

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ECUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN AGROECOLOGÍA MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL



**EFFECTO DE INDICADORES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL SUELO EN EL
CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE PLANTACIONES PERMANENTES DE
MUSA PARADISIACA L. (PLÁTANO) VAR. HARTÓN EN NUEVO PROGRESO
PADRE ABAD.**

Tesis

Para optar el grado de:

MAESTRO EN CIENCIAS AGROECOLOGÍA MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL

PRESENTADO POR:

CESAR AUGUSTO GOZME SULCA

Tingo María – Perú

2022



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



"AÑO DEL FORTALECIMIENTO DE LA SOBERANÍA NACIONAL"

ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS
Nro. 021-UPG-FRNR-UNAS

En la ciudad universitaria, siendo las 7:00 p.m. del miércoles 07 de diciembre de 2022, reunidos de manera presencial en las instalaciones de Grados y Títulos,, se instaló el Jurado Calificador a fin de proceder a la sustentación de la tesis titulada:

"EFECTO DE INDICADORES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL SUELO EN EL CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE PLANTACIONES PERMANENTES DE *MUSA PARADISIACA* L. (PLÁTANO) VAR. HARTÓN EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD."

A cargo del candidato al Grado de Maestro en Ciencias en Agroecología, mención: Gestión Ambiental **CESAR AUGUSTO GOZME SULCA**.

Luego de la exposición y absueltas las preguntas de rigor, el Jurado Calificador procedió a emitir su fallo declarando **AEROGADO**... con el calificativo de **M.V.V. BUENO**.....

Acto seguido, a horas **9:00** 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.

.....
Ing. MS.c. JOSE D. LEVANO CRISOSTOMO
Presidente del Jurado

.....
Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
Miembro del Jurado

.....
Ing. MS.c. JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ
Miembro del Jurado

.....
Dr. NELINO FLORIDA ROFNER
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ECUELA DE POSGRADO
MAESTRIA EN AGROECOLOGÍA MENCIÓN GESTIÓN AMBIENTAL



TESIS

**EFFECTO DE INDICADORES FISICOQUÍMICOS DE CALIDAD DEL SUELO EN EL
CRECIMIENTO Y PRODUCCIÓN DE PLANTACIONES PERMANENTES DE
MUSA PARADISIACA L. (PLÁTANO) VAR. HARTÓN EN NUEVO PROGRESO
PADRE ABAD.**

Autor	: Blgo. Cesar Augusto Gozme Sulca
Asesor (es)	: Ing. Dr. Nelino Florida Rofner
Programa de investigación	: Gestión Ambiental
Línea de investigación	: Desarrollo sostenible
Eje temático	: Sistemas de producción
Lugar de ejecución	: Padre Abad-Ucayali
Duración	: 6 meses
Financiamiento	: Propio S/. 9 394,00

Tingo María – Perú

2022



VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN

OFICINA DE INVESTIGACIÓN

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

REGISTRO DE TESIS PARA OBTENCIÓN DE TÍTULO UNIVERSITARIO, INVESTIGACIÓN DOCENTE Y TESISISTA

DATOS GENERALES DE POSTGRADO

Universidad : Universidad Nacional Agraria de la Selva

Facultad : Facultad de Recursos Naturales Renovables

Título de la tesis : Efecto de indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo en el crecimiento y producción de plantaciones permanentes de *Musa paradisiaca* L. (plátano) var. Hartón, en Nuevo Progreso Padre Abad.

Autor : Blgo. Cesar Augusto Gozme Sulca

Asesor (es) : Dr. Florida Rofner, Nelino

Programa de Investigación : Gestión Ambiental

Línea de Investigación : Desarrollo sostenible

Eje Temático : Sistemas de producción

Lugar de Ejecución : Padre Abad

Duración : Fecha de inicio : Junio 2022
: Fecha de término : Diciembre 2022

Financiamiento : Propio : S/. 9 394,00

.....
Blgo. Cesar Augusto Gozme Sulca
Tesisista

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

DEDICATORIA

A Dios por darme la vida, la sabiduría, conocimiento, la familia y los amigos, por el apoyo incondicional en el transcurso de mi vida, dándome fuerzas para continuar mis metas trazadas sin desfallecer.

A mis padres con mucho amor, Don Julián Justo Gozme Balcón y Doña Juana Paulina Sulca de Gozme, por ser mis autores de mi existencia, mis logros, mi motor y mayor inspiración, porque a través de su amor, paciencia y apoyo me han permitido concluir con éxito cada etapa de mi vida.

A mis Hijos, Leonardo César, Emily Minerva y Matteo Said Gozme Misaico, por ser la inspiración de mi existencia y el motivo de mi lucha que día a día hoy se convierten en triunfo.

A mis hermanos Sonia Mónica, Julio Cristhian, Sergio Raid y Marco Antonio Gozme Sulca, por ser ejemplos de perseverancia y lucha ante las adversidades y apoyo constantes, por su comprensión, apoyo moral y espiritual.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, en especial a la Facultad de Recursos Naturales Renovables y la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental por brindarme la oportunidad de ser profesional, darme su acogedor calor en cada una de sus instalaciones durante toda mi formación profesional y laboral.

A mi asesor Ing. Dr. Nelino Florida Rofner, por su amistad y colaboración en el asesoramiento para poder realizar el presente trabajo.

Al Dr. Cesar López López y al Ing. Gilmer Neira Trujillo, por su amistad y apoyo en el desarrollo del presente trabajo de investigación a través de su experiencia y conocimientos.

Al Ing. José Lévano Crisóstomo, Dr. Lucio Manrique De Lara Suarez, al Dr. Casiano Aguirre Escalante y al Dr. Víctor Beteta Alvarado por brindarme su apoyo incondicional y constante en el desarrollo del presente trabajo de investigación.

Gracias a todas las amistades de la comunidad universitaria, de nuestra prestigiosa Universidad Nacional Agraria de la Selva (UNAS), que aportaron en el desarrollo de la presente investigación.

ÍNDICE GENERAL

	Página
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivo general.....	2
1.2 Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1 Calidad del suelo	3
2.1.1. Indicadores de calidad física del suelo	3
2.1.2. Indicadores de calidad química del suelo.....	5
2.1.3. Índices de calidad del suelo (ICS).....	8
2.2. Cultivo de <i>M. paradisiaca</i> (plátano).....	8
2.2.1. Origen y distribución.....	9
2.2.2. Características del plátano.....	9
2.2.3. Requerimientos medioambientales.....	11
2.3. Antecedentes.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1 Características del área de estudio	
3.1.1 Ubicación	14
3.1.2 Clima	14
3.1.3 Plantación de <i>M. paradisiaca</i>	15
3.1.4 Suelo.....	15
3.2 Materiales y equipos.....	15
3.2.1 Materiales de campo.....	15
3.2.2 Materiales de laboratorio.....	15
3.2.3 Equipos de campo.....	15
3.2.4 Equipos de laboratorio.....	15
3.3 Metodología	15
3.3.1 Tipo y nivel de investigación.....	15
3.3.2 Diseño de la investigación.....	16
3.3.3 Determinación de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo.....	16
3.3.4 Determinación de la calidad del suelo (ICS) a través del método de SAGARPA y Cantú.....	16

3.3.5	Determinación de diferencias entre indicadores de calidad del suelo y de rendimiento, a través del análisis de varianza (ANOVA), en plantaciones de <i>M. paradisiaca</i>	18
3.4	Población y muestra.....	19
3.6	Variabes en estudio.....	19
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1.	Indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo	20
4.1.1.	Indicadores físicos.....	20
4.1.2.	Indicadores químicos.....	21
4.2.	Índice de calidad del suelo.....	23
4.3.	Crecimiento del plátano Hartón.....	27
4.4.	Indicadores relevantes y correlación entre indicadores	28
4.4.1.	Análisis de componentes principales (ACP).....	28
4.4.2.	Análisis de correlaciones.....	30
V.	CONCLUSIONES.....	33
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	34
VII.	REFERENCIAS	35
	ANEXOS	40
	Análisis estadístico de indicadores fisicoquímico del suelo	40
	Indicadores de crecimiento y producción	48
	Trabajos de campo y laboratorio	52
	Reporte de análisis de suelo	54

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Interacción textura, Da y crecimiento radicular	5
2. Resistencia a la penetrabilidad del suelo	5
3. Niveles de pH del suelo	6
4. Niveles de materia orgánica	6
5. Niveles de fósforo	6
6. Niveles de K^+	6
7. Niveles de Ca	7
8. Niveles de Mg	7
9. Niveles de CIC	7
10. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para evaluar el estado actual del suelo.....	17
11. Rangos interpretativos del SUSS.....	17
12. Valores máximos y mínimos de Cantú.....	18
13. Clases de calidad de suelos.....	18
14. Modelo del análisis de varianza.....	19
15. Estadística descriptiva e inferencial de indicadores físicos del suelo	20
16. Estadística descriptiva e inferencial de indicadores químicos del suelo.....	22
17. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 15 años (T1).....	24
18. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 4 años (T2).....	24
19. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 5 años (T3).....	25
20. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 2 años (T0).....	26
21. Indicadores de crecimiento en plantaciones de <i>M. paradisiaca</i>	27
22. Análisis de componentes principales en plantación de <i>M. paradisiaca</i>	29
23. Matriz de componente rotado por Varimax.....	29
24. Correlación entre indicadores del suelo y rendimiento de <i>M. paradisiaca</i>	31
25. Análisis de varianza para el indicador densidad aparente (Da).....	40
26. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador densidad aparente (Da)	40
27. Análisis de varianza para el indicador resistencia a la penetrabilidad (Rp).....	40
28. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador resistencia a la penetrabilidad (Rp).....	41
29. Análisis de varianza para el indicador arena.....	41
30. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador arena.....	41

31. Análisis de varianza para el indicador arcilla.....	42
32. Análisis de varianza para el indicador limo.....	42
33. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador arena.....	42
34. Análisis de varianza para el indicador pH.....	43
35. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador pH.....	43
36. Análisis de varianza para el indicador MO.....	43
37. Análisis de varianza para el indicador N.....	44
38. Análisis de varianza para el indicador P.....	44
39. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador P.....	44
40. Análisis de varianza para el indicador K.....	45
41. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador K.....	45
42. Análisis de varianza para el indicador Ca.....	45
43. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Ca.....	46
44. Análisis de varianza para el indicador Mg.....	46
45. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Mg.....	46
46. Análisis de varianza para el indicador CIC.....	47
47. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador CIC.....	47
48. Análisis de varianza para el indicador ICS.....	47
49. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador ICS.....	48
50. Análisis de varianza para el indicador diámetro del seudotallo de <i>M. paradisiaca</i>	48
51. Análisis post-hoc de Tukey del indicador diámetro del seudotallo de <i>M. paradisiaca</i> ...	48
52. Análisis de varianza para el indicador altura del seudotallo de <i>M. paradisiaca</i>	49
53. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador altura del seudotallo de <i>M. paradisiaca</i> ...	49
54. Análisis de varianza para el indicador dedos comerciales de <i>M. paradisiaca</i>	49
55. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador dedos comerciales de <i>M. paradisiaca</i>	50
56. Análisis de varianza para el indicador dedos no comerciales de <i>M. paradisiaca</i>	50
57. Análisis post-hoc de Tukey del indicador dedos no comerciales de <i>M. paradisiaca</i>	50
58. Análisis de varianza del indicador dedos viables por planta de <i>M. paradisiaca</i>	51
59. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador dedos viables de <i>M. paradisiaca</i>	51
60. Análisis de varianza para el indicador peso de racimo de <i>M. paradisiaca</i>	51
61. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador peso del racimo de <i>M. paradisiaca</i>	52

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Triangulo para determinar las clases texturales	4
2. Clasificación de la densidad aparente	4
3. Localización geográfica del área de estudio	15
4. Clase de calidad del suelo en plantaciones de <i>M. paradisiaca</i>	26
5. Áreas de estudio con plantaciones de M paradisiaca de 15 años (A) y de 2 años de manejo	52
6. Extracción de muestras de suelo.....	53
7. Evaluación del diámetro del seudotallo.....	53
8. Evaluación de longitud del seudotallo.....	54
9. Evaluación del peso del racimo.....	54

RESUMEN

El plátano es un componente importante de la canasta familiar de la población amazónica peruana, sin embargo, el cultivo afronta problemas vinculados a la calidad del suelo y otros factores. Por ello se evaluó el efecto de indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo en el crecimiento y producción de plantaciones permanentes de *Musa paradisiaca* L. (plátano “bellaco”) Var. Hartón, en Nuevo Progreso-Padre Abad. Se estudiaron plantaciones permanentes en suelos aluviales recientes con 15 años (T1), 4 años (T2), 5 años (T3) y 2 años (T0) de manejo, evaluando indicadores fisicoquímicos del suelo: textura, densidad aparente (Da), resistencia a la penetrabilidad (Rp), pH, materia orgánica (MO), nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg), y capacidad de intercambio catiónico (CIC); indicadores de crecimiento (diámetro y longitud del pseudotallo) y producción (Peso del racimo, dedos comerciales, no comerciales, y viables por racimo). Los resultados muestran diferencias para Rp, arena, limo, pH, P, K, Ca, Mg y CIC, con moderada calidad (T1) y alta calidad (T0, T2 y T3), y el análisis de componente principales (ACP) determinó como indicadores de calidad la MO, N, Ca, Mg, CIC, arena, arcilla y limo, correlacionadas positivamente entre los indicadores de crecimiento, rendimiento del plátano y los indicadores del suelo (limo, P, Ca, Mg y CIC) y negativa con el % de arena. En conclusión, plantaciones permanentes de plátano en suelo aluvial recientes muestran tendencias de reducción de la calidad en 15 años de manejo reduciendo 49,95% el peso del racimo y 44,03% dedos viables, aspecto no favorable para el agricultor.

Palabras clave: Aluvial, cultivo permanente, índice de calidad, plátano hartón.

ABSTRACT

Plantain is an important component of the family basket of the Peruvian Amazonian population; however, the crop faces problems related to soil quality and other factors. Therefore, the effect of physicochemical indicators of soil quality on the growth and production of permanent plantations of *Musa paradisiaca* L. ("bellaco" plantain) Var. Harton, in Nuevo Progreso-Padre Abad. Permanent plantations were studied in recent alluvial soils with 15 years (T1), 4 years (T2), 5 years (T3) and 2 years (T0) of management, evaluating soil physicochemical indicators: texture, bulk density (D_a), resistance to penetrability (R_p), pH, organic matter (OM), nitrogen (N), phosphorus (P), potassium (K), calcium (Ca), magnesium (Mg), and cation exchange capacity (CEC); indicators of growth (pseudo stem diameter and length) and production (bunch weight, commercial, non-commercial, and viable fingers per bunch). The results show differences for R_p , sand, silt, pH, P, K, Ca, Mg and CEC, with moderate quality (T1) and high quality (T0, T2 and T3), and the principal component analysis (PCA) determined MO, N, Ca, Mg, CEC, sand, clay and silt as quality indicators, positively correlated between growth indicators, banana yield and soil indicators (silt, P, Ca, Mg and CEC) and negatively with the % of sand. In conclusion, permanent banana plantations in recent alluvial soils show tendencies of quality reduction in 15 years of management, reducing 49.95% of bunch weight and 44.03% of viable fingers, an unfavorable aspect for the farmer.

Keywords: Alluvial, permanent crop, quality index, harton plantain.

I. INTRODUCCIÓN

El Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego (2021), reporta que al 2018 se tiene 225,20 mil ha y un rendimiento de 12,43 t ha⁻¹ de plátano, además, señala que en la región Ucayali representa el tercer cultivo con mayor extensión con 27 580 ha y un rendimiento de 13,89 t ha⁻¹, representando el 1,54 % de la superficie nacional cultivada. Además, en Perú el 70 % se produce en las diferentes regiones de la amazonia (Instituto Nacional de Investigación Agraria, 2021), constituyéndose en un cultivo con gran impacto socioeconómico, por su contribución en la alimentación, generación de empleo e ingreso familiar por la venta de los frutos en los mercados locales.

