	75.00	80.00	50.00	50.00
Fosfato diamónico (kg ha ⁻¹)	125.00	62.50	100.00	75.00	37.50	60.00	50.00	25.00	40.00
Sulfato de K (kg ha ⁻¹)	10.00	10.00	10.00	15.00	15.00	15.00	25.00	25.00	25.00

Urea (kg ha ⁻¹)	7.30	--	16.50	10.95	--	24.75	18.25		41.25
Magnocal (kg ha ⁻¹)	87.50	50.00	75.00	52.50	--	45.00	35.00		30.00
Superfosfato triple (kg ha ⁻¹)	--	25.00	43.75	--	15.00	26.25	--	10.00	17.50
Ulexita (kg ha ⁻¹)	97.50	87.50	97.50	58.50	52.50	58.50	39.00	35.00	39.00
Kieserita (MgSO ₄)	--	150.00	--	--	--	--	--	--	--
Roca fosfórica (kg ha ⁻¹)	--	75.00	--	--	45	--	--	30	--
Sulfato de cobre (kg ha ⁻¹)	1.50	2.50	1.13	--	--	--	--	--	--
Sulfato de Zinc (kg ha ⁻¹)	3.00	4.00	3.25	--	--	--	--	--	--
Sulfato de Mg (kg ha ⁻¹)	1.00	--	12.50	--	--	--	--	--	--
Sulfato de Mn (kg ha ⁻¹)	1.00	1.00	1.00	--	--	--	--	--	--
Subtotal (kg ha ⁻¹)	533.80	592.50	485.63	331.95	240.00	304.50	247.25	175.00	242.75
Total, JA	1 113.00 kg ha⁻¹								
Total, AT	1 007.50 kg ha⁻¹								
Total, JM	1032.88 kg ha⁻¹								

JA, Julio Asencio Bravo's plantation; AT, Abel Timoteo Alcedo Bacilio's plantation; JM, Jean Moisés Pilco's plantation; MP, Mendis Paredes Arce's plantation; --, data not recorded.

3.1.5. Características bioclimáticas de las áreas evaluadas

De acuerdo con la clasificación de zonas de vida o formaciones vegetales del mundo de Holdridge (2000), los distritos en evaluación (Castillo Grande, Monzón y Pueblo Nuevo) pertenece a un bosque muy húmedo- Subtropical (bmh-S). Toda la provincia de Leoncio Prado y el distrito de Monzón pertenecen a la selva alta del Perú, con relieve variado, observándose una configuración de llanuras, pendientes y laderas agrestes. Las condiciones climáticas generales que presentan son las siguientes: temperatura media anual es de 24,5 °C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 3400 mm, por lo que, según Pulgar (2014) esta zona pertenece a la Ecorregión Rupa Rupa o selva alta.

3.2. Criterios de selección de las plantaciones evaluadas

Las plantaciones evaluadas fueron 04, se identificaron y seleccionaron de manera selectiva en la jurisdicción, para ello se acudió y solicitó información de los productores con manejo orgánico, que alcancen altos rendimientos (> 2 000 kg/ha), y que se encuentran registrados en el el Programa Nacional de Vida y sin Drogas (DEVIDA), con intervención en el Alto Huallaga. Se identificaron 03 áreas registrados en el programa y se comparó con una plantación modelo independiente al programa, una vez identificada se aplicó los siguientes criterios:

- Ubicación y entrevista para explicar los objetivos del proyecto y obtener la autorización del propietario de la plantación para el estudio correspondiente.
- Se aplicó como criterio técnico que la plantación este en etapa productiva y con manejo activo y trazabilidad del manejo al momento de la evaluación.

- Se caracterizó y describió el manejo durante el ciclo productivo, momento y cantidad aplicada de enmiendas, biofertilizantes, fertilizantes, etc.
- Se delimitó un área de muestreo (1 000 m² de área cultivada) para obtener de manera aleatoria muestras de suelo y producción del cacao.

3.3. Materiales y equipos

3.3.1. Materiales de campo y laboratorio

Pala, machete, bolsas plásticas, etiquetas de papel, wincha de 30 m, tamiz de 5,2 y 0,25 mm de diámetro, reactivos.

3.3.2. Equipos de campo y laboratorio

GPS marca Garmin, cámara fotográfica, balanza digital.

3.4. Metodología

3.4.1. Tipo y nivel de investigación

Es de tipo básica, porque se recurrió a conocimientos establecidos en las ciencias agrícolas para identificar y caracterizar la aplicación de 2 sistemas de cultivo (monocultivo y agroforestal) y dos técnicas de manejo (orgánico y orgánico-químico) en plantaciones de *T. cacao*. Asimismo, corresponde a un nivel de investigación descriptiva comparativa-explicativa, porque se evaluó a través del modelamiento el efecto de los sistemas de manejo orgánico sobre indicadores físico químico de calidad del suelo y de producción del cacao, según los criterios establecidos por las normas nacionales e internacionales; sustentado en Hernández et al. (2014) quien indica que la investigación básica se caracteriza por su interés en la aplicación de los conocimientos teóricos a determinada situación concreta y constituye el primer esfuerzo para transformar los conocimientos científicos en tecnológicos.

3.4.2. Diseño de la investigación

Corresponde a una investigación no experimental comparativa-explicativa, de corte transversal, ajustado estadísticamente a un diseño completamente aleatorizado (DCA), donde los tratamientos (Tabla 11) lo constituyen los diferentes tipos de manejo en plantaciones de alto rendimiento (04 plantaciones: JA, AT, JM y MP), con 10 repeticiones y un tamaño de muestra $n=40$ aplicados en la producción de cacao. Se evaluó variables físicas (arcilla, limo y arena) y químicas (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, CIC) del suelo y producción del cacao (número de mazorcas, índice de mazorcas y rendimiento en almendras secas). Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y las correspondientes pruebas post-hoc de Tukey con un nivel de significancia de $p \leq 0,05$ para la comparación de medias de las variables entre los abonos evaluados. Para el procesamiento de los datos se utilizó

el software libre IBM-SPSS 25, los datos fueron presentados en tablas, analizadas estadísticamente y presentados gráficamente en barras o líneas de tendencia.

Tabla 11. Esquema del análisis de varianza (ANVA)

Fuente de variabilidad	Grados de libertad (G.L.)	
Tratamiento	k-1	3
Error experimental	n-k	36
Repeticiones	n/k	10
Total	n-1	39

G.L. = Grados de libertad n = Tamaño de muestra, k = Número de tratamientos.

El modelo aditivo lineal se describe en la sección 3.7.1. (Tabla 13 y Ecuación 1).

3.4.3. Variables en estudio

Tabla 12. Operacionalización de variables

Hipótesis	Variable	Dimensiones	Indicadores
Los sistemas de manejo orgánico tienen efectos positivos significativos en la calidad del suelo y la producción, alcanzando altos rendimientos (>2,00 t ha ⁻¹) en plantaciones de <i>Theobroma cacao</i> L. (cacao) desarrollados en la región Huánuco	Cultivo de <i>Theobroma cacao</i> de alto rendimiento (Independiente)	Manejo del cultivo	Agroforestal
			Orgánico
	Calidad del suelo, en estrato superficial de 0,00-0,20 m (dependiente)	Propiedades químicas	Orgánico-químico
			Textura (arena, arcilla y limo)
			pH
			MO (%)
			P (ppm)
			K ⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)
			CIC (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)
			Ca ²⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)
Mg ²⁺ (Cmol ⁽⁺⁾ /kg)			
Producción del cacao (dependiente)	Producción	Número de frutos (Nº/planta)	
		Índice de frutos (frutos/kg)	
	Rendimiento	Almendras secas Kg/ha	

3.4.4. Población y muestra

La población está constituida por 74 plantaciones que forman parte de los beneficiarios del Programa de desarrollo alternativo, dirigida por DEVIDA, quienes reciben asistencia técnica en la producción de cacao. Las plantaciones están distribuidas en las localidades de Shiringal (31 plantaciones), Esperanza (23 plantaciones), Sachavaca (20 plantaciones). Estas áreas reciben asistencia y trazabilidad por más de tres a cinco años y se seleccionó intencionalmente las que tienen alto rendimiento (mayor a 2 000 kg/ha anual). En este contexto, la muestra es de tipo no probabilístico por conveniencia, y lo conforman 04 plantaciones que cumplen con este criterio de alto rendimiento, y el área número 4, corresponde

a una plantación que no está en el programa, pero ha reportado el rendimiento más alto en la región (Florida et al., 2022), por lo que, se ha tomado como área de referencia.

3.5. Determinación de los indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo

Se realizó los análisis de muestras de suelo de plantaciones de *T. cacao*, con manejo orgánico y orgánico-químico. En ellas se seleccionó una subárea de 1 000 m² y se realizó el muestreo en 10 puntos al azar en cada subparcela, los puntos coinciden con 10 plantas de *T. cacao* seleccionadas para ser evaluadas, en cada planta se extrajo 04 submuestras de suelo para obtener una muestras compuestas, extraída a la altura de copa de cada planta seleccionada, según la metodología de la Soil Taxonomy (2014), considerando estrato de 0,00–0,20 m de profundidad, evaluándose indicadores físicos y químicos del suelo según Bazán (2017).

Tabla 13. Indicadores fisicoquímicos del suelo a evaluarse

Indicadores	Método de su determinación
Textura	Bouyoucos
Materia Orgánica	Método de Walkley y Black
pH	Método electrométrico
Nitrógeno	Micro Kjeldahl
Fosforo disponible	Método de Olsen modificado
Potasio disponible	Método del acetato de amonio
Calcio disponible	Método del acetato de amonio
Magnesio disponible	Método del acetato de amonio
Capacidad de intercambio catiónico	Indirecto

3.6. Determinación de los indicadores de producción del cacao.

Se seleccionó 10 plantas de cacao al azar en la subárea de muestreo de 1 000 m², en ella se utilizó los criterios metodológicos propuestos por Dos Santos & Midlej (2016) y Orozco-Aguilar et al. (2024) para determinar parámetros de rendimiento a través del número de frutos (a) y el índice de mazorcas (b).

a). Número de frutos o mazorcas

Se obtuvo contabilizando el número total de frutos o mazorcas con dimensiones $\geq 10,00$ cm. El resultado se expresó en mazorcas/planta

b). Índice de mazorcas

son las mazorcas necesarias para obtener un kilogramo de cacao seco y se expresa con la siguiente fórmula:

$$I_m = \#M/\text{kg cacao seco}$$

Donde:

I_m = índice de mazorcas # mazorcas/kg cacao seco

#M= número de mazorcas

c). Rendimiento

El cálculo según las referencias señaladas se basa en un método simple que combina el conteo de mazorcas y el índice de mazorcas, y se contabiliza solo mazorcas mayores a 10 cm como factores de descuento por sobrevivencia, pues una vez alcanzado esta medida mínima la posibilidad de supervivencia del fruto es alta. El cálculo del rendimiento es como sigue:

$$R = \#m * I_m$$

Donde:

R = rendimiento en Kg/planta

#m = número de mazorcas por planta

I_m = índice de mazorcas

3.7. Análisis estadístico

3.7.1. Determinación de diferencias

Los datos se sometieron al análisis de varianza para la comparación de medias de los indicadores físicos y químicos en los diferentes sistemas de manejo evaluado, se aplicó la prueba t - Student con un nivel de significancia del 5% con el software libre IBM-SPSS 25. El modelo aditivo lineal del análisis de varianza para la comparación de medias es:

Tabla 14. Tabla de ANOVA

Fuente de variación	Grados de libertad (gl)	Suma de cuadrados (SC)	Cuadrado medio (CM)	Cociente F-Fisher (F_c)	p-value
Entre grupo de tratamiento (A)	$gl_1 = k - 1$	$SCA = \sum_{i=1}^k \frac{Y_i^2}{n_i} - \frac{Y^2}{n}$	$CMA = \frac{SCA}{k - 1}$	$F_c = \frac{CMA}{CME}$	Prob[.]
Error de muestreo (E)	$gl_2 = n - k$	$SCE = SCT - SCA$	$CME = \frac{SCE}{n - k}$	-	-
Total (T)	n-1	$SCT = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^{n_i} Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{n}$	-	-	-

gl_1 = Grados de libertad del numerador, gl_2 = Grados de libertad del denominador, Prob[.] = Prob[$F > F_c / gl_1, gl_2$], n_i = Número de repeticiones en el tratamiento "i", n = Tamaño de muestra, k = Número de tratamientos.

$$Y_{ij} = \alpha_i + \mu + \varepsilon_{ij} \quad (1)$$

Donde:

Y_{ij} = Corresponde al valor observado j dentro del tratamiento i y tienen cada una una distribución normal $N(\mu_i, \sigma^2)$.