El plátano es un componente importante en la dieta del poblador amazónico. En Padre Abad se cultiva el plátano como cultivo permanente y en su mayoría en suelos de origen aluvial reciente, aproximadamente 2 500 ha, de ellas, 1 500 ha se comercializan con la capital peruana. El plátano Hartón que produce esta provincia es reconocida y muy demandada, además, las condiciones locales favorecen al cultivo, traduciéndose en excelentes valores de rendimiento, 13 125 t ha⁻¹, de ellas, 10 % se consume localmente y 90 % se comercializa con la capital (Merino, 2014). Sin embargo, el cultivo de esta variedad de plátano en la jurisdicción presenta problemas asociados a la sostenibilidad del agroecosistema, como consecuencia de deficiencias en la aplicación de técnicas para la conservación de la calidad del suelo y mejoras en el manejo de las plantaciones. En este contexto, el trabajo plantea la interrogante, ¿Cuál es el efecto de los indicadores de calidad del suelo en el rendimiento de plantaciones permanentes de *M. paradisiaca* Var. Hartón, cultivadas en Nuevo Progreso - Padre Abad?

La investigación se justifica en la ausencia de información técnica científica local que muestren la variabilidad de la calidad del suelo y su efecto en indicadores de rendimiento en plantaciones permanentes de plátano Hartón en la zona de Nuevo Progreso, para una adecuada gestión de las áreas del cultivo, así, mantener plantaciones con rendimientos óptimos que respondan a las exigencias del mercado.

Los alcances del trabajo contribuyen con nuevos conocimientos sobre los potenciales efectos o correlaciones entre la calidad del suelo y el cultivo del plátano en suelos aluviales del valle del Aguaytía, además, esta información complementa la discusión en la comunidad científica y formara parte de las decisiones institucionales de quienes promueven la agricultura de cultivos lícitos en el valle del río Aguaytía, como: la Comisión Nacional para el Desarrollo

y Vida sin Drogas (DEVIDA), la Dirección Regional de Agricultura Ucayali (DRAU) y las asociaciones de productores locales. También, los resultados darán información técnica al agricultor para considerar alternativas como la renovación de la plantación y otras, así, asegurar la sostenibilidad de su producción. Por lo que, la investigación dio respuesta a la hipótesis planteada, demostrando que los indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo influyen de manera negativa significativa en el rendimiento de plantaciones permanentes de *M. paradisiaca* Var. Hartón cultivadas en Nuevo Progreso - Padre Abad"; se trabajó con los siguientes objetivos:

1.1. Objetivo general

Evaluar el efecto de la calidad del suelo en el crecimiento y producción de plantaciones permanentes de *Musa paradisiaca* L. (plátano "bellaco") Var. Hartón, en Nuevo Progreso - Padre Abad.

1.2. Objetivos específicos

- Determinar indicadores fisicoquímicos del suelo (textura, densidad aparente, resistencia a la penetrabilidad, pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, H⁺, Al, %AC, %SB y CIC), en plantaciones de *M. paradisiaca*.
- Determinar la calidad del suelo a través del índice de calidad (ICS) de Cantú, en plantaciones de *M. paradisiaca*.
- Determinar indicadores de crecimiento (diámetro del pseudotallo, longitud del pseudotallo) y producción (Peso del racimo, dedos comerciales y no comerciales por racimo, y % de dedos viables) de *M. paradisiaca*.
- Determinar indicadores relevantes a través del análisis de componentes principales (ACP) y la correlación de Pearson entre variables de calidad, crecimiento y rendimiento en plantaciones de *M. paradisiaca*

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Calidad del suelo

Termino moderno que integra diversos componentes del suelo en busca de la sostenibilidad y permanencia de los servicios ambientales del agroecosistema. Los precursores del concepto de calidad fueron Lal & Pierce en 1991, alertaron sobre las sinergias entre las técnicas aplicadas al cultivo y la sostenibilidad del agroecosistema, y la importancia del manejo integral del recurso suelo, teniendo presente sus diferentes propiedades (Meza et al., 2017). Los sistemas que incorporan más residuos mejoran los indicadores del suelo disminuyendo la densidad aparente, aumentando la meso y macro porosidad, mejorando los niveles de nutrientes y reduciendo la presencia de elementos tóxicos por la formación de complejos órgano-mineral en la superficie del suelo (Verhulst et al., 2015).

2.1.1. Indicadores de calidad física del suelo

Se tienen un numero amplio de indicadores físicos, sin embargo, algunos de ellos responden rápidamente a cambios producto del manejo del suelo, y serán tomados en cuenta en esta investigación, entre ellos:

Textura, se refiere a las fracciones de arena, arcilla y limo, minerales de diferentes diametros que definen la textura en base a la proporción de cada fracción y tienen como criterio estándar la interpolación de las tres fracciones en un plano subdividida en 13 categorías o clases texturales (**Figura 1**), establecidas por el Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA) como un mecanismo de clasificación (FAO, 2021). La clase permite inferir de manera directa sobre otros indicadores físicos.

Densidad aparente (Da), es un buen indicador de cambios, producto del manejo del suelo, expresa la relación masa-volumen de suelo y está relacionada directamente con el grado de compactación y la concentración de la MO en el perfil. Los valores altos indican compactación o elevado % de arena, sin embargo, una Da baja ($<1,30 \text{ kg m}^{-3}$) indican condiciones adecuadas de porosidad (FAO, 2021).

La textura del suelo y la Da, muestran una estrecha relación, la alteración de uno provoca cambios en el otro, por ello, la Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación - SAGARPA (2012) estableció rangos de interacción entre la densidad y la textura (Tabla 1) basada en el crecimiento de las plantas.

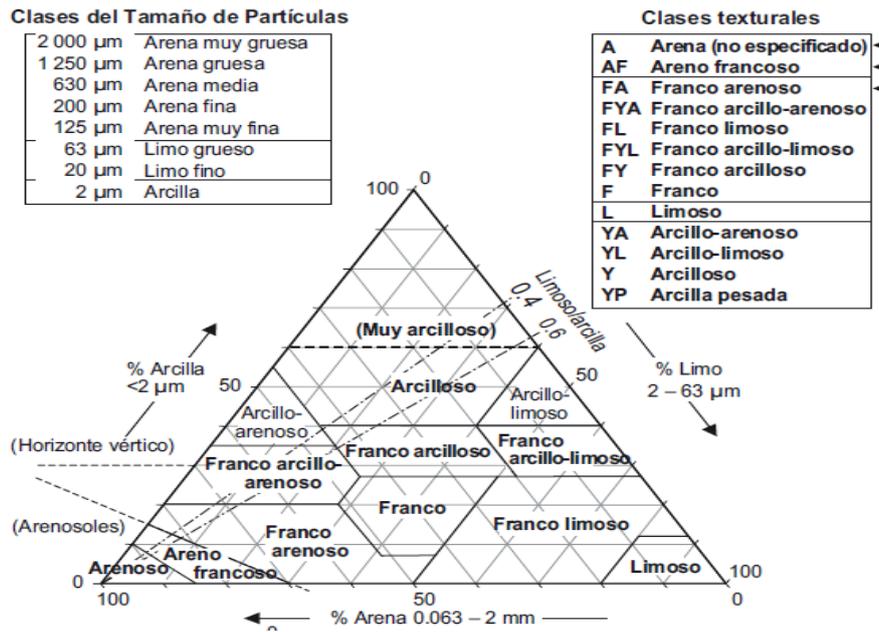
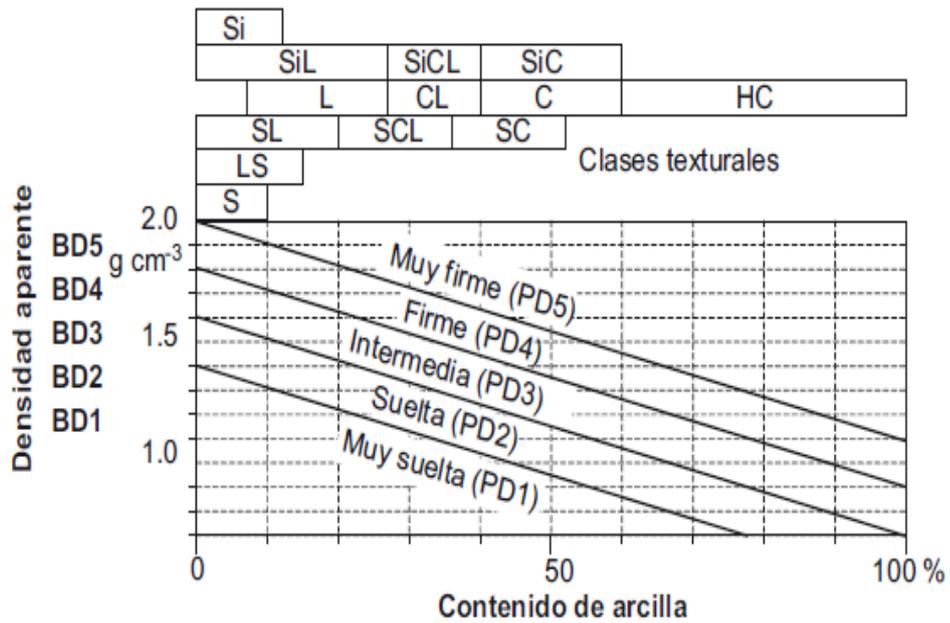


Figura 1. Triangulo para determinar las clases texturales

Fuente: FAO (2009)



BD1 (0,9-1,2), BD2 (1,2 -1,4), BD3 (1,4-1,6), BD4 (1,6-1,8), BD5 >1,8 g/cm³

Figura 2. Clasificación de la densidad aparente

Fuente: FAO (2009)

Tabla 1. Interacción textura, Da y crecimiento radicular

Textura	Ideal (kg m ⁻³)	Aceptable (kg m ⁻³)	Puede afectar el crecimiento (kg m ⁻³)	Restringe crecimiento (kg m ⁻³)
Ar, Ar - fr	< 1,60	1,60 a 1,69	1,69 a 1,80	> 1,80
Fr - ar, Fr	< 1,40	1,40 a 1,63	1,63 a 1,80	> 1,80
Fr - arc - ar, Fr - arc	< 1,40	1,40 a 1,60	1,60 a 1,75	> 1,70
Li	< 1,30	1,30 a 1,60	1,60 a 1,75	> 1,75
Fr - li, fr - ar - li	< 1,40	1,40 a 1,55	1,55 a 1,65	> 1,65
Arc - ar, Arc - li	< 1,10	1,10 a 1,39	1,39 a 1,58	> 1,58
Arc (más de 45 %)	< 1,10	1,10 a 1,39	1,39 a 1,47	> 1,47

Fuente: SAGARPA (2012)

Resistencia a la penetrabilidad (Rp), expresa resistencia mecánica al movimiento vertical o tangencial de un cono de penetración. Valores mayores a 2 Kg/cm² corresponde a suelos compactados que dificulta el desarrollo de las raíces, esta condición se puede producir por efectos del manejo aplicado al suelo, además, incrementos en la Rp se traducen en incrementos de la Da y reducción de macro y meso poros (Demuner et al., 2013).

Tabla 2. Resistencia a la penetrabilidad del suelo

Kg/cm ²	Nivel de resistencia del suelo
<1,00	Muy suave
1,00 a 2,00	Suave
2,00 a 3,00	Duro
3,00 a 4,00	Muy duro
>4,00	Extremadamente duro

Fuente: Instituto de Cultivos Tropicales-ICT (2005), Citado por Florida & Acuña (2020)

2.1.2. Indicadores químicos del suelo

El indicador referente es el potencial de hidrógeno (pH), por sus características químicas complejas y su participación en procesos del suelo resulta de importancia en el grado de solubilidad de los minerales y en la disponibilidad de los mismos para la nutrición de las plantas (SAGARPA, 2012).

Tabla 3. Niveles de pH

Nivel	Rango
Fuertemente ácido	<5,00
Medianamente ácido	5,00 a 6,50
Neutro	6,50 a 7,30
Medianamente alcalino	7,30 a 8,50
Fuertemente alcalino	≥8,50

Fuente: SAGARPA (2012)

El contenido de MO y N ha sido reconocido en la agricultura y se atribuye condiciones de fertilidad en base a su concentración en el suelo, esto, por la influencia que ejerce sobre las demás propiedades del suelo, aspecto determinante en la nutrición vegetal (Demuner et al., 2013).

Tabla 4. Niveles de MO

Clasificación	% MO
Muy bajo	<0,50
Bajo	0,50 a 1,50
Medio	1,50 a 3,50
Alto	3,50 a 6,00

Fuente: SAGARPA (2012)

El fósforo y el potasio son dos macronutrientes importantes en la nutrición. El fósforo es un elemento esencial que se encuentra en forma de fosfatos, elementos esenciales para la nutrición y el crecimiento de los vegetales, su concentración es baja en la mayoría de suelos y generalmente no se encuentra bajo formas asimilables, por lo que, las plantas requieren la participación de los microorganismos simbióticos y de aplicaciones externas para satisfacer la demanda del cultivo. Respecto al potasio, es otro nutriente considerado esencial que requiere la planta en cantidades importantes y es tomado de la solución del suelo en forma del catión K^+ , liberación de los minerales de arcilla (SAGARPA, 2012).

Tabla 5. Niveles de P

Categoría	P (ppm)
Bajo	P<5,50
Medio	5,50 a 11,00
Alto	≥11,00

Fuente: SAGARPA (2012)

Las bases cambiables representan otro grupo importante de nutrientes, entre ellos, el calcio, presente en cantidades elevadas en suelos calcáreos, salinos, típicos de los suelos de las regiones semiáridas. También está el magnesio, forma parte de la clorofila, asociado a la

fotosíntesis (SAGARPA, 2012). Ambos, son parte de los nutrientes primarios utilizados por los vegetales.

Tabla 6. Niveles de K⁺

Categoría	K (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	<0,20
Bajo	0,20 a 0,30
Medio	0,30 a 0,60
Alto	≥0,60

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 7. Niveles de Ca

Categorías	Ca (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	<2,00
Bajo	2,00 a 5,00
Medio	5,00 a 10,00
Alto	≥10,00

Fuente: SAGARPA (2012)

Tabla 8. Niveles de Mg

Categoría	Mg (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy bajo	<0,50
Bajo	0,50 a 1,30
Medio	1,30 a 3,00
Alto	≥3,00

Fuente: SAGARPA (2012)

Finalmente, la CIC indica la capacidad del suelo a retener cationes, valores bajos indica pobre capacidad de retener nutrientes por bajos niveles de MO o elevado % de arena: La CIC se genera por las cargas negativas que presentan las partículas de arcilla y las moléculas orgánicas, así los cationes por fuerzas electrostáticas son atraídas y retenidas en la superficie de estas partículas coloidales cargadas negativamente (SAGARPA, 2012).

Tabla 9. Niveles de CIC

Clase	CIC (Cmol ⁽⁺⁾ kg ⁻¹)
Muy alto	≥ 40,00
Alto	25,00 a 40,00
Medio	15,00 a 25,00
Bajo	5,00 a 15,00
Muy bajo	< 5,00

Fuente: SAGARPA (2012)

2.1.3. Índices de calidad del suelo (ICS)

Se basa en la normalización de los valores de los diferentes indicadores de calidad del suelo y se tienen dos propuestas muy conocidas, el de SAGARPA (2012) y el de Cantú et al. (2009), la investigación aplicará una adaptación de ambas propuestas, los cuales se describen:

Metodología del Sub Índice de Uso Sustentable del suelo (SUSS), propuesta por SAGARPA (2012), ha planteado una metodología de determinación del índice de calidad del suelo, con los principios de otras metodologías, pero, incorporando el criterio de realizar los cálculos en base a indicadores de calidad, también conocidos como indicadores relevantes. Esta metodología es muy útil para monitorear los cambios que se producen en el tiempo producto de la aplicación de determinadas técnicas de manejo del suelo y evalúa los impactos causados de manera integral. El SUSS, agrupa indicadores fisicoquímicos de calidad, a través de la normalización de cada indicador edáfico (SAGARPA, 2012).

$$SUSS = \frac{\sum_i^n = 1 P_i}{n}$$

Donde:

P : Es el promedio del valor de los parámetros normalizados.

i : Es cada indicador o parámetro analizado.

n : Es el número total de parámetros analizados.

Índice de calidad de Cantú. Se basa en el mismo principio que el método SUSS, sin embargo, incluye algunos indicadores adicionales no contemplados en el SUSS, por ello su utilización en la investigación. El ICS de Cantú presenta dos casos posibles: primero, cuando el valor máximo del indicador (Imax) corresponde a la mejor condición de calidad del suelo, valor normal del índice, valor normalizado = 1; segundo, cuando el valor Imax corresponde al peor caso que se pueda encontrar la calidad de suelo, valor normalizado = 0 (Cantú et al., 2007).

2.2. Cultivo de *M. paradisiaca* (plátano)

En Perú, al 2018 se tiene 225,20 mil ha y un rendimiento de 12,43 t ha⁻¹ de plátano y banano, y en la región Ucayali es el tercer cultivo con mayor extensión con 27 580 ha con un rendimiento de 13,89 t ha⁻¹, representando el 1,54 % de la superficie nacional cultivada (MIDAGRI, 2021). Además, el 70 % del área cultivada se desarrolla en las regiones amazónicas (INIA, 2021), constituyéndose en un cultivo con gran impacto socioeconómico, por su contribución en la alimentación, generación de empleo e ingreso familiar por la venta de los frutos en los mercados locales. El área de estudio, Padre Abad, se cultiva el plátano como cultivo permanente y en su mayoría en suelos de origen aluvial reciente, aproximadamente 2 500 ha, de ellas, 1 500 ha se comercializan con la capital peruana. El plátano Hartón que produce esta provincia es reconocida y muy demandada, además, las condiciones locales

favorecen al cultivo, traducándose en excelentes valores de rendimiento, 13 125 t ha⁻¹, de ellas, 10 % se consume localmente y 90 % se comercializa con la capital (Merino, 2014). Sin embargo, el cultivo permanente en suelos aluviales enfrenta diversos retos, el más importante, la calidad del suelo.

2.2.1. Origen y distribución

La especie tiene su origen en el sur oeste asiático. Estudios presumen que el genotipo *Balbisiana* se originó en la costa este de la India y el genotipo *Acuminata* en la costa este de Malasia, Tailandia y Myanmar. Los microclimas que dieron origen a estos genotipos de musáceas fue el sotobosque, razón por el cual se clasifican como especies umbrófilas, denominación que reciben aquellas especies que necesitan algo de sombra para un óptimo desarrollo. Desde que fue introducido en las Américas y Antillas en 1516, su cultivo propalo principalmente en los trópicos y subtropicos, gracias a su gran capacidad de diseminación, distribución y adaptabilidad de la especie. Sin embargo, la mayor producción se genera en los trópicos húmedos y son los países africanos como Uganda y Ruanda los mayores productores en el mundo (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal-CENTA, 2018).

2.2.2. Características del plátano

a). La planta

Se clasifica como una planta herbácea con pseudo tallo aéreo que se forman en los cormos carnosos, a partir de allí aparecen varias yemas laterales, la inflorescencia es terminal y crece a través del centro del pseudotallo hasta alcanzar la superficie (Soto, 2008). Es una especie herbácea muy grande en comparación a otras herbáceas, su tallo verdadero es subterráneo llamado rizoma o cormo y el tallo aparente en realidad es un pseudotallo producto de la unión de diferentes vainas foliares; la planta puede alcanzar fácilmente los 6 m de altura (CENTA, 2018).

b). Raíces

Independientemente del tipo de suelo las raíces del plátano se distribuyen en la capa superficial del perfil, entre 0,30 a 0,40 m, sin embargo, el 90 % se concentra en la superficie entre los 0,15 a 0,20 m de profundidad. Las raíces emergentes son suaves y de color blanco y a medida que envejecen son duras y amarillentas. La longitud máxima de crecimiento lateral que puede alcanzar una raíz es de 3,00 m y 1,50 m de profundidad; el crecimiento en ambas direcciones es determinada por la textura y estructura del suelo, en este caso, los suelos arenosos, francos porosos son los más favorables (Soto, 2008; CENTA, 2018; Peña, 2019).

c). Hojas

De acuerdo a las condiciones edáficas las hojas pueden ser muy grandes y dispuestas en forma de espiral, pueden alcanzar una longitud de hasta 4,00 m y hasta de 0,50m de ancho, con un peciolo mayor a 1,00 m y limbo elíptico alargado, ligeramente recurrente hacia el peciolo, ligeramente ondulado y glabro (CENTA, 2018).

c). Tallo

A diferencia de otras plantas el tallo es subterráneo formado por un rizoma grande coronada con yemas (denominado hijuelos) que se desarrollan una vez que la planta ha florecido y fructificado. A medida que los chupones del rizoma maduran, las yemas terminales inician la inflorescencia empujada hacia arriba desde el interior del suelo por el alargamiento del tallo, esta emergencia forma el pseudotallo, que es la parte visible de la planta y abecés mal denominado tallo (CENTA, 2018; Peña, 2019).

c). Flor y fruto

Presentan un color que va de blanco hacia amarillenta, irregulares y cinco estambres fértiles y uno estéril (CENTA, 2018). El fruto es una valla alargada de tres o seis lados, en el caso del Hartón en su mayoría las vallas bien nutridas no se diferencian lados, con un grado de encorvamiento y longitud variable según el genotipo, formada a partir del ovario de una flor pistilada. Los pequeños puntos negros con apariencia de pequeñas semillas observadas al abrir el fruto son óvulos abortados (Peña, 2019). El fruto posee una pulpa suave, compuesto por tres carpelos que son los últimos órganos florales que aparecen, fusionándose rápidamente para formar el estilo y el estigma. El desarrollo del fruto es sin polinización (Soto, 2008). El fruto se desarrolla entre 70 a 90 días, aunque, en lugares templados entre 20 y 26 °C y períodos largos de luminosidad, puede tardar entre 98 a 112 días (CENTA, 2018).

c). Cormo o bulbo

El cormo es un bulbo sólido de forma tuberosa o cilíndrica, su contextura es corta, gruesa y carnosa, con mucho contenido de agua, y almacenan reservas energéticas. Se origina de una yema vegetativa que da origen al pseudotallo (CENTA, 2018). El cormo produce muchas ramificaciones llamadas “hijuelos” y a la unidad del cormo y sus hijuelos se le denomina “mata o plantón”.

Después de la cosecha del cormo principal, la planta madre es eliminada y uno de los hijuelos con mayor vigor es seleccionado por el agricultor para continuar la producción (Peña, 2019), en plantaciones permanentes el criterio es aplicado periódicamente para evitar sobre población de la mata y garantizar una adecuada nutrición y evitar competencia por nutrientes.

2.2.3. Requerimientos medioambientales

Toda especie vegetal requiere condiciones ambientales óptimas para su normal desarrollo, en el caso del plátano, Soto (2008), CENTA (2018) y Peña (2019) describen las condiciones generales adecuadas para el desarrollo de la especie:

a). **Altitud**

Las áreas costeras con altitud menor a 30,00 msnm son las más indicadas para el desarrollo del cultivo. Sin embargo, en zonas tropicales y subtropicales húmedas pueden adaptarse hasta una altitud de 2 200 msnm.

b). **Requerimientos de agua**

La planta debido a su naturaleza herbácea el 85 – 88 % del peso está constituido por agua, y su gran superficie foliar lo expone a la evapotranspiración, por lo tanto, requiere un suministro anual de aproximadamente 1 200 a 1 300 m³ ha⁻¹. Por tanto, las necesidades de agua son elevadas en particular en las áreas costeras con escasa precipitaciones, en estas condiciones deben ser aportadas por riegos regulares y constantes. En este sentido, se recomienda desarrollar el cultivo en zonas que tengan niveles de precipitaciones que varíen entre 2 000 y 3 000 mm anuales bien distribuidos durante el año, 100 mm mensuales son satisfactorios.

c). **Temperatura**

La condición óptima de temperatura para el plátano son zonas con medias de 25 °C. Un rango entre 25 a 30 °C son los más indicados, temperaturas bajas prolongan el ciclo vegetativo. El ciclo vegetativo queda notablemente reducida a temperaturas menores de 16 °C, bloqueando la producción de nuevas hojas y genera el denominado arrepollamiento, esto por bloqueo de la inflorescencia o parición. Temperaturas menores a 12 °C la fructificación se detiene, por ello la temperatura es un factor ambiental determinante y debe ser tomada en cuenta.

d). **Suelo**

En general el plátano se desarrolla mejor en suelos de formación aluvial y que se encuentran en los valles costeros, tropicales y subtropicales, con importantes cantidades de arena, pero provistos de arcilla y limo para generar condiciones adecuadas y regular el flujo hídrico. Suelos con buena estructura, porosidad y buen drenaje favorecen el crecimiento de las raíces y el rendimiento del plátano. Sin embargo, el exceso de arcilla provoca deficiencias en el flujo hídrico y acumulación de humedad, desarrollando enfermedades a nivel de raíces que termina afectando la nutrición y el rendimiento.

Los suelos de textura media, desde franco arenoso, muy fino y fino, hasta franco arcilloso son los mejores para este cultivo, y químicamente suelos con altos contenidos de nutrientes, y complementados con el abonamiento, procurando suplir la extracción de minerales

que se da con las cosechas y las pérdidas que se producen por el proceso de lixiviación o lavado. El banano ofrece una gran tolerancia a la reacción del suelo (4,50 a 8,00 de pH), pero, las plantaciones de mejor aspecto se encuentran en condiciones ligeramente ácidas o ligeramente alcalinas.

2.3. Antecedentes

2.3.1 Antecedentes internacionales y nacionales

Bernuy (2020), evaluó el posicionamiento en el mercado internacional como el principal proveedor de plátano hartón de la región y principal proveedor del mercado americano. Determino que el producto tiene amplio mercado internacional, principalmente Estados Unidos y el medio oriente, demanda que viene siendo atendida por muchos proveedores, notándose la necesidad de un proveedor con una mayor oferta exportable. El Perú tiene amplia oferta exportable de plátanos/plantain (no banano) a nivel nacional (Ucayali, San Martín, Coronel Portillo y Piura). El precio FOB es más competitivo que el precio FOB de exportación de Ecuador según temporada y volumen, aspecto con gran potencial que puede ser aprovechado.

Peña (2019), evaluó el efecto del biol sobre las características morfo productivas y establecer la rentabilidad del banano orgánico. El rendimiento no fue afectado significativamente por la aplicación de los tratamientos en ninguna de las características morfo productivas. La dosis de 5 litros de biol en 15 litros de agua (T3) obtuvo mayor contenido de proteínas, P, Mg y vitamina C. Económicamente el tratamiento 1 litro de biol en 19 litros de agua (T1) alcanzó beneficio costo de 1.07. Sin embargo, dosis de 3 litros de biol en 17 litros de agua (T2), alcanzo 24.44 t ha⁻¹, 110.70 dedos por racimo, peso fresco del fruto 198.38 g y peso de racimo sin raquis con 22.00 kg en promedio.

Hernández et al. (2007) evaluó el efecto del fertilizante sobre el crecimiento y el rendimiento de plátano Musa AAB cv Hartón. Encontraron diferencias solo para la variable emisión foliar, observándose entre 1,9 y 2 hojas quincenales. El valor más alto de altura y perímetro del pseudotallo fue 4,07 m y 0,6 m (T4), respectivamente. El número de hojas totales fue de 36 y en hojas a cosecha de 11. Todas las plantas presentaron 7 manos. Encontró diferencias para el peso del racimo, variando entre 13,05 a 17,74 kg racimo⁻¹.

Cayón et al. (2004) evaluaron los efectos de la densidad de población en el cultivo del plátano sobre los rendimientos en el Centro de Investigación “El Agrado”, localizado en Montenegro, Quindío. Las densidades de 1.500 a 3.000 plantas ha⁻¹ no afectaron el crecimiento y desarrollo del cultivo en el primer ciclo de cosecha; no presentaron diferencias estadísticas significativas entre las densidades, además, se obtuvieron racimos con pesos comercialmente aceptables, sin embargo, densidades superiores a 2.750 plantas ha⁻¹ redujo drásticamente en 22

% el peso promedio de los racimos, registrando una relación directamente proporcional con la densidad de siembra.

2.3.2. Antecedentes locales

Teran (2017) evaluó el efecto de diferentes niveles de fertilización con potasio en la producción de semilla del cultivo de plátano (*Musa sp.*) FHIA 20 en un entisol de Aguaytía. El tratamiento 3 (324 kg K₂O/ha) presentó mayor circunferencia del pseudotallo de 61,865, una altura de la planta promedio de 3,26 m, y número de hijuelos a la cosecha promedio de 7,82 unidades con un peso promedio de hijuelos de 1,31 kg. No encontró diferencias entre tratamientos.

Merino (2014), evaluó la cadena de valor del sistema de producción - comercialización del plátano bellaco Variedad Hartón en el distrito de Padre Abad, a través de la metodología propuesta por el Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. Evaluó a quince comunidades productoras de plátano, cuyo rendimiento promedio es de trece toneladas por hectárea, con periodos de cosechas durante los doce meses del año. Se identificaron las principales limitantes que afectan la competitividad del plátano “bellaco” Var. Hartón. Finalmente se plantearon estrategias para mejorar la competitividad del sector y favorecer la distribución equitativa de los ingresos generados a lo largo de la cadena de valor del sector platanero de Aguaytía.

Ruiz (2010), identificó y determinó el grado de infestación de insectos coleópteros que dañan el corno y el pseudotallo del plátano (*Musa paradisiaca* L.) en Ucayali. Los resultados arrojan que los insectos plaga, tanto en Campo Verde como en Aguaytía, son los insectos: *Cosmopolites Sordidus gemmar*, con un grado de incidencia de 10% y *Metamasius hemipterus* L., con un grado de incidencia de 5%. Para obtener los datos, y así conocer la correlación de los insectos con las variables climáticas: precipitación pluvial, temperatura y humedad relativa; se hicieron trampas en el pseudotallo y el corno de las plantas de plátano; cuyos resultados se presentan en las conclusiones de la presente investigación.

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Características del área de estudio

3.1.1. Ubicación

El área sometida a investigación se encuentra en Nuevo Progreso (**Figura 3**), políticamente, tiene la categoría de centro poblado y pertenece al distrito y provincia de Padre Abad en la región Ucayali. Las áreas con cultivos permanentes de plátano son de propiedad del Sr. Rolando Cometivos Ruiz (T1, T2 y T3) y del Sr. Walker Cárdenas (T0).

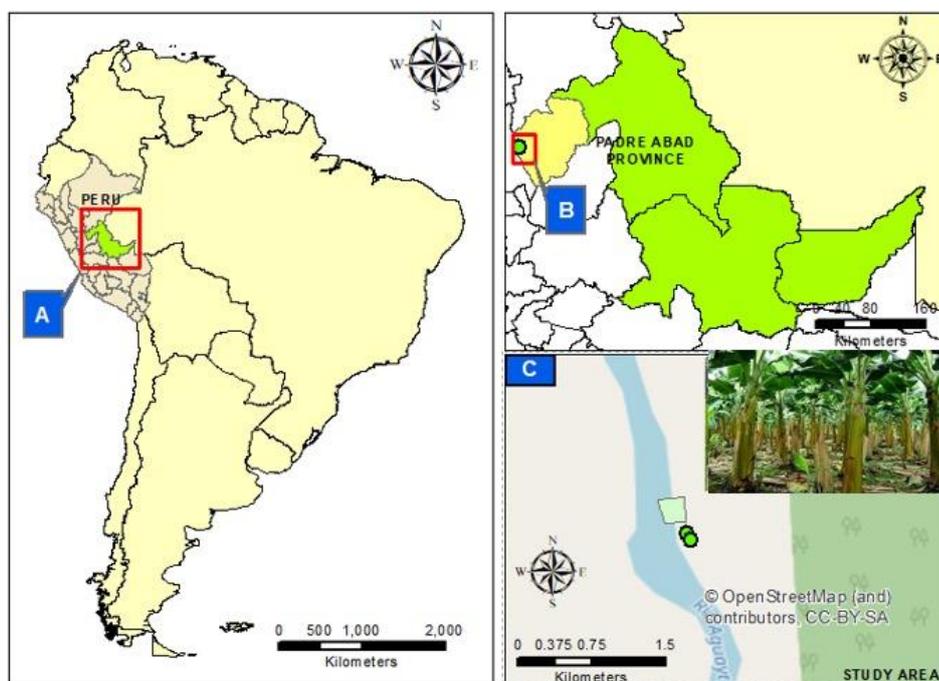


Figura 3. Localización geográfica del área de estudio, región Ucayali (A), provincia Padre Abad (B) y poblado de Nuevo Progreso (C)

3.1.2. Clima

Según Holdridge (2000) el área de estudio está dentro del ecosistema de bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh-PT) y las características del clima en general presenta temperatura media anual de 26,50 °C, la máxima 32,60 °C y la mínima 22,90 °C, humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 2 400 mm (SENAMHI, 2021). Asimismo, se tiene un régimen bimodal, lluviosa de noviembre a mayo y seca de junio a octubre.