α_i = Representa el efecto asociado al tratamiento i ($\alpha_i = \mu_i - \mu$).

μ = Es la media general del modelo.

ε_{ij} = Son términos de error aleatorios, independientes y con distribución normal $N(0, \sigma^2)$.

A continuación, se detallan las pruebas de verificación de los supuestos que sustentan el empleo de un DCA:

1. Independencia de los tratamientos: Los k tratamientos son independientes entre sí, es decir, las muestras provienen de grupos distintos y no están relacionados.

2. Normalidad: Cada tratamiento debe seguir una distribución normal. Para contrastar este supuesto se plantean las siguientes hipótesis:

Hipótesis nula (H_0): Los datos del tratamiento k se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternante (H_a): Los datos del tratamiento k no se ajusta a una distribución normal.

Este supuesto se considera válido cuando no se rechaza la H_0 .

3. Homogeneidad de varianzas (homocedasticidad): Las k varianzas poblacionales (σ^2_i) deben ser iguales a una varianza común σ^2 . La prueba correspondiente se basa en las hipótesis:

$H_0: \sigma^2_i = \sigma^2$ (hay homocedasticidad).

$H_a: \sigma^2_i \neq \sigma^2$ (hay heterocedasticidad).

3.7.2. Modelo de regresión lineal múltiple (RLM)

El modelo de Regresión Lineal Múltiple se representa vectorialmente en la Ecuación (1), fundamentado en Greene (2012). Esta metodología permite cuantificar el efecto de las variables independientes (X) sobre la variable dependiente (Y). La estimación de los parámetros (β) se realizó mediante el método de Mínimos Cuadrados Ordinarios (MCO).

$$Y = X\beta_{MCO} + \mu \quad (1)$$

Donde el término de error (μ) debe seguir una distribución normal con media cero ($E(\mu) = 0$) y varianza contante (σ^2_μ).

3.7.3. Validación del modelo

i. Prueba de normalidad

Para verificar el supuesto de normalidad de los residuos (μ), se empleó la prueba de Jarque-Bera (JB) (Jarque & Bera, 1980). Las hipótesis planteadas fueron:

Hipótesis nula (H_0): El término de error (μ) se ajusta a una distribución normal.

Hipótesis alternante (H_a): El término de error (μ) no se ajusta a una distribución normal.

El estadístico de contraste JB, que se distribuye asintóticamente como una Chi-cuadrado con 2 grados de libertad ($gl = 2$), se calcula mediante la Ecuación (2):

$$JB = n \left[\frac{\text{Asimetría}^2}{6} + \frac{(\text{Curtosis} - 3)^2}{24} \right] \square \chi_{gl=2, \alpha}^2 \quad (2)$$

Donde “n” es el tamaño de la muestra.

La decisión se basa en el valor p asociado al estadístico, expresado en la Ecuación (3):

$$\text{Prob}[\chi^2 \geq JB/gl = 2] \quad (3)$$

ii. Prueba de heteroscedasticidad

La homocedasticidad de los residuos se evaluó mediante la prueba de White (White, 1980). Las hipótesis fueron:

$H_0: \sigma^2_i = \sigma^2_\mu \forall i$ (Homocedástico).

$H_a: \sigma^2_i \neq \sigma^2_\mu \exists i$ (Heterocedástico).

Para contrastar H_0 , se compara el estadístico W de White, definido en la Ecuación (4), con el valor crítico de la distribución Chi-cuadrado con “k-1” grados de libertad (donde “k” es el número de parámetros) y un nivel de significancia α .

$$W = nR_\mu^2 \square \chi_{gl=k-1, \alpha}^2 \quad (4)$$

Aquí, R_μ^2 es el coeficiente de determinación de la regresión auxiliar del cuadrado de los residuos (μ^2_i) sobre las variables independientes, sus cuadrados y sus productos cruzados.

La regla de decisión en términos de probabilidad se define en la Ecuación (5):

$$\text{Prob}[\chi^2 \geq W/gl = k-1] \quad (5)$$

Si $\text{Prob}[\cdot] > \alpha$, los estimadores MCO son consistentes. Si $\text{Prob}[\cdot] \leq \alpha$, se requiere el uso de Mínimos Cuadrados Generalizados (MCG) para obtener estimadores consistentes, como se muestra en la Ecuación (6):

$$Y = X\beta_{\text{MCG}} + \varepsilon \quad (6)$$

Donde el nuevo término de error (ε) debe cumplir con $E(\varepsilon) = 0$ y una varianza contante σ_ε^2 .

iii. Prueba de multicolinealidad

La multicolinealidad entre las variables independientes se evaluó mediante el Factor de Inflación de la Varianza (VIF), siguiendo a O’Brien (2007). La Ecuación (7) presenta su fórmula:

$$\text{VIF} = \frac{1}{1 - R_x^2} \quad (7)$$

Donde: R_x^2 es el coeficiente de determinación de la regresión de cada variable independiente sobre las demás. Un $\text{VIF} > 10$ indica multicolinealidad significativa. En este estudio, se reporta el VIF promedio de todas las variables del modelo.

iv. Coeficiente de determinación (R^2)

Se utilizó el R^2 como medida de bondad de ajuste del modelo (Greene, 2012), representando el porcentaje de la variación de Y explicado por las variables X. Su cálculo se realiza mediante la Ecuación (8):

$$R^2 = \frac{\beta'X'Y - n\bar{Y}^2}{Y'Y - n\bar{Y}^2} \quad (8)$$

v. Prueba de relevancia global

La significancia estadística global del modelo especificado en la Ecuación (9) se verificó con un nivel de significancia α (Greene, 2012).

$$Y_i = \beta_0 + \beta_1 X_{1i} + \beta_2 X_{2i} + \beta_3 X_{1i} * X_{2i} + \mu_i \quad (9)$$

Las hipótesis planteadas fueron:

$H_0: \beta_0 = \beta_1 = \beta_2 = \beta_3 = 0$ (El modelo no es significativo).

$H_a: \beta_0 \neq \beta_1 \neq \beta_2 \neq \beta_3 \neq 0$ (El modelo es significativo).

El contraste se realizó utilizando el estadístico F de Fisher (F_c), definido en la Ecuación (10):

$$F_c = \left[\frac{\beta'X'Y - n\bar{Y}^2}{Y'Y - \beta'X'Y} \right] \left[\frac{n-k}{k-1} \right] \square F_{gl_1=k-1, gl_2=n-k, \alpha} \quad (10)$$

La decisión se basa en el valor p mostrado en la Ecuación (11):

$$\text{Prob}[F \geq F_c / gl_1 = k - 1, gl_2 = n - k] \quad (11)$$

vi. Prueba de relevancia individual

La significancia individual de cada parámetro en el modelo de la Ecuación (9) se evaluó siguiendo a Wooldridge (2018), con las hipótesis:

$H_0: \beta_k = 0$ (La variable X_k no explica Y)

$H_a: \beta_k \neq 0$ (La variable X_k explica Y)

Se utilizó el estadístico t de Student (t_c) y su valor p bilateral, como se muestra en las Ecuaciones (12) y (13):

$$t_c = \frac{\hat{\beta}_k - \beta_k}{\sqrt{\text{Var}(\hat{\beta}_k)}} \quad (12)$$

$$2\text{Prob}[t \geq t_c / gl = n - k] \quad \vee \quad 2\text{Prob}[t \leq t_c / gl = n - k] \quad (13)$$

Donde: $\text{Var}(\hat{\beta}_k)$ es la varianza de $\hat{\beta}_k$.

vii. Raíz cuadrada del error cuadrático medio (RMSE)

Para medir la precisión predictiva del modelo, se utilizó la Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), que cuantifica la diferencia entre los valores observados (Y_i) y los predichos (\hat{Y}_i) (James et al., 2013). Un valor más cercano a cero indica un mejor ajuste. Su fórmula se presenta en la Ecuación (14):

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2} \quad (14)$$

3.7.4. Análisis de sensibilidad

A partir del modelo de la Ecuación (9), se analizó la sensibilidad de la variable dependiente (Y_i) ante cambios en las variables independientes (X_i). Para variables cuantitativas, la sensibilidad se expresa mediante la derivada parcial (Ecuación 15) o, si el modelo está en logaritmos, mediante la elasticidad (Ecuación 16).

$$\frac{\partial Y_i}{\partial X_{1i}} = \beta_1 \quad (15)$$

$$\frac{\partial \text{Ln} Y_i}{\partial \text{Ln} X_{1i}} = \beta_1 \Rightarrow \frac{\partial Y_i}{\partial X_{1i}} \cdot \frac{X_{1i}}{Y_i} = \beta_1 \quad (16)$$

Para variables cualitativas (dummy), el efecto se captura a través de la diferencia en los niveles de Y (Ecuación 17) o, en modelos logarítmicos, como un cambio porcentual aproximado (Ecuación 18).

$$\frac{\Delta Y_i}{\Delta X_{2i}} = \beta_2 \Rightarrow \frac{\Delta Y_i}{\Delta X_{2i}} = Y_i|_{X_{2i}=1} - Y_i|_{X_{2i}=0} = \beta_2 \quad (17)$$

$$\frac{\Delta \text{Ln} Y_i}{\Delta X_{2i}} = \beta_2 \Rightarrow \frac{\Delta \text{Ln} Y_i}{\Delta X_{2i}} = \text{Ln} Y_i|_{X_{2i}=1} - \text{Ln} Y_i|_{X_{2i}=0} = \beta_2 \quad (18)$$

3.7.5. Especificación de los modelos

a) Calidad del suelo: Propiedades físicas

$$\text{Ln} \left(\frac{\text{Arena}_i}{1 - \text{Arena}_i} \right) = \beta_0 + \beta_1 \text{Agroforestal}_i + \beta_2 \text{Orgánico}_i + \beta_3 \text{Agroforestal}_i * \text{Orgánico}_i + \beta_4 \text{LnDensidad}_i + \beta_5 \text{LnEdad}_i + \mu_{1i} \quad (19)$$

$$\text{Arcilla}_i = \beta_6 + \beta_7 \text{Agroforestal}_i + \beta_8 \text{Orgánico}_i + \beta_9 \text{LnDensidad}_i + \beta_{10} \text{LnEdad}_i + \mu_{12} \quad (20)$$

$$\begin{aligned} \text{Limo}_i = & \beta_{11} + \beta_{12} \text{Agroforestal}_i + \beta_{13} \text{Orgánico}_i + \beta_{14} \text{Agroforestal}_i * \text{Orgánico}_i + \beta_{15} \text{LnDensidad}_i \\ & + \beta_{16} \text{LnEdad}_i + \mu_{13} \end{aligned} \quad (21)$$

b) Calidad del suelo: Propiedades químicas

$$\text{LnpH}_i = \beta_{17} + \beta_{18} \text{Agroforestal}_i + \beta_{19} \text{Orgánico}_i + \beta_{20} \text{LnDensidad}_i + \beta_{21} \text{LnEdad}_i + \mu_{14} \quad (22)$$

$$\text{MO}_i = \beta_{22} + \beta_{23} \text{Agroforestal}_i + \beta_{24} \text{Orgánico}_i + \beta_{25} \text{Densidad}_i + \beta_{26} \text{Edad}_i + \mu_{15} \quad (23)$$

$$\text{LnP}_i = \beta_{27} + \beta_{28} \text{Agroforestal}_i + \beta_{29} \text{Orgánico}_i + \beta_{30} \text{LnDensidad}_i + \beta_{31} \text{LnEdad}_i + \mu_{16} \quad (24)$$

$$\text{K}_i^+ = \beta_{32} + \beta_{33} \text{Agroforestal}_i + \beta_{34} \text{Orgánico}_i + \beta_{35} \text{Densidad}_i + \beta_{36} \text{Edad}_i + \mu_{17} \quad (25)$$