3.1.3. Plantación de *M. paradisiaca*

En el área de estudio se cultiva el plátano *M. paradisiaca* var. Hartón, conocido localmente como “plátano bellaco”. La densidad de siembra de la plantación es de 3x3 m entre planta y filas, con manejo tradicional que consta de:

- Control de malezas con herbicida glifosato, con periodicidad trimestral.
- Cosecha manual con intervalo de 15 a 20 días.
- No aplican renovación de la plantación.
- El manejo del número de plantas por mata es de tres, para evitar proliferación excesiva del número de plantas y competencia por nutriente, así como, aparición de plagas y enfermedades.

3.1.4. Suelo

El suelo en donde se desarrolla el cultivo de *M. paradisiaca* es un área aproximada de 5 ha y se ubica en áreas adyacentes al río Aguaytía (margen derecho), cuyo suelo es de origen aluvial reciente, según la Soil taxonomy corresponde al orden Entisol y al sub grupo typicudifluvets (Lama, 2020), suelo poco profundo, textura arenosa a franca arenosa, baja Rp ($< 1 \text{ kg/cm}^2$), alta Da ($> 1.4 \text{ g/cm}^3$) y de reacción neutra, el cual, recibe al menos dos a tres inundaciones de periodo corto (1-3 horas) durante cada año.

3.2. Materiales y equipos

3.2.1. Materiales de campo y laboratorio

Para los trabajos de campo se utilizó bolsas plásticas, Marcadores, botas de protección y wincha. Para los diferentes ensayos en el laboratorio se utilizó probetas, embudos de vidrio, vasos de precipitación, tubos de ensayo, micropipetas, papel filtro N° 40, reactivos diversos y matraces de 50, 100 y 250 cm³.

3.2.2. Equipos de campo y laboratorio

Para registrar los trabajos de campo se utilizó una cámara fotográfica y para registrar la ubicación un navegador GPS y balanza de 25 Kg para el peso de los racimos, y en laboratorio se utilizó balanza analítica, estufa, pH metro de mesa, bureta digital, espectrofotómetro de absorción atómica y espectro fotómetro UV - Visible.

3.3. Metodología

3.3.1. Tipo y nivel de investigación

Es aplicada, porque se utilizó los conocimientos actuales en ciencias agrícolas para evaluar la variabilidad de la calidad del suelo en plantaciones permanentes de *M. paradisiaca* variedad Hartón sobre suelos aluviales recientes en el valle del Aguaytía. El nivel de

investigación es descriptiva comparativa, porque se evaluó la calidad del suelo y comparó con los principales indicadores de producción del plátano Hartón en Nuevo Progreso.

3.3.2. Diseño de la investigación

Corresponde a una investigación no experimental mixta, incluye una parte descriptiva y otra comparativa, con ajuste estadístico de diseño DCA, donde los tratamientos lo constituyen las plantaciones de plátano Hartón de 2, 4, 5 y 15 años de cultivo permanente: Hartón de 15 años (T1), Hartón de 4 años (T2), Hartón de 5 años (T3), Hartón de 2 años (T0). Los datos se sometieron al análisis de varianza (ANOVA) y las correspondientes pruebas post-hoc de Tukey ($p < 0,05$), para la comparación de medias entre indicadores de calidad del suelo y los indicadores de producción de plátano, así como, el análisis de componentes principales para reducir la dimensionalidad y la correlación de Pearson para identificar correlaciones entre los indicadores.

3.3.3. Determinación de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo

La evaluación del suelo se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- a). **Identificación de áreas a evaluar**, consistió en identificar plantaciones de *M. paradisiaca* variedad Hartón de 2, 4, 5 y 15 años de manejo y aprovechamiento de la plantación, sin renovación.
- b). **Muestreo de suelos**, para el muestreo se delimitó una subárea de 1 200 m² dentro de las plantaciones según edad y la extracción de muestras independientes (7 por área) de acuerdo con los procedimientos de la Soil Survey Staff (2014).
- c). **Análisis de muestras**, El análisis de textura fue realizado por medio del método del hidrómetro de Bouyoucos. Los valores de pH en agua destilada (relación 1:2,50) por el método electrométrico. El Ca²⁺, Mg²⁺, K⁺ y Na⁺ extraídas con acetato de amonio a pH 7 y determinadas por absorción atómica. El contenido de P disponible por Olsen modificado y determinado por colorimetría. El contenido de MO por Walkley & Black y la CIC por acetato de amonio a pH 7, los protocolos aplicados se describen en Bazán (2017).

3.3.4. Determinación de la calidad del suelo (ICS) a través del método de Cantú

Con los datos obtenidos de los diferentes indicadores de calidad del suelo fueron transformados a los valores randomizados, calculados a partir de los valores de corte y deseables (Tabla 10) y se determinó la clase de calidad (**Tabla 11 y 12**) para cada tratamiento.

Tabla 10. Criterios para el cálculo del ICS

Indicador	Unidad de medida	Rango o valor Deseable (d)	Valor de corte (C)
MO	%	MO > 5	0.5
Da	g/cm ³	Dap < 1.1	1.47
CE	dSm-1	CE < 1	4.1
pH	pH	6 < pH < 7	5 < pH < 8.5
P	mg kg-1	P > 5.5	0
Mg	Cmol ⁽⁺⁾ kg-1	Mg > 0.3	0
Ca	Cmol ⁽⁺⁾ kg-1	Ca > 5	0
CIC	Cmol ⁽⁺⁾ kg-1	CIC > 15	5
N	%	N > 0.2	0.05

Fuente: SAGARPA (2012).

La determinación de la calidad se realizó según los valores medios finales obtenidos con el ICS, en la Tabla 11 se muestra los rangos que determina la calidad y su interpretación correspondiente.

Tabla 11. Rangos interpretativos del ICS

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0,95 a 1,00)	La calidad del suelo son las deseables para la actividad agrícola.
Aceptable (0,80 a 0,94)	La calidad está cercana a las condiciones deseables. Las variables poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible (0,65 a 0,79)	Los parámetros ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0,45 a 0,64)	Los indicadores son distantes de los valores deseables.
Pobre (0,00 a 0,44)	La calidad para fines agrícolas se encuentra amenazada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseable.

Fuente: SAGARPA (2012).

La Tabla 12, se precisan los indicadores con sus respectivos valores mínimos y máximos que fueron aplicados en la investigación.

Tabla 12. Valores máximos y mínimos de Cantú

Indicadores	ICS		
	Unidad	Máximo	Mínimo
Saturación de bases	%	100	50
Agregados estables en agua	%	75	10
Velocidad de infiltración	cm/h	10	1
Potencial Zeta (Pz)	Mv	30	-30
Espesor del horizonte A	cm	45	0

ICS: índice de calidad del suelo

Fuente: Cantú et al. (2007)

Finalmente, los valores de ICS se interpretaron con la Tabla 13, para determinar la calidad del suelo.

Tabla 13. Clases de calidad de suelos

Índice de calidad de suelos	Escala	Clase
Muy alta calidad	0,80 - 1,00	1
Alta calidad	0,60 - 0,79	2
Moderada calidad	0,40 - 0,59	3
Baja Calidad	0,20 - 0,39	4
Muy baja calidad	0,00 - 0,19	5

Fuente: Cantú et al. (2007)

3.3.5. Determinación de indicadores relevantes a través del análisis de componentes principales (ACP) y la correlación entre indicadores de calidad del suelo y de rendimiento, a través del análisis de Pearson, en plantaciones de *M. paradisiaca*

Previamente el trabajo determinó diferencias entre los parámetros a través del análisis de varianza y las pruebas inter sujetos, y la prueba post-hoc de Tukey ($p < 0.05$) para la comparación de medias para establecer los sub conjuntos homogéneos entre indicadores de calidad del suelo y de rendimiento del plátano “bellaco”. Para el procesamiento se utilizó el software de acceso libre IBM-SPSS 25, los datos fueron calculados según el modelo siguiente:

$$Y_{ij} = \mu + T_i + \beta_j + \varepsilon_{ij}$$

Donde:

 Y_{ij} = Observación μ = Media general T_i = Efecto del tratamiento β_j = Efecto del tipo de suelo ε_{ij} = Error experimental

Tabla 14. Modelo del análisis de varianza

Fuente de variación	GL	SC	CM	Valor de F
Tratamiento	t - 1	$\sum_{i=1}^t \frac{Y_i^2}{r} - \frac{Y^2}{tr}$	SC_{trat}/gl_{trat}	CM_{trat}/CM_{ee}
Error	t(r - 1)	$SC_{total} - SC_{trat}$	SC_{ee}/gl_{ee}	
Total	t.r - 1	$\sum_{i=1}^t \sum_{j=1}^r Y_{ij}^2 - \frac{Y^2}{tr}$		

La correlación se determinó mediante uso del software estadístico IBM SPSS 25. El factor de correlación de Pearson relaciona las calificaciones recopiladas de una variable con las puntuaciones logradas de la otra, con los mismos participantes. El factor r de Pearson puede alternar de -1.00 a 1.00, los niveles de correlación se describen en Hernández et al. (2014).

Análisis de ACP, los parámetros fisicoquímicos del suelo y de rendimiento del plátano evaluados se sometió al análisis de componentes principales (ACP) para poder determinar los indicadores más relevantes que producen cambios en el suelo producto del manejo. Los datos se sometieron al análisis de reducción de dimensiones por el método de Varimax, utilizando el software IBM-SPSS 25.0.

3.4. Población y muestra

Estuvo constituida por 5 hectáreas de plátano bellaco, Variedad Hartón. La muestra lo constituyen 5 subáreas de 1 200 m² y 28 muestras (7 muestras por tratamiento) para la evaluación de la calidad y 28 plantas (7 plantas por tratamiento) de plátano Hartón; el tipo de muestra fue probabilística y aleatoria, porque, las 07 plantas de plátanos evaluados fueron tomadas al azar en cada sub área de muestreo seleccionado como parte de la muestra.

3.5. Variables en estudio

- Calidad del suelo (Indicadores físicos, químicos e índices de calidad)
- Indicadores de crecimiento (longitud y diámetro del pseudotallo) y producción del plátano (Peso del racimo, dedos comerciales y no comerciales, y dedos viables por planta).

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Indicadores fisicoquímicos de calidad del suelo

4.1.1. Indicadores físicos

Se evaluó la Da, Rp y la textura a través de sus diferentes fracciones (arena, arcilla y limo) como parámetros físicos del suelo. La Tabla 15, muestra la media y la desviación de cada indicador, el valor de la significancia y el coeficiente de variación entre las áreas evaluadas. Se encontró diferencias altamente significativas para Rp, arena y limo; la Da y la arcilla no mostraron diferencias.

Tabla 15. Estadística descriptiva e inferencial de indicadores físicos del suelo

Indicador	Tratamiento				Estadísticos		
	T1	T2	T3	T0	F	Sig.	CV (%)
Da	1.41±0.03	1.39±0.05	1.43±0,07	1.32±0,03	1.541	0,229	4.35
Rp	0,64±0,10	0,57±0,06	0,58±0,07	1,05±0,13	42.7	0,000	30.87
Arena	62.57±7.41	67.14±4.38	62.57±7.68	44.71±10.55	11.296	0,000	19.31
Arcilla	14,29±2,14	15,43±2,23	13,43±1,90	16,57±4,28	1.667	0,201	19.46
Limo	23,14±6,67	17,43±4,65	24,00±6,00	38,71±11,34	10,001	0,000	41,59
Clase textural	Fr-ar	Fr- ar	Fr- ar	Franco	--	--	--

T0 plantación de 2 años, T1 plantación de 15 años, T2 plantación de 4 años, T3 plantación de 5 años de *M paradisiaca*, ± desviación estándar, F: función de probabilidad, Sig. significancia, ** altamente significativo, * significativo, ns no significativo, CV coeficiente de variación.

Los resultados muestran diferencias altamente significativas para los indicadores Rp, fracción arena y limo, los mismos, presentan los mayores valores de CV que expresa variabilidad media (CV entre 12-60 %) entre las medias encontradas. Para Déleg (2018), un coeficiente de variación es baja cuando el CV < 12 % y media para CV entre 12 a 60 %.

La Da presenta valores entre 1,32 (T0) a 1,43 g/cm³ (T3), según FAO (2021) considera una Da baja valores < 1,3 g/cm³ y SAGARPA (2012) considera valores ideales a Da < 1,4 y aceptable 1,4 a 1,63 g/cm³ para la clase de textura encontrada (franca y franca arenosa), haciendo referencia al crecimiento radicular. La densidad aparente es un buen indicador de cambios producto del manejo del suelo y está relacionada directamente con el nivel de compactación y pérdida de material orgánico en el perfil (Navarro et al., 2019; Florida & Acuña 2020). Además, valores altos indican compactación o elevado % de arena, al parecer, este último, es el responsable de los valores relativamente altos e indica una condición porosa del suelo (FAO, 2021).

La textura media del suelo es Franca arenosa y franca para T0, con elevado % de arena, bajo en arcilla y en caso de T0 niveles notablemente mayores en limo y arcilla (38,71 y 16,57 %). En general la textura es un excelente indicador (García et al., 2012), por su relación con otras características físicas y químicas del suelo (FAO, 2009; SAGARPA, 2012; Camacho et al., 2017). Este resultado revela una condición física muy favorable para el cultivo de plátano, ya que los mejores suelos son aquellos de formación aluvial que se encuentran en los valles subtropicales de textura media (franca y franca arenosa), con suficientemente % de arcilla y limo para retener el agua, con buena estructura, gran porosidad y buen drenaje (Soto, 2008; CENTA, 2018; Peña, 2019); esto por la débil capacidad de penetración de la raíz del plátano, en consecuencia la exploración radicular está limitada por la textura y estructura del suelo (CENTA, 2018). Sin embargo, advierten que bajo estas condiciones físicas las pérdidas se producen por lixiviación, lavado de bases y extracción en las cosechas (CENTA, 2018; Peña, 2019).

Respecto a la R_p , los resultados muestran diferencias altamente significativas, sin embargo, las medias encontradas no representan una tendencia de compactación, por el contrario, a mayor tiempo de manejo la R_p disminuye de suelo suave (R_p 1-2 g/cm^2) a muy suave ($R_p < 1g/cm^2$). Este indicador determina el nivel de compactación de la capa superficial como consecuencia de aplicar presión sobre las capas superficiales (FAO, 2009; Demuner et al., 2013; Florida & Acuña, 2020). Tales condiciones no se presentan en el área, por el contrario, se evidencia disminución de las fracciones arcilla, limo, e incremento de la fracción arena en 15 años de manejo, que explicarían la disminución de la R_p , esto, causados presumiblemente por las inundaciones cortas que sufre el área anualmente que en condiciones de bosque incorpora sedimentos ricos en limo y arcilla, pero en condiciones de suelo desnudo el efecto es contrario, erosiona el suelo perdiéndose la arcilla y el limo por acción erosiva de las inundaciones (Rodríguez, 1990), tal como se puede evidenciar en los resultados.

4.1.2. Indicadores químicos

Se evaluó los principales indicadores químicos, la Tabla 16, muestra el promedio y la desviación de cada indicador, el valor de la significancia y el coeficiente de variación entre las áreas evaluadas. Se encontró diferencias altamente significativas para pH, P, K, Ca y CIC; significativas para Mg, y no se encontró diferencias entre áreas evaluadas para la MO y el N. El % de saturación de bases (%SB) no forma parte del análisis porque presenta valores de 100 % en todos los casos.