$$\text{LnClC}_i = \beta_{37} + \beta_{38} \text{Agroforestal}_i + \beta_{39} \text{Orgánico}_i + \beta_{40} \text{LnDensidad}_i + \beta_{41} \text{LnEdad}_i + \mu_{18} \quad (26)$$

$$\text{LnCa}_i^{2+} = \beta_{42} + \beta_{43} \text{Agroforestal}_i + \beta_{44} \text{Orgánico}_i + \beta_{45} \text{LnDensidad}_i + \beta_{46} \text{LnEdad}_i + \mu_{19} \quad (27)$$

$$\text{LnMg}_i^{2+} = \beta_{47} + \beta_{48} \text{Agroforestal}_i + \beta_{49} \text{Orgánico}_i + \beta_{50} \text{LnDensidad}_i + \beta_{51} \text{LnEdad}_i + \mu_{110} \quad (28)$$

c) Producción del cacao: Producción de frutos

$$\text{LnNFrutos}_i = \beta_{52} + \beta_{53} \text{Agroforestal}_i + \beta_{54} \text{Orgánico}_i + \beta_{55} \text{LnDensidad}_i + \beta_{56} \text{LnEdad}_i + \mu_{111} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} \text{LnIFrutos}_i = & \beta_{57} + \beta_{58} \text{Agroforestal}_i + \beta_{59} \text{Agroforestal}_i * \text{Orgánico}_i + \beta_{60} \text{LnDensidad}_i + \beta_{61} \text{LnEdad}_i + \\ & \mu_{112} \end{aligned} \quad (30)$$

d) Producción del cacao: Rendimiento

$$\begin{aligned} \text{LnAlmendra}_i = & \beta_{62} + \beta_{63} \text{Agroforestal}_i + \beta_{64} \text{Orgánico}_i + \beta_{65} \text{Agroforestal}_i * \text{Orgánico}_i \\ & + \beta_{66} \text{LnDensidad}_i + \beta_{67} \text{LnEdad}_i + \mu_{113} \end{aligned} \quad (31)$$

3.8. Variables

3.8.1. Variable independiente

- Manejo aplicado (monocultivo, agroforestal, orgánico y orgánico-químico)

3.8.2. Variable dependiente

- propiedades físicas y químicas del suelo.
- Producción de *T. cacao*

3.8.3. Variables intervinientes

- Edad de la plantación
- Densidad de siembra

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Indicadores físicos del suelo

4.1.1. Estadística descriptiva de los indicadores físicos

Dentro de las propiedades físicas del suelo la investigación evaluó solo la textura. La Tabla 15, muestra los valores medios de las fracciones granulométricas que determinan la textura, las fracciones arena, limo y arcilla. Además, se pueden observar diferencias entre medias para todas las fracciones, poniendo en evidencia suelos con diferente características granulométricas y clases texturales.

Tabla 15. Fracciones granulométricas del suelo

Indicador	Tratamientos				Estadísticos		
	JA	AT	JM	MP	\bar{X}	CV	Sig.
Arena (%)	48,60±2,63b	20,40±2,84a	22,00±6,48a	45,40±16,80b	34,10±15,83	46,43	0,000**
Arcilla (%)	21,40±2,99b	45,20±2,15c	20,00±2,49b	9,00±1,70a	23,90±13,56	56,75	0,000**
Limo (%)	30,00±2,54a	34,40±2,12a	58,00±5,10c	45,60±15,41b	42,00±13,56	32,30	0,000**
Textura	Franco	Arcilloso	Franco limoso	Franco arenoso	--	--	--

JA plantación de Julio Asencio Bravo; AT plantación de Abel Timoteo; JM plantación de Jean Moisés Pilco; MP plantación de Mendis Paredes Arce; letras distintas en la misma fila expresa diferencias entre áreas evaluadas; Sig. Significancia; ** altamente significativo ($p < 0.01$); -- datos no consignados.

4.1.2. Impacto del manejo sobre indicadores físicos del suelo

La Tabla 16 muestra los resultados del modelado de las propiedades físicas del suelo (Arena, Arcilla y Limo). Los altos coeficientes de determinación ($R^2 = 70.41\%$, 97.26% y 71.44% , respectivamente) indican que las variables independientes explican una proporción sustancial de la variabilidad en estas propiedades. La prueba F global confirma que todos los modelos son estadísticamente significativos ($p < 0.01$). Los residuos de los tres modelos no presentan desviaciones significativas de la normalidad (prueba de Jarque-Bera, $p > 0.05$) y son homocedásticos (prueba de White, $p > 0.05$). Si bien se detecta multicolinealidad (VIF promedio > 10), esto es atribuible a la interdependencia natural entre las variables predictoras, un fenómeno documentado en la literatura (Florida et al., 2025). Los bajos valores de RMSE (0.44, 0.02, 0.08) respaldan la precisión predictiva de los modelos.

Tabla 16. Modelo de regresión lineal múltiple para las propiedades físicas del suelo

Variable independiente	Dimensión 1: Propiedades físicas		
	Arena (%)	Arcilla (%)	Limo (%)
Intercepto	-0.8105	1.8086***	-1.154***

Variable independiente 1: Sistemas de manejo orgánico de alto rendimiento

Dimensión 1: Sistema de cultivo			
Agroforestal (kg/planta)	0.0316	-0.0145	0.0142
Dimensión 2: Manejo del cultivo			
Orgánico (Si = 1 y No =0)	11.7049***	-0.5151***	-1.9715***
Interacción			
Agroforestal*Orgánico	3.5056**	-	-0.7635**
Variable independiente 2: Variables de control			
Densidad de siembra (Plantas/ha)	-4.0306***	-0.0755*	0.9384***
Edad (Años de la planta)	0.5713***	-0.1195***	-0.0025
<hr/>			
Prueba de validación			
RMSE	0.4390	0.0237	0.0776
Coefficiente de determinación (R ²)	0.7041	0.9726	0.7144
Prueba de relevancia global:			
Estadístico F-Fisher (gl ₁ = k-1 y gl ₂ = n-k)	16.18***	310.60***	17.01***
Prueba Jarque-Bera: Estadística Chi-cuadrado (gl =2)	5.707*	4.444	5.071*
Prueba White: Estadística Chi-cuadrado (gl = 9)	11.3242	10.4102	15.4901*
Prueba de multicolinealidad: VIF promedio	127.08	112.79	127.08

*** p < 0.01, **p < 0.05, * p < 0.10, gl representa los grados de libertad, gl₁ representa los grados de libertad del numerador, gl₂ representa los grados de libertad del denominador, k como los números de parámetros, n el tamaño de la muestra

El manejo orgánico-químico mostró un efecto positivo y significativo ($p < 0.01$) sobre el contenido de Arena, incrementándolo en 11.70% en comparación con el manejo no orgánico. La interacción entre el sistema agroforestal y el manejo orgánico también fue significativa ($p < 0.05$), asociándose con un aumento del 3.51% en la Arena. La densidad de siembra mostró una relación negativa con la Arena (-4.03%, $p < 0.01$), mientras que la edad de la plantación mostró una relación positiva (0.57%, $p < 0.01$). Para el contenido de Arcilla, el manejo orgánico y la edad de la plantación presentaron efectos negativos y significativos (-0.52% y -0.12%, respectivamente; $p < 0.01$). La densidad de siembra también mostró un efecto negativo marginalmente significativo (-0.08%, $p < 0.10$). El sistema agroforestal por sí solo no mostró un efecto significativo. Respecto al Limo, el manejo orgánico y su interacción con el sistema agroforestal mostraron efectos negativos y significativos (-1.97%, $p < 0.01$ y -0.76%, $p < 0.05$, respectivamente). La densidad de siembra presentó un efecto positivo (0.94%, $p < 0.01$). Ni el sistema agroforestal individual ni la edad de la plantación mostraron efectos significativos.

Se debe tener en cuenta la trascendencia de la evaluación de la textura del suelo como un indicador del estado de la calidad física del suelo, por su relación directa con

otras propiedades físicas como la densidad, porosidad, retención de agua, aireación, y el drenaje (Camacho-Tamayo et al., 2017). Respecto a este indicador como propiedad física evaluada, tenemos que considerar los requerimientos del *T. cacao* que prefiere suelos aluviales con textura franca, profundos y subsuelo permeable que permitan un buen desarrollo del sistema radicular (Paredes, 2003). Además, MINAGRI (2019) adicionalmente sugiere que el cacao requiere suelos no inundables, con buen drenaje y de fácil penetración para la raíz pivotante, este último importante para el anclaje y resistencia de la planta a fuertes vientos. Los suelos evaluados corresponden según FAO (2009) a texturas Franco para JA, Arcilloso para AT, Franco Limoso en JM y Franco Arenoso para MP, por lo que, el área con menos aptitud física para el cultivo de cacao sería AT por sus altos niveles de arcilla (45,20%), sin embargo, no parece afectar la producción ya que es la tercera área con mayor rendimiento (4 406,71 kg/ha), rendimiento muy superior a los 840 kg/ha, media nacional (Florida, 2021)

Finalmente, observando los resultados del análisis descriptivo (Tabla 15), muestra diferencias altamente significativas para todas las fracciones, y del modelado podemos observar un impacto positivo significativo tanto del manejo orgánico-químico como del sistema agroforestal sobre los % de arena (11.70% y 3.51% respectivamente), este aparente efecto puede no estar directamente relacionado al manejo, sistema aplicado, densidad de siembra y edad de la plantación, ya que, según Chinae & Rodríguez (2021) e Inocencio & Florida (2022), las fracciones del suelo presentan alta variabilidad espacial y fuerte dependencia espacial producto de los procesos de formación del suelo.

Los resultados son coherentes ya que la edad de las áreas evaluadas varía entre 7 a 12 años, y se ubican en zonas distantes dentro del valle del Alto Huallaga. Probablemente pueda observarse cambios en las fracciones del suelo producto del manejo y sistema aplicado en áreas muy cercanas, aun siendo así, hay trabajos que demuestran que estos efectos no son visibles en el mediano y largo plazo, este hecho es contrastado con los resultados de Florida et al. (2022) quienes evaluaron el área MP, considerando áreas con diferentes edades y distanciamiento con aplicación de manejo orgánico bajo sistema agroforestal, y concluyeron que en 13 años no se ha producido cambios relevantes en la calidad física del suelo, en el que incluye las fracciones del suelo, densidad aparente y resistencia a la penetrabilidad.

4.2. Indicadores químicos del suelo

4.2.1. Estadística descriptiva de los indicadores químicos

La Tabla 17, muestra los valores medios de las propiedades químicas del suelo. El análisis estadístico encontró diferencias altamente significativas para el pH, P, Ca,

Mg, Al, CIC, BC y AC, sin embargo, la MO, N y K no mostraron diferencias significativas entre áreas evaluadas.

Tabla 17. Propiedades químicas del suelo

Indicador	Tratamientos				Estadísticos		
	JA	AT	JM	MP	X	CV	Sig.
pH	4,36±0,26b	4,12±0,17a	7,49±0,10c	7,40±0,18c	5,84±1,64	28,02	0,000**
MO(%)	2,12±0,55a	2,51±0,72a	2,22±0,71a	1,93±1,15a	2,20±0,81	36,96	0,472ns
N(%)	0,11±0,03a	0,13±0,04a	0,11±0,04a	0,10±0,06a	0,11±0,04	36,72	0,47ns
P(ppm)	3,92±1,61a	7,77±2,15b	3,33±1,38a	7,36±2,81b	5,59±2,82	50,43	0,000**
K	140,43±34,29a	141,73±52,86a	136,06±31,36a	171,54±17,05a	147,44±37,59	25,5	0,129ns
Ca	3,91±1,61a	2,64±0,55a	13,65±2,21c	10,31±1,88b	7,63±4,86	63,78	0,000**
Mg	0,47±0,25a	0,30±0,11a	2,24±0,54b	1,86±0,73b	1,22±0,97	79,34	0,00**
Al	0,82±0,44b	1,69±0,59c	0,00±0,00a	0,00±0,00a	0,63±0,79	126,08	0,000**
CIC	5,95±1,67a	5,72±0,59a	16,57±2,30c	12,95±2,18b	10,30±5,01	48,7	0,00**
BC	80,82±10,01b	60,92±10,19a	100,00±0,00c	100,00±0,00c	85,43±17,76	20,79	0,00**
AC	19,18±10,01	39,08±10,19	0,00±0,00	0,00±0,00	14,57±17,76	121,94	0,00**

JA plantación de Julio Asencio Bravo; AT plantación de Abel Timoteo; JM plantación de Jean Moisés Pilco; MP plantación de Mendis Paredes Arce; letras distintas en la misma fila expresa diferencias entre áreas evaluadas; Sig. Significancia; ** altamente significativo ($p < 0.01$); ns no significativo ($p > 0.05$).