Tabla 16. Estadística descriptiva e inferencial de indicadores químicos del suelo

Indicador	Tratamiento				Estadísticos		
	T1	T2	T3	T0	F	Sig.	CV (%)
pH	7,10±0,06	7,29±0,06	7,40±0,04	7,45±0,03	63.325	0,000**	1,96
MO	1.44±0.22	1.48±0.34	1,50±0,13	1.57±0.31	0,307	0,820ns	16.85
N	0.07±0.01	0,08±0,02	0,08±0,01	0,08±0,02	0,230	0,874ns	16,25
P	3.93±0.27	5.94±0.26	7.18±0.14	5.92±0.68	81.734	0,000**	21.6
K	47.39±4.01	73.26±2.78	58.79±8.24	89.20±5.81	73.234	0,000**	25.05
Ca	6.14±0,15	6,08±0,20	6,11±0,35	6,67±0,36	6.816	0,002**	5.8
Mg	0,87±0,04	0,90±0,13	0,98±0,29	1,17±0,24	3.102	0,046*	22.69
CIC	7.12±0.14	7.13±0.24	7.21±0.61	7.99±0.55	6.528	0,002**	7.47

T0 plantación de 2 años, T1 plantación de 15 años, T2 plantación de 4 años, T3 plantación de 5 años de *M paradisiaca*, ± desviación estándar, F: función de probabilidad, Sig. significancia, ** altamente significativo, * significativo, ns no significativo, CV coeficiente de variación.

De acuerdo a los niveles de fertilidad propuestos por SAGARPA (2012) se tiene valores de pH neutro (6,5 a 7,3) para el T1 y T2 y medianamente alcalino (7,3 a 8,5) para T0 y T3; niveles bajo en MO y N, bajo a medio en P, medio en Ca y bajo en K, Mg y CIC. Químicamente los resultados concuerdan con algunos estudios realizados en áreas inundables de los principales tributarios del Amazonas, señalan que son suelos de mayor fertilidad que los residuales, con pH ligeramente ácida o neutra, alta SB, variable CIC, contenido MO, N de bajo a medio en P, y variable en K (ONERN, 1972; Rodríguez, 1990; Lama, 2020).

Las elevadas precipitaciones, textura franca arenosa y las inundaciones cortas estacionales son las responsables de incorporar sedimentos y bases, así, mantener niveles altos de pH, sin embargo, son las mismas que provocan lavado por las inundaciones y lixiviación por las precipitaciones de los macronutrientes como el K y Mg (Rodríguez, 1990; Lama, 2020). Además, SAGARPA (2012) señala que los suelos arenosos, como es nuestro caso, son químicamente inertes y carecen de propiedades coloidales, condición que no ayudó a retener cationes en el perfil y tener bajos niveles de K, Mg y Ca.

Se encontró tendencias de disminución del pH en 15 años de cultivo permanente, paso de suelo medianamente alcalino a neutro, aunque esta condición no pone en riesgo en cuanto al nivel de pH óptimo, sin embargo, por las características físicas (alto % de arena, bajo en arcilla y baja Rp) evidencian un potencial riesgo de disminución de las principales bases cambiables y de la MO, los niveles encontrados no son deseables y son comportamientos típicos registrados en estas condiciones de suelo (Lama, 2020).

La MO y el N, ambos no presentan diferencias significativas, y fluctúa entre 1,44 (T1) y 1,57 % (T0) para MO y 0,07 (T1) a 0,08 % (T0) para N, niveles bajos (<2%) según SAGARPA (2012). La MO define en gran medida la fertilidad por su influencia sobre indicadores fisicoquímicos del suelo, particularmente sobre la formación de agregados estables,

responsables de la resistencia a la erosión, retención y disponibilidad de los principales nutrientes (SAGARPA, 2012; Demuner et al., 2013; Cunha et al., 2018). Los bajos niveles de MO y las condiciones físicas encontradas explicarían los bajos niveles en N, P, K, Mg y CIC.

Los cationes intercambiables Ca^{2+} y Mg^{2+} , se encontró valores entre 6,08 (T2) a 6,67 (T0) para Ca^{2+} y 0,87 (T1) a 1,17 (T0) para Mg^{2+} . Según SAGARPA (2012) corresponde a niveles medios para Ca (< 2,20 a 5,00 $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) y bajo en Mg (< 0,5 $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$). Estos son valores normales en suelos porosos (Bohn, 1993; Havlin *et al.*, 1999), esto, por los diferentes mecanismos de pérdida de estos cationes que se encuentran en la solución (Navarro & Navarro, 2003). Solo en suelos ácidos, arenosos, altamente lavados y con baja CIC suelen presentar deficiencias (Havlin et al., 1999; Bohn, 1993), y contrastan con los resultados de Lama (2020) y los estudios de clasificación de suelos de la ONERN (1972) en suelos entisoles de la amazonia peruana.

La capacidad de intercambio de cationes (CIC), se encontró valores entre 7,12 (T1) a 7,99 (T0), niveles bajos (5-15 $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$) según SAGARPA (2012). La CIC está en función de la cantidad y tipo de arcilla y de MO (Navarro & Navarro, 2003; SAGARPA, 2012, Pérez et al., 2017). Es responsable de la fertilidad y la producción mundial de alimentos (Bueno & Fernández, 2019); valores bajos en CIC otorga pobre capacidad para retener cationes, como el caso de los suelos arenosos o con bajos niveles de MO (Havlin et al., 1999; Demuner et al., 2013).

En este trabajo se tiene elevado % de arena, bajo % de arcilla y bajo contenido de MO, y como consecuencia bajos niveles de Ca, Mg y K en todas las áreas evaluadas, sin embargo, Luca et al. (2022) sostiene que los corredores fluviales tienen un valor ambiental único y la agricultura en estos espacios ha recibido poca atención. Destaca que la llanura aluvial es adecuada para la agricultura con características particulares y contenidos variables de materia orgánica (0,5% a 3,5%) y otros nutrientes que le permite sostener la agricultura en estos espacios, como lo demuestran los resultados, las plantaciones después de 5 años de cultivo permanente aún mantienen condiciones de producción aceptable comercialmente.

. 4.2. Índice de calidad del suelo

Se evaluó el índice de calidad del suelo ICS, utilizando los principales indicadores de fertilidad del suelo (pH, MO, N, P, K, Ca, Mg, CIC y el %SB) y aplicando los cálculos propuestos por SAGARPA (2012) y Cantú et al. (2007). La Tabla 17, 18, 19 y 20, muestran la media de los indicadores evaluados en cada muestra de suelo y los valores randomizados en cada caso, como resultado de la aplicación de la fórmula **3 y 5**.

La **Tabla 17**, presenta los valores del ICS para el tratamiento T1, que corresponde a plantación de plátano de 15 años de manejo permanente sin renovación, clasificando las 7 muestras como suelo de moderada calidad según Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) y SAGARPA (2012) los clasifica como suelos de calidad marginal, donde los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables.

Tabla 17. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 15 años (T1)

Indicador	Criterio ICS		Rn según indicador evaluado													
	Deseable	Corte	M1	Rn1	M2	Rn2	M3	Rn3	M4	Rn4	M5	Rn5	M6	Rn6	M7	Rn7
%SB	100	50	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00
%SAI	0	50	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
pH	7	5	7,01	1,01	7,03	1,02	7,12	1,06	7,12	1,06	7,13	1,07	7,13	1,07	7,19	1,10
MO %	5	0,5	1,14	0,14	1,35	0,19	1,41	0,20	1,41	0,20	1,79	0,29	1,68	0,26	1,30	0,18
N %	0,2	0,05	0,06	0,05	0,07	0,12	0,07	0,14	0,07	0,14	0,09	0,26	0,08	0,23	0,07	0,10
P ppm	9	0,1	3,84	0,42	4,24	0,46	3,60	0,39	4,00	0,44	3,76	0,41	4,32	0,47	3,76	0,41
Ca Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0	5,97	0,66	5,97	0,66	6,05	0,67	6,23	0,69	6,26	0,70	6,13	0,68	6,35	0,71
Mg Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0	0,88	0,29	0,88	0,29	0,84	0,28	0,92	0,31	0,93	0,31	0,83	0,28	0,82	0,27
CIC Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5	6,98	0,20	6,99	0,20	7,03	0,20	7,24	0,22	7,29	0,23	7,07	0,21	7,26	0,23
ICS-T1			0,53		0,55		0,55		0,56		0,58		0,58		0,55	
Clase de ICS-Cantú			Moderada calidad		Moderada calidad		Moderada calidad		Moderada calidad		Moderada calidad		Moderada calidad		Moderada calidad	

Rn: valor randomizados, M: muestras de suelo, ICS: índice de calidad del suelo

La **Tabla 18**, presenta los valores del ICS para el tratamiento T2, que corresponde a plantación de plátano de 4 años de manejo permanente sin renovación, clasificando las 7 muestras según Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) como suelo de moderada calidad (muestras 8, 9, 10, 12 y 13) y alta calidad (muestras 11 y 14), y SAGARPA (2012) los clasifica a todas las muestras como suelos de calidad marginal, donde los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables.

Tabla 18. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 4 años (T2)

Indicador	Criterio ICS		Rn según indicador evaluado													
	Deseable	Corte	M8	Rn8	M9	Rn9	M10	Rn10	M11	Rn11	M12	Rn12	M13	Rn13	M14	Rn14
pH	7	5	7,25	1,13	7,22	1,11	7,29	1,15	7,22	1,11	7,30	1,15	7,34	1,17	7,38	1,19
MO %	5	0,5	1,41	0,20	1,41	0,20	1,30	0,18	1,63	0,25	1,30	0,18	1,14	0,14	2,17	0,37
N %	0,2	0,05	0,07	0,14	0,07	0,14	0,07	0,10	0,08	0,21	0,07	0,10	0,06	0,05	0,11	0,39
P ppm	9	0,1	5,76	0,64	6,32	0,70	5,60	0,62	6,24	0,69	5,92	0,65	5,76	0,64	6,00	0,66
Ca Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0	6,06	0,67	5,99	0,67	5,99	0,67	5,93	0,66	5,98	0,66	6,52	0,72	6,11	0,68
Mg Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0	0,75	0,25	0,78	0,26	0,88	0,29	1,06	0,35	0,84	0,28	0,91	0,30	1,10	0,37
CIC Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5	6,94	0,19	6,91	0,19	7,01	0,20	7,13	0,21	7,02	0,20	7,56	0,26	7,34	0,23

%SB	100	50	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00
%SAI	0	50	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00	0,00	1,00
ICS-T2			0,58		0,58		0,58		0,61		0,58		0,59		0,65	
Clase de ICS-Cantú			Moderada calidad		Moderada calidad		Moderada calidad		Alta calidad		Moderada calidad		Moderada calidad		Alta calidad	

Rn: valor randomizados, M: muestras de suelo, ICS: índice de calidad del suelo

La **Tabla 19**, presenta los valores del ICS para el tratamiento T3, que corresponde a plantación de plátano de 5 años de manejo permanente sin renovación, clasificando según Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007), las 7 muestras, como suelo de alta calidad, excepto la muestra 18, corresponde a suelos de calidad moderada y SAGARPA (2012) los clasifica como suelos de calidad marginal (muestras 15 al 20), donde los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables, y suelos de calidad sensible (muestra 21), donde los parámetros medios ocasionales se alejan de los valores óptimos.

Tabla 19. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 5 años (T3)

Indicador	Criterio ICS		Rn según indicador evaluado													
	Deseable	Corte	M15	Rn15	M16	Rn16	M17	Rn17	M18	Rn18	M19	Rn19	M20	Rn20	M21	Rn21
pH	7	5	7,34	1,17	7,45	1,23	7,43	1,22	7,41	1,21	7,36	1,18	7,39	1,20	7,44	1,22
MO %	5	0,5	1,63	0,25	1,52	0,23	1,52	0,23	1,30	0,18	1,41	0,20	1,41	0,20	1,68	0,26
N %	0,2	0,05	0,08	0,21	0,08	0,17	0,08	0,17	0,07	0,10	0,07	0,14	0,07	0,14	0,08	0,23
P ppm	9	0,1	7,37	0,82	7,21	0,80	7,13	0,79	6,97	0,77	7,29	0,81	7,05	0,78	7,21	0,80
Ca Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0	6,27	0,70	5,78	0,64	6,25	0,69	5,71	0,63	5,76	0,64	6,56	0,73	6,44	0,72
Mg Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0	0,97	0,32	0,75	0,25	0,84	0,28	0,81	0,27	0,78	0,26	1,12	0,37	1,57	0,52
CIC Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5	7,35	0,24	6,65	0,17	7,23	0,22	6,63	0,16	6,65	0,16	7,82	0,28	8,14	0,31
%SB	100	50	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00
%SAI	0	50	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00
ICS-T3			0,63		0,61		0,62		0,59		0,60		0,63		0,67	
Clase de ICS-Cantú			Alta calidad		Alta calidad		Alta calidad		Moderada calidad		Alta calidad		Alta calidad		Alta calidad	

Rn: valor randomizados, M: muestras de suelo, ICS: índice de calidad del suelo

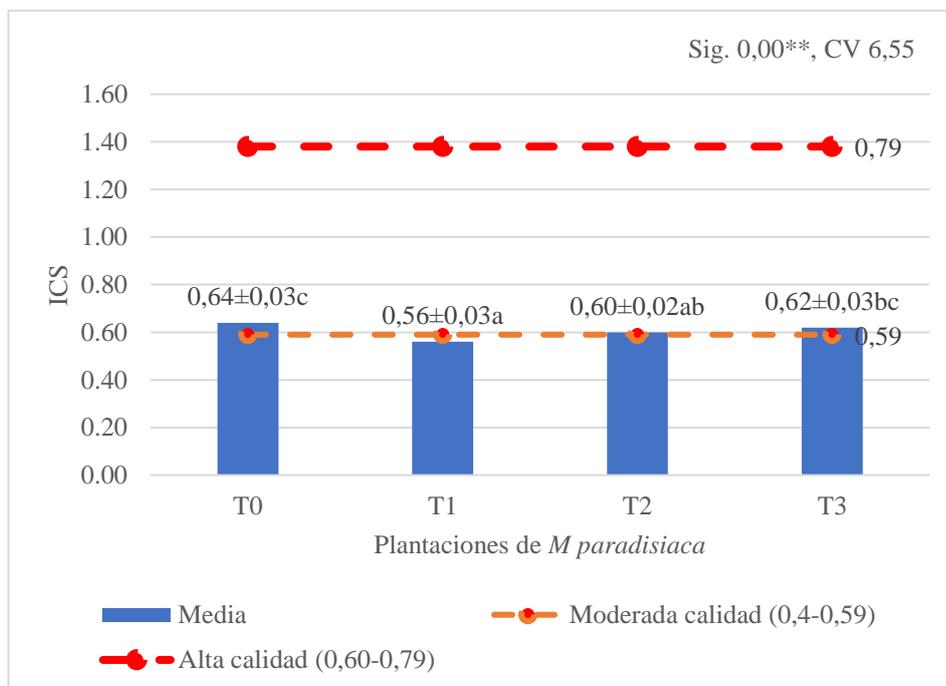
La **Tabla 20**, presenta los valores del ICS para el tratamiento T0, tratamiento de referencia por ser el área con cultivo reciente, plantación de plátano de 2 años de manejo permanente sin renovación, clasificando según Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007), las 7 muestras, como suelo de alta calidad, excepto la muestra 23, corresponde a suelos de calidad moderada y SAGARPA (2012) los clasifica como suelos de calidad marginal (muestras 22, 23, 26 y 28), donde los indicadores de calidad son distantes de los valores deseables, y suelos de calidad sensible (muestra 24, 25 y 27), donde los parámetros medios ocasionales se alejan de los valores óptimos.

Tabla 20. Índice de calidad del suelo (ICS) en plantación de 2 años (T0)

Indicador	Criterio ICS		Rn según indicador evaluado													
	Deseable	Corte	M22	Rn22	M23	Rn23	M24	Rn24	M25	Rn25	M26	Rn26	M27	Rn27	M28	Rn28
pH	7	5	7,45	1,23	7,40	1,20	7,41	1,21	7,47	1,24	7,49	1,25	7,45	1,23	7,45	1,23
MO %	5	0,5	1,35	0,19	1,08	0,13	1,95	0,32	1,79	0,29	1,41	0,20	1,79	0,29	1,63	0,25
N %	0,2	0,05	0,07	0,12	0,05	0,03	0,10	0,32	0,09	0,26	0,07	0,14	0,09	0,26	0,08	0,21
P ppm	9	0,1	6,81	0,75	6,64	0,74	5,36	0,59	5,68	0,63	5,36	0,59	6,40	0,71	5,20	0,57
Ca																
Cmol ⁽⁺⁾ /kg	9	0	6,50	0,72	6,22	0,69	7,01	0,78	6,97	0,77	7,01	0,78	6,76	0,75	6,19	0,69
Mg																
Cmol ⁽⁺⁾ /kg	3	0	1,19	0,40	0,93	0,31	1,65	0,55	1,16	0,39	1,19	0,40	1,09	0,36	0,97	0,32
CIC																
Cmol ⁽⁺⁾ /kg	15	5	7,84	0,28	7,31	0,23	8,81	0,38	8,29	0,33	8,34	0,33	8,01	0,30	7,31	0,23
%SB	100	50	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00	100	1,00
%SAI	0	50	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00	0	1,00
ICS-T0			0,63		0,59		0,68		0,66		0,63		0,66		0,61	
Clase de ICS-Cantú			Alta calidad		Moderada calidad		Alta calidad									

Rn: valor randomizados, M: muestras de suelo, ICS: índice de calidad del suelo

La **Figura 4** muestra los valores medios, la desviación estándar y las pruebas post-hoc de Tukey que compara las medias entre las áreas evaluadas. El ICS para los tratamientos se clasifican como suelo de calidad marginal según SAGARPA (2012), sin embargo, Estrada et al. (2017) y Cantú et al. (2007) lo clasifican como moderada calidad al tratamiento T1 y de Alta calidad a los tratamientos T0, T2 y T3.



T0 plantación de 2 años, T1 plantación de 15 años, T2 plantación de 4 años, T3 plantación de 5 años de *M. paradisiaca*, ± desviación estándar, Sig. significancia, ** altamente significativo, CV coeficiente de variación, ICS índice de calidad del suelo

Figura 4. Clase de calidad del suelo en plantaciones de *M. paradisiaca*

Los resultados medios (**Figura 4**), muestran tendencia de degradación de la calidad con el manejo permanente del cultivo de plátano, sin embargo, se evidencia que estos cambios negativos se producen lentamente en el tiempo y permite que el plátano, siendo un cultivo anual, en estas condiciones de suelo se puede cultivar en periodos de mediano a largo plazo, a pesar de ser manejado con herbicidas que intensifican la degradación fisicoquímica del suelo y disminuyen el ICS del suelo (Celis et al., 2020), por disminución de la MO, N, P, Ca, Mg y K, tal como se observa en los resultados (**Tabla 16**).

En general, los ICS incluyen variables y principios estadísticos (García et al., 2012; Sarmiento et al., 2018) que permiten evaluar de manera integral los potenciales efectos del manejo sobre el funcionamiento del suelo, la calidad y la tendencia de la degradación (Cantú et al., 2007; Prieto et al., 2013; Estrada et al., 2017). Se encontró diferencias altamente significativas entre áreas evaluadas, poniendo en evidencia una reducción de la calidad en 15 años de manejo del cultivo de *M. paradisiaca* var. Hartón.

4.3. Crecimiento del plátano Hartón

Se evaluó indicadores de crecimiento y rendimiento de *M. paradisiaca* Var. Hartón. La **Tabla 21** muestra la media, la desviación, la significancia y el coeficiente de variación de cada indicador según los tratamientos evaluados; en la misma, se puede observar diferencias altamente significativas para los indicadores diámetro y longitud del seudo tallo, dedos comerciales, dedos viables y peso del racimo; mientras que, se encontró solo diferencias significativas para dedos no comerciales, en general, todos los indicadores muestran diferencias y coeficientes de variación bajas para diámetro y longitud del pseudotallo y dedos viables, y media para dedos comerciales y no comerciales y peso del racimo.

Tabla 21. Indicadores de crecimiento en plantaciones de *M. paradisiaca*

Indicador	Tratamiento				Estadísticos		
	T1	T2	T3	T0	F	Sig.	CV (%)
Diámetro pseudotallo (cm)	18.14±2.61	20.86±3.13	20.14±1.07	22.86±1.35	5.421	0.005**	13.18
Longitud pseudotallo (m)	3.07±0.22	3.38±0.25	3.69±0,25	4,16±0,52	13,481	0,000**	13.72
Dedos comerciales (unidad)	12.71±4.82	17.57±3.35	15.71±3.73	22.71±4.95	6,760	0,002**	31.85
Dedos no comerciales (unidad)	4.29±0.95	3.86±0.69	3.29±0.49	3.29±0.49	3,564	0,029*	20.99
Dedos viables (%)	73.55±6.19	81.78±3.37	82.25±3.77	87.1±1.84	13,198	0,000**	7.75
Peso de racimo (kg)	4.84±1.44	6.36±0.99	5.66±1.20	9.67±1.82	16,083	0,000**	34

T0 plantación de 2 años, T1 plantación de 15 años, T2 plantación de 4 años, T3 plantación de 5 años de *M. paradisiaca*, ± desviación estándar, F: función de probabilidad, Sig. significancia, ** altamente significativo, * significativo, ns no significativo, CV coeficiente de variación.

Los resultados ponen en evidencia que la plantación de dos años (T0) presenta los valores más altos en diámetro, longitud del pseudotallo y consecuentemente se tienen valores más altos que los demás tratamientos en dedos comerciales, viables y peso del racimo, por el contrario, el % de dedos no comerciales es el más bajo. Otro aspecto a destacar es que el T1, plantación de 15 años, presenta los valores más bajos en diámetro y longitud de planta que influye en los valores bajos para dedos comerciales, viables y peso del racimo. Por lo tanto, queda claro que existe una tendencia de disminución sostenida en el tiempo; porcentualmente representan una reducción de 49,95 % en el peso del racimo y 44,03 % menos dedos viables, aspecto que ya no son favorables para el agricultor.

De acuerdo a lo señalado por CENTA (2018) y Peña (2019) el plátano puede adaptarse de manera óptima hasta una altitud de 2 200 msnm, con precipitación que oscilen entre 2,000 y 3,000 mm, temperatura media óptima para el cultivo es de 25 °C y suelos de formación aluvial de textura arenosa, con pH entre 4,5 a 8. Estas condiciones presentan el área de estudio, razón por el cual se aprecia que la producción se mantiene en valores aceptables hasta los 5 años de manejo (T3).

Debe tenerse en consideración que el área evaluada más reciente T0, tiene dos años de cultivo del plátano, evidentemente los valores en general son relativamente menores a las de una plantación de un año, es decir en su primera cosecha, sin embargo, los resultados son relativamente similares y comparables con los de Hernández et al. (2007) reportan valores máximos en altura y diámetro del pseudotallo de 4,07 m y 0,196 m, respectivamente, peso del racimo entre 13,05 a 17,74 kg/racimo; también, Cayón et al. (2004) encontraron en plantación con densidad de siembra de 1500 plantas/ha, altura y diámetro de 3,4 m y 0,191 m respectivamente, con peso medio de 13,7 a 14,6 Kg/racimo; Barrera et al. (2011) también encontraron 17 a 20 dedos/racimo y peso medio entre 5,36 a 8,10 Kg/racimo, este último muy similar a los resultados encontrados.

4.4. Indicadores relevantes y correlación entre indicadores

4.4.1. Análisis de componentes principales (ACP)

De acuerdo con la gráfica de sedimentación y los autovalores de la **Tabla 22** nos recomienda tomar los cinco primeros por conservar autovalores mayores a la unidad, donde, el Factor 1 posee un valor propio de 8,84 y logra explicar sobre la varianza total en 46,529 %, alternativamente el Factor 2 con autovalor de 2,95 y explica el 15,56 % de la varianza total, el Factor 3 de 2,18 y 11,49%, el Factor 4 de 1,46 y 7,68% y el factor 5 de 1,055 y explica el 5,55 % de la varianza total.

Tabla 22. Análisis de componentes principales en plantación de *M. paradisiaca*

Componente	Autovalores iniciales		
	Total, autovalor	% de varianza	% acumulado
1*	8,840	46,529	46,529
2*	2,957	15,564	62,093
3*	2,184	11,495	73,588
4*	1,460	7,685	81,272
5*	1,055	5,553	86,826
6	0,691	3,637	90,463
7	0,462	2,431	92,893
8	0,401	2,108	95,001
9	0,306	1,609	96,611
10	0,241	1,267	97,878

*: factores relevantes (autovalores > 1)

La Tabla 23 muestra las correlaciones entre factores rotados tomando como referencia al factor 1 y procede a relacionarlos con los demás, seguidamente, descarta al primero y toma el factor 2 y correlaciona con los que quedan, sucesivamente hasta relacionar el factor 4 con el 5, es allí, donde se observa los indicadores con las varianzas más altas que explican a cada factor (carga factorial > 0,75 para $n < 50$). Todos los indicadores evaluados, excepto Da, Rp, pH, K y altitud del pseudotallo representan la varianza total encontrada. El análisis de componentes principales (ACP) lograron determinar los indicadores de calidad de suelo e indicadores de crecimiento y rendimiento relevantes por factor. Al rotar los factores por el método de Varimax, el factor 1 es explicado por Ca, CIC, limo, arena y Mg; el factor 2 por diámetro del pseudotallo, dedos comerciales, peso del racimo y dedos viables; el factor 3 por dedos no comerciales y P; el factor 4 por N y MO, y el factor 5 explicado por la fracción arcilla.

Tabla 23. Matriz de componente rotado por Varimax

Indicadores	Componente o factor				
	1	2	3	4	5
Ca	0.948*	0.168	0.051	0.062	0.102
CIC	0.934*	0.194	0.124	0.155	0.049
Limo	0.901*	0.211	0.051	0.263	0.018
Arena	-0.872*	-0.226	-0.056	-0.243	-0.245
Mg	0.751*	0.158	0.193	0.296	-0.067
Da	-0.633	-0.471	0.106	0.242	-0.294
Rp	0.531	0.446	0.103	0.025	0.447
Diámetro del pseudotallo	0.045	0.945*	0.038	0.086	0.034
Dedos comerciales	0.264	0.926*	0.013	-0.027	0.044

Peso del racimo	0.379	0.869*	0.077	-0.063	0.164
Viable	0.172	0.757*	0.486	0.087	0.125
Altitud del pseudotallo	0.319	0.742	0.333	0.188	-0.056
K	0.285	0.582	0.420	-0.016	0.390
Dedos no comerciales	-0.087	0.102	-0.866*	-0.037	-0.247
P	-0.128	0.353	0.808*	0.020	-0.303
pH	0.342	0.408	0.749	0.116	0.015
N	0.240	0.011	0.066	0.957*	-0.024
MO	0.259	0.064	0.043	0.950*	0.009
Arcilla	0.103	0.110	0.030	-0.015	0.902*

*indicadores relevantes (carga factorial > 0,75 para $n \leq 50$)

El ACP permitió reducir la dimensionalidad de las variables e identifica los parámetros que funcionan como indicadores de calidad en suelo de origen aluvial con plantación permanentes de plátano Hartón, estos indicadores son: MO, N, Ca, Mg, CIC y las fracciones de arena arcilla y limo; estos son indicadores relevantes del suelo que presentan cambios producto del manejo y explican la varianza total encontrada. Este resultado concuerda con los resultados de otras investigaciones como el de Cantú et al. (2007), Prieto et al. (2013) y Estrada et al. (2017) y Sarmiento et al. (2018), parámetros que usualmente presentan variaciones frente al manejo que se aplique sobre el suelo.

4.4.2 Análisis de correlaciones

El factor de correlación de Pearson se halla tomando las calificaciones logradas en una muestra de dos variables y relaciona las calificaciones de una variable con las puntuaciones logradas de la otra (Hernández et al., 2014), con valores de R que oscilan entre -1.00 a +1.00, donde, -1,00 expresa correlación negativa perfecta, es decir a mayor valor unitario de X menor en Y” de manera proporcional; contrario, si es +1,00 correlación positiva perfecta.

El análisis de Pearson (**Tabla 24**) muestra correlación significativa positiva considerable entre el diámetro del pseudotallo con el número de dedos por racimo y peso del racimo y positiva media con los dedos viables por planta. También, se tiene correlación positiva muy fuerte entre los dedos comerciales y el peso del racimo, negativa débil con el % de arena y positiva débil con el Ca, la CIC y el % de limo. El % de dedos viables por planta presenta correlación positiva considerable con el peso del racimo, positiva media con los niveles de P y positiva débil con el Mg y CIC. Finalmente, el peso del racimo presenta correlación negativa media con el % de arena, positiva media con el % de limo, Ca, CIC, y positiva débil con el Mg.

Tabla 24. Correlación entre indicadores relevantes del suelo y rendimiento de *M. paradisiaca*

	Tratamiento	Diámetro	Dedo comercial	Dedo no comercial	Viable	Peso racimo	Arena	Arcilla	Limo	MO	N	P	Ca	Mg	CIC
Tratamiento	R	1	,566**	,586**	,746**	,686**	-,579**	0,190	,565**	0,185	0,159	,661**	,507**	,494**	,553**
	Sig.		0,002	0,001	0,000	0,000	0,001	0,332	0,002	0,346	0,420	0,000	0,006	0,007	0,002
	N		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Diámetro	R	1	,838**	0,044	,739**	,794**	-,0273	0,146	0,251	0,149	0,089	0,357	0,215	0,260	0,263
	Sig.		0,00	0,823	0,00	0,00	0,16	0,458	0,198	0,45	0,652	0,062	0,273	0,181	0,176
	N		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Dedo comercial	R	1	0,040	0,838	,807**	,951**	-,446*	0,213	,418*	0,112	0,050	0,299	,419*	0,354	,441*
	Sig.		0,838	0,000	0,000	0,000	0,017	0,277	0,027	0,571	0,799	0,123	0,027	0,064	0,019
	N		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Dedo no comercial	R	1	1	1	-,450*	-,078	0,148	-,159	-,114	-,097	-,111	-,478*	-,120	-,205	-,177
	Sig.				0,016	0,694	0,453	0,418	0,562	0,624	0,573	0,010	0,542	0,296	0,369
	N				28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Viable	R	1	,790**	0,000	1	,790**	-,384*	0,253	0,341	0,198	0,164	,584**	0,345	,416*	,419*
	Sig.				0,000	0,044	0,195	0,076	0,312	0,405	0,001	0,072	0,027	0,026	
	N				28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28
Peso del racimo	R	1	,558**	0,276	,520**	0,104	0,042	0,250	,521**	,410*	,532**	0,004	0,030	0,004	
	Sig.		0,002	0,155	0,005	0,600	0,832	0,200	0,004	0,004	0,004	0,004	0,004		
	N		28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	28	

** : la correlación es significativa en el nivel 0,01 (bilateral); * : la correlación es significativa en el nivel 0,05 (bilateral); R : coeficiente de correlación de Pearson; N : número de repeticiones.

Las correlaciones evidencian que hay correlación positiva entre los indicadores de crecimiento, el rendimiento del plátano y los indicadores del suelo, este último, el % de limo, el P, Ca, Mg y CIC, incrementos en estos indicadores tendrían efectos positivos en el rendimiento, sin embargo, el % de arena tiene correlación negativa, por lo que, el incremento de esta fracción afectaría negativamente los indicadores de crecimiento, rendimiento del plátano y la calidad del suelo en el área de estudio, este último, es coherente con la teoría ya que los suelos arenosos presentan las condiciones físicas y químicas menos favorables para el desarrollo de los cultivos (Havlin et al., 1999; Navarro & Navarro, 2003; Demuner et al., 2013; Bueno & Fernández, 2019; Florida & Acuña, 2020; Luca et al., 2022). Aspecto que se observa en los resultados, incremento de la fracción arena y disminución de los diferentes indicadores y la calidad del suelo en el tiempo (de 2 (T0) a 15 (T1) años de manejo).

V. CONCLUSIONES

1. Se evaluó la densidad aparente, resistencia a la penetrabilidad y la textura a través de las fracciones arena, arcilla y limo, encontrando diferencias altamente significativas para Rp, arena y limo, excepto, Da y la fracción arcilla, no mostraron diferencias. Físicamente corresponde a suelos de textura franca a franca-arenosa, Rp suave a muy suave, y Da entre aceptable e ideal para los cultivos.
2. Los suelos evaluados presentan pH que varían de neutro a medianamente alcalino, niveles bajos en MO, N, Mg, K y CIC, y medio para Ca. Además, se encontró diferencias altamente significativas para pH, P, K, Ca y CIC; significativas para Mg, y no se encontró diferencias para MO y N,
3. Los suelos presentan moderada calidad (T1) y Alta calidad (T0, T2 y T3) según Cantú et al. (2007), con diferencias altamente significativas entre áreas evaluadas y reducción de la calidad en 15 años de manejo del cultivo de *M. paradisiaca* Var. Hartón, por incremento del % de arena y disminución de la arcilla, limo, MO, N, P, Ca, Mg, K y CIC.
4. Los indicadores de crecimiento y rendimiento presentaron diferencias significativas en todos los casos. Se encontró tendencia de disminución sostenida en el tiempo; porcentualmente representan una reducción de 49,95 % en el peso del racimo y 44,03 % menos dedos viables, aspecto que ya no son favorables para el agricultor, la producción se mantiene en valores aceptables hasta los 5 años de manejo (T3).
5. El análisis de componente principales ACP por el método de Varimax identifica los parámetros MO, N, Ca, Mg, CIC, arena, arcilla y limo como indicadores de calidad en suelo de origen aluvial con plantación permanentes de plátano hartón. Además, se encontró correlación positiva entre los indicadores de crecimiento, el rendimiento del plátano y los indicadores del suelo como el % de limo, contenido de P, Ca, Mg y CIC, incrementos en estos indicadores tendrían efectos positivos en el rendimiento del plátano, sin embargo, incrementos del % de arena tiene correlación negativa y afectaría negativamente al suelo y al cultivo de plátano en este tipo de suelos.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

1. Desarrollar el cultivo permanente de *M. paradisiaca* Var. Hartón en suelos de origen aluvial reciente hasta por cinco años, así mantener la productividad en niveles aceptables para el agricultor.
2. Evaluar la productividad y sostenibilidad de las plantaciones con aplicación de criterios conservacionistas, como la aplicación de enmiendas orgánicas u otros.
3. Realizar estudios para determinar el potencial productivo y la sostenibilidad ambiental entre plantaciones en suelos de origen aluvial y residual en el valle del Aguaytía.
4. Estudiar alternativas como coberturas y no control de malezas en régimen lluvioso, para evitar o disminuir el riesgo de erosión por inundación periódica de las áreas de cultivo en suelos aluviales, principal responsable de la erosión y disminución de la calidad del suelo y rendimiento del cultivo.
5. Evaluar plantaciones aplicando renovación periódica en suelos de origen aluvial, para establecer sistemas de manejo conservacionistas que mantengan en niveles aceptables la rentabilidad económica y la calidad del recurso suelo.
6. Utilizar herramientas geoestadísticas para el diagnóstico de la calidad del suelo, previo a la instalación de plantaciones de plátano, así, hacer uso óptimo de las tierras de origen aluvial, manteniendo condiciones ambientales mínimas (como la franja marginal, coberturas, etc.) que conserven las tierras.
7. Realizar estudios sobre los cambios de la diversidad biológica en este tipo de suelo y manejo del cultivo permanente de plátano variedad hartón.

VII. REFERENCIAS

- Barrera, J. L., Combatt, E. M., & Ramírez, Y. L. (2011). Efecto de abonos orgánicos sobre el crecimiento y producción del plátano Hartón (Musa AAB). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*. 5(2), 186-194. <http://www.scielo.org.co/pdf/rcch/v5n2/v5n2a03.pdf>
- Bazán, T. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Universidad Nacional Agraria la Molina, Instituto Nacional de Innovación Agraria. Lima Perú. 92 p. Repositorio INIA, [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual de procedimientos de los.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/Bazan-Manual%20de%20procedimientos%20de%20los.pdf)
- Bernuy, L. J. (2020). *Exportación de plátano var. bellaco – Hartón, a los Ángeles, CA – USA, vía puerto Callao*. [Tesis pregrado. Universidad San Martín de Porres]. Repositorio USMP, https://repositorio.usmp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12727/7255/bernuy_clj.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Bohn, H. L., McNeal, B. L., & O’Conor, G.A. (1993). Química del suelo. Editorial Limusa. 1º Edición. México. pp 363.
- Camacho, T. J., Forero, C. N., Ramírez, L. 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., & 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
- Cayón S., Gerardo; Valencia M., Jorge A.; Morales O., Huberto; Domínguez V., Argemiro Desarrollo y producción del plátano Dominicano-Hartón (Musa AAB Simmonds) en diferentes densidades y arreglos de siembra *Agronomía Colombiana*, vol. 22, núm. 1, 2004, pp. 18-22. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=180317823003>
- Celis, R., Florida, N., & Rengifo, A. (2020). Impacto sobre indicadores físicos y químicos del suelo con manejo convencional de coca y cacao. *CIENCIA UNEMI*, 13(33), 1-9. <https://doi.org/10.29076/issn.2528-7737vol13iss33.2020pp1-9p>

- CENTA (Centro Nacional de Tecnología Agropecuaria y Forestal). (2018). Cultivo de plátano (*Musa paradisiaca*), programa de frutales y cacao. http://centa.gob.sv/docs/guias/frutales/Guia%20Centa_Platano%202019.pdf
- Cunha, F. V. Da, Pereira, M. G., Leles, P. S. dos S., & Abel, E. L. da S. (2018). Atributos químicos e físicos do solo em áreas sob diferentes coberturas florestais e pastagem em Além Paraíba - MG. *Ciência Florestal*, 28(1), 13–24. <https://doi.org/10.5902/1980509831569>
- Demuner, M. C., Cadena, Z. M., Campos, S. G. (2013). Resistencia a la penetración en un suelo franco arcilloso a dos años de manejo con tres sistemas de labranza. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 22(No.Esp): 68-71. <http://scielo.sld.cu/pdf/rcta/v22s1/rcta12513.pdf>
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J. J., Navarro, H., & Etchevers, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2009). Guía para la descripción de suelos 4^o edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>
- FAO (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura). (2021). Portal de Suelos de la FAO: Propiedades Físicas del Suelo. Recuperado de <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
- Florida, N., & Acuña, G. (2020). Soil quality with traditional management in the Chambira native community. *Plant Soil Environ*. 66, 375–380. <https://doi.org/10.17221/144/2020-PSE>
- García, Y., Ramírez, W. & Sánchez, S. (2012). Indicadores de la calidad de los suelos: una nueva manera de evaluar este recurso. *Pastos y Forrajes*, 35(2), 125-138.
- Havlin, J.L. et al. 1999. *Soil fertility and fertilizers: an introduction to nutrient management*. Prentice Hall. New Jersey, USA. 499 p.
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. P. (2014). Metodología de la Investigación. 6^o Edición. Mc GRAW-HILL. <http://observatorio.epacartagena.gov.co/wp-content/uploads/2017/08/metodologia-de-la-investigacion-sexta-edicion.compressed.pdf>
- Hernández, Y, Marín, M, & García, J. (2007). Respuesta en el rendimiento del plátano (*Musa AAB cv. Hartón*) en función de la nutrición mineral y su ciclo fenológico. Parte I. Crecimiento y producción. *Revista de la Facultad de Agronomía*, 24(4), 607-626.

Recuperado en 22 de noviembre de 2022, de http://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0378-78182007000400001&lng=es&tlng=es.

- 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 pp. <http://repositorio.iica.int/handle/11324/7936>
<https://revistas.utp.ac.pa/index.php/ric/article/view/1829/2639>
- INIA (Instituto Nacional de Innovación Agraria). (2021). Nota informativa N° 040 del 12 de marzo de 2020: MINAGRI desarrollará tecnología que proteja al banano orgánico de letal hongo *Fusarium oxysporium*. <https://www.inia.gob.pe/2020-nota-040/>
- Lama, D. A. (2020). Pedogenese e pedoarqueologia no transecto da cordilheira dos Andes peruanos até as terras baixas da Amazônia [Tesis de Doctorado, Universidad federal de viçosa].
- Luca, L. S., Balcázar, L. E., Huamaní, H. A., Rengifo, J. P. & zolezzi, G. (2022). Hydro-Morphological Disturbance and Suitability for Temporary Agriculture of Riverine Islands in a Tropical Wandering River. *Water Resources Research*. 58(2), <https://doi.org/10.1029/2021WR030674>
- Merino, E. G. (2014). *Cadena de valor del sistema de producción - comercialización del plátano bellaco (Musa paradisiaca L.) Variedad Hartón. Propuesta de estrategias de fortalecimiento de la competitividad del sector platanero en el distrito de Padre Abad*". [Tesis posgrado. Universidad Nacional Jorge Basadre Grohmann-Tacna]. Repositorio UNJBG, http://repositorio.unjbg.edu.pe/bitstream/handle/UNJBG/986/TM146_Merino_Maguina_EG%20.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Meza, M., Castro, C., Pereira, K. & Puga, G. (2017). Indicadores para el monitoreo de la calidad del suelo en áreas periurbanas. valle de Quillota, cuenca del Aconcagua, Chile. *Interciencia*, 42(8), 494-502. <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/494.pdf>
- MIDAGRI (Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego). (2021). Perfil productivo y competitivo de los principales cultivos del sector. Dirección General de Estadísticas-DGE. <http://sieabi.midagri.gob.pe/>
- 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, V. M., Florida, R. N. y Navarro, V. L. (2019). Atributos físicos y materia orgánica de oxisols en sistemas de producción de caña de azúcar. *Revista De Investigaciones Altoandinas* 21(2), 89 – 99. <http://dx.doi.org/10.18271/ria.2019.453>
- ONERN (Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales). (1972). Inventario y Evaluación de los recursos naturales de los ríos Inambari y Madre de dios. Lima Perú. 342 pp.
- Peña, A. J. (2019). *Aplicación de tres niveles de biol sobre el rendimiento y calidad del fruto de banano orgánico (Musa acuminata L.) en el valle del Chira*. [Tesis para obtener el título de ingeniero Agronomo. Universidad Nacional de Piura]. Repositorio UNP, <https://repositorio.unp.edu.pe/bitstream/handle/UNP/2080/AGR-PEN-COR-2019.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Prieto, J., Prieto, F., Acevedo, O. A., & Méndez, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ics) Cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*, 24(1), 83-91. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43726204013>
- Pulgar, V. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis. Revista da Rede Brasileira de História da Geografia e Geografia Histórica*, 238p. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Ramos, D., Terry, E., Soto, F., Cabrera, A., Martín, G. & Fernández, L. (2016). Respuesta del cultivo del plátano a diferentes proporciones de suelo y Bocashi, complementadas con fertilizante mineral en etapa de vivero. *Cultivos Tropicales*, 37(2), 165-174. http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0258-59362016000200020&lng=es&tlng=es
- Rodríguez, F. (1990). Los suelos de áreas inundables de la amazonia peruana: potencial, limitaciones y estrategia para su investigacion. *Folia Amazonica IIAP*. 2(1), 7-25. <http://www.iiap.org.pe/upload/publicacion/PUBL724.pdf>
- Ruiz A. (2010). *Identificación y determinación del grado de infestación de insectos coleópteros que dañan el cormo y el pseudotallo del plátano (Musa paradisiaca L.) en Ucayali*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Agronomo. Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio UNU, <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/2082>
- SAGARPA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). (2012). Subíndice de Uso Sustentable del Suelo. Metodología de Cálculo. https://silo.tips/queue/subindice-de-uso-sustentable-del-suelo-metodologia-de-calculo?&queue_id=-1&v=1625244045&u=MTkwLjIzNy4xNTcuMjEz

- Sarmiento, E., Fandiño, S., & Gómez, L. (2018). Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática. *Ecosistemas*. 27(3), 130-139. <https://doi.org/10.7818/ECOS.1598>
- SENAMHI (Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú). (2021). Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional. <https://www.senamhi.gob.pe/?p=descarga-datos-hidrometeorologicos>
- Soil Survey Staff. (2014). Claves para la Taxonomía de Suelos. *Mdp.Edu.Ar*, 339. https://www.nrcs.usda.gov/Internet/FSE_DOCUMENTS/nrcs142p2_051546.pdf
- Soto, M. (2008). Banano Técnicas de Producción, Manejo, Postcosecha y Comercialización. Tercera Edición. Costa Rica, <https://es.scribd.com/document/446462280/Prefacios-pdf>.
- Teran, J. J. (2007). *Efecto de diferentes niveles de fertilización con potasio en la producción de semilla del cultivo de plátano (Musa sp.) en un entisol de Aguaytía*. [Tesis para obtener el título de Ingeniero Agronomo. Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio UNU, <http://repositorio.unu.edu.pe/handle/UNU/1851>
- Verhulst, N., François, I. & Govaerts, B. (2015). Agricultura de conservación, ¿mejora la calidad del suelo a fin de obtener sistemas de producción sustentables? Centro Internacional de Mejoramiento de Maíz y Trigo-CIMMYT. <http://agris.fao.org/agris-search/search.do?recordID=QY2016100045>

ANEXOS

Análisis estadístico de indicadores fisicoquímico del suelo

Tabla 25. Análisis de varianza para el indicador densidad aparente (Da)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Da					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,045 ^a	3	0,015	6,831	0,002
Intersección	53,885	1	53,885	24383,645	0,000
Tratamiento	0,045	3	0,015	6,831	0,002**
Error	0,053	24	0,002		
Total	53,983	28			
Total, corregido	0,098	27			

a. R² = 0,461 (R² ajustada = 0,393)

Tabla 26. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador densidad aparente (Da)

Variable: Da			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T0	7	1,3229	
T2	7	1,3884	1,3884
T1	7		1,4061
T3	7		1,4316
Sig.		0,068	0,337

Tabla 27. Análisis de varianza para el indicador resistencia a la penetrabilidad (Rp)

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Rp					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,088 ^a	3	0,363	42,700	0,000
Intersección	14,058	1	14,058	1655,048	0,000
Tratamiento	1,088	3	0,363	42,700	0,000**
Error	0,204	24	0,008		
Total	15,350	28			
Total, corregido	1,292	27			

a. R² = 0,842 (R² ajustada = 0,822)

Tabla 28. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador resistencia a la penetrabilidad (Rp)

Variable: Rp			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		1	2
2,00	7	0,5714	
3,00	7	0,5786	
1,00	7	0,6371	
4,00	7		1,0471
Sig.		0,551	1,000

Tabla 29. Análisis de varianza para el indicador arena

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Arena					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	2069,536 ^a	3	689,845	11,296	0,000
Intersección	98295,750	1	98295,750	1609,521	0,000
Tratamiento	2069,536	3	689,845	11,296	0,000**
Error	1465,714	24	61,071		
Total	101831,000	28			
Total, corregido	3535,250	27			

a. $R^2 = 0,585$ (R^2 ajustada = 0,534)

Tabla 30. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador arena

Variable: Arena			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T0	7	44,7143	
T1	7		62,5714
T3	7		62,5714
T2	7		67,1429
Sig.		1,000	0,696

Tabla 31. Análisis de varianza para el indicador arcilla

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Arcilla					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	39,286 ^a	3	13,095	1,667	0,201
Intersección	6240,143	1	6240,143	794,200	0,000
Tratamiento	39,286	3	13,095	1,667	0,201 ^{ns}
Error	188,571	24	7,857		
Total	6468,000	28			
Total, corregido	227,857	27			

a. R al cuadrado = 0,172 (R al cuadrado ajustada = 0,069)

Tabla 32. Análisis de varianza para el indicador limo

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Limo					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1730,107 ^a	3	576,702	10,001	0,000
Intersección	18668,893	1	18668,893	323,738	0,000
Tratamiento	1730,107	3	576,702	10,001	0,000**
Error	1384,000	24	57,667		
Total	21783,000	28			
Total, corregido	3114,107	27			

a. R² = 0,556 (R² ajustada = 0,500)

Tabla 33. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador arena

Variable: Limo			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T2	7	17,4286	
T1	7	23,1429	
T3	7	24,0000	
T0	7		38,7143
Sig.		0,387	1,000

Tabla 34. Análisis de varianza para el indicador pH

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: pH					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,490 ^a	3	0,163	63,325	0,000
Intersección	1496,065	1	1496,065	580459,246	0,000
Tratamiento	0,490	3	0,163	63,325	0,00**
Error	0,062	24	0,003		
Total	1496,616	28			
Total, corregido	0,551	27			

a. $R^2 = 0,888$ (R^2 ajustada = 0,874)

Tabla 35. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador pH

Variable: pH				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	7	7,1043		
T2	7		7,2857	
T3	7			7,4029
T0	7			7,4457
Sig.		1,000	1,000	0,409

Tabla 36. Análisis de varianza para el indicador MO

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: MO					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,064 ^a	3	0,021	0,307	0,820
Intersección	62,730	1	62,730	910,533	0,000
Tratamiento	,064	3	0,021	0,307	0,82 ^{ns}
Error	1,653	24	0,069		
Total	64,447	28			
Total, corregido	1,717	27			

a. $R^2 = 0,037$ (R^2 ajustada = -0,083)

Tabla 37. Análisis de varianza para el indicador N

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: N					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,000 ^a	3	3,810E-5	,230	,874
Intersección	,161	1	,161	970,014	,000
Tratamiento	,000	3	3,810E-5	,230	,874 ^{ns}
Error	,004	24	,000		
Total	,165	28			
Total, corregido	,004	27			

a. R al cuadrado = ,028 (R al cuadrado ajustada = -,094)

Tabla 38. Análisis de varianza para el indicador P

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: P					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	37,844 ^a	3	12,615	81,734	0,000
Intersección	923,451	1	923,451	5983,348	0,000
Tratamiento	37,844	3	12,615	81,734	0,00**
Error	3,704	24	0,154		
Total	964,999	28			
Total, corregido	41,548	27			

a. $R^2 = 0,911$ (R^2 ajustada = 0,900)

Tabla 39. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador P

Variable: P					
HSD Tukey ^{a,b}					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		1	2	3	
T1	7	3,9314			
T0	7		5,9214		
T2	7		5,9429		
T3	7			7,1757	
Sig.		1,000	1,000	1,000	

Tabla 40. Análisis de varianza para el indicador K

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: K					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	6886,667 ^a	3	2295,556	73,234	0,000
Intersección	126294,380	1	126294,380	4029,106	0,000
Tratamiento	6886,667	3	2295,556	73,234	0,00**
Error	752,292	24	31,346		
Total	133933,339	28			
Total, corregido	7638,959	27			

a. $R^2 = 0,902$ (R^2 ajustada = 0,889)

Tabla 41. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador K

Variable: K					
HSD Tukey ^{a,b}					
Tratamiento	N	Subconjunto			
		a	b	c	d
T1	7	47,3943			
T3	7		58,7886		
T2	7			73,2557	
T0	7				89,2029
Sig.		1,000	1,000	1,000	1,000

Tabla 42. Análisis de varianza para el indicador Ca

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Ca					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	1,632 ^a	3	0,544	6,816	0,002
Intersección	1093,375	1	1093,375	13702,464	0,000
Tratamiento	1,632	3	0,544	6,816	0,002**
Error	1,915	24	0,080		
Total	1096,922	28			
Total, corregido	3,547	27			

a. $R^2 = 0,460$ (R^2 ajustada = 0,393)

Tabla 43. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Ca

Variable: Ca			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T2	7	6,0829	
T3	7	6,1100	
T1	7	6,1371	
T0	7		6,6657
Sig.		0,984	1,000

Tabla 44. Análisis de varianza para el indicador Mg

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Mg					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	,373 ^a	3	0,124	3,102	0,046
Intersección	26,891	1	26,891	670,703	0,000
Tratamiento	,373	3	0,124	3,102	0,046*
Error	,962	24	0,040		
Total	28,227	28			
Total, corregido	1,335	27			

a. R2 = 0,279 (R2 ajustada = 0,189)

Tabla 45. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador Mg

Variable:Mg			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	7	0,8714	
T2	7	0,9029	0,9029
T3	7	0,9771	0,9771
T0	7		1,1686
Sig.		0,758	0,088

Tabla 46. Análisis de varianza para el indicador CIC

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: CIC					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	3,674 ^a	3	1,225	6,528	0,002
Intersección	1517,779	1	1517,779	8089,276	0,000
Tratamiento	3,674	3	1,225	6,528	0,002**
Error	4,503	24	0,188		
Total	1525,957	28			
Total, corregido	8,178	27			

a. $R^2 = 0,449$ (R^2 ajustada = 0,381)

Tabla 47. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador CIC

CIC			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	7	7,1229	
T2	7	7,1300	
T3	7	7,2100	
T0	7		7,9871
Sig.		0,981	1,000

Tabla 48. Análisis de varianza para el indicador ICS

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: ICS					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	0,025 ^a	3	0,008	12,100	0,000
Intersección	10,200	1	10,200	14577,283	0,000
Tratamiento	0,025	3	0,008	12,100	0,00**
Error	0,017	24	0,001		
Total	10,242	28			
Total, corregido	0,042	27			

a. $R^2 = 0,602$ (R^2 ajustada = 0,552)

Tabla 49. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador ICS

Variable: ICS				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	7	0,5580		
T2	7	0,5962	0,5962	
T3	7		0,6230	0,6230
T0	7			0,6370
Sig.		0,056	0,258	0,754

Indicadores de crecimiento y producción**Tabla 50.** Análisis de varianza para el indicador diámetro del pseudotallo de *M. paradisiaca*

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Diámetro del pseudotallo					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	79,571 ^a	3	26,524	5,421	0,005**
Intersección	11767,000	1	11767,000	2404,934	0,000
Tratamiento	79,571	3	26,524	5,421	0,005**
Error	117,429	24	4,893		
Total	11964,000	28			
Total, corregido	197,000	27			

a. $R^2 = 0,404$ (R^2 ajustada = 0,329)

Tabla 51. Análisis post-hoc de Tukey del indicador diámetro del pseudotallo de *M. paradisiaca*

Variable: Diámetro			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	7	18,1429	
T3	7	20,1429	20,1429
T2	7	20,8571	20,8571
T0	7		22,8571
Sig.		0,127	0,127

Tabla 52. Análisis de varianza para el indicador altura del pseudotallo de *M. paradisiaca*

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Altitud del pseudotallo					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,493 ^a	3	1,498	13,481	0,000**
Intersección	357,572	1	357,572	3218,535	0,000
Tratamiento	4,493	3	1,498	13,481	0,000**
Error	2,666	24	0,111		
Total	364,731	28			
Total, corregido	7,159	27			

a. $R^2 = 0,628$ (R^2 ajustada = 0,581)

Tabla 53. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador altura del pseudotallo de *M. paradisiaca*

Variable: Altitud del pseudotallo				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		
		a	b	c
T1	7	3,0729		
T2	7	3,3786	3,3786	
T3	7		3,6857	3,6857
T0	7			4,1571
Sig.		0,338	0,334	0,063

Tabla 54. Análisis de varianza para el indicador dedos comerciales de *M. paradisiaca*

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Dedos comerciales					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	370,107 ^a	3	123,369	6,760	0,002**
Intersección	8262,893	1	8262,893	452,761	0,000
Tratamiento	370,107	3	123,369	6,760	0,002**
Error	438,000	24	18,250		
Total	9071,000	28			
Total, corregido	808,107	27			

a. $R^2 = 0,458$ (R^2 ajustada = 0,390)

Tabla 55. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador dedos comerciales de *M. paradisiaca*

Variable: Dedos comerciales			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	7	12,7143	
T3	7	15,7143	
T2	7	17,5714	17,5714
T0	7		22,7143
Sig.		0,173	0,138

Tabla 56. Análisis de varianza para el indicador dedos no comerciales de *M. paradisiaca*

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Dedos no comerciales					
Origen	Suma de cuadrados	Gl.	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	4,964 ^a	3	1,655	3,564	0,029
Intersección	378,893	1	378,893	816,077	0,000
Tratamiento	4,964	3	1,655	3,564	0,029
Error	11,143	24	0,464		
Total	395,000	28			
Total, corregido	16,107	27			

a. $R^2 = 0,308$ (R^2 ajustada = 0,222)

Tabla 57. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador dedos no comerciales de *M. paradisiaca*

Variable: Dedos no comerciales			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	
T3	7	3,2857	
T0	7	3,2857	
T2	7	3,8571	
T1	7	4,2857	
Sig.		0,051	

Tabla 58. Análisis de varianza del indicador dedos viables por planta de *M. paradisiaca*

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: dedos viables por planta					
Origen	Suma de cuadrados	Gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	665,663 ^a	3	221,888	13,198	0,000
Intersección	184518,893	1	184518,893	10975,250	0,000
Tratamiento	665,663	3	221,888	13,198	0,000
Error	403,495	24	16,812		
Total	185588,050	28			
Total, corregido	1069,157	27			

a. $R^2 = 0,623$ (R^2 ajustada = 00,575)

Tabla 59. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador dedos viables de *M. paradisiaca*

Variable: dedos viables				
HSD Tukey ^{a,b}				
Tratamiento	N	Subconjunto		Sig.
		a	b	
T1	7	73,5514		
T2	7		81,7800	
T3	7		82,2543	
T0	7		87,1286	
		1,000	0,096	

Tabla 60. Análisis de varianza para el indicador peso de racimo de *M. paradisiaca*

Pruebas de efectos inter-sujetos					
Variable dependiente: Peso de racimo					
Origen	Suma de cuadrados	gl	Media cuadrática	F	Sig.
Modelo corregido	94,255 ^a	3	31,418	16,083	0,000**
Intersección	1231,589	1	1231,589	630,429	0,000
Tratamiento	94,255	3	31,418	16,083	0,000**
Error	46,886	24	1,954		
Total	1372,730	28			
Total, corregido	141,141	27			

a. $R^2 = 0,668$ (R^2 ajustada = 0,626)

Tabla 61. Análisis post-hoc de Tukey para el indicador peso del racimo de *M. paradisiaca*

Variable: Peso del racimo			
HSD Tukey ^{a,b}			
Tratamiento	N	Subconjunto	
		a	b
T1	7	4,8429	
T3	7	5,6571	
T2	7	6,3571	
T0	7		9,6714
Sig.		0,206	1,000

Trabajos de campo y laboratorio



Figura 5. Áreas de estudio con plantaciones de *M. paradisiaca* de 15 años (A) y de 2 años de manejo



Figura 6. Extracción de muestras de suelo



Figura 7. Evaluación del diámetro del seudotallo



Figura 8. Evaluación de longitud del seudotallo



Figura 9. Evaluación del peso del racimo

Reporte de análisis de suelo



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: CESAR AUGUSTO GOZME SULCA

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO				pH	CE	M.O.	N	P		K	CAMBIABLES				CIC	CICe	%	%	%				
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	Arena		Limo	Textura					ds/m	%		ppm	ppm	Ca	Mg						K	Na	Al	H
			%	%																						
1	S1800-1	P1 - P1	70	12	18	Franco Arenoso	7.01	0.171	1.14	0.06	3.84	42.98	6.98	5.97	0.88	0.089	0.048	0.00	0.00	100	0	0				
2	S1800-2	P1 - P2	70	16	14	Franco Arenoso	7.03	0.162	1.35	0.07	4.24	47.68	6.99	5.97	0.88	0.095	0.047	0.00	0.00	100	0	0				
3	S1800-3	P1 - P3	70	12	18	Franco Arenoso	7.12	0.157	1.41	0.07	3.60	48.98	7.03	6.05	0.84	0.096	0.039	0.00	0.00	100	0	0				
4	S1800-4	P1 - P4	59	12	29	Franco Arenoso	7.12	0.178	1.41	0.07	4.00	53.18	7.24	6.23	0.92	0.080	0.013	0.00	0.00	100	0	0				
5	S1800-5	P1 - P5	55	16	29	Franco Arenoso	7.13	0.173	1.79	0.09	3.76	44.18	7.29	6.26	0.93	0.074	0.029	0.00	0.00	100	0	0				
6	S1800-6	P1 - P6	61	16	23	Franco Arenoso	7.13	0.177	1.68	0.08	4.32	51.28	7.07	6.13	0.83	0.080	0.040	0.00	0.00	100	0	0				
7	S1800-7	P1 - P7	53	16	31	Franco Arenoso	7.19	0.163	1.30	0.07	3.76	43.48	7.26	6.35	0.82	0.066	0.023	0.00	0.00	100	0	0				
8	S1800-8	P2 - P1	69	18	13	Franco Arenoso	7.25	0.151	1.41	0.07	5.76	73.87	6.94	6.06	0.75	0.109	0.019	0.00	0.00	100	0	0				
9	S1800-9	P2 - P2	69	16	15	Franco Arenoso	7.22	0.150	1.41	0.07	6.32	76.97	6.91	5.99	0.78	0.107	0.028	0.00	0.00	100	0	0				
10	S1800-10	P2 - P3	70	14	16	Franco Arenoso	7.29	0.160	1.30	0.07	5.60	70.97	7.01	5.99	0.88	0.111	0.030	0.00	0.00	100	0	0				
11	S1800-11	P2 - P4	70	16	14	Franco Arenoso	7.22	0.182	1.63	0.08	6.24	72.97	7.13	5.93	1.06	0.107	0.036	0.00	0.00	100	0	0				
12	S1800-12	P2 - P5	70	14	16	Franco Arenoso	7.30	0.188	1.30	0.07	5.92	69.47	7.02	5.98	0.84	0.111	0.090	0.00	0.00	100	0	0				
13	S1800-13	P2 - P6	59	18	23	Franco Arenoso	7.34	0.154	1.14	0.06	5.76	76.57	7.56	6.52	0.91	0.106	0.021	0.00	0.00	100	0	0				
14	S1800-14	P2 - P7	63	12	25	Franco Arenoso	7.38	0.151	2.17	0.11	6.00	71.97	7.34	6.11	1.10	0.104	0.032	0.00	0.00	100	0	0				

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO 001 N° 0663591

TINGO MARIA, 18 DE NOVIEMBRE 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

[Signature]

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





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

analisisdesuelosunas@hotmail.com



ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE: CESAR AUGUSTO GOZME SULCA

N°	DATOS		ANÁLISIS MECÁNICO										pH	CE	M.O.	N	P		K	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg					CICE	%	%	%	Ac. Camb.	Sat. AI
	CODIGO DEL LAB.	REFERENCIA	Arena	Arcilla	Limo	%	%	%	ppm	ppm	ppm	Ca					Mg	K			Na	AI	H								
			%	%	%																										
16	S1800-16	P3 - P1	61	12	27	7.34	0.151	1.63	0.08	7.37	52.58	7.35	6.27	0.97	0.084	0.026	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
16	S1800-16	P3 - P2	70	12	18	7.45	0.153	1.52	0.08	7.21	66.57	6.65	5.78	0.75	0.092	0.026	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
17	S1800-17	P3 - P3	61	14	25	7.43	0.157	1.52	0.08	7.13	71.87	7.23	6.25	0.84	0.110	0.034	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
18	S1800-18	P3 - P4	70	12	18	7.41	0.142	1.30	0.07	6.97	58.57	6.63	5.71	0.81	0.084	0.029	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
19	S1800-19	P3 - P5	70	12	18	7.36	0.162	1.41	0.07	7.29	50.78	6.65	5.76	0.78	0.090	0.024	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
20	S1800-20	P3 - P6	53	16	31	7.39	0.170	1.41	0.07	7.05	50.48	7.82	6.56	1.12	0.104	0.035	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
21	S1800-21	P3 - P7	53	16	31	7.44	0.168	1.68	0.08	7.21	60.67	8.14	6.44	1.57	0.107	0.016	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
22	S1800-22	P4 - P1	55	16	29	7.45	0.180	1.35	0.07	6.81	85.16	7.84	6.50	1.19	0.143	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
23	S1800-23	P4 - P2	63	14	23	7.40	0.184	1.08	0.05	6.64	98.76	7.31	6.22	0.93	0.147	0.014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
24	S1800-24	P4 - P3	37	14	49	7.41	0.188	1.95	0.10	5.36	89.76	8.81	7.01	1.65	0.142	0.015	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
26	S1800-25	P4 - P4	35	16	49	7.47	0.187	1.79	0.09	5.68	80.16	8.29	6.97	1.16	0.143	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
26	S1800-26	P4 - P5	41	16	43	7.49	0.185	1.41	0.07	5.36	89.86	8.34	7.01	1.19	0.138	0.014	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
27	S1800-27	P4 - P6	37	14	49	7.45	0.173	1.79	0.09	6.40	88.16	8.01	6.76	1.09	0.148	0.020	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			
28	S1800-28	P4 - P7	45	26	29	7.45	0.178	1.63	0.08	5.20	92.56	7.31	6.19	0.97	0.141	0.011	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	100	0	0	0	0			

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO 001 N° 0663591

TINGO MARIA, 18 DE NOVIEMBRE 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

[Handwritten Signature]

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