4.2.2. Impacto del manejo sobre indicadores químicos del suelo

Los modelos, a través de regresión lineal múltiple, para las propiedades químicas (Tabla 18) mostraron un ajuste variable. Los modelos para pH, CIC, Ca^{2+} y Mg^{2+} presentaron R^2 elevados (74.29% a 88.84%) y fueron globalmente significativos ($p < 0.01$). Los modelos para P ($R^2=56.31\%$) y K^+ ($R^2=23.93\%$) también fueron significativos ($p < 0.01$ y $p < 0.05$, respectivamente), mientras que el modelo para MO ($R^2=9.26\%$) no fue significativo. Los residuos de todos los modelos cumplieron con los supuestos de normalidad y homocedasticidad. Se detectó multicolinealidad, justificada por la naturaleza de las variables.

Tabla 18. Modelo de regresión lineal múltiple para la calidad del suelo

Variable independiente (VI)	Dimensión 2: Propiedades químicas						
	pH	MO (%)	P (ppm)	K^+ (Cmol(+)/kg)	CIC (Cmol(+)/kg)	Ca^{2+} (Cmol(+)/kg)	Mg^{2+} (Cmol(+)/kg)
Intercepto	23.2257** *	1.4070	22.0929* *	0.8410**	42.2480** *	59.0933** *	77.6614** *
Variable independiente 1: Sistemas de manejo orgánico de alto rendimiento							
Dimensión 1: Sistema de cultivo							
Agroforestal (kg/planta)	0.0333**	0.4360	-0.1614	-0.0619	-0.0200	0.0069	0.0298
Dimensión 2: Manejo del cultivo							

Orgánico-químico (Si= 1 y No= 0)	-2.29***	-4.208	-0.237	0.346	-4.955***	-5.299***	-6.884***
Variable independiente 2: Variables de control							
Densidad de siembra (Plantas/ha)	3.0521***	1.2348	-1.4219	-0.1357	5.6768***	7.2233***	9.292***
Edad (Años de la planta)	0.8897***	-0.199	-3.99***	-0.0102	0.9617**	2.9569***	3.415***
Prueba de validación							
RMSE	0.1660	0.8150	0.3626	0.0795	0.1791	0.2625	0.4572
Coeficiente de determinación (R ²)	0.7429	0.0926	0.5631	0.2393	0.8884	0.8868	0.8094
Prueba de relevancia global: Estadístico F-Fisher (gl ₁ = k-1 y gl ₂ = n-k)	1082.92** *	0.89	11.28***	2.75**	69.65***	68.54***	37.16***
Prueba Jarque-Bera: Estadística Chi-cuadrado (gl =2)	0.0682	2.896	5.609*	2.344	5.849*	5.434*	5.888*
Prueba White: Estadística Chi-cuadrado (gl = 8)	12.4772	11.187 4	2.5988	14.6056*	10.1767	13.4124*	7.9672
Prueba de multicolinealidad: VIF promedio	636.16	112.79	44.38	112.79	44.38	44.38	44.38

*** p < 0.01, **p < 0.05, * p < 0.10

De acuerdo con los criterios de FAO, 2009 y SAGARPA (2012) El pH varía entre 4,12 (AT) a 7,49 (JM), fuertemente ácido (pH < 5,00) a medianamente alcalina (pH < 8.5). En el caso de la MO varía entre 1,93 (MP) a 2,51 (AT) que corresponde a un nivel medio (1,50 a 3,50%). El P del suelo varía entre 3,33 (JM) a 7,77 (AT) y corresponde a niveles bajos (P < 5.5 ppm) a medio (P < 11 ppm). Respecto al K varía entre 136,06 (JM) y 171,54 (MP) y corresponden a niveles medios en K (120 a 240 pmm). El Ca varía entre 2,64 (AT) y 13,65 (JM) que corresponde a nivel bajo y alto (2,00 - 5,00 y > 10,00 Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹) respectivamente. El Mg varía entre 0,30 (AT) y 2,24 (JM), que corresponde a nivel muy bajo (< 0,50) y medio (< 3,00 Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹); respecto a los niveles de Al solo el área de AT (1,69) presenta niveles que representa toxicidad (>1,00 Cmol⁽⁺⁾ kg⁻¹).

Los indicadores químicos muestran diferencias altamente significativas para el pH, P, Ca, Mg, Al, CIC, BC y AC, excepto, la MO, N y K. Además, el modelado muestra que el sistema agroforestal mostró un efecto positivo pequeño pero significativo sobre el pH (0.03%, p < 0.05). Tanto la densidad de siembra como la edad de la plantación se asociaron con aumentos significativos en el pH (3.05% y 0.89%, respectivamente; p < 0.01). Por el contrario, el manejo orgánico-químico mostró un efecto negativo sobre el pH (-2.29%, p < 0.01).

En este sentido identificamos dos aspectos importantes respecto al pH, la primera que el sistema agroforestal, la densidad de siembra y la edad impactan positivamente sobre el pH. La explicación a este comportamiento observado, en primer lugar, no podría atribuirse a cambios espaciales como en los indicadores físicos, ya que, según China &

Rodríguez (2021) e Inocencio & Florida (2022), señalan que las propiedades químicas del suelo presentan baja variabilidad espacial y dependencia espacial, por lo que, los cambios observados están directamente relacionados al manejo, sistema aplicado, densidad de siembra y edad de la plantación y otras variables independientes a los procesos de formación del suelo. También, se tienen dos áreas ubicadas en suelos residuales (Inseptisoles) JA (4,36) y AT (4,12) fuertemente ácido ($\text{pH} < 5,00$) y dos áreas con suelos aluviales (Entisoles) JM (7,49) y MP (7,40) medianamente alcalina ($\text{pH} < 8,5$), niveles típicos en suelos tropicales y subtropicales con alta precipitación (Navarro & Navarro, 2003). Además, sin duda esta notable diferencia de formación explicaría las diferencias observadas entre áreas evaluadas.

El impacto identificado por el modelado, que el sistema agroforestal, la densidad de siembra y la edad impactan positivamente sobre el pH, estaría relacionada con la incorporación de hojarasca de la especie forestal incluida en el sistema (Sánchez et al., 2016) y el aporte de hojas del cacao, a mayor número de plantas por hectárea, mayor defoliación natural y mayor biomasa producto de la poda anual (Paredes, 2003), en ambos casos se produce regulación de la luz e incorporación de biomasa (Guzmán & Levy, 2009), que influyen directamente en el reciclaje y en los niveles de los nutrientes del suelo a largo plazo (Pascual et al., 2017), que terminan impactando positivamente en los niveles de pH del suelo (Navarro & Navarro, 2003; Florida et al., 2022).

El segundo aspecto por destacar del modelado es el impacto negativo del manejo orgánico-químico en los valores de pH del suelo. Podemos atribuir este impacto al efecto residual que pueden generar los agroquímicos aplicados (como el sulfato de potasio, fosfato di amónico, nitrato de calcio, sulfato de magnesio, cloruro de potasio, sulfato de potasio y magnesio, nitrato de calcio, sulfato de cobre, sulfato de zinc y sulfato de manganeso), que incluye sulfatos, nitrogenados y cloruros. Esto es respaldado por Tripathi et al. (2022) quienes señalan que la aplicación de fertilizantes nitrogenados en exceso causa acidificación, por procesos de nitrificación y desnitrificación. También, Ning et al. (2020) señalan que los fertilizantes inorgánicos que contienen N, P, y K a largo plazo resulta en una acidificación significativa, sin embargo, señalan que la combinación orgánica-química puede controlar tales efectos de acidificación y aumentar el pH, hay que destacar que sus evaluaciones son sobre áreas con más de 25 años de manejo. Por lo que, podemos inferir que no se está aplicando una dosificación apropiada o entre 7 y 12 años que tienen las áreas evaluadas aún no se visualizan estos efectos observados por esta referencia.

Para CIC, Ca^{2+} y Mg^{2+} , se observó un patrón consistente: El manejo orgánico-químico tuvo un efecto negativo significativo, mientras que la densidad de siembra y

la edad de la plantación mostraron efectos positivos y significativos ($p < 0.01$). Es muy probable que esté relacionado con la desventaja de una menor incorporación de residuos, que, si los tiene un sistema agroforestal, aspecto que pueden producir cambios a largo plazo, provocando aumentos en los niveles de los nutrientes del suelo (Pascual et al., 2017), mejorando el estado nutricional de las plantas (Álvarez et al., 2012) y mantener el equilibrio del agroecosistema (van Vliet & Giller, 2017). Finalmente, en el caso del P, solo la edad de la plantación mostró un efecto negativo significativo (-3.99%, $p < 0.01$), que concuerda con la reducción del pH, Ca y Mg con el manejo orgánico-químico, aspectos muy vinculados con la disponibilidad del P en suelos tropicales (Navarro & Navarro, 2003; Paredes, 2003; Florida et al., 2022)

4.3. Indicadores de producción del cacao

4.3.1. Estadística descriptiva de los indicadores de producción

La Tabla 19, muestra los valores medios de los indicadores de producción del cacao. El análisis estadístico encontró diferencias altamente significativas para el número de frutosa por árbol y significativas para el rendimiento por hectárea, sin embargo, el índice fue calculado como valor medio por área y a partir de ella el cálculo del rendimiento en las áreas evaluadas.

Tabla 19. Indicadores de producción

Indicador	Tratamiento				Estadísticos		
	JA	AT	JM	MP	X	CV	Sig.
Frutos	38,70±4,22c	36,50±4,90c	28,80±5,71b	20,60±1,89a	31,40±8,30	26,4	0,00**
Índice F	12,77	13,12	14,12	20,51	15,13±3,19	21,1	--
Ren.	4667,03±508,63 ^b	4406,71±592,15 ^{ab}	3900,17±747,52a	4639,27±427,3 ^b	4403,29±639,32	14,5	0,02*

JA plantación de Julio Asencio Bravo; AT plantación de Abel Timoteo; JM plantación de Jean Moisés Pilco; MP plantación de Mendis Paredes Arce; letras distintas en la misma fila expresa diferencias entre áreas evaluadas; Sig. Significancia; ** altamente significativo ($p < 0.01$); * significativo ($p < 0.05$); -- datos no consignados.

4.3.2. Impacto del manejo sobre indicadores de producción del T. cacao

Los modelos de producción y rendimiento (Tabla 20) exhibieron un ajuste excelente ($R^2 > 98\%$) y significancia global ($p < 0.01$). Los residuos fueron normales, pero se detectó heteroscedasticidad, lo que requirió el uso de MCG para la estimación. La multicolinealidad estuvo presente, pero se consideró inherente al diseño.

Tabla 20. Modelo de regresión lineal múltiple para la producción de cacao

Variable independiente (VI)	Dimensión 1: Producción de frutos		Dimensión 2: Rendimiento
	Número de frutos (N°/planta)	Índice de frutos (frutos/kg)	Almendras secas (Kg/ha)
Intercepto	2.7462***	-0.9721***	4.4462***

Variable independiente 1: Sistemas de manejo orgánico de alto rendimiento

Dimensión 1: Sistema de cultivo

Agroforestal (kg/planta)	0.4231***	-0.0026	0.4110***
Dimensión 2: Manejo del cultivo			
Orgánico (Si = 1 y No =0)	0.1349*	-	-0.2774**
Interacción			
Agroforestal*Orgánico	-	-0.0924***	0.6186***
Variable independiente 2: Variable de control			
Densidad de siembra (Plantas/ha)	-0.0250	0.4911***	0.3784***
Edad (Años de la planta)	-0.0327	-0.0293**	0.0347
<hr/>			
Prueba de validación			
RMSE	0.0357	0.0058	0.0225
Coefficiente de determinación (R ²)	0.9856	0.9992	0.9812
Prueba de relevancia global: Estadístico F-Fisher (gl ₁ = k-1 y gl ₂ = n-k)	351.85***	6740.79***	1411.61***
Prueba Jarque-Bera: Estadística Chi-cuadrado (gl =2)	2.098	5.308*	0.7671
Prueba White: Estadística Chi-cuadrado (gl = 8)	-	-	-
Prueba de multicolinealidad: VIF promedio	8771.05	29.08	74.13

*** p < 0.01, **p < 0.05, * p < 0.10

El sistema agroforestal mostró un efecto positivo y significativo sobre el Número de Frutos y las Almendras Secas (0.42% y 0.41%, respectivamente; p < 0.01). El manejo orgánico-químico, por sí solo, se asoció con un pequeño aumento en el Número de Frutos (0.13%, p < 0.10) pero con una disminución en las Almendras Secas (-0.28%, p < 0.05). Los SAF básicamente promueven la incorporación de hojarasca, de la especie forestal y de los residuos del proceso productivo del cacao (Paredes, 2003; Sánchez et al., 2016), esta incorporación de biomasa influye en el reciclaje y en los niveles de los nutrientes del suelo a largo plazo (Guzmán & Levy, 2009, Pascual et al., 2017), esto explica el impacto positivo del SAF en el número de frutos y el rendimiento. En el ámbito de estudio trabajos mostraron similar comportamiento, entre ellos Florida et al. (2022) en el área MP, estudiaron el efecto del SAF en la producción del caco CMP-15, bajo la denominación de manejo MOM, encontró rendimientos entre 2,70 a 3,50 t/ha en parcelas de hasta 13 años de instalación, considerado de alto rendimiento.

La interacción entre agroforestal y orgánico-químico fue altamente significativa, reduciendo el Índice de Frutos (-0.09%, p < 0.01) pero aumentando sustancialmente las almendras secas (0.62%, p < 0.01). El aporte de los SAF ya se explicó en el párrafo anterior, en este sentido, este resultado sugiere que la aplicación del manejo orgánico-químico bajo un sistema agroforestal mejoraría el rendimiento del cacao, aspecto que ha sido comprobado por Florida et al. (2020) al evaluar el efecto de compost, NPK y la combinación de ambas, encontró que el manejo netamente orgánico reduce el índice de mazorcas, eso significa mazorcas con mayor tamaño y consecuentemente mayor rendimiento, por otro lado,

también demostraron que el manejo químico produce un mayor número de mazorcas por planta, por ello, es coherente el resultado y esta referencia, que la combinación de ambos de seguro resulte en un incremento en la producción del cacao.

Además, la densidad de siembra mostró un efecto positivo sobre el Índice de Frutos y las Almendras Secas (0.49% y 0.38%, respectivamente; $p < 0.01$). La edad de la plantación tuvo un efecto negativo marginal sobre el Índice de Frutos (-0.03%, $p < 0.05$) y no mostró efectos significativos sobre las otras variables de producción. De acuerdo con estos resultados una mayor densidad de siembra permitirá obtener una mayor producción, este resultado ha sido contrastado por Florida et al. (2022) donde mostro rendimientos de 2,70 t/ha para CMP-15 2x2 m y 4 años, 3,50 t/ha para CMP-15 de 2x1 m y 5 años, 3,3 t/ha para CMP-15 3x2 m y 13 años de instalación, por lo que, queda bastante claro que este resultado es coherente con las referencias. Por tanto, el incrementar la densidad de plantación es una alternativa viable en el cultivo de cacao, ya que según su requerimiento el *T. cacao* es una especie de lenta absorción de los nutrientes (Puentes et al., 2014) y no responde a una fertilización excesiva, si sobrepasa este límite, por el contrario, puede responder negativamente por desequilibrio nutricional generada por estrés (Sánchez et al., 2015; Puentes et al., 2014).

Finalmente, los rendimientos medios del cultivo de cacao en el mundo son 485 kg/ha, mientras que Perú al 2017 presento una media de 720 kg/ha (MINAGRI, 2018). Los rendimientos medios en cada región son muy variables y destacan Junín con 1 192 kg/ha, La Libertad 1 161 kg/ha, Tumbes 1 039 kg/ha, Loreto con 989 kg/ha, San Martín con 950 kg/ha y Cusco 412 kg/ha, siendo la media nacional 827 kg/ha (MINAGRI, 2019), aunque al 2020 Florida (2021), calculó una media de 840 kg/ha.

Como se puede apreciar según MINAGRI (2019) la región Huánuco figura en otros con rendimiento menores a lo registrado en Cusco, es decir < 412 kg/ha. Por tanto, los resultados de Florida et al. (2022) sobre manejo orgánico “MOM” bajo sistema agroforestal con rendimiento entre 2,70 a 3,50 t/ha para CMP-15 en el Fundo Alborada en Castillo Grande, fue el primer reporte sobre una alternativa de manejo con alto rendimiento. Sin embargo, esta investigación reviso los registros de la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA) sede Leoncio Prado, e identifico tres nuevas áreas con similares características de manejo y producción y corresponden a áreas con manejo Orgánico -químico y numéricamente supero al manejo MOM; obteniendo 4 667,03 para AT (plantación CCN-51 de 12 años y 2,70 x 2,7 m), frente a 4639,27 para MP (plantación de CMP-15 de 7 años 2,50 x 1, 00 m). Son resultados muy superiores a la medias regionales y están por encima de la media registrada en Tailandia y Guatemala 2,60 y 3,00 tn/ha respectivamente (MINAGRI, 2016). También son muy

superiores a los obtenidos por diferentes esquemas de fertilización, entre ellas Huera (2018), aplicando abono químico y orgánico (2 727,45 kg/ha y 1982,05 kg/ha respectivamente; Gómez (2017) encontró 1 350 kg/ha para la fertilización química y 1 270 kg/ha para la fertilización orgánica; Montes (2016) con fósforo diatómico + sulfato de amonio (30+40 k/ha), obtuvo 1539 kg/ha; Álvarez et al. (2015) encontraron promedios de 2 730 kg/ha para el convencional y 2 521,43 para el orgánico. Ninguna referencia logro los rendimientos registrados en este trabajo, por lo que son alternativas altamente viables y productivas.

V. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la textura como indicador físico del suelo, las fracciones arena, limo y arcilla mostraron diferencias altamente significativas entre áreas evaluadas, suelos físicamente favorables para el cultivo de cacao, excepto el área AT que presenta suelo arcilloso. El modelado mostró impacto positivo significativo tanto del manejo orgánico-químico como del sistema agroforestal sobre la fracción arena, este aparente efecto está más relacionado a la variabilidad espacial entre áreas, que al manejo aplicado.
2. Se encontró diferencias altamente significativas para el Ph, P, Ca, Mg, Al, CIC, BC y AC, excepto MO, N y K, no mostraron diferencias significativas entre áreas evaluadas. El modelado encontró que la variable, sistema agroforestal, densidad de siembra y edad de la plantación tienen impacto positivo significativo sobre el Ph. Contrariamente el manejo orgánico-químico mostró impacto negativo sobre el Ph, CIC, Ca^{2+} y Mg^{2+} , mientras que la densidad de siembra y la edad de la plantación mostraron efectos positivos.
3. Los Indicadores de producción mostraron diferencias altamente significativas para el número de frutos por árbol y significativas para el rendimiento por hectárea, obteniendo mayores rendimientos el manejo orgánico-químico en sistema de monocultivo JA, seguido del Agroforestal orgánico de la finca Mendis Paredes (MP), ambos con rendimientos superiores a la media mundial y a los países de Guatemala y Tailandia, países con mayor rendimiento en el mundo.
4. El sistema agroforestal mostró un efecto positivo y significativo sobre el Número de Frutos y las Almendras Secas y el manejo orgánico-químico se asoció con aumento en el Número de Frutos, también la densidad de siembra mostró un efecto positivo sobre el Índice de Frutos y las Almendras Secas. Esto sugiere que la integración de los sistemas agroforestales con manejo orgánico-químico y alta densidad de siembra es una alternativa viable para mejorar el agroecosistema y la producción del cultivo de cacao en las regiones tropicales del país.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Implementar plantaciones de cacao bajo sistemas agroforestales, manejo orgánico-químico y alta densidad de siembra, pues es un sistema integral que ofrece un agroecosistema sostenible con altos rendimientos.
2. Ampliar estudios para determinar la densidad de plantación óptima en cacao clon CCN-51, ya que no se dispone de información al respecto en el ámbito regional y nacional, que optimicen densidad vs rendimiento óptimo.
3. Desarrollar trabajos en áreas específicas para determinar la cantidad óptima de la combinación de los fertilizantes químicos y orgánicos, para una fertilización que garantice los máximos niveles de producción y conservación del suelo.
4. Desarrollar estudios en las áreas evaluadas sobre aspectos agronómicos y fitosanitarios para mostrar las ventajas de un manejo integrado (Sistema Agroforestal con manejo orgánico químico y alta densidad de siembra).
5. Difundir estos resultados a través del área de extensión de la facultad para mostrar a la comunidad los beneficios y viabilidad de esta alternativa de producción del cacao de alto rendimiento.

VII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Acuña, G. (2021). Indicadores fisicoquímicos del suelo con manejo tradicional de cultivos en la comunidad nativa de Chambira Picota- San Martín, 2019. [Tesis posgrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional UNAS. https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1867/TS_GAN_2021.pdf?sequence=3&isAllowed=y
- AGROBANCO. (2012). Guía técnica: Asistencia técnica dirigida en manejo de poda y fertilización en el cultivo de cacao. <https://www.agrobanco.com.pe/data/uploads/ctecnica/010-c-cacao.pdf>
- Altieri, M., Hecht, S., Liebman, M., Magdoff, F., Norgaard, R. y Sikor, T. (1999). Agroecología. Bases científicas para una agricultura sustentable. Montevideo. Editorial Nordan-Comunidad. Recuperado de <https://www.agroecologia.net/agroecologia-bases-cientificas-para-unaagricultura-sustentable/>
- Alvarado C. A. (2016). Efecto de la fertilización orgánica e inorgánica, en el rendimiento de un clon de cacao (*Theobroma cacao*, L) y en la fertilidad del suelo. [Tesis pregrado, Instituto Tecnológico de Costa Rica]. Repositorio Institucional TEC. https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/9843/efecto_fertilizaci%C3%B3n_org%C3%A1nica_inorg%C3%A1nica_rendimiento_clon_cacao_%28theobroma%20cacao%2C%201%29%20_en_la_fertilidad_del_suelo.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Alvarado, J., & Iturrios, J. (2017). Determinantes de la productividad en pequeños productores de cacao de las regiones de San Martín, Huánuco y Ucayali (SM/H/U): una aproximación exploratoria al modelo tecnológico de productividad en estas regiones International Symposium on Cocoa Research (ISCR), Lima, Perú, 13-17 November 2017. <https://www.icco.org/wp-content/uploads/T7.251DETERMINANTES-DE-LA-PRODUCTIVIDAD-EN-PEQUEÑOS-PRODUCTORES-DE-CACAO-DE-LAS-REGIONES-DE-SAN-MARTIN-HUANUCO-Y-UCAYALI-SMHU-UNA.pdf>
- Cáceres, D. (2003). Agricultura Orgánica versus Agricultura Industrial: Su Relación con la Diversificación Productiva y la Seguridad Alimentaria. *Agroalimentaria*, 8(16), 29-39. Recuperado en 03 de diciembre de 2024, de http://homologve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1316-03542003000100002&lng=es&tlng=es.
- Camacho-Tamayo, J.; Forero-Cabrera, N.; Ramírez-López, L.; Rubiano, Y. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia.

- Colombia Forestal. 20(1):5-18.
<http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., y Schiviano, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices en la Pampa Argentina. *Ciencia Suelo*. 25: 173-178
- Carrión, S. J. (2012). Estudio de factibilidad para la producción y comercialización de cacao (*Theobroma cacao* L.) variedad CCN-51, Jama-Manabí. (Tesis de pregrado). Universidad San Francisco de Quito. Ecuador
- Charry, A., Perea, C., Ramírez, K., Zambrano, G., Yovera, F., Santos, A., Jiménez, T., Romero, M., Lundy, M., Quintero, M., Pulleman, M. (2025). The bittersweet economics of different cacao production systems in Colombia, Ecuador and Peru, *Agricultural Systems*, Volume 224, 104235, <https://doi.org/10.1016/j.agsy.2024.104235>
- Charvet, E. B. (2013). *Análisis comparativo de agricultura orgánica con agricultura convencional: Estudio de caso del cultivo de brócoli*. QUITO / PUCE / 2012. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/5180>
- China, A.; Rodríguez, L. (2021). Comportamiento geoespacial de algunas propiedades del suelo en el cultivo de la caña de azúcar. *Revista Ingeniería Agrícola*. 11(1):3-8.
- Dos Santos Filho P. L., Midlej R. R. (2016). Metodo de estimativa da producao de cacau no ano civil na regioao cacaueira baina. *Agrotropica* 28, 247–252. <https://repositorio-dspace.agricultura.gov.br/bitstream/1/1486/1/Br2017001484.pdf>
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos 4ª edición. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- FAO. (2020). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades Físicas del Suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- FAO. (2020a). Propiedades químicas del Suelo. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Florida, N. (2021). Cadmio en suelos y granos de cacao de origen peruano y sudamericano. *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín*. 74(2): 9499-9515. <https://doi.org/10.15446/rfnam.v74n2.91107>.
- Florida, N., Paredes, M., Paredes, R. M., Navarro, L., & Rengifo, A. (2022). An organic management alternative that improves soil quality in cocoa plantations under agroforestry

- systems. *Scientia Agropecuaria*, 13(4), 335-342.
<https://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.030>
- Florida, R., Levano, C., Jacobo, S. Ferrer, T. (2020). Indicadores físico-químicos del suelo y rendimiento del cacao con manejo orgánico y convencional. *Agroind. sci.* 10(2): 175 – 180.
- Gamboa-Tabares, J. A., Rodríguez-Ortiz, J. A., Gamboa, A., Durán-Bautista, E. H., Rojas-Vargas, S. (2021). Evaluación agronómica de genotipos de *Theobroma cacao* L. en la Amazonia colombiana *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, vol. 19(1), 244-255. <https://doi.org/10.18684/bsaa.v19.n1.2021.1619>
- García, D.; Cárdenas, J.; Silva, A. (2018). Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades fisicoquímicas y microbiológicas en un inceptisol. *Rev.Cienc. Agr* 35(1): 16-25.
- Gutierrez, L. V. (2024). Efecto de sistemas agroforestales y monocultivo de cacao (*Theobroma cacao* L.), en los indicadores físicos del suelo, en el caserío Marona, distrito de Luyando. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/e39a4995-c439-48b4-b872-f820f52918ad/content>
- Guzmán, G., & Levy, A. (2009). Producción de biomasa y nutrientes que genera la poda en sistemas agroforestales sucesionales y tradicionales con cacao, Alto Beni, Bolivia. *Revista Acta Nova*, 4(2-3), 263-280. http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1683-07892009000100006&lng=es&tlng=e
- Havlin, J. L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (1999). *Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management*. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Holdridge, R. L. (2000). *Ecología basada en zonas de vida*. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José Costa Rica, 216 p
- Huamán, E., Vásquez, H., Salas, R., & Bobadilla, L. G. (2017). Efecto de los abonos orgánicos y dosis de un biofertilizante en el rendimiento de quinua (*Chenopodium quinoa*), en Chachapoyas, Amazonas. *Revista De Investigación De Agroproducción Sustentable*, 1(1), 63–69. <https://doi.org/10.25127/aps.20171.353>
- Huamán, J. H. (2021). *Influencia de los sistemas de uso en la calidad de suelo sector Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado*. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/2034>

- INEI. (2023). Encuesta Nacional Agropecuaria 2022. Instituto Nacional de Estadística e Informática.
https://www.inei.gob.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1912/libro.pdf
- Inocencio-Vasquez, E.T.; Florida-Rofner, N. 2022. Comportamiento espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en plantación de *Theobroma cacao* en Padre Abad, Ucayali, Perú. Rev. U.D.C.A Act. & Div. Cient. 25(2):e2320.
<http://doi.org/10.31910/rudca>.
- Justo, D. (2019). Caracterización botánico-agronómica de seis clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) de la colección Mendis Paredes en Castillo Grande. Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Huánuco, Perú.
- Lucano, D., & Orihuela, J.A. (2023). Eficiencia de un biol elaborado a partir de residuos de cosecha en la producción del cacao (*Theobroma cacao* L.), Clon TSH 565 en una plantación orgánica agroforestal. Folia Amazónica, 32(1), e32680.
<https://doi.org/10.24841/fa.v32i1.680>
- Machado, V. F., Mielniczuk, J. (2009). Uma Visão Sobre Qualidade Do Solo. Revista Brasileira de Ciência do Solo, 33(4), 743-755
- MIDAGRI (2021). COMMODITIES Observatory: Cacao. Bulletin de publication trimestral enero-marzo N° 01. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego- Dirección General De Políticas Agrarias. P 1-20.
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/2009611/Commodities%20Cacao%3A%20ene-mar%202021.pdf>
- MIDAGRI (2023). Observatorio COMMODITIES cacao. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Boletín trimestral, enero-marzo N° 01 2023. Disponible en:
<https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/5264502/%20Commodities%20Cacao%3A%20ene-mar%202023.pdf?v=1697059698>
- MINAGRI (2019). Requerimientos Agroclimáticos del cultivo de cacao. Ministerio de Agricultura y Riego. Ficha técnica N° 12. Disponible en:
<https://www.midagri.gob.pe/portal/informacion-agroclimatica/fichas-tecnicas-2019?download=15897:ficha-tecnica-cultivo-de-cacao#:~:text=Se%20desarrolla%20en%20suelos%20no,penetraci%C3%B3n%20para%20la%20ra%C3%ADz%20pivotante>.

- MINAGRI. (2011). Condiciones agroclimáticas del cultivo del cacao. Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego. Cartilla n° 13. http://cadenacacaoca.info/CDOC-Deployment/documentos/condiciones_agroclimaticas_cacao.pdf
- MINAGRI. (2016). Estudio del cacao en el Perú y en el mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. Ministerio de Agricultura y Riego. MINAGRI-DGPA-DEEIA. pp 90. Recuperado de <http://www.minagri.gob.pe/portal/monitoreo-agroclimatico/cacao-2016>.
- Mora, J.A. (2023). *Efecto de manejo orgánico en el rendimiento de Theobroma cacao L. (cacao) y calidad de suelo en el fundo San Juan, distrito Daniel Alomía Robles*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional: <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/80afbf2c-ee62-4fcc-b56a-7fb5712434a6/content>
- Morales, O., Borda, A., Argandoña, A., Farach, R., Garcia, L., & Lazo, K. (2015). La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma. Editorial ESAN. Primera edición. <https://repositorio.esan.edu.pe/server/api/core/bitstreams/c0492cc8-10c9-41b8-86ac-6491c62016fa/content>
- Navarro, B., & Navarro, G. (2003). Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales para la vida vegetal. Segunda edición. Ediciones Mundi–Prensa, Madrid. 487p.
- Navarro, M., Florida, N., & Navarro, L. (2019). Atributos físicos y materia orgánica de oxisols en sistemas de producción de caña de azúcar. Revista De Investigaciones Altoandinas - Journal of High Andean Research, 21(2), 89-99. <https://doi.org/10.18271/ria.2019.453>
- Ning, Q., Chen, L., Jia, Z., Zhang, C., Ma, D., Li, F., Zhang, J., Li, D., Han, X., Cai, Z., Huang, S., Liu, W., Zhu, B., Li, Y. (2020). Multiple long-term observations reveal a strategy for soil pH-dependent fertilization and fungal communities in support of agricultural production, *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 293, 106837, <https://doi.org/10.1016/j.agee.2020.106837>.
- Orozco-Aguilar L, López-Sampson A, Barboza LA, Borda MJ, Leandro-Muñoz ME, Bordeaux M, Cerda RH, Villega EA and Somarriba E (2024) Risk analysis and cacao pod survivorship curves to improve yield forecasting methods. *Front. Agron.* 6:1290035. doi: 10.3389/fagro.2024.1290035
- Paredes, M. (2003). Manual de cultivo del cacao. Ministerio de Agricultura–Programa para el Desarrollo de la Amazonia (PROAMAZONIA). <https://repositorio.midagri.gob.pe/jspui/bitstream/20.500.13036/372/1/cacao%20-%20copia.pdf>

- Pascual G., Obrador J.J., García E., Carrillo E., Sánchez S., Guerrero A., Ortiz C.F. (2017): Evaluación del sistema agroforestal cacao (*Theobroma cacao* L.) mediante indicadores de calidad de suelo en Tabasco, México. *Agroproductividad*. 10(12): 36-42
- Pichardo, G. B. (2006). La revolución verde en México. *Agraria*, São Paulo, (4), 40-68. <https://doi.org/10.11606/issn.1808-1150.v0i4p40-68>
- PRODUCE. (2024). Estudio de investigación sectorial 2023: sector cacao y derivados. Ministerio de la Producción. 1ª edición. https://www.producepresarial.pe/wp-content/uploads/2024/09/89-Estudio-de-Investigacion-Sectorial-de-Cacao-y-sus-derivados-2023_02.09.2024-2.pdf
- Quintero, L. & Díaz, K. (2004). El mercado mundial del cacao. *Agroalimentaria*, 10(18), 47-59. Recuperado de <http://erevistas.saber.ula.ve/index.php/agroalimentaria/article/view/1312/1258>
- Quiroga, E.A. (2024). Efecto del fermento de cacao en malezas del cultivo de *Theobroma cacao* en Tingo María. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio Institucional: <https://repositorio.unas.edu.pe/server/api/core/bitstreams/dfd3a58b-5cfe-47e2-83c3-57b121583a85/content>
- Ramírez, K., Florida, N., y Escobar, F. (2019). Indicadores químicos y microbiológicos del suelo bajo aplicación de microorganismos eficientes en la plantación de cacao (*Theobroma cacao* L.). *Revista de Investigación e Innovación Agrícola y Recursos Naturales*, 6(2), 21-28.
- Rojas, J., Ortiz, L., Escobar, L., Rojas, M. y Jaimes, Y. (2021). Descomposición y liberación de nutrientes en biomasa mediante poda de cacao (*Theobroma cacao* L.) en Rionegro, Santander, Colombia. *Agronomía Mesoamericana*, 32(3), 888-900.
- SAGARPA. (2012). Subíndice de uso sustentable del suelo – Metodología de Cálculo. Secretaría de agricultura, ganadería, desarrollo rural, pesca y alimentación. 28p. http://smye.info/rn/ind_fin/suelos/Documentometodologico_suelos.pdf
- Sánchez F., Pérez J., Obrador J.J., Sol Sánchez Á., Ruiz O. (2016): Árboles maderables en el sistema agroforestal de cacao en Cárdenas, Tabasco, México *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*. 14(2): 2711-2723. <http://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v7nspe14/2007-0934-remexca-7-spe14-2711.pdf>
- Sánchez, F. D., Medina, S., Díaz, M., Gorki, T., Ramos, R. A., Vera, J.F., Vásquez V.F., Troya, F.A., Garcés, F. R. y Onofre, R. (2015). Salud y potencial productivo de 12 clones de cacao en Ecuador. *Revista Fitotecnia Mexicana*, 38(3), 265-274.

- Tripathi, A., Pandey, M., & Sharma, P. (2022). A Review: Effects of Nitrogenous Fertilizers on Soil (pH, Microbial Community, Greenhouse Gases Emission and Carbon Pool). *Environmental Contaminants Reviews*, 5(2): 44-48.
- Van-Vliet, J. A., & Giller, K. E. (2017). Chapter five - Mineral nutrition of cocoa: A review. In D.L. Sparks (Ed.), *Advances in Agronomy*, 141, 185-270.
- Zavala, W, Merino, E., & Peláez, P. (2018). Influence of three agroforestry systems of cacao cultivation on carbon capture and storage. *Scientia Agropecuaria*, 9(4), 493-501.

ANEXOS

Panel fotográfico Trabajos de campo



Figura 7. Conteo de frutos



Figura 8. Colecta de frutos



Figura 9. Desbabado de frutos y rotulado



Figura 10. Extracción de muestras de suelo



Figura 11. Extracción y rotulado de muestras de suelo



Figura 12. Medidas del distanciamiento de siembra

Análisis estadístico de propiedades del suelo

Tabla 21. Análisis de varianza de la fracción arena

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Fracción arena					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6720,400 ^a	3	2240,133	26,396	0,00
Intersección	46512,400	1	46512,400	548,064	0,00
Tratamiento	6720,400	3	2240,133	26,396	0,00
Error	3055,200	36	84,867		
Total	56288,000	40			
Total, corregido	9775,600	39			

a. $R^2 = 0,687$ (R^2 ajustada = 0,661)

Tabla 22. Análisis post hoc de Tukey para la fracción arena

Variable: Fracción arena				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	
AT	10	20,40		
JM	10	22,00		
HSD Tukey ^{a,b} MP	10		45,40	
JA	10		48,60	
Sig.		0,980	0,864	

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10
b. Alfa = 0,05

Tabla 23. Análisis de varianza de la fracción arcilla

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Arcilla					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6971,600 ^a	3	2323,867	410,094	0,00
Intersección	22848,400	1	22848,400	4032,071	0,00
Tratamiento	6971,600	3	2323,867	410,094	0,00
Error	204,000	36	5,667		
Total	30024,000	40			
Total, corregido	7175,600	39			

a. $R^2 = 0,972$ (R^2 ajustada = 0,969)

Tabla 24. Análisis post hoc de Tukey para la fracción arena

Variable: fracción arcilla					
	Tratamiento	N	Subconjunto		
			a	b	c
HSD Tukey ^{a,b}	MP	10	9,00		
	JM	10		20,00	
	JA	10		21,40	
	AT	10			45,20
	Sig.		1,00	0,56	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00
b. Alfa = 0,05.

Tabla 25. Análisis de varianza de la fracción limo

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Limo					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4707,200 ^a	3	1569,067	22,880	0,00
Intersección	70560,000	1	70560,000	1028,905	0,00
Tratamiento	4707,200	3	1569,067	22,880	0,00
Error	2468,800	36	68,578		
Total	77736,000	40			
Total, corregido	7176,000	39			

a. $R^2 = 0,656$ (R^2 ajustada = 0,627)

Tabla 26. Análisis post hoc de Tukey para la fracción limo

Variable: Limo					
	Tratamiento	N	Subconjunto		
			a	b	c
HSD Tukey ^{a,b}	JA	10	30,00		
	AT	10	34,40		
	MP	10		45,60	
	JM	10			58,00
	Sig.		0,638	1,000	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00
b. Alfa = 0,05.

Tabla 27. Análisis de varianza para el pH

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: pH					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	103,202 ^a	3	34,401	1007,511	0,00
Intersección	1364,341	1	1364,341	39958,240	0,00
Tratamiento	103,202	3	34,401	1007,511	0,00
Error	1,229	36	,034		
Total	1468,772	40			
Total, corregido	104,431	39			

a. $R^2 = 0,988$ (R^2 ajustada = 0,987)

Tabla 28. Análisis post hoc de Tukey para el pH

Variable: pH					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	
AT	10	4,118			
JA	10		4,355		
HSD Tukey ^{a,b} MP	10			7,399	
JM	10			7,489	
Sig.		1,00	1,00	0,698	

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00

b. Alfa = 0,05.

Tabla 29. Análisis de varianza para la MO

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Materia orgánica (MO)					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,712 ^a	3	0,571	0,857	0,472
Intersección	192,809	1	192,809	289,622	0,000
Tratamiento	1,712	3	0,571	0,857	0,472
Error	23,966	36	0,666		
Total	218,487	40			
Total, corregido	25,678	39			

a. $R^2 = 0,067$ (R^2 ajustada = -0,011)

Tabla 30. Análisis post hoc de Tukey para la MO

Variable: MO		
HSD Tukey ^{a,b}		
Tratamiento	N	Subconjunto
		a
MP	10	1,933
JA	10	2,120
JM	10	2,224
AT	10	2,505
Sig.		0,409
a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00		
b. Alfa = 0,05		

Tabla 31. Análisis de varianza para el N

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: N					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,004 ^a	3	0,001	0,861	0,47
Intersección	0,483	1	0,483	293,343	0,00
Tratamiento	0,004	3	0,001	0,861	0,47
Error	0,059	36	0,002		
Total	0,546	40			
Total, corregido	0,063	39			
a. $R^2 = 0,067$ (R^2 ajustada = -0,011)					

Tabla 32. Análisis post hoc de Tukey para el N

Variable: N		
HSD Tukey ^{a,b}		
Tratamiento	N	Subconjunto
		a
MP	10	0,0969
JA	10	0,1061
JM	10	0,1110
AT	10	0,1254
Sig.		0,407
a. Utiliza tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00		
b. Alfa = 0,05		

Tabla 33. Análisis de varianza para el P

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: P					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	157,307 ^a	3	52,436	12,339	0,00
Intersección	1251,322	1	1251,322	294,458	0,00
Tratamiento	157,307	3	52,436	12,339	0,00
Error	152,985	36	4,250		
Total	1561,614	40			
Total, corregido	310,292	39			

a. $R^2 = 0,507$ (R^2 ajustada = 0,466)

Tabla 34. Análisis post hoc de Tukey para el P

Variable: P			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
JM	10	3,33	
JA	10	3,92	
MP	10		7,35
AT	10		7,76
Sig.		0,92	0,97

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00
b. Alfa = 0,05

Tabla 35. Análisis de varianza para el K

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: K					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	7920,668 ^a	3	2640,223	2,014	0,129
Intersección	869514,131	1	869514,131	663,230	0,000
Tratamiento	7920,668	3	2640,223	2,014	0,129
Error	47197,095	36	1311,030		
Total	924631,894	40			
Total corregido	55117,763	39			

a. $R^2 = 0,144$ (R^2 ajustada = 0,072)

Tabla 36. Análisis post hoc de Tukey para el K

Variable: K		
HSD Tukey ^{a,b}		
Tratamiento	N	Subconjunto
		a
JM	10	136,0589
JA	10	140,4275
AT	10	141,7261
MP	10	171,5380
Sig.		0,145

a. Utiliza tamaño de muestra de la media armónica=10,00
b. Alfa = 0,05

Tabla 37. Análisis de varianza para el Ca

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Ca					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	821,268a	3	273,756	96,833	0,00
Intersección	2327,227	1	2327,227	823,190	0,00
Tratamiento	821,268	3	273,756	96,833	0,00
Error	101,775	36	2,827		
Total	3250,269	40			
Total, corregido	923,043	39			

a. $R^2 = 0,89$ (R^2 ajustada = 0,881)

Tabla 38. Análisis post hoc de Tukey para el Ca

Variable: Ca				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
AT	10	2,642		
JA	10	3,908		
MP	10		10,311	
JM	10			13,647
Sig.		0,347	1,00	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00
b. Alfa = 0,05.

Tabla 39. Análisis de varianza para el Mg

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Mg					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	28,620 ^a	3	9,540	42,824	0,00
Intersección	59,690	1	59,690	267,937	0,00
Tratamiento	28,620	3	9,540	42,824	0,00
Error	8,020	36	0,223		
Total	96,330	40			
Total, corregido	36,640	39			

a. $R^2 = 0,781$ (R^2 ajustada = 0,763)

Tabla 40. Análisis post hoc de Tukey para el Mg

Variable: Mg			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
AT	10	0,3025	
JA	10	0,4748	
MP	10		1,8646
JM	10		2,2444
Sig.		0,846	0,290

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00
b. Alfa = 0,05

Tabla 41. Análisis de varianza para el Al

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Al					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	19,444 ^a	3	6,481	47,095	0,00
Intersección	15,738	1	15,738	114,352	0,00
Tratamiento	19,444	3	6,481	47,095	0,00
Error	4,954	36	0,138		
Total	40,137	40			
Total, corregido	24,399	39			

a. $R^2 = 0,797$ (R^2 ajustada = 0,78)

Tabla 42. Análisis post hoc de Tukey para el A1

Variable: A1				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	b
JM	10	0,00		
MP	10	0,00		
JA	10		0,824	
AT	10			1,685
Sig.		1,00	1,00	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00

b. Alfa = 0,05.

Tabla 43. Análisis de varianza para la CIC

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: CIC					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	862,330 ^a	3	287,443	87,310	0,00
Intersección	4240,984	1	4240,984	1288,190	0,00
Tratamiento	862,330	3	287,443	87,310	0,00
Error	118,519	36	3,292		
Total	5221,834	40			
Total corregido	980,849	39			

a. $R^2 = 0,879$ (R^2 ajustada = 0,869)

Tabla 44. Análisis post hoc de Tukey para la CIC

Variable: CIC				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
AT	10	5,72		
JA	10	5,95		
MP	10		12,945	
JM	10			16,571
Sig.		0,992	1,00	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00

b. Alfa = 0,05

Tabla 45. Análisis de varianza para las BC

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: BC					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10466,294 ^a	3	3488,765	68,346	0,00
Intersección	291960,443	1	291960,443	5719,615	0,00
Tratamiento	10466,294	3	3488,765	68,346	0,00
Error	1837,637	36	51,045		
Total	304264,374	40			
Total, corregido	12303,931	39			

a. $R^2 = 0,851$ (R^2 ajustada = 0,838)

Tabla 46. Análisis post hoc de Tukey para las BC

Variable: BC				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
AT	10	60,919		
JA	10		80,818	
JM	10			100,00
MP	10			100,00
Sig.		1,00	1,00	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00
b. Alfa = 0,05

Tabla 47. Análisis de varianza para la AC

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: AC					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	10466,294 ^a	3	3488,765	68,346	0,00
Intersección	8486,443	1	8486,443	166,253	0,00
Tratamiento	10466,294	3	3488,765	68,346	0,00
Error	1837,637	36	51,045		
Total	20790,374	40			
Total, corregido	12303,931	39			

a. $R^2 = 0,851$ (R^2 ajustada = 0,838)

Tabla 48. Análisis post hoc de Tukey para las AC

Variable: AC				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
3,00	10	0,00		
4,00	10	0,00		
1,00	10		19,182	
2,00	10			39,081
Sig.		1,00	1,00	1,00

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00

b. Alfa = 0,05

Análisis estadístico de la producción

Tabla 49. Datos generales de producción

Código	N° Planta	N° Frutos (>14 cm)	IM	Rendimiento (kg/planta)	Rendimiento (kg/ha)
JA1	1	34	12,77	2,66	4100,23
JA2	2	41	12,77	3,21	4944,40
JA3	3	35	12,77	2,74	4220,83
JA4	4	38	12,77	2,98	4582,62
JA5	5	39	12,77	3,05	4703,21
JA6	6	37	12,77	2,90	4462,02
JA7	7	38	12,77	2,98	4582,62
JA8	8	49	12,77	3,84	5909,16
JA9	9	40	12,77	3,13	4823,81
JA10	10	36	12,77	2,82	4341,43
AT1	1	34	13,12	2,59	4104,88
AT2	2	40	13,12	3,05	4829,27
AT3	3	33	13,12	2,52	3984,15
AT4	4	31	13,12	2,36	3742,68
AT5	5	47	13,12	3,58	5674,39
AT6	6	32	13,12	2,44	3863,41
AT7	7	41	13,12	3,13	4950,00
AT8	8	37	13,12	2,82	4467,07
AT9	9	35	13,12	2,67	4225,61
AT10	10	35	13,12	2,67	4225,61
JM1	1	21	14,12	1,49	2748,44
JM2	2	33	14,12	2,34	4318,98
JM3	3	25	14,12	1,77	3271,95
JM4	4	36	14,12	2,55	4711,61
JM5	5	29	14,12	2,05	3795,47
JM6	6	26	14,12	1,84	3402,83
JM7	7	24	14,12	1,70	3141,08
JM8	8	31	14,12	2,20	4057,22
JM9	9	38	14,12	2,69	4973,37
JM10	10	35	14,12	2,48	4580,74
MP1	1	19	20,51	0,93	4278,94
MP2	2	20	20,51	0,98	4504,14
MP3	3	22	20,51	1,07	4954,56
MP4	4	20	20,51	0,98	4504,14
MP5	5	21	20,51	1,02	4729,35
MP6	6	18	20,51	0,88	4053,73
MP7	7	18	20,51	0,88	4053,73
MP8	8	23	20,51	1,12	5179,77
MP9	9	23	20,51	1,12	5179,77
MP10	10	22	20,51	1,07	4954,56

JA Julio Asencio Bravo; At Abel Timoteo; JM Jean Moises Pilco; MP Mendis Paredes Arce

Tabla 50. Análisis de varianza para el número de frutos

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Frutos					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1985,000 ^a	3	661,667	33,90	0,00
Intersección	39438,400	1	39438,40	2020,75	0,00
Tratamiento	1985,000	3	661,667	33,90	0,00
Error	702,600	36	19,517		
Total	42126,000	40			
Total, corregido	2687,600	39			

a. $R^2 = 0,739$ (R^2 ajustada = 0,717)

Tabla 51. Análisis post hoc de Tukey para número de frutos

Variable: Frutos				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		1	2	3
MP	10	20,6000		
JM	10		29,8000	
AT	10			36,5000
JA	10			38,7000
Sig.		1,000	1,000	,684

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00
b. Alfa = 0,05

Tabla 52. Análisis de varianza para el índice de frutos

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Índice frutos					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	395,742 ^a	3	131,914	2821.	0.00
Intersección	9156,676	1	9156,676	0,00	0.00
Tratamiento	395,742	3	131,914	2821.	0.00
Error	,000	36	,000		
Total	9552,418	40			
Total, corregido	395,742	39			

a. $R^2 = 1,00$ (R^2 ajustada = 1,00)

Tabla 53. Análisis de varianza para el rendimiento

Pruebas de efectos Inter sujetos					
Variable dependiente: Rendimiento					
Origen	Σ^2	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3783888,749 ^a	3	1261296,250	3,735	0,02
Intersección	775560098,14	1	775560098,15	2296,729	0,00
Tratamiento	3783888,749	3	1261296,25	3,735	0,02
Error	12156488,506	36	337680,236		
Total	791500475,41	40			
Total, corregido	15940377,256	39			

a. $R^2 = 0,237$ (R^2 ajustada = 0,174)

Tabla 54. Análisis post hoc de Tukey para número de frutos

Variable: Rendimiento			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
JM	10	3900,16	
AT	10	4406,71	4406,71
MP	10		4639,27
JA	10		4667,03
Sig.		0,226	0,749

a. Utiliza el tamaño de la muestra de la media armónica = 10,00

b. Alfa = 0,05

Análisis del suelo



ANÁLISIS DE SUELOS



SOLICITANTE:	CASADO ALVAREZ SEGISMUNDO	FECHA DE REPORTE:	11/06/2025
PROCEDENCIA:	HUANUCO	RECIBO N°	76824
REFERENCIA:	EFEECTO DEL MANEJO ORGANICO EN EL SUELO Y LA PRODUCCIÓN DE Theobroma cacao L. (CACAO) EN LA REGION HUANUCO	MUESTREADO POR:	EL SOLICITANTE

RESULTADOS DEL ENSAYO SOLICITADO

N°	DATOS				ANÁLISIS FÍSICO										ANÁLISIS QUÍMICO										CIC	Mg	K	Na	AI	M	H	cics	Base Cambiable %	Acidos Cambiable %	Saturación de Aluminio %
	AO	ArC	LO	%	Arena	Arcilla	Limo	Clase Textural	CE	pH	Materia Orgánica M.O.	N	P	K ₂ O	Ca	Mg	Potasio	r edo	Aluminio	hierrogeno	Ca	Mg	K	Na											
1	525-0491-1	JAI-M1	47	20	33	Francisco	0.07	4.38	1.79	0.090	5.808	130.274	---	2.822	0.571	0.313	0.153	0.94	0.26	5.05	76.43	23.57	18.52												
2	525-0491-2	JA2-M2	47	18	35	Francisco	0.07	4.48	1.73	0.087	3.264	120.874	---	4.168	0.536	0.320	0.188	0.42	0.09	5.72	91.09	8.91	7.28												
3	525-0491-3	JA3-M3	51	20	29	Francisco	0.10	4.12	3.04	0.152	6.948	145.941	---	3.080	0.447	0.370	0.198	1.19	0.34	5.60	72.70	27.30	21.23												
4	525-0491-4	JA4-M4	51	18	31	Francisco	0.06	3.94	1.61	0.081	5.501	104.003	---	2.027	0.257	0.266	0.229	1.61	0.01	4.39	63.25	36.75	36.56												
5	525-0491-5	JA5-M5	51	20	29	Francisco	0.07	4.25	2.63	0.131	3.308	112.137	---	3.895	0.275	0.275	0.157	0.88	0.14	5.62	81.86	18.14	15.73												
6	525-0491-6	JA6-M6	51	20	29	Francisco	0.08	4.33	1.55	0.078	2.431	195.773	---	2.773	0.227	0.453	0.230	0.68	0.17	4.53	81.25	18.75	15.00												
7	525-0491-7	JA7-M7	51	22	27	Francisco	0.05	4.10	2.32	0.116	3.387	100.508	---	2.389	0.135	0.245	0.224	1.19	0.06	4.25	70.62	29.38	27.98												
8	525-0491-8	JA8-M8	45	24	31	Francisco	0.09	4.59	1.51	0.076	3.089	147.628	---	5.186	0.630	0.337	0.216	0.83	0.02	7.22	88.23	11.77	11.54												
9	525-0491-9	JA9-M9	45	26	29	Francisco	0.10	4.78	2.69	0.134	2.475	196.315	---	5.829	0.812	0.459	0.200	0.26	0.17	7.72	94.50	5.50	3.30												
10	525-0491-10	JA10-M10	47	26	27	Francisco	0.09	4.60	2.33	0.116	3.966	150.822	---	6.904	0.858	0.363	0.175	0.24	0.87	9.40	88.25	11.75	2.53												
11	525-0491-11	AT1-M1	19	46	35	Arcilloso	0.09	4.39	2.57	0.129	6.378	159.800	---	3.570	0.466	0.385	0.331	0.81	0.56	5.84	79.97	20.03	13.59												
12	525-0491-12	AT2-M2	21	42	37	Arcilloso	0.08	4.15	2.15	0.108	8.000	72.971	---	2.157	0.377	0.543	0.205	1.39	0.58	5.24	62.67	37.33	26.82												
13	525-0491-13	AT3-M3	15	48	37	Arcilloso	0.04	3.99	2.06	0.103	7.605	121.127	---	2.307	0.353	0.255	0.152	2.16	0.48	5.70	53.79	46.21	37.86												
14	525-0491-14	AT4-M4	21	44	35	Arcilloso	0.07	3.93	1.13	0.057	6.886	122.079	---	3.000	0.377	0.363	0.148	2.38	0.60	6.86	56.65	43.35	34.68												
15	525-0491-15	AT5-M5	21	44	35	Arcilloso	0.09	4.14	3.16	0.158	8.167	81.949	---	3.108	0.396	0.245	0.148	1.89	0.66	6.45	60.45	39.52	30.48												
16	525-0491-16	AT6-M6	21	44	35	Arcilloso	0.07	4.13	1.73	0.087	9.842	184.324	---	1.881	0.211	0.363	0.171	2.07	0.59	5.26	49.91	50.09	39.26												
17	525-0491-17	AT7-M7	21	44	35	Arcilloso	0.05	3.96	3.16	0.158	10.631	148.171	---	2.093	0.170	0.201	0.146	2.22	0.59	5.42	48.20	51.80	40.97												
18	525-0491-18	AT8-M8	25	44	31	Arcilloso	0.05	4.00	2.93	0.146	10.236	86.227	---	2.476	0.169	0.514	0.172	1.45	0.50	5.07	61.42	38.58	28.68												
19	525-0491-19	AT9-M9	17	48	35	Arcilloso	0.07	4.08	3.40	0.170	3.527	129.732	---	3.106	0.169	0.514	0.172	1.45	0.50	5.07	61.42	38.58	28.68												
20	525-0491-20	AT10-M10	23	44	33	Arcilloso	0.08	4.41	2.76	0.138	6.378	218.881	---	2.476	0.169	0.514	0.172	1.45	0.50	5.07	61.42	38.58	28.68												
21	525-0491-21	JM1-M1	21	20	59	Francisco Limoso	0.23	7.26	1.10	0.055	3.001	149.556	16.574	14.501	1.432	0.365	0.276	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
22	525-0491-22	JM2-M2	27	20	53	Francisco Limoso	0.33	7.47	1.97	0.098	6.158	154.618	13.246	10.428	2.091	0.379	0.349	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
23	525-0491-23	JM3-M3	15	26	59	Francisco Limoso	0.33	7.42	1.31	0.086	6.158	182.386	20.802	16.804	3.194	0.444	0.360	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
24	525-0491-24	JM4-M4	23	20	57	Francisco Limoso	0.21	7.54	2.15	0.107	5.325	121.899	16.042	12.830	2.463	0.296	0.453	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
25	525-0491-25	JM5-M5	29	18	53	Francisco Limoso	0.28	7.48	2.33	0.116	3.571	114.969	16.877	13.523	2.625	0.275	0.455	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
26	525-0491-26	JM6-M6	31	18	51	Francisco Limoso	0.27	7.46	3.52	0.176	2.475	190.350	15.191	11.674	2.552	0.463	0.503	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
27	525-0491-27	JM7-M7	13	22	65	Francisco Limoso	0.28	7.53	2.93	0.146	3.484	122.321	18.755	15.605	2.497	0.325	0.328	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
28	525-0491-28	JM8-M8	23	18	59	Francisco Limoso	0.29	7.60	2.15	0.107	2.037	102.074	14.315	11.608	2.174	0.269	0.265	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
29	525-0491-29	JM9-M9	13	20	67	Francisco Limoso	0.29	7.53	2.15	0.107	2.212	109.365	18.723	16.727	1.497	0.275	0.222	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
30	525-0491-30	JM10-M10	25	18	57	Francisco Limoso	0.29	7.60	2.63	0.131	2.475	113.041	14.315	11.608	2.174	0.269	0.265	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
31	525-0491-31	MP1-M1	13	12	75	Francisco Arenoso	0.22	7.19	2.51	0.125	6.816	175.949	11.994	9.657	1.623	0.425	0.289	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
32	525-0491-32	MP2-M2	61	8	31	Francisco Arenoso	0.22	7.41	1.61	0.081	6.421	175.527	11.602	9.959	0.961	0.402	0.280	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
33	525-0491-33	MP3-M3	53	8	39	Francisco Arenoso	0.22	7.47	1.07	0.054	8.082	182.999	10.909	9.516	0.656	0.463	0.275	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
34	525-0491-34	MP4-M4	61	8	31	Francisco Arenoso	0.22	7.45	1.91	0.096	4.711	143.350	11.334	9.410	1.250	0.356	0.318	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
35	525-0491-35	MP5-M5	41	8	51	Francisco Limoso	0.24	7.35	1.25	0.063	10.017	172.755	11.334	9.410	1.250	0.356	0.318	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
36	525-0491-36	MP6-M6	31	10	59	Francisco Limoso	0.26	7.29	2.39	0.119	6.421	172.514	15.508	11.922	2.756	0.486	0.345	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
37	525-0491-37	MP7-M7	41	8	51	Francisco Limoso	0.27	7.38	1.07	0.054	12.823	182.517	16.146	12.886	2.511	0.413	0.336	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
38	525-0491-38	MP8-M8	31	12	57	Francisco Limoso	0.26	7.13	4.84	0.242	5.983	171.791	10.407	12.886	2.511	0.413	0.336	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
39	525-0491-39	MP9-M9	63	8	29	Francisco Arenoso	0.19	7.74	1.67	0.084	10.499	196.556	14.005	11.029	2.059	0.495	0.423	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												
40	525-0491-40	MP10-M10	59	8	33	Francisco Arenoso	0.20	7.58	1.01	0.051	4.054	141.422	15.704	12.901	1.950	0.365	0.489	0.00	0.00	---	100.00	0.00	0.00												

Los Resultados no pueden ser usados como una certificación de conformidad con normas de producto o como certificado del sistema de calidad de la entidad que lo produce.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
Tingo Maria

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI
Jefe del Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología