

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN RECURSOS**  
**NATURALES RENOVABLES**



**PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SUELOS ESTABLECIDOS CON *Elaeis guineensis* (PALMA ACEITERA), DE LA EMPRESA OCHO SUR P DISTRITO  
NUEVA REQUENA - UCAYALI**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
**MENCIÓN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**



**SAMUEL PANDURO CAYCHO**

**Tingo María – Perú**

**2023**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N°022-2024-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 23 de junio de 2023, a horas 06:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería en Recursos Naturales Renovables de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“PROPIEDADES FISICOQUÍMICAS DE SUELOS ESTABLECIDOS CON  
*Elaeis guineensis* (PALMA ACEITERA), DE LA EMPRESA OCHO SUR P  
DISTRITO NUEVA REQUENA - UCAYALI”**

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

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

Tingo María, 29 de febrero de 2024

**Dr. JOSE DOLORES LEVANO CRISOSTOMO**  
**PRESIDENTE**

**Dr. ROBERTO OBREGON PEÑA**  
**MIEMBRO**

**Ing. M. Sc. SANDRO RUIZ CASTRE**  
**MIEMBRO**



**Ing. M. Sc. JUAN PABLO RENCIFO TRIGOZO**  
**ASESOR**



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI  
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS  
Correo: [repositorio@unas.edu.pe](mailto:repositorio@unas.edu.pe)



“Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho”

## CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 255 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

### CERTIFICA QUE:

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

Programa de Estudio:


Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua

Tipo de documento:

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

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
PROPIEDADES FÍSICOQUÍMICAS DE SUELOS ESTABLECIDOS CON <i>Elaeis guineensis</i> (PALMA ACEITERA), DE LA EMPRESA OCHO SUR P DISTRITO NUEVA REQUENA - UCAYALI	SAMUEL PANDURO CAYCHO	<b>22 %</b> <b>Veintidós</b>

Tingo María, 20 de agosto de 2024

  
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA  
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN  
Dr. Tomas Menacho Mallqui  
JEFE

C.C. Archivo



## **DEDICATORIA**

A Dios, por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud para lograr mis objetivos, además de sus infinita bondad y amor.

A mis padres Segundo Juan Panduro y Lila Caycho, mi esposa Jackeline pacaya, mis hijos Eduardo y Valewska y mis hermanos Juan y Yadira que siempre serán el motivo para salir adelante, por sus consejos, sus valores, por la motivación constante que me permite ser una persona de bien y salir adelante. Por todo lo mencionado viviré eternamente agradecido.

En memoria de Patricia Bonny Reategui  
Panduro que siempre quiso terminar la  
carrera

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios por la bendición de despertar cada día y permitirme tener mi familia unida durante mi formación profesional y a todas aquellas personas que ayudaron en el desarrollo de la presente tesis.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva y docentes de la Facultad de Recursos Naturales Renovables, por toda la aportación cultural, social y científica que me han brindado.

A mi asesor, Ing. M. Sc. Rengifo Trigozo, Juan Pablo por sus aportes en la presente investigación y por la confianza puesta en mi persona.

A mis jurados de tesis Dr. José Lévano Crisóstomo, Dr. Roberto Obregón Peña, Ing. M. Sc. Sandro Junior Ruiz Castre por la observación y corrección de la presente tesis y por la formación académica que me brindaron.

A M.Sc. Ceila Paquita Lao Olivares por la observación y corrección de la presente tesis y por la formación académica que me brindaron.

Al Ing. M.Sc. Wilberth Rolando Reyes Salazar por su gran aporte técnico de fertilidad en el cultivo de palma aceitera.

Al Ing. M.Sc. Alexander Rosales Bardales por las enseñanzas técnicas en campo, por su apoyo y leal amistad en el largo proceso de la tesis.

A los Ingenieros del Grupo Ocho Sur por su colaboración técnica.

## ÍNDICE

	Página
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Antecedentes.....	3
2.2. Marco conceptual.....	5
2.2.1. Suelo.....	5
2.2.2. Propiedades físicas del suelo.....	6
2.2.2.1. Textura del suelo .....	6
2.2.2.2. Clase textural.....	6
2.2.2.3. Densidad aparente del suelo.....	7
2.2.2.4. Resistencia a la penetración del suelo .....	7
2.2.3. Propiedades químicas del suelo .....	8
2.2.3.1. Reacción del suelo.....	8
2.2.3.2. El pH .....	8
2.2.3.3. Escalas del pH .....	9
2.2.4. Materia orgánica del suelo .....	10
2.2.4.1. Niveles de materia orgánica del suelo.....	10
2.2.5. Capacidad de intercambio catiónico .....	11
2.2.5.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos.....	11
2.2.5.2. Importancia de la capacidad de cambio.....	12
2.2.6. Nutrientes .....	13
2.2.6.1. Nitrógeno del suelo.....	13
2.2.6.2. El fósforo en el suelo.....	14
2.2.6.3. El potasio en el suelo.....	15
2.2.6.4. El calcio intercambiable en el suelo.....	15
2.2.6.5. El magnesio intercambiable en el suelo.....	16
2.2.6.6. El sodio intercambiable en el suelo.....	17
2.2.7. Distribución espacial .....	17
III. MATERIALES Y MÉTODOS .....	20
3.1. Lugar de ejecución.....	20
3.2. Descripción del área de estudio .....	21
3.2.1. Fisiografía.....	21
3.2.2. Suelo .....	21

3.2.3.	Clima y ecología.....	21
3.2.7.	Accesibilidad .....	21
3.3.	Materiales y equipos .....	21
3.3.1.	Materiales .....	21
3.3.2.	Equipos .....	22
3.4.	Tipo y nivel de investigación.....	22
3.4.1.	Tipo de la investigación.....	22
3.4.2.	Nivel de la investigación .....	22
3.5.	Método y diseño de la investigación .....	22
3.5.1.	Método de la investigación.....	22
3.5.2.	Diseño de la investigación .....	22
3.6.	Metodología.....	23
3.6.1.	De las propiedades fisicoquímicas del suelo en una plantación establecida con <i>Ealeis guineensis</i> .....	23
3.6.2.	De la distribución espacial de las características fisicoquímicas del suelo en el área establecida con palma aceitera .....	26
3.6.3.	De la correlación de las propiedades fisicoquímicas del suelo en el área establecida con <i>Ealeis guineensis</i> .....	29
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN .....	31
4.1.	De las propiedades fisicoquímicas del suelo con una plantación establecida con <i>Ealeis guineensis</i> .....	31
4.1.1.	Propiedades físicas del suelo.....	31
4.1.1.1.	Textura del suelo.....	31
4.1.1.2.	Densidad aparente .....	32
4.1.2.	Propiedades químicas del suelo .....	33
4.1.2.1.	Reacción del suelo o pH.....	33
4.1.2.2.	Materia orgánica.....	34
4.1.2.3.	El nitrógeno .....	36
4.1.2.4.	El fósforo disponible.....	37
4.1.2.5.	El potasio disponible.....	38
4.1.2.6.	El calcio.....	39
4.1.2.7.	El magnesio.....	40
4.1.2.8.	El sodio.....	41
4.1.2.9.	Capacidad de intercambio catiónico.....	42

4.2. De la correlación de las propiedades fisicoquímicas del suelo por niveles de profundidad .....	44
4.3. De la distribución espacial con las características fisicoquímicas del suelo en el área establecida con palma aceitera .....	51
4.3.1. Textura del suelo.....	51
4.3.2. Reacción del suelo o pH .....	52
4.3.3. Materia orgánica .....	54
4.3.4. El nitrógeno .....	55
4.3.5. El fósforo disponible.....	56
4.3.6. El potasio disponible.....	57
4.3.7. Capacidad de intercambio catiónico .....	58
4.3.8. El calcio .....	59
4.3.9. El magnesio .....	60
4.3.10. El sodio .....	61
V. CONCLUSIONES .....	64
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	65
VII. REFERENCIAS .....	66
ANEXO.....	73

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Agrupamiento general de las clases texturales .....	1
2. Niveles de pH del suelo .....	10
3. Niveles de materia orgánica .....	11
4. Rangos interpretativos para la CIC de suelos con pH mayor de 5.5.....	12
5. Rangos interpretativos para la CIC de suelos con pH menor de 5.5 .....	12
6. Niveles de contenido de nitrógeno .....	14
7. Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen).....	14
8. Niveles de contenido de potasio .....	15
9. Rangos interpretativos para calcio (Ca <sup>2+</sup> ) intercambiable.....	16
10. Rangos interpretativos para magnesio (Mg <sup>2+</sup> ) intercambiable .....	16
11. Rangos interpretativos para sodio intercambiable.....	17
12. Coordenadas UTM del datum WGS84 de la zona 18L del área de plantación de la empresa Ocho Sur P .....	20
13. Métodos para determinar los indicadores químicos del suelo.....	25
14. Textura de los suelos encontrados en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> de la empresa Ocho Sur P .....	31
15. ANVA para la variable densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ) de las zonas de cultivos con <i>E.</i> <i>guineensis</i> de la empresa Ocho Sur P.....	32
16. Comparaciones post – hoc para la densidad aparente (g/cm <sup>3</sup> ) .....	33
17. ANVA para la variable pH.....	33
18. ANVA para la variable materia orgánica (%) .....	34
19. Comparaciones post – hoc para el contenido de materia orgánica (%).....	35
20. ANVA para la variable nitrógeno disponible (%).....	36

21. Comparaciones post – hoc para el nitrógeno disponible (%) .....	36
22. ANVA para la variable fósforo disponible (ppm) .....	37
23. ANVA para la variable potasio disponible (kg/ha) .....	38
24. Comparaciones post – hoc para la variable potasio disponible (kg/ha) .....	39
25. ANVA para la variable calcio (meq/100g).....	39
26. ANVA para la variable magnesio (meq/100g) .....	40
27. Comparaciones post – hoc para la variable magnesio (meq/100g) .....	41
28. ANVA para la variable sodio (meq/100g).....	41
29. ANVA para la variable capacidad de intercambio catiónico (meq/100g).....	42
30. Comparaciones post – hoc para la variable capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) .....	43
31. Matriz de correlación de Spearman para las propiedades químicas del suelo por calicata en las 8 zonas de cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	44
32. Textura del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	74
33. pH del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	74
34. Materia orgánica del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	74
35. Nitrógeno disponible del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	74
36. Fósforo disponible del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	74
37. Potasio disponible del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	75
38. Capacidad de intercambio catiónico del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	75
39. Calcio del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	75
40. Magnesio del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	75
41. Sodio del suelo cultivo con <i>E. guineensis</i> .....	75

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Mapa de ubicación de las parcelas de <i>E. guineensis</i> de la empresa Ocho Sur P.....	12
2. Lectura el perfil del suelo por cada horizonte de diagnóstico en las parcelas de <i>E. guineensis</i> de la empresa Ocho Sur P. ....	25
3. Diagrama metodológico para elaborar el mapa de distribución espacial de los suelos con parcelas de <i>E. guineensis</i> de la empresa Ocho Sur P .....	27
4. Diagrama metodológico del trabajo de campo para elaborar el mapa de distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos .....	27
5. Resumen del diagrama metodológico para elaborar mapas de distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos.....	28
6. Correlación del pH versus el potasio (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	45
7. Correlación del pH versus la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	46
8. Correlación de la materia orgánica (%) versus capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	46
9. Correlación de la materia orgánica (%) versus el magnesio (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	47
10. Correlación del potasio (kg/ha) versus capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	48
11. Correlación del potasio (kg/ha) versus el magnesio del suelo (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	49
12. Correlación del magnesio del suelo (meq/100g) versus la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	50

13. Correlación del calcio (meq/100g) versus el magnesio del suelo (meq/100g) en la zona de cultivo de <i>E. guineensis</i> . .....	51
14. Mapa de textura del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	52
15. Mapa de pH del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	53
16. Mapa de materia orgánica del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	54
17. Mapa de nitrógeno del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	56
18. Mapa de fósforo del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	57
19. Mapa de potasio disponible del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	58
20. Mapa de capacidad de intercambio catiónico del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	59
21. Mapa de calcio del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .. .....	60
22. Mapa de magnesio del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	62
23. Mapa de sodio del suelo en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	63
24. Vista del área y las calicatas aperturadas en las zonas con cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	76
25. Vistas de las calicatas 10 y 13 aperturadas en las zonas de cultivo de <i>E. guineensis</i> .....	76

## RESUMEN

La investigación se desarrolló en la empresa Ocho Sur P, distrito Nueva Requena - Ucayali, el objetivo fue determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo, correlacionar estas propiedades por niveles de profundidad, así como la distribución espacial de las características en una plantación establecida con *E. guineensis* (palma aceitera). La metodología consistió en realizar la recopilación, reconocimiento del lugar, ubicación de los puntos de muestreo, lectura del perfil de las calicatas, análisis de las muestras, así como la elaboración de los diferentes mapas temáticos, y correlacionar estas propiedades a través de un análisis estadístico. Los resultados presentaron zonas de cultivo con *E. guineensis* de una textura franco-arenosa, teniendo en la zona E los mayores valores de densidad aparente de  $1,56 \text{ g/cm}^3$ , pH extremadamente ácido, Materia orgánica, nitrógeno y fósforo bajo, así como en la zona I el Potasio, Calcio y Magnesio muy bajo, en la zona H el Sodio es muy bajo y mayor valor de capacidad de intercambio catiónico en la zona L es de nivel medio. Existe correlación lineal estadísticamente significativa de las propiedades químicas entre el pH, Potasio, materia orgánica, Magnesio, Calcio y Capacidad de intercambio catiónico. Suelos de textura franca a franco arenoso, a un máximo de  $1,56 \text{ g/cm}^3$  de densidad aparente con sus comparaciones. Las propiedades químicas se caracterizaron por ser significativas y por su pobreza en nutrientes, así como su correlación de spearman, encontrándose una relación lineal estadísticamente con un valor de 0.53, por lo que su distribución espacial fue similar en todas las propiedades evaluadas.

**Palabras clave:** Propiedades, correlacionar, Spearman, significativa

## ABSTRACT

The research was carried out in the Ocho Sur P company, Nueva Requena - Ucayali district, the objectives were to determine the physicochemical properties of the soil, correlate these properties by depth levels, as well as the spatial distribution of the characteristics in a plantation established with *E. guineensis* (oil palm). The methodology consisted of carrying out the collection, recognition of the place, location of the sampling points, reading of the profile of the pits, analysis of the samples, as well as the elaboration of the different thematic maps, and correlating these properties through an analysis statistical. The results presented cultivation areas with *E. guineensis* of a sandy-loam texture, having in area E the highest values of apparent density of  $1.56 \text{ g/cm}^3$ , extremely acidic pH, organic matter, nitrogen and low phosphorus, as well as in zone I the Potassium, Calcium and Magnesium are very low, in zone H the Sodium is very low and the highest value of cation exchange capacity in zone L is medium level. There is a statistically significant linear correlation of the chemical properties between pH, Potassium, organic matter, Magnesium, Calcium and Cation Exchange Capacity. Soils with a loamy to sandy loam texture, at a maximum of  $1.56 \text{ g/cm}^3$  of apparent density with their comparisons. The chemical properties were characterized by being significant and by their poverty in nutrients, as well as their Spearman correlation, finding a statistically linear relationship with a value of 0.53, so their spatial distribution was similar in all the evaluated properties.

Keywords: Properties, correlate, Spearman, significant

## I. INTRODUCCIÓN

En nuestro país una gran parte de bosques nativos han sido explotados y gran parte se encuentra en la zona de Pucallpa, como consecuencia de técnicas agropecuarias y tala inadecuada. Se han eliminado no solo terrenos adecuados para la actividad agropecuaria, sino también muchos de uso forestal. Desde el inicio del siglo, se han ido estableciendo gradualmente plantaciones de palma aceitera en estas áreas.

En el establecimiento de estas plantaciones no se ha considerado el factor suelo, lo cual es esencial para las especies introducidas, ya que se deben conocer los requerimientos y condiciones del terreno para lograr altos rendimientos. Hasta ahora, la selección de los sitios se ha realizado prácticamente al azar, eligiendo terrenos generalmente accesibles, que han sido abandonados de su uso para explotación de madera y/o fines agropecuarios.

Por su escasa información respecto al presente estudio; en la evaluación de las características fisicoquímicas de los suelos en plantaciones de palma aceitera, se vio la necesidad de realizar en la presente investigación determinar las deficiencias nutricionales de las parcelas establecidas con palma aceitera, realizar una caracterización y distribución espacial de sus características fisicoquímicas del suelo en las áreas establecidas. Asimismo, se plantea la siguiente interrogante ¿Cuáles serán los niveles de las propiedades fisicoquímicas de los suelos en el sector Tibecocha, región Ucayali?

Hipótesis: Los suelos del sector Tibecocha presentan propiedades fisicoquímicas adecuadas para el establecimiento del cultivo de palma aceitera.

### 1.1. Objetivo general

Evaluar las propiedades fisicoquímicas de suelos establecidos con *Elaeis Guineensis* (Palma aceitera), de la empresa Ocho Sur P distrito Nueva Requena - Ucayali

### 1.2. Objetivos específicos

- Determinar las propiedades fisicoquímicas del suelo en una plantación con *E. guineensis*
- Correlacionar las propiedades físicas y químicas del suelo por niveles de profundidad en una plantación con *E. guineensis*
- Realizar la distribución espacial de las características fisicoquímicas del suelo con palma aceitera.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Antecedentes

En la región de Pasco, Valbuena *et al* (2007) estudiaron la distribución espacial de algunas características fisicoquímicas para crear una base de datos de estos suelos y obtuvieron resultados analíticos muy interesantes.

Mendieta (2011) realizó un estudio fisicoquímico y cromatográfico de suelos de las fincas de cacao orgánico de miembros de la Cooperativa Agroindustrial Tocache Ltda, todas ubicadas en la región de Tocache en San Martín.

Villacorta (2013) hizo un estudio que tuvo como objetivo estudiar y explicar la distribución espacial de las características fisicoquímicas de la tierra de cultivos de palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jaq) de la Asociación de Palmicultores de Shambillo (ASPASH). La encuesta se realizó en los distritos de Padre Abad y Ucayali del distrito de Padre Abad. Se recolectaron 150 muestras de suelo y se determinaron indicadores mediante el método mencionado por Vázquez (1997) con base en datos obtenidos de análisis de laboratorio e interpolación con la herramienta kringin basada en geoestadística que permite el estudio de las propiedades del suelo y el mapeo. Comportamiento. Se explicó que el suelo contenía *E. guineensis* Jaq varió mucho en los niveles de MO y N, teniendo el 54% del área de 3 305 a 3820 niveles bajos de P y K, por otro lado, el 43%. La calidad textural arcillosa representó el 62%, mientras que la francoarenosa representó el 36,67% de las muestras. Se pueden explicar distintas características de la tierra en distintos mapas temáticos en función de la distribución espacial de cada compuesto. La relación entre rendimiento y características de la tierra es expresada mediante la siguiente fórmula: Rendimiento (Kg/Ha) = - 407,955 + 0,001 L + 3,249 pH.

Junco (2016) el objetivo de su estudio es determinar los parámetros morfológicos de la microcuenca del río Bella en el distrito Mariano Dámaso Beraún de Las Palmas, para caracterizar, evaluar e interpretar la distribución espacial de las características fisicoquímicas de la tierra según por unidad fisiográfica basada en el uso de SIG. Dependiendo del método utilizado se determina el número de fosas, el muestreo del suelo, el registro de datos y diversas anotaciones. La fase de laboratorio es: estudio físico y químico de la tierra y la etapa final de oficina: elaboración y evaluación de mapas temáticos; evaluación estadística de variables en estudio. Así, tiene una superficie de 3 463,48 hectáreas y una circunferencia de 29,4 km, y su índice de densidad tiende a concentrar una gran cantidad de precipitaciones, y su forma va desde el óvalo redondo hasta el oblongo. Las características fisicoquímicas del suelo corresponden al grupo de textural franco a textura media (predominando el franco arcilloso arenoso), seguida

del grupo de textura arenosa, textura gruesa (arenoso franco), seguida del grupo de textura arcillosa de textura fina (arcillosa), contenido de MO y N, el 81% de la zona ubicada en el intervalo superior al 90% del suelo es suficiente en P y bajo en K, por lo que consideramos que estos suelos son pobres, se puede apreciar a través de la unidad fisiogeográfica de la Microcuenca del río Bella para explicar las características fisicoquímicas de la tierra.

Los objetivos del estudio de Reátegui (2016) fueron la determinación de indicadores físicos, químicos y biológicos, la distribución espacial de SIG, la identificación y cuantificación de la macrofauna a distintas profundidades en el sistema de uso de la tierra El Eslabón, provincia Huallaga - San Martín. Este método incluye ubicación e identificación del terreno, muestreo de animales terrestres y suelo y definición de sus características fisicoquímicas y biológicas, cálculo de densidad, biomasa, diversidad y riqueza de especies mediante índices de Simpson y Shannon - Wiener. Los resultados mostraron que los parámetros físicos y químicos del suelo fueron interpretados y mostraron una estructura y textura granular que varía desde franco arcilloso hasta franco arenoso. La DA estuvo dentro del rango franco, la temperatura promedio fue de 26,76°C y el suelo con alta resistencia a penetración y profundo, pH ácido neutro con moderación, MO media, N, P, CIC, bajo P y Mg, alto contenido de calcio, indicadores fisicoquímicos para distintos sistemas de uso de la tierra (maíz, pastos y bosque secundario) trazados en mapas temáticos mediante el método kriging.

Inocencio (2022) en su estudio pretendió evaluar la distribución y variabilidad espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en la finca "Cárdenas" en Nuevo Progreso, Padre Abad. Metodológicamente es un estudio transversal no experimental que evalúa las propiedades y calidad físico-químicas del suelo y realiza análisis geoestadísticos mediante un interpolador kriging. Los resultados mostraron que el coeficiente de variación (CV) para arcilla, pH y K fue bajo, media para arena, limo, MO, N, P, K,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , CIC, %SB, %AC y %SAI. El promedio (CV) es menor. La calidad del suelo se encuentra entre baja y muy baja calidad con una distribución espacial de 52,24% y 47,76%, respectivamente. PCA encontró correlaciones estadísticas para arena, limo, MO, N, K, Al<sub>3</sub>, CIC, %AC, %BC y %SAI, todos los cuales, excepto K<sup>+</sup>, mostraron variación espacial dependiendo de su nivel de fertilidad. Los modelos de mejor ajuste son el exponencial y lineal con fuerte dependencia espacial para arena, limo y K, moderado para MO, N, Al, CIC, %SAI e ICS y débil para %BC y %AC, con un rendimiento predictivo confiable. Concluimos que los indicadores geoestadísticos muestran una mayor variabilidad espacial en comparación con los coeficientes de variación atribuidos a factores de formación debido a las características locales y la historia de manejo.

## **2.2. Marco conceptual**

### **2.2.1. Suelo**

Jaramillo (2003) argumentó que la tierra forma un sistema complejo que consta de cuatro componentes en proporciones variables: minerales o partículas de roca y MO muerta que forman la matriz sólida, y suelo disuelto y aire que ocupan los espacios porosos de esta matriz.

Arévalo & Sanco (2002) sostienen que es un cuerpo natural con profundidad y amplitud, producto de la naturaleza, resultado de fuerzas destructivas y constructivas. Mineralización y agotamiento de los sistemas microbianos.

Cepeda (1991), es un sistema dinámico y complejo en el que tienen lugar fenómenos fisicoquímicos y biológicos de diversas intensidades, extendiéndose como una capa continua hasta la superficie de la corteza.

### **2.2.2. Propiedades físicas del suelo**

#### **2.2.2.1. Textura del suelo**

Es la distribución de fracciones de arena, limo y arcilla en la tierra, no incluye partículas minerales mayores a la arena (2 mm de diámetro), que se consideran mejoradores de textura y tienen los siguientes nombres: grava (0,2-2 cm), grava (2-5 cm), guijarros (15-25 cm), rodador (25-50 cm) y bloque (50 cm) se consideran dentro de este grupo a los agregados bajo la influencia de sustancias orgánicas (Zavaleta, 1992).

La textura del suelo hace referencias a las cantidades relativas de arena (a), limo (l) y arcilla (a) en la tierra. Esta clasificación se aplica a partículas menores de 2 mm. La textura es una característica crucial, influenciando en la fertilidad, la capacidad de retención de agua, la aireación, el drenaje, el contenido de MO y otras características clave. Se utilizó el triángulo de textura del suelo de la FAO como herramienta para la clasificación de la textura.

#### **2.2.2.2. Clase textural**

Las categorías de textura se basan en distintas combinaciones de arena, limo y arcilla, por lo que las combinaciones son casi ilimitadas. Sin embargo, sólo se crearon doce clases de texturas básicas, que están dispuestas en orden de número creciente de subdivisiones en relación con el suelo. (Fassbender, 1992).

**Tabla 1.** Agrupamiento general de las clases texturales.

Grupo textural	Denominación empírica	Clases Textural
Arenoso	Suelos de textura gruesa	Arenas
		Arenas Franca
Franco	Suelo de textura moderadamente gruesa	Franco Arenoso
		Franco Arenoso fino
		Franco Arenoso muy fino
	suelos de textura media	Franco
		Franco Limoso
		Limoso
suelos de textura moderadamente fina	Franco Arcilloso	
	Franco Arcillo Arenoso	
	Franco Arcillo Limoso	
Arcilloso	suelos de textura fina	Arcillo-Arenoso
		Arcillo-Limoso
		Arcilloso

Fuente: Buckman (1985).

Serrada (2008) indicó que la abundancia de limo ayuda la existencia de microporos por los cuales no fluye el agua porque el agua es retenida por fuerzas capilares. Los suelos ricos en arcilla, especialmente los pobres en materia orgánica, favorecen la compactación por aglomeración del material arcilloso, especialmente si el suelo es muy pedregoso.

#### 2.2.2.3. Densidad aparente del suelo

Permiten modelar procesos edáficos como el movimiento hídrico, el crecimiento radicular, el desarrollo vegetal y la distribución porosa. Parámetros como estructura, densidad, agregados, infiltración, profundidad y capacidad de retención hídrica son indicadores clave de la calidad física de la tierra. (Bautista et al., 2004).

#### 2.2.2.4. Resistencia a la penetración del suelo

Además, la resistencia a la permeabilidad ( $R_p$ ) es una característica física importante porque está directamente relacionada con el  $D_a$  y la porosidad. La  $R_p$  es la resistencia mecánica que proporciona el suelo al movimiento del cono de permeabilidad. Este es un indicador de compactación y endurecimiento de la capa superficial causado por el proceso de tratamiento, que suele aumentar la resistencia a la permeabilidad (Demuner et al., 2013).

Según Wolkovski (1990), citando a Paredes (2014), la compactación del suelo dificulta el movimiento del aire y el agua, obstaculiza el crecimiento radicular y reduce la disponibilidad de nutrientes para los cultivos. Además, altera las características físicas de la tierra, disminuyendo la infiltración y aumentando la DA (Mendoza, 2011, citado por Campos, 2019).

### **2.2.3. Propiedades químicas del suelo**

Estudia la acidez (pH) y las reacciones con nutrientes. Su análisis es esencial para optimizar la fertilización, elegir las plantas correctas y maximizar la producción agrícola (Cepeda, 1991).

El pH del suelo influye en la capacidad de retención de iones hidrógeno y determina su acidez o alcalinidad, afectando así la solubilidad y disponibilidad de otros elementos y contaminantes. (FAO, 2020).

#### **2.2.3.1. Reacción del suelo**

El pH es el elemento químico más influyente del suelo para el desarrollo de cultivos, ya que determina la disponibilidad de nutrientes y afecta directamente las características químicas y biológicas de la tierra. (Fasbender, 1987).

#### **2.2.3.2. El pH**

El pH representa la cantidad de iones ( $H^+$ ) en soluciones de suelo y agua, generalmente en partes equivalentes por litro, y la escala de pH está diseñada para ser el logaritmo de la inversa (logaritmo negativo) de la actividad de iones  $H^+$ , este valor está representado por la siguiente ecuación:

$$pH = \log. 1/ (H^+)$$

La medición electroquímica de la concentración efectiva de los iones  $H^+$  y  $OH^-$  en la solución de la tierra se realiza a través de un electrodo sumergido en la suspensión suelo/agua (Arévalo y Sanco, 2002). A  $pH = 7$ , la concentración de iones  $H^+$  es igual a la de los iones  $OH^-$ ; una variación en el pH señala un cambio en la concentración de ambos tipos de iones. Un pH por debajo de 7 indica acidez, en tanto un valor superior a 7 indica alcalinidad. (Cepeda, 1991 y Zavaleta, 1992).

#### **2.2.3.3. Escala del pH**

El pH es el logaritmo negativo de la actividad de  $H^+$ , lo cual influye de forma directa en la solubilidad, disponibilidad y absorción de los nutrientes esenciales para el crecimiento, desarrollo vegetal, etapas biológicas y actividad microbiana. Elementos como P,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Fe^{2+}$ ,  $Mn^{2+}$ ,  $Zn^{2+}$  y  $Cu^{2+}$ , junto con el porcentaje de saturación de bases y la CIC, son altamente afectados por el pH. (Sánchez, 2007).

El pH del suelo es variable y requiere de distintos factores como el material parental, la vegetación, el clima y las prácticas agrícolas. Generalmente, van desde bosques húmedos, subhúmedos a zonas de matorral semiárido, su pH oscila entre 4,0 y 8,0 pero puede verse afectado por la acumulación de sales Ca y Na, o iones  $H^+$  y  $Al^{3+}$  en la solución del suelo. (Doran y Parkin, 1996).

El pH ideal para el crecimiento de cultivos está entre 6,5 y 7,5 pH. Valores más altos o bajos pueden causar problemas por toxicidad. Suelos con pH de 5,8 a 7,5 son más propensos a problemas que los de valores extremos. Un pH de 5.0 o menos indica deficiencia de  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $K^+$  o presencia de elementos tóxicos como  $Zn^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ ,  $Ni^{2+}$ , etc. (Fassbender y Bornemisza, 1987).

**Tabla 2.** Niveles de pH del suelo.

Descripción	Rango
Extremadamente ácido	Menor de 4,5
Fuertemente ácido	4,6-5,4
Moderadamente ácido	5,5-6,5
Neutro	6,6-7,3
Moderadamente alcalino	7,4-8,5
Fuertemente alcalino	Mayor de 8.5

Fuente: Laboratorio análisis de suelos de la UNAS.

#### 2.2.4. Materia orgánica del suelo

El humus, una sustancia orgánica de color oscuro formada por la descomposición de material vegetal, es un componente esencial del suelo. Aunque su definición exacta puede variar, generalmente se reconoce por su color y su alto contenido de nitrógeno (alrededor del 5%). La importancia del humus es tal que se estima que su contenido total de nitrógeno puede multiplicarse por 20 para evaluar su contribución a la fertilidad del suelo. (Navarro, 2003).

Presenta distintos grados de desgaste y composición, como los materiales lábiles (hidratos de carbono, lignina, proteínas, taninos, ácidos grasos) y los húmicos (ácidos fúlvicos, ácidos húmicos y sustancias húmicas). La materia orgánica mejora parámetros físicos como la retención de agua y la formación de agregados, incrementa la capacidad de intercambio catiónico y retiene cationes y micronutrientes esenciales para el desarrollo de cultivos. (FAO, 2020).

##### 2.2.4.1. Niveles de materia orgánica

El contenido de MO exhibe una amplia variabilidad comprobada. Por lo tanto, un valor numérico específico adquiere significado a escala regional. Por ejemplo, un 2% sería considerado alto en un valle aluvial costero, pero bajo en la sierra e intermedio en la selva amazónica. Por lo tanto, los niveles de bajo, intermedio, alto y muy alto deben estudiarse regionalmente y adaptarse a los requerimientos de un cultivo específico.

La MO es un conjunto complejo de restos vegetales y animales en continuo proceso de transformación y síntesis, generalmente en menor cantidad que la fracción mineral. Sin embargo, su papel es igualmente crucial, o incluso más, para la evolución y propiedades del suelo. (SAGARPA, 2012).

La materia del suelo mejora la infiltración y aireación del agua, favorece la retención hídrica, disminuye la erosión y regula la dispersión de pesticidas (Gregorich, 1991). Funciona como reservorio de nutrientes y carbono para las plantas, liberándolos poco a poco y facilitando la absorción de minerales insolubles existentes en el suelo. El aumento de MO en los suelos favorece el crecimiento de una diversa población microbiana, favoreciendo el control biológico de enfermedades y plagas en la vegetación, así como influyendo en la erosión hídrica y en la conservación del agua en los suelos. (Stevenson, 1994).

**Tabla 3.** Niveles de la materia orgánica.

Nivel	Contenido (%)
Bajo o pobre	menos de 2
Medio	2 – 4
Alto	mayor de 4

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

### 2.2.5. Capacidad de intercambio catiónico

La CIC es fundamental en un suelo, ya que indica su capacidad para retener cationes positivos, gracias a las cargas negativas en el complejo coloidal del suelo.

La textura del suelo está correlacionada con esta capacidad; es mayor en tierras de textura fina y menor en tierras de textura gruesa, como arenas y margas arenosas, que a menudo carecen de arcilla coloidal y de humus. (Fassbender, 1987).

#### 2.2.5.1. Capacidad de intercambio catiónico en los suelos

Los principales cationes para el desarrollo vegetal son el Ca, Mg, K, amonio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), Na e hidrógeno (H). Los cuatro primeros son nutrientes directamente involucrados en este proceso, mientras que sodio e hidrógeno influyen en la disponibilidad de nutrientes y agua. En las tierras ácidas, la mayoría de los cationes se presentan en formas de hidrógeno y aluminio. La CIC depende del tipo, cantidad y combinación de minerales

arcillosos, así como de la cantidad y descomposición de MO. Los cationes tienen energías de enlace diferentes.

Los sitios de intercambio de MO tienen una unión débil. Las arcillas que retienen muchos iones atraen más fuerte a los iones con dos cargas (como el calcio y el magnesio) que a los de una sola carga (como el potasio). Esto puede limitar la disponibilidad de nutrientes. Las arcillas caoliníticas, al tener una unión más débil, hacen que los nutrientes estén más disponibles.

La CIC es una medida de la capacidad del suelo para retener cationes, que son nutrientes esenciales para las plantas. Suelos con alta CIC tienen mayor capacidad para retener agua y nutrientes, mientras que suelos con baja CIC, como los arenosos, tienen menor capacidad de retención y pueden requerir fertilización más frecuente. La CIC se mide en centimoles de carga por kilogramo de suelo (cmolc/kg) o meq/100g. (Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO, 2015], citado por Huamán, 2021).

**Tabla 4.** Rangos interpretativos para la CIC de suelos con pH mayor de 5.5.

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menos de 12
Medio	12 – 20
Alto	mayor de 20

Fuente: Porta et al. (1999).

**Tabla 5.** Rangos interpretativos para la CIC de suelos con pH menor de 5.5.

Nivel	CIC (meq/100 g de suelo)
Bajo	menor de 4
Medio	4 – 30
Alto	mayor de 30

Fuente: Porta et al. (1999).

#### 2.2.5.2. Importancia de la capacidad de cambio

- Regula la disponibilidad de nutrientes para las plantas, como K<sup>+</sup>, Mg<sup>++</sup>, Ca<sup>++</sup>, entre otros.
- Participa en la floculación y dispersión de arcilla, influyendo en la estructura y estabilidad de los agregados.
- Contribuye al rol de la tierra como depurador natural al retener contaminantes.

#### 2.2.6. Nutrientes

Son elementos químicos necesarios para su crecimiento, obtenidos del suelo y el aire. El desarrollo de un cultivo depende de su contenido nutricional. Además del estado químico de la tierra, factores como clima, estructura física, cultivos anteriores, microbiología, influyen en la cantidad de fertilizantes a agregar. Evaluando, se puede determinar la cantidad adecuada. (Carbajal, 1963).

Para que las plantas crezcan sanas, el suelo debe tener los nutrientes necesarios. Pero no solo importa qué sustancias químicas hay en el suelo, también influye el clima, la estructura del suelo, lo que se ha sembrado antes y lo que hay ahora, y los microorganismos que viven ahí. Por eso, hay que hacer un estudio para saber cuántos fertilizantes se necesitan. (Zavaleta, 1992).

#### 2.2.6.1. Nitrógeno del suelo

La proporción de N en varios suelos es limitada por su dinámica y ciclo biogeoquímico. Este elemento llegaría al suelo a través de MO, como estiércol y residuos de cosecha, así como por la fijación bacteriana desde la atmósfera (Sánchez, 2016).

Las condiciones climáticas afectan notablemente su disponibilidad: un aumento de temperatura y de humedad reduce el nitrógeno. Las principales pérdidas se generan por la productividad de cultivos, la lixiviación, la volatilización, la desnitrificación y la fijación de amonio. (Navarro, 2003).

**Tabla 6.** Niveles de contenido de nitrógeno.

Nivel	Rango (%)
Bajo	Menor de 0,1
Medio	0,1 – 0,2
Alto	Mayor de 0,2

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

#### 2.2.6.2. El fósforo en el suelo

El fósforo es el macronutriente que más limita el rendimiento después del nitrógeno, participando en diversas etapas bioquímicas celulares y siendo esencial para las plantas.

Su único ingreso al sistema es a través de fertilizantes, mientras que las pérdidas pueden ocurrir por extracción, erosión, escorrentía y, en menor medida, lixiviación del grano cosechado (Navarro, 2003).

Para que las plantas crezcan sanas, el suelo debe tener los nutrientes necesarios. Pero no solo importa qué sustancias químicas hay en el suelo, también influye el clima, la estructura, lo que se ha sembrado antes y lo que hay ahora, y los microorganismos que

viven ahí. Por eso, hay que hacer un estudio para saber cuántos fertilizantes se necesitan. (SAGARPA, 2012).

**Tabla 7.** Niveles de contenido de fósforo (Método de Olsen).

Nivel	Fósforo (ppm)
Muy Bajo	< 5
Bajo	5,1 – 15
Normal	15,1 – 30
Alto	30,1 – 40

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

### 2.2.6.3. El potasio en el suelo

Es un nutriente esencial para todos los organismos vivos. Las hortalizas requieren grandes proporciones de K para satisfacer sus necesidades de N. El K tiene un papel necesario en la activación de muchas enzimas (se sabe que este catión activa más de 60), que son importantes en distintas fases metabólicas, como la fotosíntesis, el equilibrio de la síntesis de proteínas y carbohidratos y la meristemogénesis se ven afectados. Al participar en estas etapas metabólicas, el K contribuye al crecimiento vegetativo, la formación de frutos, maduración y calidad de los frutos. (Navarro, 2003).

La cantidad de K que hay disponible para las plantas depende de cuánto potasio está atrapado en las arcillas. Además, el potasio es súper importante para las plantas porque forma parte de sus tejidos y ayuda a neutralizar las sustancias ácidas que se producen en su interior. (Navarro & Navarro, 2003).

**Tabla 8.** Niveles de contenido de potasio.

Nivel	Potasio Kg/ha
Muy Bajo	menos de 300
Medio	300 – 600
Alto	más de 600

Fuente: Soil Survey Staff (1993).

### 2.2.6.4. El calcio intercambiable en el suelo

El calcio (Ca), catión reactivo básico con mayor cantidad en las plantas después del K, tiene una baja capacidad de transporte en la planta, por lo que cuando los niveles del suelo son insuficientes, los tejidos inmaduros tienden a presentar deficiencia. Además, determinan el pH, la CIC y las relaciones sinérgicas con otros cationes. (Navarro & Navarro, 2003).

SAGARPA, 2012 señala que el calcio es un catión intercambiable relacionado con el desgaste del suelo por salinización. Es relativamente abundante en los suelos de regiones semiáridas, pero generalmente se presenta en formas químicas de baja solubilidad, lo que limita su disponibilidad en las soluciones de la tierra.

**Tabla 9.** Rangos interpretativos para calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ) intercambiable

Clase	Ca ( $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ )
Muy bajo	$\text{Ca} < 2$
Bajo	$2 \leq \text{Ca} < 5$
Medio	$5 \leq \text{Ca} < 10$
Alta	$\text{Ca} \geq 10$

Fuente: SAGARPA (2012).

#### 2.2.6.5. El magnesio intercambiable en el suelo

El magnesio (Mg) es un componente mineral que existe en solución como iones intercambiables. El contenido de  $\text{Mg}^{2+}$  en el suelo cambia según el material de origen, el tipo de mineral, la clase de textura, otras concentraciones de cationes, el pH, el clima, la fitoextracción y el aporte de fertilizantes. Además, a menudo se observan deficiencias en tierras ácidas, arenosas, muy lavados y con baja CIC. (Havlin et al., 1999).

SAGARPA, 2012 señala que este elemento es especialmente relevante porque forma parte de la molécula de clorofila y está relacionado con la fotosíntesis. La deficiencia de Mg es frecuente en suelos arenosos con baja CIC.

**Tabla 10.** Rangos interpretativos para Magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ) intercambiable.

Clase	Mg ( $\text{Cmol}^{(+)} \text{kg}^{-1}$ ) Muy baja
Muy bajo	$\text{Mg} < 0,5$
Bajo	$0,5 \leq \text{Mg} < 1,3$
Medio	$1,3 \leq \text{Mg} < 3,0$
Alta	$\text{Mg} \geq 3,0$

Fuente: SAGARPA (2012).

#### 2.2.6.6. El sodio intercambiable en el suelo

Aunque el Na no es un nutriente esencial, en algunos casos puede reemplazar al K. Muchas plantas tienen mecanismos que reducen la absorción de Na, evitando síntomas de toxicidad ya que este se almacena en tallos, troncos y raíces. La intoxicación por sodio se manifiesta como manchas necróticas en las hojas, y su exceso puede causar deficiencias en otros cationes como K, Ca y Mg. (SAGARPA, 2012).

**Tabla 11.** Rangos interpretativos para sodio intercambiable.

Clase	Na (Cmol (+)/kg)
Muy Baja	$0,0 \leq \text{Na} < 0,3$
Baja	$0,3 \leq \text{Na} < 0,6$
Normal	$0,6 \leq \text{Na} < 1$
Alto	$1 \leq \text{Na} < 1,5$
Muy Alto	$\text{Na} \geq 1,5$

Fuente: SOIL SURVEY STAFF (1993).

### 2.2.7. Distribución espacial

La distribución espacial está influenciada por diversos factores en diferentes escalas, desde global hasta local. Evaluar el estado actual de los recursos del suelo en un área requiere analizar la distribución espacial de características a partir de muestreos de campo y procesos de interpolación geográfica, generando así imágenes y mapas temáticos. (Benítez *et al.*, 2016).

La variabilidad espacial de las propiedades físicas de la tierra en campos agrícolas está relacionados con la formación geológica del suelo, aunque prácticas de labranza y manejo pueden influir. Estos factores interactúan a diferentes escalas espaciales y temporales, modificándose localmente por procesos de erosión y sedimentación. (Zhu, 2001).

La variabilidad de los indicadores de calidad de la tierra es única debido a los múltiples procesos involucrados en su formación, los cuales están controlados por factores como el clima, el material parental, la biología, la topografía y el tiempo (Jaramillo, 2012). Además, la variabilidad espacial de estos indicadores en tierras agrícolas se ve influenciada por las propiedades geológicas de la tierra y por el tipo y tecnología de cultivo. (Déleg, 2018).

Los cambios espaciales en las tierras agrícolas pueden analizarse mediante métodos geoestadísticos (Vásquez, 2010). Estos estudios permiten evaluar la autenticidad de la distribución espacial de las mediciones, constituyendo una herramienta esencial para entender la variabilidad espacial de las propiedades de la tierra. A partir de los puntos de muestreo, se pueden estudiar datos y delinear áreas según su distribución espacial (Vendrusculo, 2001). La interpretación de este comportamiento depende de varios factores, lo que requiere un amplio conocimiento sobre sus características y los elementos que influyen en ella. Según Jaramillo (2012), la variabilidad total es expresada de esta manera:

Variación total = T + DE + azar Donde:

T= tendencia espacial DE= dependencia espacial

Azar= variabilidad aleatoria, que no puede relacionarse con causas conocidas

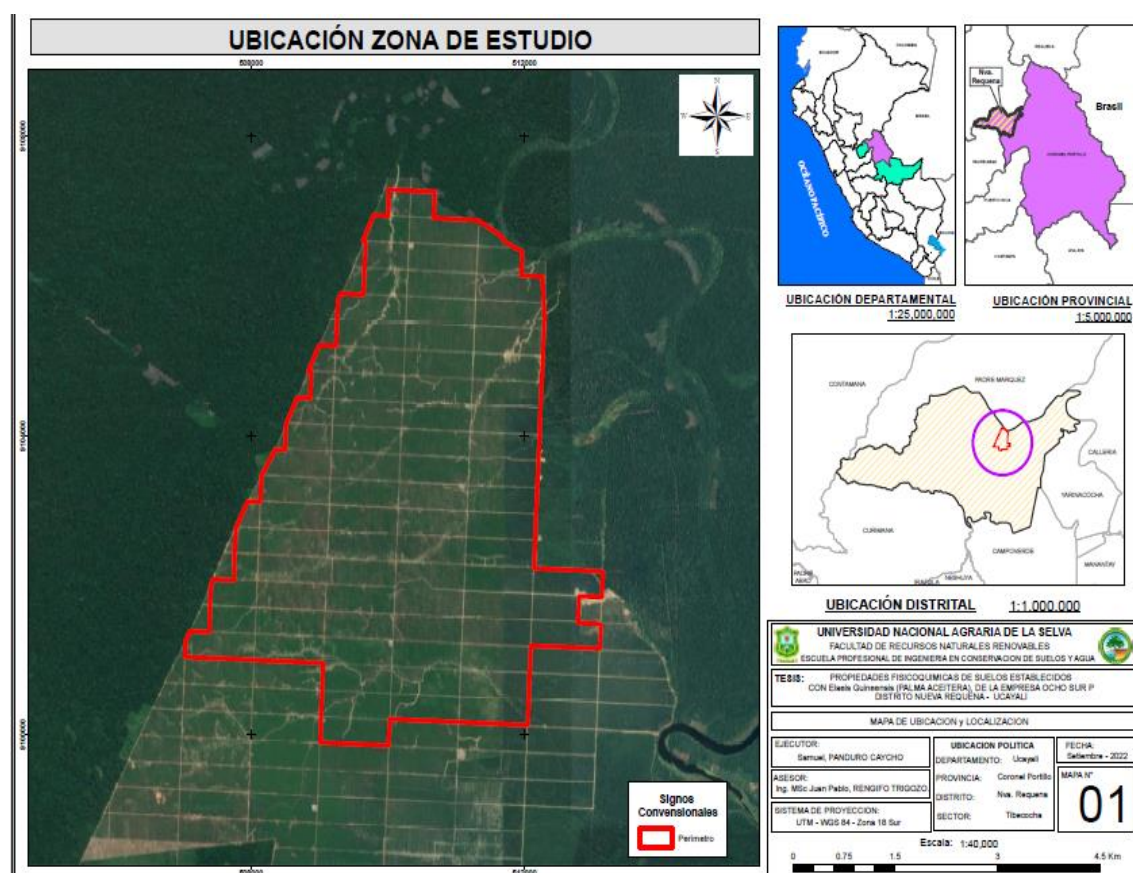
### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Lugar de ejecución

La zona se encuentra en los predios con cultivo de *E. guineensis* que corresponden a las plantaciones de la empresa Ocho Sur P, está ubicado en la margen izquierda del río Aguaytía, Políticamente perteneciente al departamento de Ucayali, provincia de coronel Portillo, distrito de Nueva Requena. Toda el área tiene una extensión de 7 500 ha, de los cuales 2 572,87 ha son plantaciones en producción de *E. guineensis*, subdivididas en 81 parcelas, cada parcela tiene una extensión de 35,6 ha.

**Tabla 12.** Coordenadas UTM del Datum WSG84 de la zona 18 L del área de plantación de la empresa Ocho Sur P.

Sector	Coordenadas		Altitud (msnm)
	Este	Norte	
Ocho Sur P	497450	9079293	163



**Figura 1.** Mapa de ubicación con parcelas de *E. guineensis* en el sector Ocho Sur P.

## **3.2. Descripción del área de estudio**

### **3.2.1. Fisiografía**

La zona está caracterizada por unidades fisiográficas como lomas, mesetas y planicies de gran extensión.

### **3.2.2. Suelo**

Los suelos de Pucallpa son caracterizados por presentar pH que van de extremadamente a fuertemente ácidos, con bajos a medios contenidos de MO, P, K y capacidad de cambio, con texturas finas a medias, de las clases franco, franco arcillosas y franco arenosas.

### **3.2.3. Clima y ecología**

Tiene un clima cálido húmedo o tropical-templado-lluvioso similar al de la llanura amazónica, caracterizado por una precipitación media anual de 1870 mm y una temperatura de 25 centígrados o superior, sin cambios térmicos invernales significativos, se encuentra ubicado en la zona de vida Bosque Húmedo Premontano (bh-PMT) (Holdridge, 1986).

### **3.2.4. Accesibilidad**

El área de estudio es accesible por vía terrestre a través de la carretera Federico Basadre, que conecta Tingo María con campo verde Von Humboldt, aproximadamente 320 km. Se accede a la margen izquierda por una carretera afirmada desde campo verde hasta Nuevo Requena, con 20 km de carretera afirmada, y se estima un tiempo de 90 minutos desde Nuevo Requena hasta las parcelas cultivadas de *E. guinensis* pertenecientes a la empresa Ocho Sur P. También se puede acceder por vía fluvial a través del río Aguaytía.

## **3.3. Materiales y equipos**

### **3.3.1. Materiales**

Imagen satelital de Google Earth con un mapa base delimitado y un mapa fisiográfico que muestra cada unidad para analizar la distribución espacial de los parámetros fisicoquímicos. Se utilizaron herramientas como una wincha de 5 m, eclímetro, bolsas plásticas, lampas, picos, etiquetas para las muestras, lapiceros, machete, planos del mapa base, carta cartográfica, tamices, balanza analítica, pipetas, picetas, termómetro, ácido clorhídrico, peachímetro y reactivos para los análisis de suelo.

### **3.3.2. Equipos**

Cámara fotográfica, sistema de posicionamiento global (GPS), laptop Toshiba y programa ArcGis.

### **3.4. Tipo y nivel de investigación**

#### **3.4.1. Tipo de la investigación**

Descriptivo. Es descriptivo porque se describirá en un solo momento las características de las diferentes unidades del suelo.

#### **3.4.2. Nivel de la investigación**

Por su fue probabilístico ya que fue aplicado un muestreo para conseguir datos representativos.

### **3.5. Método y diseño de la investigación**

#### **3.5.1. Método de la investigación**

Es de alcance descriptivo – comparativo y explicativo

Es de alcance descriptivo – comparativo, explicativo, por lo que fue descrito y fue realizado una comparación de las distintas unidades en análisis.

#### **3.5.2. Diseño de la investigación**

Fue transversal (Hernández et al., 2006), ya que se recolectó los datos en un único momento a través del muestreo y estudio de suelos, evaluando sus propiedades fisicoquímicas, en un período de seis meses.

#### **3.5.3. Población y muestra**

La población fueron las parcelas del cultivo de *E. guinensis* que pertenecen a las plantaciones de la empresa Ocho Sur P, en el distrito Nueva Requena, provincia de Coronel Portillo y departamento de Ucayali.

La muestra fueron los suelos muestreados en cada una de las parcelas con *E. guinensis* con sus respectivas características que presentan en la presente investigación.

#### **3.5.4. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

Se tomaron muestras de suelo de las parcelas con cultivos de *E. guinensis* siguiendo el protocolo establecido y las recomendaciones correspondientes. Los estudios fisicoquímicos fue ralizado en el laboratorio de análisis de suelo de la Universidad Nacional Agraria de la Molina (Lima, Perú) y en el Laboratorio MAGALAB (Francia).

#### **3.5.5. Análisis de datos**

Los datos se interpretaron al final del estudio, enfocándose en establecer inferencias a partir de la estadística descriptiva y otras técnicas estadísticas que permitieran conclusiones precisas sobre las relaciones entre las propiedades fisicoquímicas de tierras en las parcelas cultivadas con *E. guinensis*.

### 3.6. Metodología

#### 3.6.1. De las propiedades fisicoquímicas del suelo en una plantación establecida con *Elaeis guineensis*

##### - **Orientación metodológica**

Para efectos de la investigación, esta se adecuó a la forma experimental, considerando 9 zonas (Zona E, Zona F, Zona G, Zona H, Zona I, Zona J, Zona K y Zona L) con un número no balanceados en cada una de ellas que fueron las parcelas de estudio en donde se encontraron instaladas la especie *E. guineensis*.

Los métodos de muestreo y evaluación de las áreas de cultivo de *E. guineensis* se basaron en las recomendaciones de John Doran y del USDA, y fueron aplicados por Gustavo Moscatelli y Vicente Nakama del INTA. Se tomaron seis muestras por sistema a profundidades de 0 a 10, 10 a 20 y 20 a 30 cm. Para precisar los indicadores de calidad de tierra en tres sistemas de aprovechamiento, se evaluó la composición fisicoquímica del suelo utilizando métodos adecuados a las condiciones del área estudiada.

##### - **Recopilación de información**

Se acopió toda la información existente de la zona; así como material cartográfico, mapa base del área, información de suelos, sistemas de uso actual, luego se procedió a realizar un estudio del sector donde se fijaron los puntos de muestreo para su análisis respectivo y acomodo del diseño estadístico; identificando los parámetros que fueron analizados en campo de forma directa y aquellos parámetros fueron estudiados en laboratorio.

##### - **Coordinación de los trabajos a realizar**

En esta fase se realizó el trabajo de campo, haciendo visitas directas de las zonas de cultivo con *E. guineensis*, con la finalidad de verificar in situ las características del área en cuanto a diseño de la plantación, edad de la plantación, fisiografía, accesibilidad, etc, que ayuden a cumplir los objetivos del estudio. Realizando las siguientes labores:

##### - **Reconocimiento del lugar**

Se realizó el reconocimiento de la zona de análisis teniendo en consideración las similitudes de la pendiente, geomorfología del terreno y otros, a través de datos cartográficos físicos y digitales recopilados con el fin de elaborar la demarcación de la cuenca y con esto crear un mapa base para la ubicación de las áreas a muestrear y las calicatas, y el secado de muestras de suelo para el laboratorio.

##### - **Ubicación de los puntos para muestreo**

Con la utilización de los mapas del área, se hizo el reconocimiento de la zona de analisis para determinar los patrones edáficos de cada área, ubicando los puntos de

muestreo de suelos y las respectivas calicatas para determinar las características fisicoquímicas y el perfil del suelo de las plantaciones con *E. guineensis*.

- **Muestreo de suelos**

Se realizó a través de la lectura del perfil de la calicata por cada horizonte de diagnóstico, recolectando un promedio de 3 horizontes por calicatas y fueron depositados en una bolsa de plástico en promedio de peso de 1 kg etiquetado y anotado sus respectivas coordenadas para cada parcela con plantación de *E. guineensis*.

- **Lecturas del perfil de las calicatas**

Las calicatas para la toma de muestras para el estudio fisicoquímico se ubicaron en zonas representativas de las plantaciones de *E. guineensis*, para luego ser georreferenciarlas con un GPS, inmediatamente después se realizó la excavación de esta con medidas de 1.00 m largo x 0.80 m ancho x 1.00 m profundidad, donde se evaluaron los horizontes y su respectiva descripción, para luego llevarlo al laboratorio para su análisis.



**Figura 2.** Lectura del perfil del suelo por cada horizonte de diagnóstico en las parcelas de *E. guineensis*.

- **Análisis de las muestras de suelo en laboratorio**

El estudio fisicoquímico de las muestras de suelo se realizó en el Laboratorio de Suelos de la Universidad Nacional Agraria la Molina (Lima Perú) y el Laboratorio MAGALAB de (Francia). Los parámetros químicos evaluados consistieron en la fertilidad del suelo basado en los nutrientes móviles (Tabla 13).

**Tabla 13.** Métodos para determinar los indicadores químicos del suelo.

<b>Parámetros físicos</b>	<b>Método de su determinación</b>
Textura del suelo	Método del hidrómetro de bouyoucos
Densidad aparente	Por volumen, peso húmedo y seco
<b>Parámetros químicos</b>	
Materia orgánica	Método de Walkley y Blakc
Reacción del suelo	Método del potenciómetro
Fósforo disponible	Método de Olsen
Conductividad eléctrica	Conductímetro
Calcio (Ca)	Absorción atómica
Magnesio (Mg)	Absorción atómica
Potasio (K)	Absorción atómica
Sodio (Na)	Absorción atómica
CIC	Método acetato de amonio
Aluminio más Hidrógeno	Método de Yuan
Potasio disponible	Método del ácido sulfúrico

fuentes: Moscatelli *et al.* (2005).

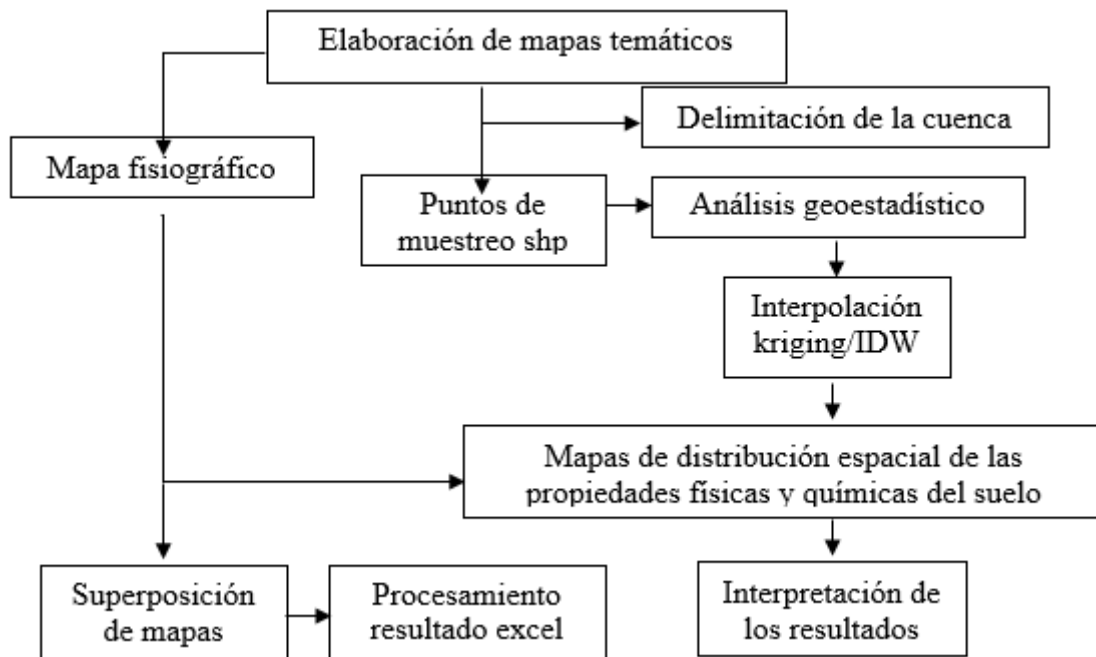
### **3.6.2. De la distribución espacial de las características fisicoquímicas del suelo en el área establecida con palma aceitera**

#### **- Elaboración de los mapas temáticos de las características fisicoquímicas**

Para elaborar los mapas temáticos sobre la distribución espacial de las zonas de análisis, se optó por utilizar el Sistema Universal Transversal Mercator (UTM) y la proyección del Datum WGS 84 zona 18L Hemisferio Sur.

Con base en los resultados de los parámetros fisicoquímicos de la tierra conseguidos en el laboratorio, ingresados al sistema GIS, y sus respectivas coordenadas determinadas en el software, se ubicaron espacialmente parcelas de muestreo en la región de Ocho Sur, para lo cual se utilizó el método kriging ordinario, ya que es adecuado para modelar datos precisos en toda la zona de cultivo *E. guineensis* y un interpolador kriging del análisis espacial, que ayuda a generar superficies desde aproximaciones geoestadísticas para definir áreas de tipo ráster, ya que se supone que el valor medio constante de los resultados del análisis del suelo se desconoce y luego se convierten a polígonos en formato shp. Los mapas temáticos se generan en formato raster con una escala de trabajo de 1/50,000. Se clasifican los suelos

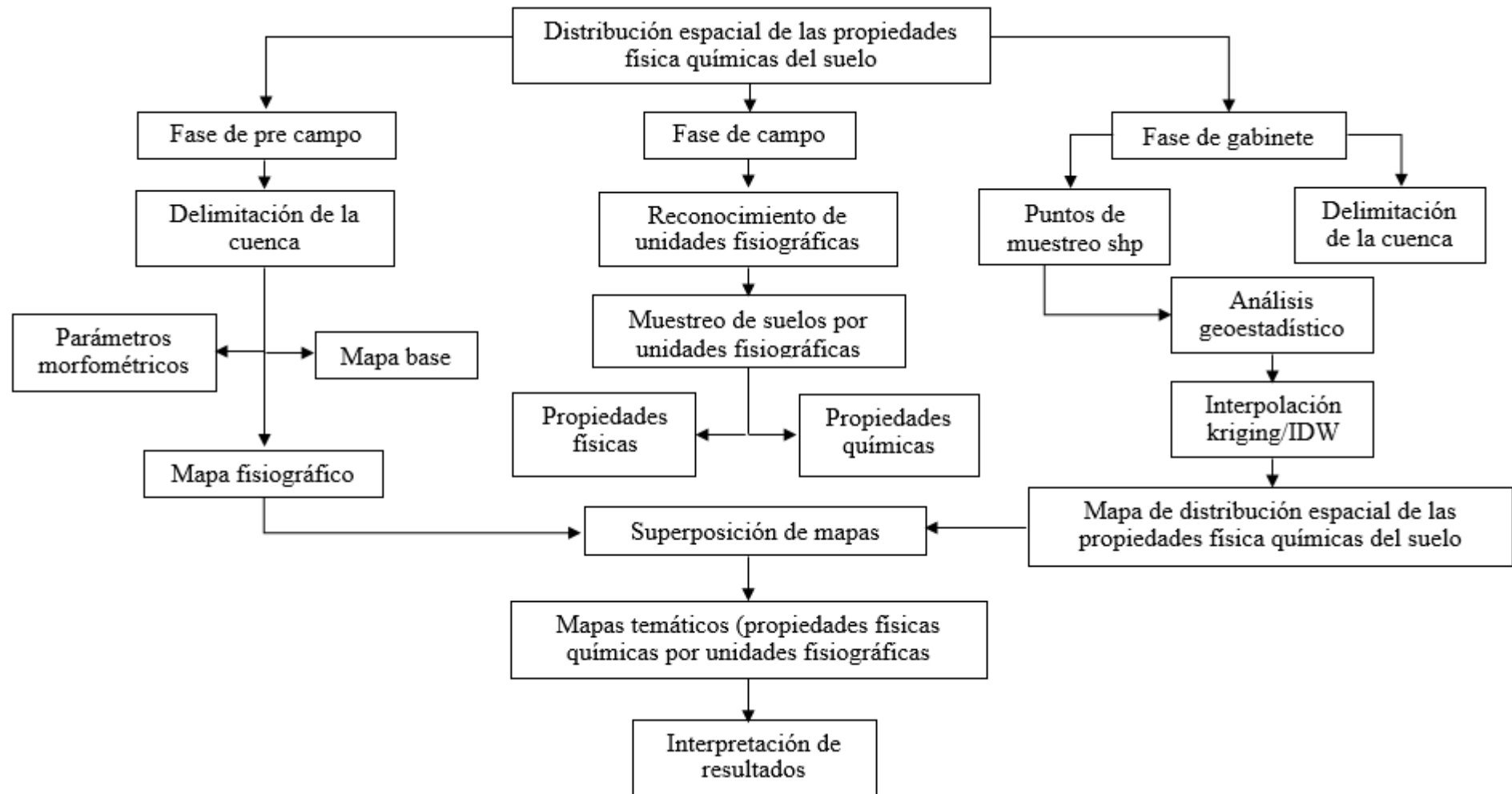
según sus propiedades y características, y los criterios se interpretan según su fertilidad. (Figura 3, 4 y 5).



**Figura 3.** Diagrama metodológico para elaborar mapa de distribución espacial de los suelos de parcelas con cultivo *E. guineensis*



**Figura 4.** Diagrama metodológico del trabajo de campo para elaborar mapas de distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos



**Figura 5.** Resumen del diagrama metodológico para elaborar mapas de distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos

### 3.6.3. De la correlación de las propiedades físicoquímicas del suelo por niveles de profundidad en una plantación establecida con *Ealesis guineensis*

#### - Análisis estadístico para las propiedades físicoquímicas

En cuanto a las propiedades físicoquímicas los valores conseguidos no cumplen una distribución normal, y se analizará a través de la prueba H de Kruskal-Wallis, que es una prueba no paramétrica, teniendo como tratamientos a las zonas de cultivo de *E. guineensis* siendo estas: Zona E, Zona F, Zona G, Zona H, Zona I, Zona J, Zona K y Zona L con números de repeticiones variables. Teniendo como premisas

- H0: las medianas de la población son iguales.
- H1: las medianas de la población no son iguales

El estadístico está dado por:

$$K = (N - 1) \frac{\sum_{i=1}^g n_i (\bar{r}_i - \bar{r})^2}{\sum_{i=1}^g \sum_{j=1}^{n_i} (r_{ij} - \bar{r})^2}$$

Donde:

$n_i$ : es el número de observaciones en el grupo i

$r_{ij}$ : es el rango (entre todas las observaciones) de la observación j en el grupo

$r_i$ : es la sumatoria de los  $r_{ij}/n_j$

$r$ : es el promedio de  $r_{ij}$

Finalmente, el p-value (valor p) es aproximado por  $\Pr(\chi_{g-1}^2 \geq K)$  si algún  $n_i$  es pequeño (>5) la distribución de K puede ser distinta de la chi-cuadrado.

#### - Análisis estadístico para la relación de las propiedades físicoquímicas del suelo por calicata

Para definir grado de relación entre las propiedades químicas del suelo y las calicatas, estará basado en la prueba Rho de Spearman (Martínez *et al.*, 2009).

$$r_s = 1 - \frac{6 \sum d_i^2}{n(n^2 - 1)}$$

Donde:

$d_i = r_{xi} - r_{yi}$  es la diferencia entre los rangos de X e Y

Las escalas de interpretación, que se ofrecen a continuación:

**Escala 1:**

- El coeficiente de correlación oscila entre  $-1$  y  $+1$ , el valor  $0$  que indica que no existe asociación lineal entre las dos variables en estudio.

**Escala 2:**

- Correlación negativa perfecta.....  $-1$
- Correlación negativa fuerte moderada débil.....  $-0,5$
- Ninguna correlación.....  $0$
- Correlación positiva moderada Fuerte.....  $+0,5$
- Correlación positiva perfecta.....  $+1$

**Escala 3:**

- Perfecta  $R = 1$
- Excelente  $R = 0.9 \leq R < 1$
- Buena  $R = 0.8 \leq R < 0.9$
- Regular  $R = 0.5 \leq R < 0.8$
- Mala  $R < 0.5$  (6)

**Escala 4:**

- Escasa o nula.....  $0 - 0,25$
- Débil.....  $0,26-0,50$
- Entre moderada y fuerte.....  $0,51- 0,75$
- Entre fuerte y perfecta.....  $0,76- 1,00$

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Las propiedades fisicoquímicas del suelo en una plantación de *E. guineensis*

#### 4.1.1. Propiedades físicas del suelo

##### 4.1.1.1. Textura del suelo

En la tabla 14, se observa los valores de la textura del suelo en las zonas de cultivo con *E. guineensis*, de la empresa Ocho Sur P, estas presentaron una textura franco arenosa en todas las zonas, Según Sánchez (2007), la textura de la tierra nos indica la proporción de arena, limo y arcilla que tiene. Estas partículas, menores a 2 mm, son clave para determinar las características del suelo.

**Tabla 14.** Textura de los suelos encontrados en las zonas de cultivo de *E. guineensis*. de la empresa Ocho Sur P

Textura/Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
Arena (%)	69	65	63	63	59	56	51	56
Limo (%)	21	21	23	23	24	27	30	25
Arcilla (%)	10	13	14	14	17	17	19	19
Textura	FrA	FrAr	FrAr	FrAr	FrAr	FrAr	FrAr	FrAr

Fr: franco, A: Arenoso

Zavaleta (1992) señala que las clases texturales dependen de diversas combinaciones de arena, limo y arcilla, resultando en casi infinitas variaciones. Henríquez y Cabalceta (1999) destacan que conocer la clase textural de un suelo ayuda a identificar sus características generales, lo que permite recomendar prácticas de manejo adecuadas. En las zonas de cultivo con *E. guineensis* de la empresa Ocho Sur P, se observó una textura franco arenosa, que es favorable para la mayoría de las plantas, ya que la arena favorece un drenaje rápido y previene el encharcamiento, así mismo Campos y Cornelio (2006) afirma que las tierras arcillosas son ideales para los cultivos ya que cuentan con las mejores propiedades para asegurar la sanidad y vigor del cultivo, los cuales de acuerdo a los resultados obtenidos son favorables para el tipo de cultivos que se evalúan.

##### 4.1.1.2. Densidad aparente

Los resultados comparados a través del ANOVA para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la variable densidad aparente del suelo indica que a un nivel de confianza del 95% cuentan con evidencias estadísticas afirmando que las medianas de la DA

para las 8 zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son diferentes, es decir al menos una zona de cultivo con *E. guineensis* será diferente (tabla 15).

**Tabla 15.** ANVA para la variable densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ ) de las zonas de cultivos con *E. guineensis* de la empresa Ocho Sur P

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	$H_{k-w}$	$p \leq 0.05$
Densidad aparente	7	E	1,56	71,50	22,47	0,0020
		F	1,52	55,55		
		G	1,52	49,61		
		H	1,49	47,79		
		I	1,49	38,29		
		J	1,46	28,09		
		K	1,43	19,00		
		L	1,45	27,40		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 16 permite deducir que las zonas de cultivo con *E. guineensis* E, F, G y H, son iguales estadísticamente, aunque el mayor valor se encuentra en la zona de cultivo E ( $1,56 \text{ g/cm}^3$ ). La DA es una característica del suelo muy comúnmente empleada en el campo agrícola, se relaciona básicamente con las prácticas de empleo de los suelos y de las aguas (Folegati et al., 2001). Según USDA (2017) en suelos de textura fina la DA cambia entre 1 y  $1,2 \text{ g/cm}^3$ , en tanto que en suelos arenosos es mayor y cambia entre 1,2 y  $1,6 \text{ g/cm}^3$ . De los resultados conseguidos afirmamos que la zona de cultivo establecido con *E. guineensis* y las demás zonas de cultivo se están dentro de un suelo arenoso medianamente compactado (Navarro, 2003) y según USDA (2017) estos valores de densidad aparente son ideales para el crecimiento de las raíces. Según la Norma Oficial Mexicana (NOM-021-SEMARNAT-2000): todas las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la empresa Ocho Sur P se encuentran dentro de suelos arenosos, recordemos que la DA del suelo según Navarro (1994) es la relación entre la masa de los sólidos y el volumen total que éstos ocupan, considerando el espacio poroso que existe entre las partículas sólidas y de allí podemos diferenciar que tipo de suelo es donde se instaló el cultivo.

**Tabla 16.** Comparaciones post-hoc para la densidad aparente ( $\text{g/cm}^3$ )

Zonas de cultivo	Medianas ( $\text{g/cm}^3$ )	$p > 0.05$
------------------	------------------------------	------------

Zona K	1,43	a	
Zona L	1,45	a	b
Zona J	1,46	a	b
Zona I	1,49	a	b
Zona H	1,49		b
Zona G	1,52		b
Zona F	1,52		b
Zona E	1,56		b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.1.2. Propiedades químicas del suelo

##### 4.1.2.1. Reacción del suelo o pH

Los resultados comparados por el ANOVA de una sola vía para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la variable reacción del suelo o pH del suelo detalla que a un nivel de confianza del 95% cuentan con evidencias estadísticas que afirman que las medianas del pH para las 8 zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son iguales, (tabla 17).

**Tabla 17.** ANVA para la variable pH.

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
pH	7	E	4,09	34,00	8,30	0,306
		F	4,26	51,91		
		G	4,15	48,58		
		H	4,10	40,71		
		I	4,12	38,71		
		J	4,09	35,14		
		K	4,05	28,33		
		L	4,02	33,10		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

Según Acebedo *et al.* (2005), el análisis del pH es fundamental para optimizar la fertilización, seleccionar plantas adecuadas y aumentar los rendimientos de las cosechas. Fassbender (1987) afirma que el pH del suelo es la propiedad química primordial

para el cultivo. Se ha observado que los cultivos de *E. guineensis* se desarrollan en suelos muy ácidos. Fassbender y Bornemisza (1987) indican que el pH óptimo para el crecimiento vegetal varía entre 6,5 y 7,5, ya que valores fuera de este rango pueden causar toxicidad. La tierra con pH entre 5,8 y 7,5 son más propensos a problemas que aquellos con pH muy alto o bajo. Además, los suelos extremadamente ácidos carecen de nutrientes disponibles.

#### 4.1.2.2. Materia orgánica

Los resultados comparados por el ANOVA de una sola vía para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en el contenido de MO muestra que a un nivel de confianza del 95% cuentan con evidencias estadísticas afirmando que las medianas de la materia orgánica para las zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son diferentes, (tabla 18).

**Tabla 18.** ANVA para la variable materia orgánica (%)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
Materia orgánica	7	E	1,23	74,00	28,27	0,0002
		F	0,86	24,73		
		G	0,84	27,28		
		H	0,93	35,07		
		I	1,01	44,42		
		J	1,12	59,45		
		K	1,08	56,44		
		L	1,13	59,60		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

La prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis mostrado en la tabla 19 permite deducir que las zonas de cultivo con *E. guineensis* E, L, J, K e I, para la variable contenido de materia orgánica son iguales estadísticamente, aunque el mayor valor se encuentra en la zona de cultivo E (1,26 g/cm<sup>3</sup>), según la Soil Survey Staff (1993) la zona de cultivo E y las demás zonas antes mencionadas tienen un nivel bajo o pobre de MO, en consecuencia la zonas de la empresa Ocho Sur P es un zona de selva que por la instalación del cultivo mismo ha perdido cobertura y por ende contenido de materia orgánica que tendría que ser incorporado para mejorar los valores que se obtenido, según Betancourt *et al.* (1999) Aluden que diversos estudios revelan que los suelos están más expuestos a los agentes erosivos cuando los campos están sin vegetación, y los más afectados son los deficientes en materia orgánica, dadas las

condiciones del terreno en la presente investigación corroboraría lo indicado por estos autores, además según Navarro (2003) demostró que el contenido de MO varía ampliamente: 2% mayor en los valles aluviales costeros, menor en las zonas montañosas y promedio en el bajo Amazonas. Los niveles bajo, medio y muy alto deben analizar regionalmente según las necesidades de cada cultura específica.

**Tabla 19.** Comparaciones post-hoc para el contenido de materia orgánica (%)

Zonas de cultivo	Medianas (%)	p > 0.05	
Zona F	0,86	a	
Zona G	0,84	a	b
Zona H	0,93	a	b
Zona I	1,01		b
Zona K	1,08		b
Zona J	1,12		b
Zona L	1,13		b
Zona E	1,26		b

*Letras distintas por columnas indican diferencias significativas, según prueba de Kruskal-Wallis*

#### 4.1.2.3. El nitrógeno

Los resultados comparados por el ANOVA de una sola vía para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en el porcentaje de nitrógeno disponible muestra que a un nivel de confianza del 95% cuentan con evidencias estadísticas significativas afirmando que las medianas del nitrógeno disponible para las zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son diferentes, es decir, al menos una zona de cultivo con *E. guineensis* será diferente.

**Tabla 20.** ANVA para la variable nitrógeno disponible (%)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
Nitrógeno	7	E	0,06	77,50	21,63	0,0011
		F	0,04	29,59		
		G	0,04	28,81		
		H	0,04	34,61		
		I	0,05	42,79		

J	0,05	52,68
K	0,05	57,72
L	0,05	60,50

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

Ante la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis que se muestra en la tabla 21 arroja que las zonas de cultivo con *E. guineensis* E, L, J y K, para la variable nitrógeno disponible tienen los mayores valores y son iguales estadísticamente, aunque el mayor valor se encuentra en la zona de cultivo E (0.06 %), según los valores sugeridos por la Soil Survey Staff (1993) todas las parcelas tienen un bajo contenido de N disponible, según Fernández (2006) manifiesta que el N llega al suelo debido a los aportes de MO y a la fijación bacteriana a partir del aire, por lo que Navarro (2003) añade que es recomendable un abonamiento con nitrógeno para cada una de las parcelas, respetando las necesidades nutricionales de la especie.

**Tabla 21.** Comparaciones post-hoc para el nitrógeno disponible (%)

Zonas de cultivo	Medianas (g/cm <sup>3</sup> )	p > 0.05
Zona F	0,04	a
Zona G	0,04	a b
Zona H	0,04	a b
Zona I	0,05	a b
Zona K	0,05	b
Zona J	0,05	b
Zona L	0,05	b
Zona E	0,06	b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas, según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.1.2.4. El fósforo disponible

Los resultados obtenidos por el ANOVA de una sola vía para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en el contenido de fósforo disponible muestra que a un nivel de confianza del 95% cuentan con evidencias estadísticas afirmando que las medianas del nitrógeno disponible para las zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son iguales.

**Tabla 22.** ANVA para la variable fósforo disponible (ppm)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
Nitrógeno	7	E	3,07	75,00	8,95	0,256
		F	1,80	43,23		
		G	1,99	50,83		
		H	1,63	36,50		
		I	1,82	40,46		
		J	1,87	39,55		
		K	1,50	32,11		
		L	1,10	27,00		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

Navarro (2003) señala que el P es el principal limitante del rendimiento de los cultivos. Este nutriente es esencial para las plantas, ya que participa en diversos procesos bioquímicos a nivel celular. El aporte al sistema ocurre principalmente a través de fertilizantes fosfatados, y las pérdidas pueden producirse por extracción en los granos cosechados, erosión, escurrimiento y lixiviación (de poca importancia). En el presente estudio los valores colocan a cada una de las zonas de cultivo en un nivel muy bajo de contenido de fósforo, por lo que una recomendación sería aportar fósforo a través de fertilizaciones a cada una de las zonas, teniendo en cuenta también el requerimiento nutricional de *E. guineensis*. La selva baja tiene suelos pobres por defecto debido a la alta precipitación y las prácticas poco eficientes de la agricultura migratoria, retirada la cobertura vegetal los suelos son presa fácil de la erosión.

#### 4.1.2.5. El potasio disponible

Los resultados comparados por el ANOVA para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la variable potasio disponible del suelo define que a un nivel de confianza del 95% se encuentran evidencias estadísticas afirmando que las medianas de la DA para las 8 zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son diferentes.

**Tabla 23.** ANVA para la variable potasio disponible (kg/ha)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
Nitrógeno	7	E	114,00	36,50	18,26	0,0109
		F	110,33	38,05		

G	115,84	43,64
H	130,17	51,00
I	132,84	53,88
J	118,00	39,23
K	100,33	25,56
L	76,00	11,70

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis el cual se muestra en la tabla 24 arroja que las zonas de cultivo con *E. guineensis* I e H, para la variable potasio disponible tienen los mayores valores y son iguales estadísticamente con 132,84 kg/ha y 130,17 kg/ha respectivamente, determinando esto que es un suelo con niveles de potasio disponible muy bajo según la Soil Survey Staff (1993), en el cual también podríamos incluir a todas las zonas de cultivo con *E. guineensis*, Según Navarro (2003) Es un nutriente esencial para todos los organismos vivos. Dado que los vegetales requieren altas cantidades de este macroelemento, similar al N, se hace indispensable implementar un plan de fertilización adecuado, podemos decir entonces que de acuerdo con el requerimiento nutricional del cultivo podríamos añadir o conservar la cantidad de K disponible en el suelo, además USDA (2017) añade que el potasio tiene un rol crítico para reducir el potencial osmótico del agua celular, disminuyendo así la pérdida de agua por las hojas e incrementa la habilidad de las células radicales para absorber el agua.

**Tabla 24.** Comparaciones post-hoc para la variable potasio disponible (kg/ha)

Zonas de cultivo	Medianas (kg/ha)	p > 0.05		
Zona L	76,00	a		
Zona K	100,33	a	b	
Zona E	114,00	a	b	c
Zona F	110,33		b	c
Zona J	118,00		b	c
Zona G	115,84		b	c
Zona H	130,17			c

Zona I 132,84 c

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas, según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.1.2.6. El calcio

El ANOVA de una sola vía indica para las zonas de cultivo con *E. guineensis*, con un nivel de confianza del 95%, hay evidencia estadística de que las medianas del variable calcio del suelo son iguales para las 8 zonas de cultivo de la empresa Ocho Sur P.

**Tabla 25.** ANVA para la variable calcio (meq/100g)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
Calcio	7	E	1,45	48,00	9,60	0,212
		F	1,06	25,32		
		G	1,18	34,50		
		H	1,49	44,36		
		I	1,57	46,96		
		J	1,25	46,59		
		K	1,71	46,11		
		L	1,54	52,30		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

El calcio en el suelo es un elemento químico esencial que transforma un suelo estéril en fértil. Su presencia varía, con un promedio estimado del 1,37%. Los resultados indican una baja disponibilidad de calcio; cuando los cultivos carecen de Ca, no solo es un problema de suelo, sino también de deficiencia en cada parte de la planta. Según Sandoval et al. (2012) en general la utilización del calcio en forma de hidróxido sirve como método de estabilización para el mejoramiento de suelos ácidos, el suelo cambia considerablemente sus características, mejorando casi todas sus propiedades.

#### 4.1.2.7. El magnesio

Los resultados comparados por el ANOVA de una sola vía para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la variable magnesio de la tierra explica que a un nivel de confianza del 95% encuentran evidencias estadísticas afirmando que las medianas de la variable magnesio del suelo para las 8 zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son diferentes, es decir al menos una zona de cultivo será diferente.

**Tabla 26.** ANVA para la variable magnesio (meq/100g)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
Magnesio	7	E	0,66	17,50	20,03	0,0055
		F	0,62	16,77		
		G	0,79	35,86		
		H	0,88	44,50		
		I	1,19	51,58		
		J	1,01	53,00		
		K	1,02	48,39		
		L	0,93	42,60		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se puede observar que las zonas de cultivo con *E. guineensis* J, I, K, H, L y L para la variable magnesio del suelo tienen los mayores valores y son iguales estadísticamente, aunque el mayor valor se encuentra en la zona de cultivo I (1,19 meq/100g), determinando esto que es un suelo con niveles de magnesio en un nivel bajo según la Soil Survey Staff (1993). Según Vistoso y Martínez-Lagos (2020) el magnesio resulta para las plantas un macronutriente que frecuentemente no se considera en el plan de fertilización y que puede restringir el crecimiento, desarrollo y producción de cultivos agrícola, bajos niveles de magnesio en el suelo pueden generar deficiencias hasta en los animales.

**Tabla 27.** Comparaciones post-hoc para la variable magnesio (meq/100g)

Zonas de cultivo	Medianas (meq/100g)	p > 0.05	
Zona F	0,62	a	
Zona E	0,66	a	b
Zona G	0,79		b
Zona L	0,93		b
Zona H	0,88		b
Zona K	1,02		b
Zona J	1,01		b

Zona I 1,19 b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas, según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.1.2.8. El sodio

Los resultados comparados por el ANOVA para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la variable sodio de la tierra detalla que a un nivel de confianza del 95% encuentran evidencias estadísticas afirmando que las medianas de la variable sodio del suelo para las 8 zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son iguales.

**Tabla 28.** ANVA para la variable Sodio (meq/100g)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
Sodio	7	E	0,15	5,00	13,04	0,069
		F	0,19	32,73		
		G	0,20	34,69		
		H	0,24	51,04		
		I	0,19	33,96		
		J	0,21	42,00		
		K	0,22	56,78		
		L	0,21	47,30		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

De acuerdo a los valores observados Castellanos (2000) refiere que las zonas de cultivo con *E. guineensis* tienen niveles de sodio muy bajo, aun teniendo los mayores valores la zona H, K y L, con 0,24, 0,22 y 0,21 meq/100g, según Almasoum (2000) el Na en el suelo o agua de riego afecta el crecimiento de las plantas; órganos como las raíces ven reducido su desarrollo y, por consiguiente, el rendimiento del cultivo. Según Goykovic y Saavedra (2007), el impacto de las sales en el cultivo varía según la fase de desarrollo en la que está la planta, siendo las etapas jóvenes más vulnerables que las adultas. La mayoría de los efectos de las sales son negativos y se manifiestan desde las primeras etapas fenológicas de la planta. En este sentido, la FAO (1994) informa que la mayoría de los suelos agrícolas con riego presentan problemas de sales debido a niveles freáticos elevados, lo que provocará la ascensión de agua con sales a la zona radical por capilaridad, constituyendo así una constante fuente de sales hacia las raíces.

#### 4.1.2.9. Capacidad de intercambio catiónico

Los resultados comparados por el ANOVA para las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la variable CIC del suelo detalla que a un nivel de confianza del 95% encuentran evidencias estadísticas afirmando que las medianas de la CIC del suelo para las 8 zonas de cultivo en la empresa Ocho Sur P son diferentes, es decir al menos una será diferente.

**Tabla 29.** ANVA para la variable capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)

Variable	Gl	Zonas	Medianas	Rangos	H <sub>k-w</sub>	p ≤ 0.05
CIC	7	E	3,01	25,00	19,89	0,0058
		F	2,76	21,86		
		G	2,97	29,44		
		H	4,11	44,54		
		I	4,14	52,00		
		J	4,26	52,55		
		K	4,66	48,06		
		L	4,43	53,50		

Prueba estadística: Kruskal-Wallis • Regla de decisión: Si  $p \leq 0.05$  se rechaza  $H_0$

Realizada la prueba no paramétrica de Kruskal-Wallis se puede observar que las zonas de cultivo con *E. guineensis* L, J, I, K y H para la variable CIC del suelo tienen los mayores valores y son iguales estadísticamente, no obstante, el mayor valor se encuentra en la zona de cultivo L (4,43 meq/100g), estableciendo esto que es un suelo con niveles bajos de capacidad de intercambio catiónico según Fassbender (1987) La CIC es una de las características clave de un suelo. Se encuentra correlación entre la textura del suelo y esta capacidad, que se incrementa en tierras de textura fina y disminuye en tierras de textura gruesa. Los suelos de arenas y margas arenosas, al ser pobres en arcilla coloidal y a menudo deficientes en humus, suelen presentar bajos valores de CIC en todas las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

**Tabla 30.** Comparaciones post-hoc para la variable capacidad de intercambio catiónico (meq/100g)

Zonas de cultivo	Medianas (g/cm <sup>3</sup> )	p > 0.05
Zona F	2,76	a
Zona E	3,01	a b

Zona G	2,97	a	b
Zona H	4,11		b
Zona K	4,66		b
Zona I	4,14		b
Zona J	4,26		b
Zona L	4,43		b

Letras distintas por columnas indican diferencias significativas, según prueba de Kruskal-Wallis

#### 4.2. De la correlación de las propiedades físicas químicas del suelo por niveles de profundidad

La matriz de correlación muestra los pares combinados de cada una de las características químicas de la tierra en las zonas de cultivo de la empresa Ocho Sur P (tabla 31), donde:

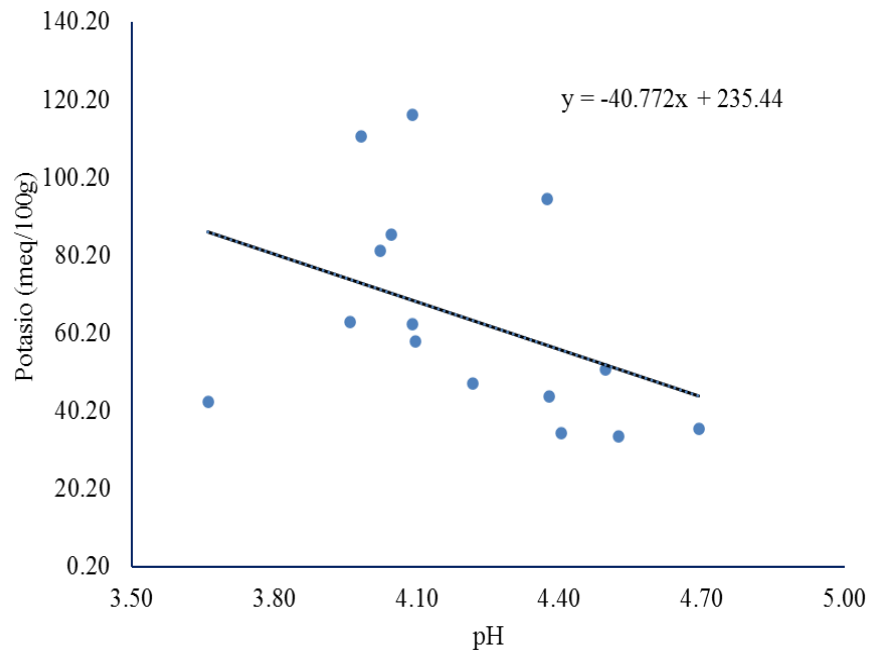
**Tabla 31.** Matriz de correlación de Spearman para las propiedades químicas del suelo por calicata en las 8 zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Variables	pH	MO	P	K	CIC	Ca	Mg	Na
<b>pH</b>	1	-0,33	0,16	-0,55*	-0,63*	0,09	0,50	0,25
<b>MO</b>	-0,33	1	-0,14	0,42	0,53*	0,47	0,64*	0,0009
<b>P</b>	0,16	-0,14	1	-0,01	-0,38	-0,23	-0,36	-0,20
<b>K</b>	-0,55*	0,42	-0,01	1	0,64*	0,37	0,66*	0,00
<b>CIC</b>	-0,63*	0,53*	-0,38	0,64*	1	0,22	0,64*	0,22
<b>Ca</b>	0,09	0,47	-0,23	0,37	0,22	1	0,66*	0,16
<b>Mg</b>	0,50	0,64*	-0,36	0,66*	0,64*	0,66*	1	-0,23
<b>Na</b>	0,25	0,0009	-0,20	0,00	0,22	0,16	-0,23	1

Variables: pH; MO; materia orgánica, P; fósforo, K; potasio, CIC; capacidad de intercambio cationico, Ca; Calcio, Mg; magnesio, Na; sodio.

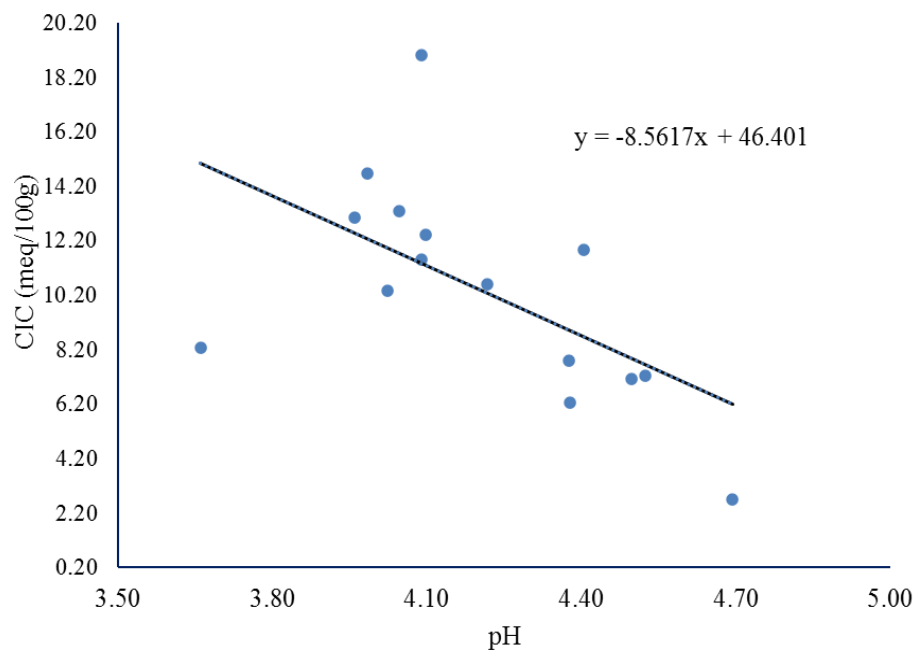
\*indica correlación

Se encontró una relación lineal negativa estadísticamente significativa, fuerte moderada débil (p-valor 0,035), entre el pH y el potasio del suelo en las zonas de cultivo con *E. guineensis* con un valor de -0,55. Osorio (2012) señala que el pH de la tierra es un buen indicador de la disponibilidad de nutrientes. En regiones lluviosas, los suelos suelen tener pH bajos ( $\leq 5,0$ ) y esto se asocia con una menor disponibilidad de calcio, magnesio y potasio.

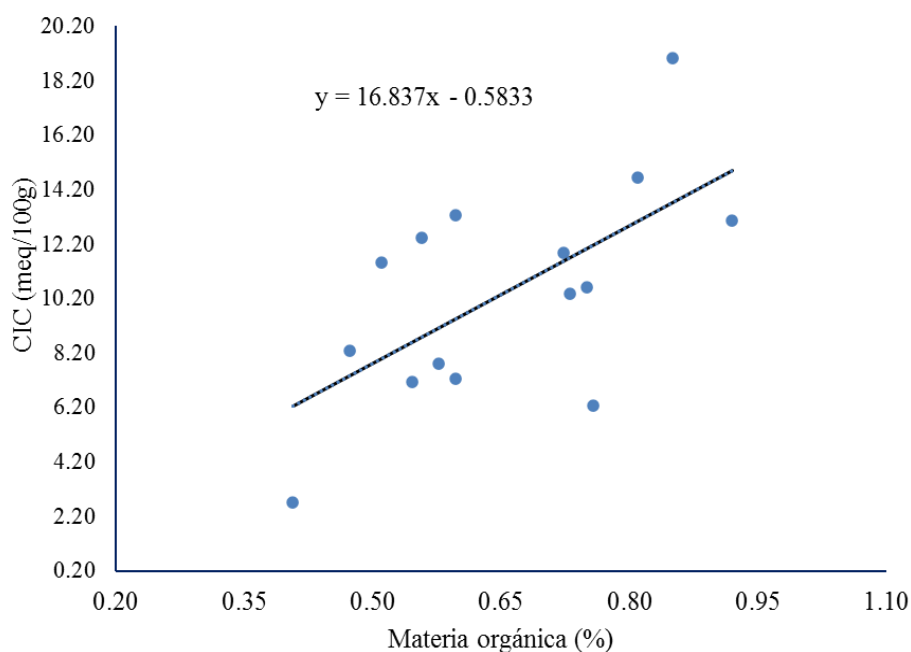


**Figura 6.** Correlación del pH versus el potasio (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

Se encontró una relación lineal negativa estadísticamente significativa, entre moderada y fuerte (p-valor 0,012), entre el pH y la CIC del suelo en las zonas de cultivo con *E. guineensis* con un valor de -0,63. Según Pérez Rosales et al. (2017) La CIC estima los sitios de carga de las arcillas, tanto las cargas permanentes, como las cargas dependientes de pH. Así mismo Yong et al. (1990) mencionan que la CIC indica de manera indirecta la capacidad de amortiguación de los suelos, dependiendo de la cantidad y tipo de arcilla..

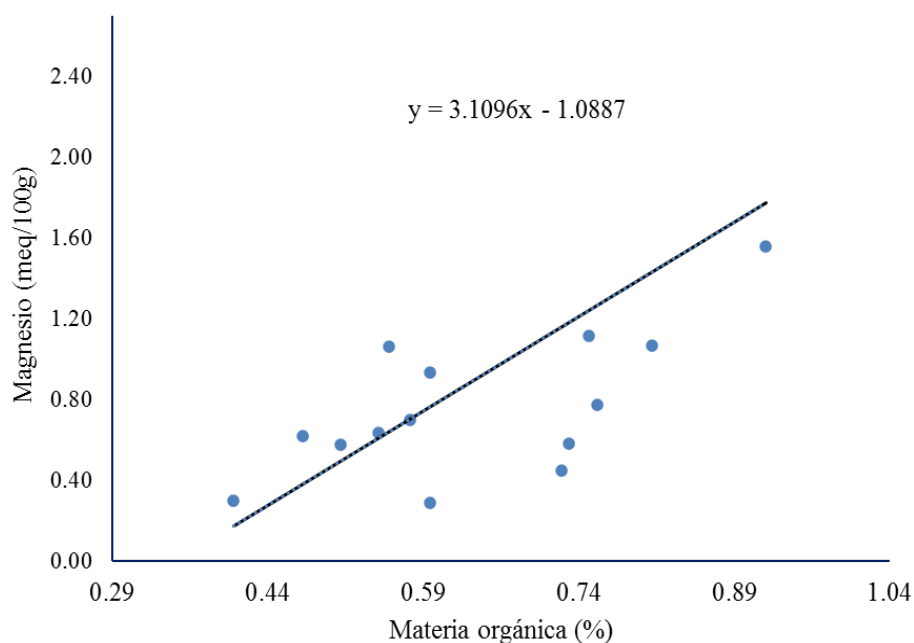


**Figura 7.** Correlación del pH versus la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.



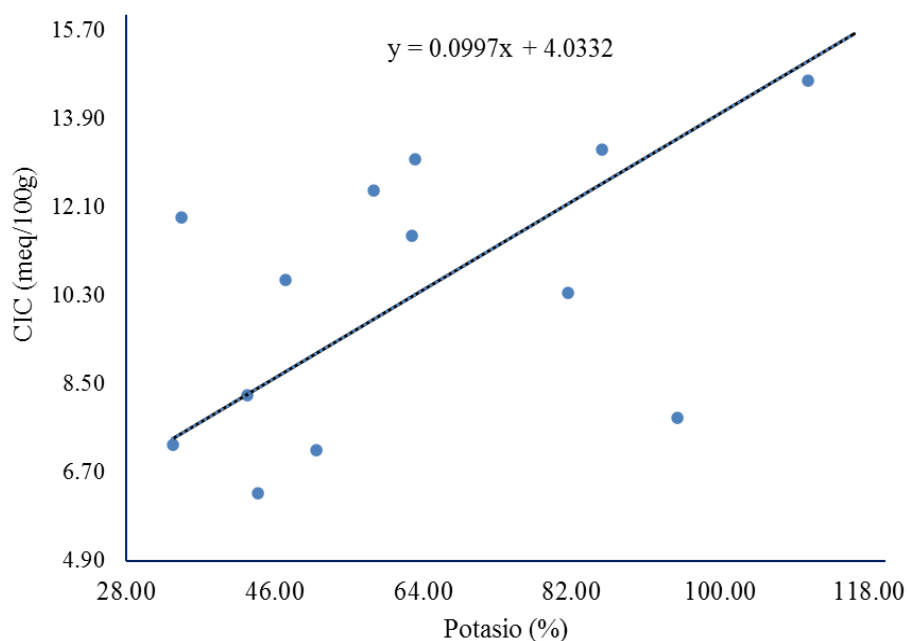
**Figura 8.** Correlación de la materia orgánica (%) versus la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

Se encontró una relación lineal positiva estadísticamente significativa, de moderada y fuerte (p-valor 0,042), entre la MO y la CIC del suelo en las zonas de cultivo con *E. guineensis* con un valor de 0,53 (figura 5) . Wan *et al.* (2019) indican que la acidez de la tierra afecta la MO al inhibir el crecimiento microbiano, lo que reduce la abundancia y diversidad de los microbios de la tierra y, a su vez, reduce la estabilidad de los ecosistemas en suelos agrícolas. Además, López-Báez y otros (2019) señalan la importancia de entender cómo la CIC se ve alterada en suelos ácidos. Cruz Macías et al. (2021) explican además que la CIC representa la carga eléctrica negativa de la arcilla y la MO en el suelo, la cual puede ser permanente o depender del pH, según el tipo de arcilla. Su importancia radica en su capacidad para determinar el porcentaje de saturación de bases, lo que indica la fertilidad del suelo. Se demostró que en tierras con menos del 25% de arcilla y mayor contenido de materia orgánica, la CIC también se ve influenciada por el pH de la tierra.



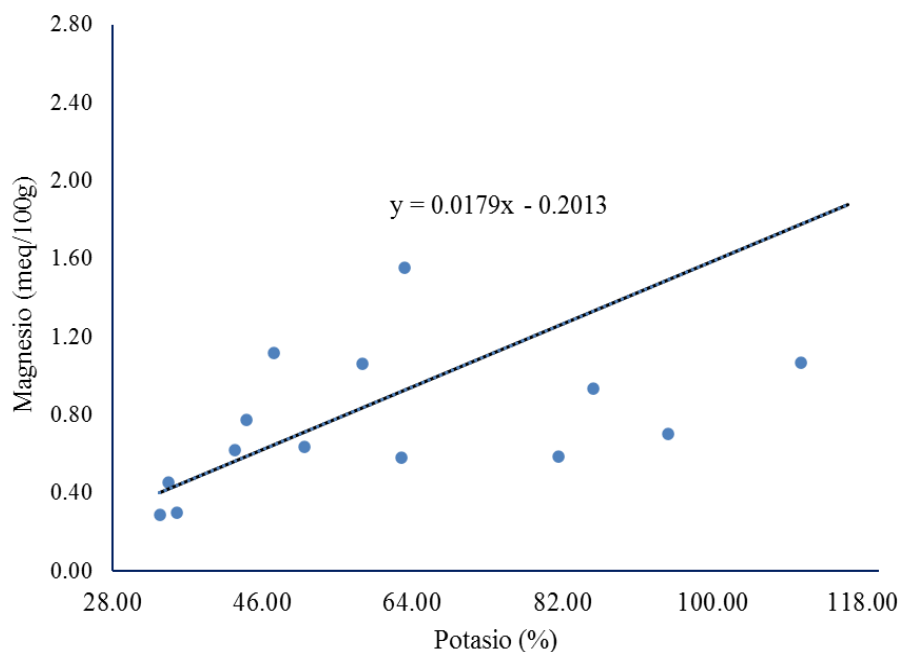
**Figura 9.** Correlación de la materia orgánica (%) versus el magnesio (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

Existe relación lineal positiva estadísticamente significativa, de moderada y fuerte (p-valor 0,0096), entre la MO y el magnesio del suelo en las zonas de cultivo con *E. guineensis* con un valor de 0,64 (Figura 6). Ross (2004) señala que el estado del Mg en la tierra es dinámico y está influenciado por muchos factores como el clima, pH, temperatura y humedad de la tierra, así como la presencia de otros cationes. El Mg se disponibiliza mediante la acción de componentes naturales; el Mg intercambiable, que suele representar hasta el 5% del Mg total, es absorbido por las superficies de minerales de arcilla y material orgánico, y, por ende, puede ser liberado fácilmente por otros cationes como  $K^+$  y  $Ca^{2+}$ . En términos generales, los suelos de América Latina tropical están bastante desgastados, con pH bajo y CIC reducida, lo que limita su capacidad de almacenar magnesio disponible. Una parte significativa de las tierras adecuadas para el cultivo de palma de aceite presenta suelos ácidos, con niveles de Mg intercambiable inferiores a  $40 \text{ mg} \cdot \text{kg}^{-1}$  ( $0,16 \text{ cmol} \cdot \text{kg}^{-1}$ ) y alta saturación de aluminio (60% de la CIC).



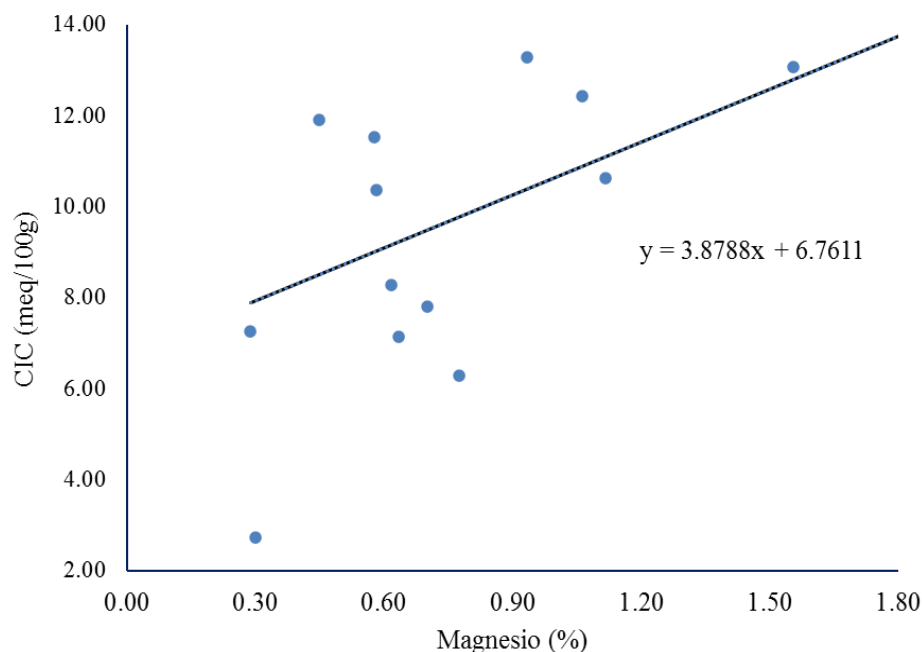
**Figura 10.** Correlación del Potasio (kg/ha) versus la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

Existe relación lineal positiva estadísticamente significativa, de moderada y fuerte (p-valor 0,017), entre el potasio del suelo y la CIC en las zonas de cultivo con *E. guineensis* con un valor de 0,64 (Figura 7). Bohn *et al.* (2001) Mengel y Kirkby (2000) sugirieron que la fracción coloidal sólida del suelo, que consiste principalmente de arcilla fina y MO, es la principal reserva de  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$  y  $\text{K}^{+}$  para las plantas debido a su carga negativa. De esta forma, estos cationes y otros elementos cargados positivamente ( $\text{Na}^{+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$  y  $\text{Mn}^{2+}$ ) son adsorbidos por las superficies cargadas negativamente de estas partículas coloidales, se difunden y se mueven en la solución electrolítica.



**Figura 11.** Correlación del Potasio (kg/ha) versus el magnesio del suelo (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

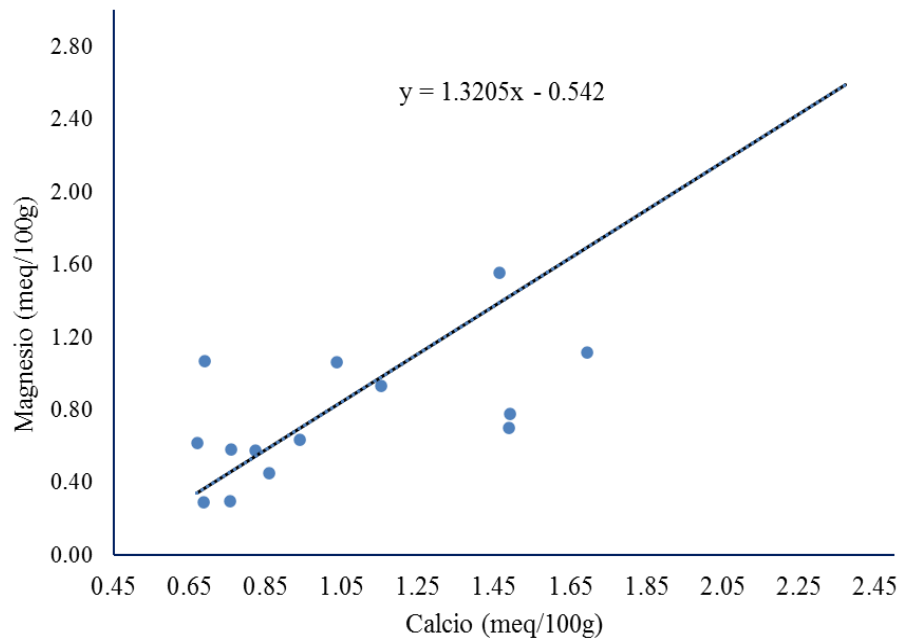
Existe relación lineal positiva estadísticamente significativa, de moderada y fuerte (p-valor 0,0077), entre el potasio y el magnesio del suelo en las zonas de cultivo con *E. guineensis* con un valor de 0,66 (Figura 8). Vistoso y Martínez (2020) mencionan que para las plantas, el Magnesio es un macronutriente a menudo pasado por alto en la planificación de la fertilización, pero puede ser crucial para el crecimiento, desarrollo y rendimiento de los cultivos. Una fertilización efectiva debe tener en cuenta varios factores, como el suministro de potasio disponible en el suelo (que también suministra Mg), ii) capacidad de adsorción de magnesio del suelo (afectando la eficiencia de la fertilización), iii) la absorción de magnesio por parte del cultivo o pradera (su demanda), iv) utilización por el cultivo, v) historial de manejo de la fertilización del terreno, vi) características edafoclimáticas específicas de cada área, vii) equilibrio adecuado con las dosis de potasio y calcio aplicadas. Según Ross (2004), en palma aceitera, el Mg es el tercer nutriente más importante, tras el K y el N, siendo crucial para la producción. Una plantación que produzca 24 t/RFF/ha absorbería aproximadamente 98 kg MgO/ha, mientras que solo necesitaría 62 kg/ha de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> para alcanzar el mismo rendimiento.



**Figura 12.** Correlación del magnesio del suelo (meq/100g) versus la capacidad de intercambio catiónico (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

Existe relación lineal positiva y estadísticamente significativa (p-valor 0,0102) entre el magnesio del suelo y la CIC en las zonas de cultivo con *E. guineensis* de la empresa Ocho Sur P, con un valor de 0,64 (Figura 9). Según Moro (2015), la CIC indica la cantidad de cargas negativas disponibles en la tierra, especialmente en arcillas y MO. Los resultados del análisis reflejan la capacidad de la tierra para retener e intercambiar nutrientes (principalmente Ca, Mg, Na y K), ya que estas sustancias de carga positiva están ancladas en la arcilla y la MO, que son de carga negativa. Así, el análisis de CIC representa el total de cationes que pueden ser retenidos.

Existe relación lineal positiva estadísticamente significativa, de moderada y fuerte (p-valor 0,0074), entre el calcio del suelo y el magnesio del suelo en las zonas de cultivo con *E. guineensis* en la empresa Ocho Sur P, con un valor de 0,66 (Figura 10). Brady y Weil (2002) señalan que el Ca desempeña un rol vital en la estructura del suelo, siendo el catión dominante en los complejos de sorción de suelos no ácidos, o que el Al es el catión dominante cuando el Ca alcanza niveles críticos, aumenta la concentración de metales como Mg, Mn, Zn en la solución del suelo, alcanzando valores tóxicos y además dificulta el crecimiento de las plantas. Aun añaden que para una buena nutrición la mejor relación encontrada ahora es de 1/1 a 15/1.

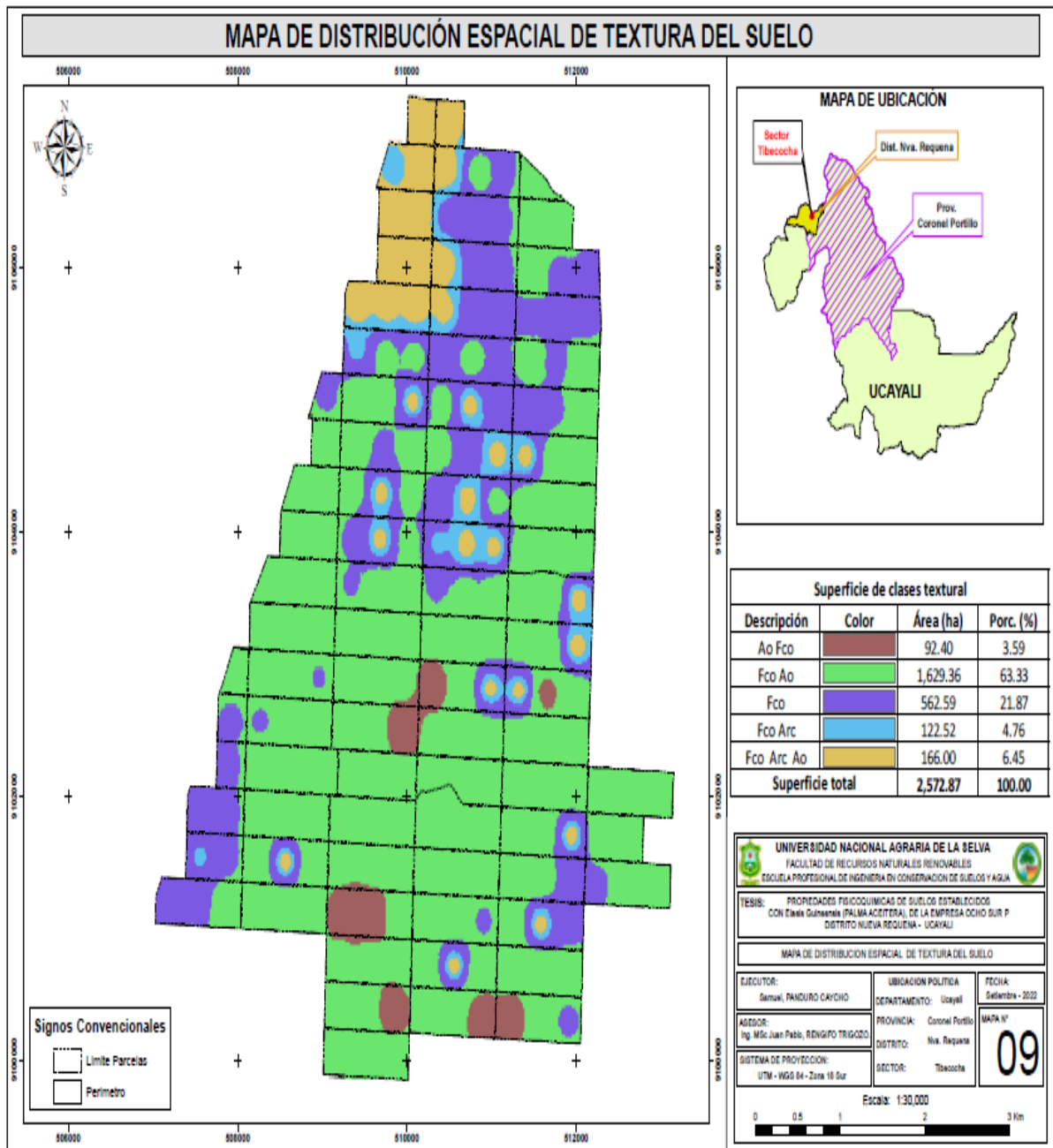


**Figura 13.** Correlación del calcio (meq/100g) versus el magnesio del suelo (meq/100g) en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

### 4.3. Distribución espacial con las características fisicoquímicas del suelo en el área establecida con palma aceitera

#### 4.3.1. Textura del suelo

En la distribución de la estructura de la tierra de los cultivos de *E. guinnensis*, la textura franca arenosa aumentó en 1629,36 hectáreas, lo que representa el 63,33% de la zona total de la parcela, y la textura franco aumentó en 562,59 hectáreas, lo que representa el 21% de la zona total de la parcela, textura franco arcillo arenoso con una superficie de 166,00 hectáreas, representando el 6,45% del zona total de la parcela, la textura franco arcillosa con una superficie de 122,52 hectáreas, representando el 4,76% del sector total de la parcela y en menor cantidad la textura arenoso franco con 92,40 ha. Representando un 3,59% del área total de parcela de *E. guinnensis* (Figura 14). La textura es una característica básica ya que afecta la fertilidad y la capacidad de retención de agua, la aireación, el drenaje, el contenido de MO y otras características. (FAO, 2015).

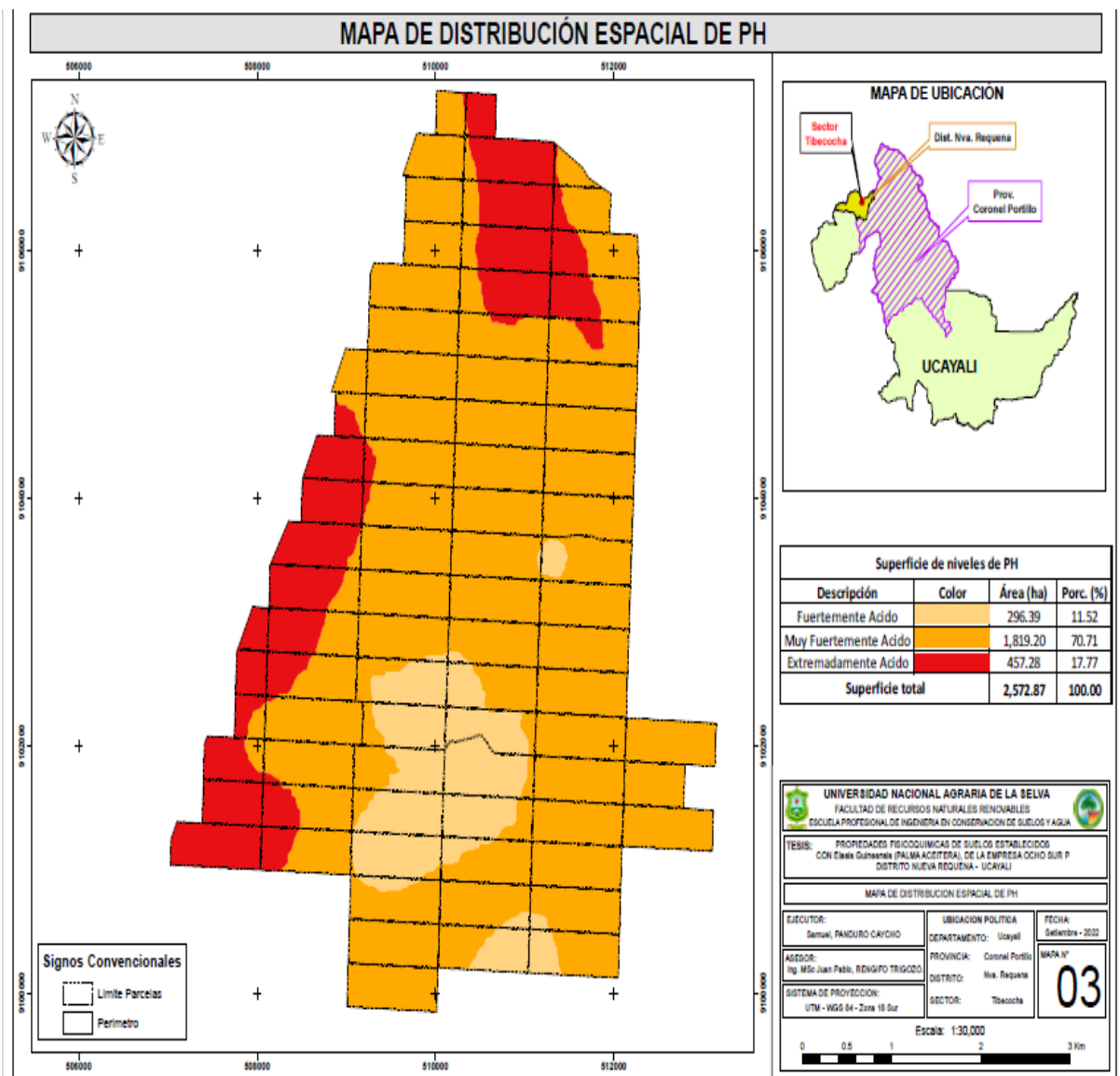


**Figura 14.** Mapa de textura del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

#### 4.3.2. Reacción del suelo o pH

En la Figura 15, muestra la distribución del pH de la tierra por áreas parcelarias con cultivos de *E. guineensis*, de la empresa Ocho Sur P, suelos de reacción muy fuertemente ácida con una extensión de 1 819,20 ha que representando 70,71% del área total de las parcelas, suelos de reacción Extremadamente ácida con una extensión de 457,28 ha que representando 17,77% del área total de las parcelas y tierras de reacción fuertemente ácida con una extensión de 296,39 ha que representa un 11,52% de la zona total de las parcelas con *E. guineensis*. Sánchez (2007) señala que el pH, que es el logaritmo negativo de la actividad de

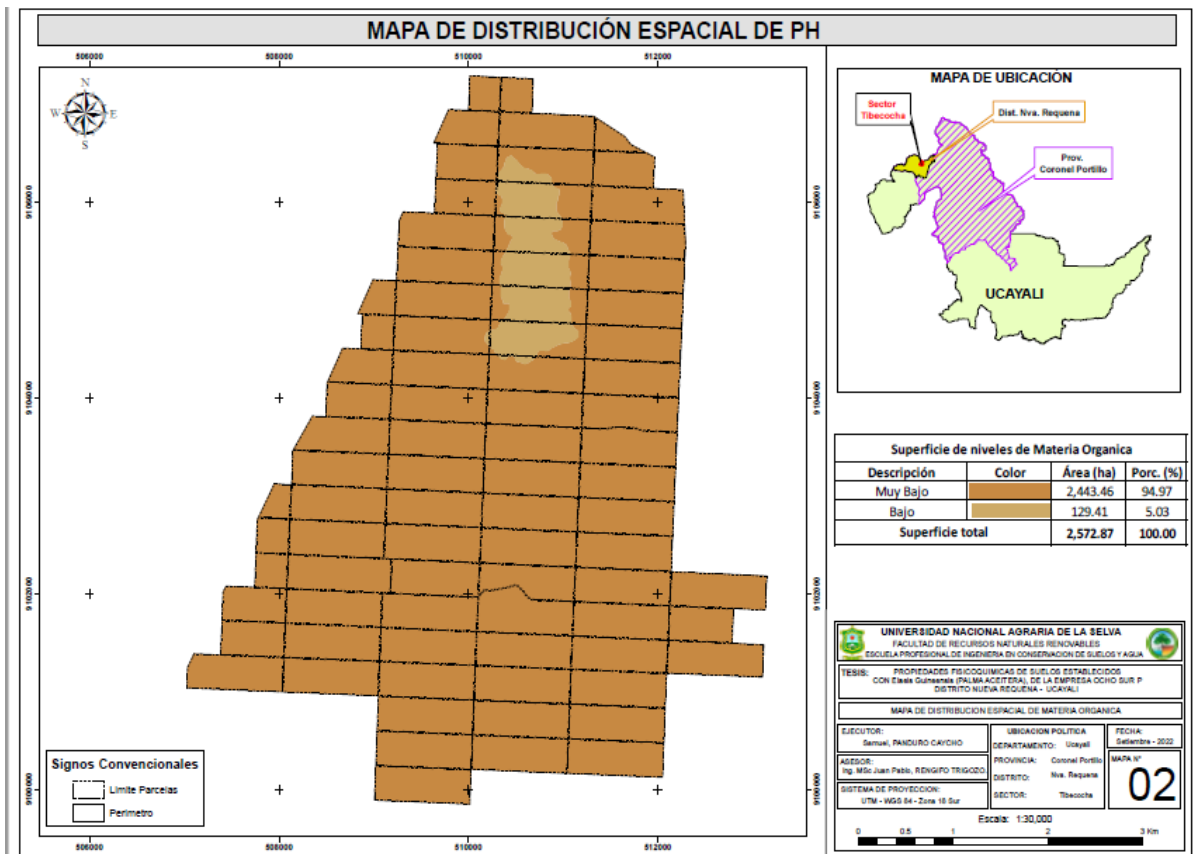
H<sup>+</sup>, influye directamente en la solubilidad, disponibilidad y absorción de nutrientes esenciales para el rendimiento de las plantas, así como en etapas biológicas y la actividad microbiana. Los nutrientes más afectados por el pH son P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Fe<sup>2+</sup>, Mn<sup>2+</sup>, Zn<sup>2+</sup> y Cu<sup>2+</sup>, además del porcentaje de saturación de bases y la CIC. Doran y Parkin (1996) destacan que el pH varía según el material de origen, la vegetación, el clima, la topografía, la estación, los cultivos y las prácticas de manejo del suelo, así como el uso de fertilizantes amoniacales, MO y actividad biológica. La mayoría de los suelos, desde bosques húmedos hasta matorrales semiáridos, tienen un pH entre 4,0 y 8,0; valores fuera de este rango generalmente se deben a un exceso de sales de Ca y Na, o por iones H<sup>+</sup> y Al<sup>3+</sup> en la solución del suelo.



**Figura 15.** Mapa de pH del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

### 4.3.3. Materia orgánica

La MO del suelo presenta niveles muy bajos, con 2 443.46 ha que representan el 94.97% del área total de las parcelas, y 129.41 ha, equivalente al 5.03% del área total (Figura 16). Según SAGARPA (2012), la MO, compuesta por restos vegetales y animales en constante transformación, juega un papel crucial en las propiedades del suelo, a pesar de ser generalmente menor que la fracción mineral. Gregorich (1991) señala que favorece la infiltración y aireación de la tierra, mejora la retención de agua, disminuye la erosión y ayuda en el control de pesticidas. Stevenson (1994) añade que actúa como un reservorio de nutrientes y C para las plantas, liberándolos gradualmente y facilitando la solubilización de minerales insolubles. Un aumento de la MO en el suelo promueve una mayor diversidad y abundancia microbiana, mejorando así el control biológico de enfermedades y plagas, y también influye en la erosión hídrica y la conservación del agua en la tierra.

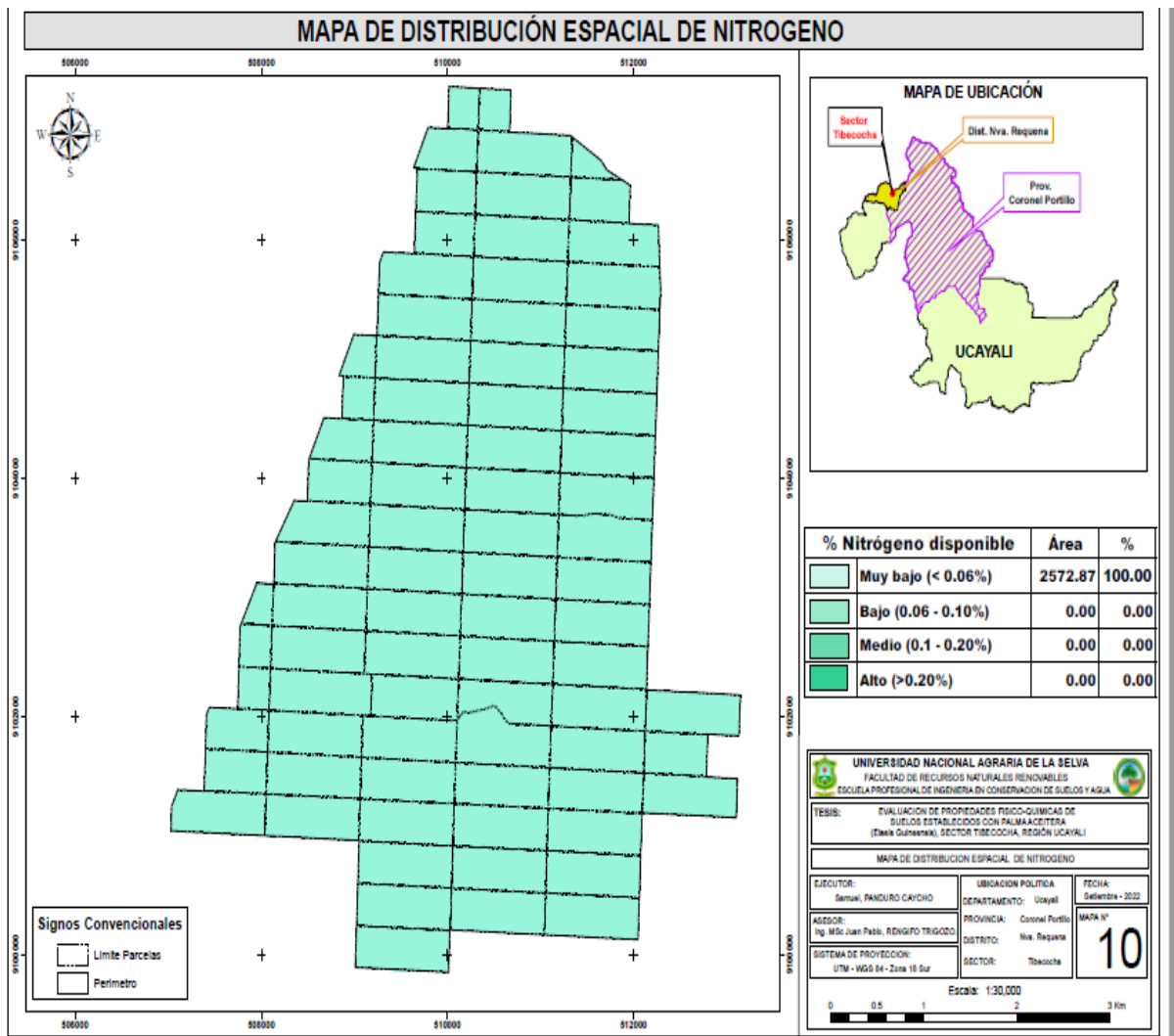


**Figura 16.** Mapa de materia orgánica del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

### 4.3.4. El nitrógeno

El nitrógeno disponible en la tierra se observan niveles muy bajos el 100% de las áreas total del terreno con parcelas de 2 572,87 ha (Figura 17). Muchos suelos tienen deficiencia de nitrógeno debido a la dinámica del suelo y a los ciclos biogeoquímicos. El N ingresa al suelo como resultado de la MO (estiércol orgánico (estiércol) y residuos de cultivos)

y fases de fijación bacteriana en la atmósfera. (Sánchez, 2016). Por lo que el nitrógeno en los resultados de la investigación toda el área de las parcelas presenta escasas de nitrógeno y urge la necesidad de fertilizar estas parcelas con productos nitrogenados. Mientras que Navarro (2003) indica que las condiciones climáticas tienen un impacto importante en proporción de N en el suelo. Un aumento de temperatura reduce el contenido de N, mientras que un aumento en la humedad lo incrementa. Las principales formas de pérdida de nitrógeno son la extracción por los cultivos, la lixiviación, la volatilización, la desnitrificación y la fijación de amonio.



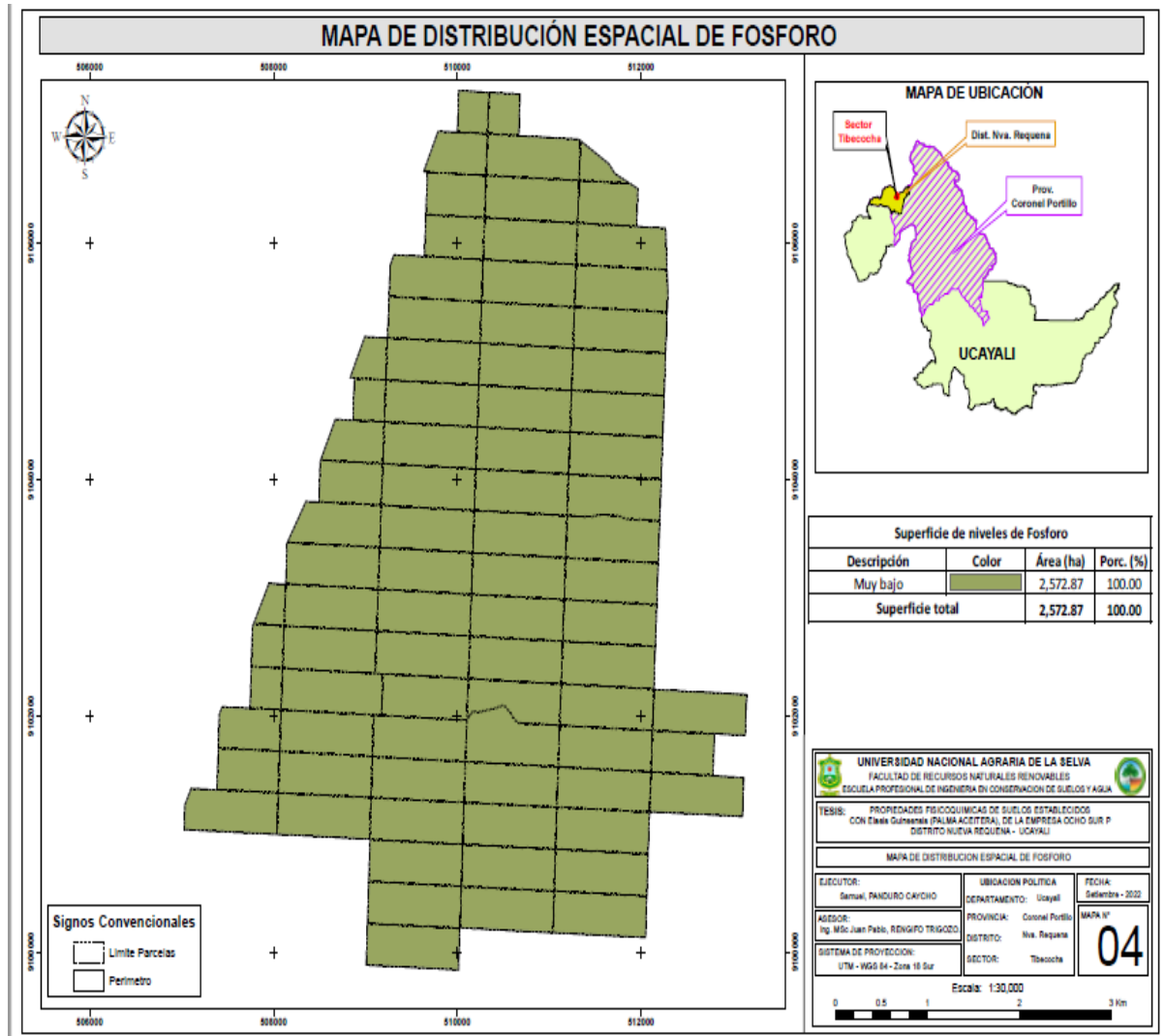
**Figura 17.** Mapa de Nitrógeno del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

#### 4.3.5. El fósforo disponible

La distribución del P disponible en el suelo muestra niveles muy bajos en el 100% de las 2,572.87 ha de terreno (Figura 18). Después del N, el fósforo (P) es el macronutriente que más restringe la productividad de las plantaciones, participando en diversas etapas bioquímicas celulares y siendo esencial para las plantas. Según Navarro (2003), la única forma de añadir fósforo al sistema es mediante la aplicación de fertilizantes fosfatados, en tanto

que las pérdidas ocurren por la extracción en los granos cosechados, erosión, escurrimiento y, en menor medida, por lixiviación.

El fósforo es parte de las estructuras y componentes energéticos de las plantas, como las semillas, y su baja disponibilidad en el suelo se debe a su reactividad y a la formación de especies químicas poco solubles, especialmente en suelos ácidos. Por lo tanto, su suministro depende de la meteorización de las rocas y de la aplicación de fertilizantes. (SAGARPA, 2012).

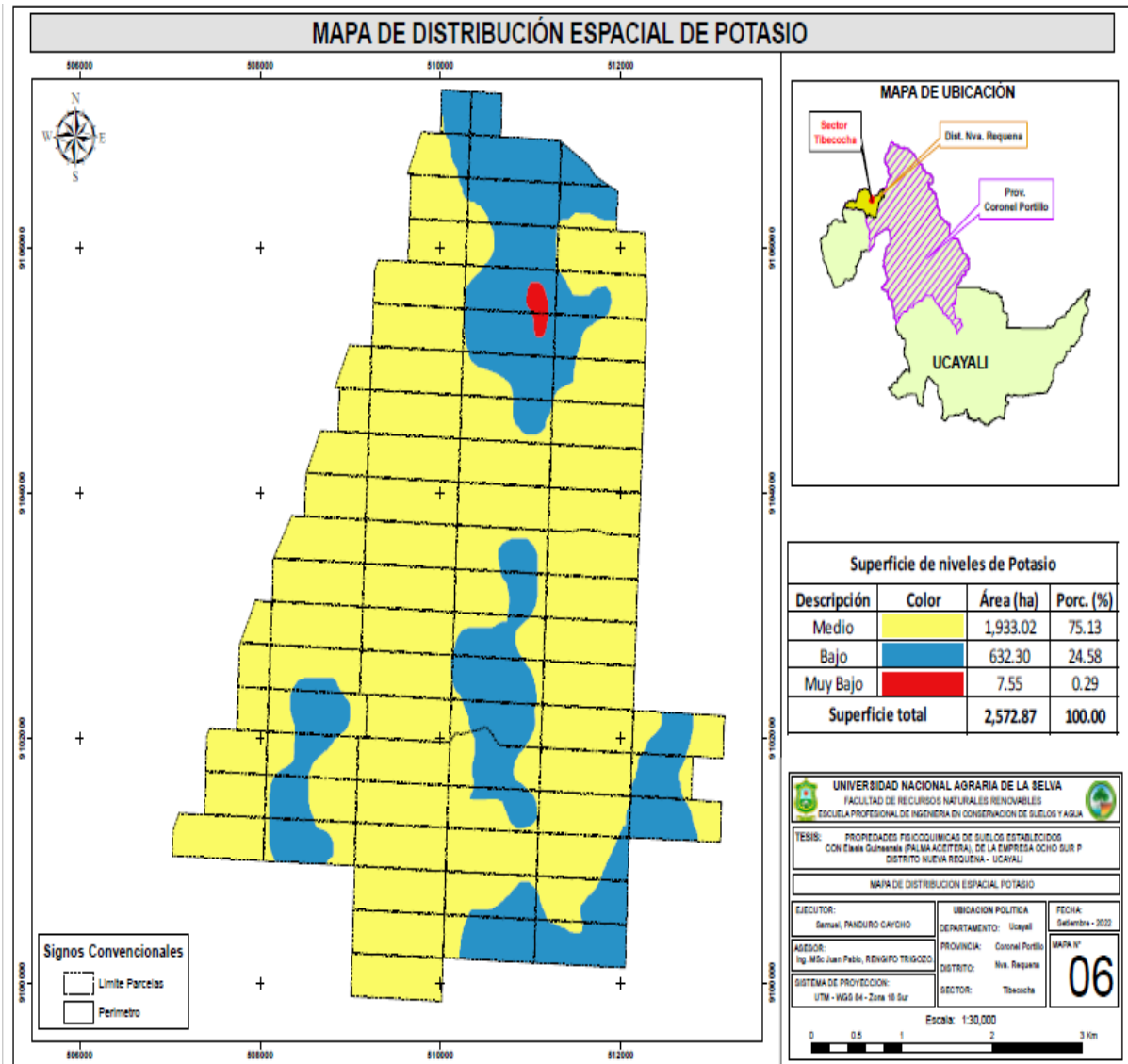


**Figura 18.** Mapa de Fósforo del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

#### 4.3.6. El potasio disponible

La distribución del óxido de potasio disponible en la tierra presenta niveles medio con una extensión de 1 933,02 ha representando el 75,13% del área de las parcelas, seguido de nivel bajo con una extensión de 632,30 ha que representa el 24,58% del sector total de las parcelas y nivel muy bajo con una capacidad de 7,55 ha que representan el 0,29% del área total de la parcela con *E. guineensis*. (Figura 19). El potasio (K) en forma de iones potasio tiene una concentración que es función del potasio en la estructura de la capa arcillosa

(SAGARPA, 2012). Es la sustancia más importante en la fisiología vegetal, ya que es un componente esencial de los tejidos y su forma iónica neutraliza los ácidos orgánicos del metabolismo. (Navarro & Navarro, 2003).

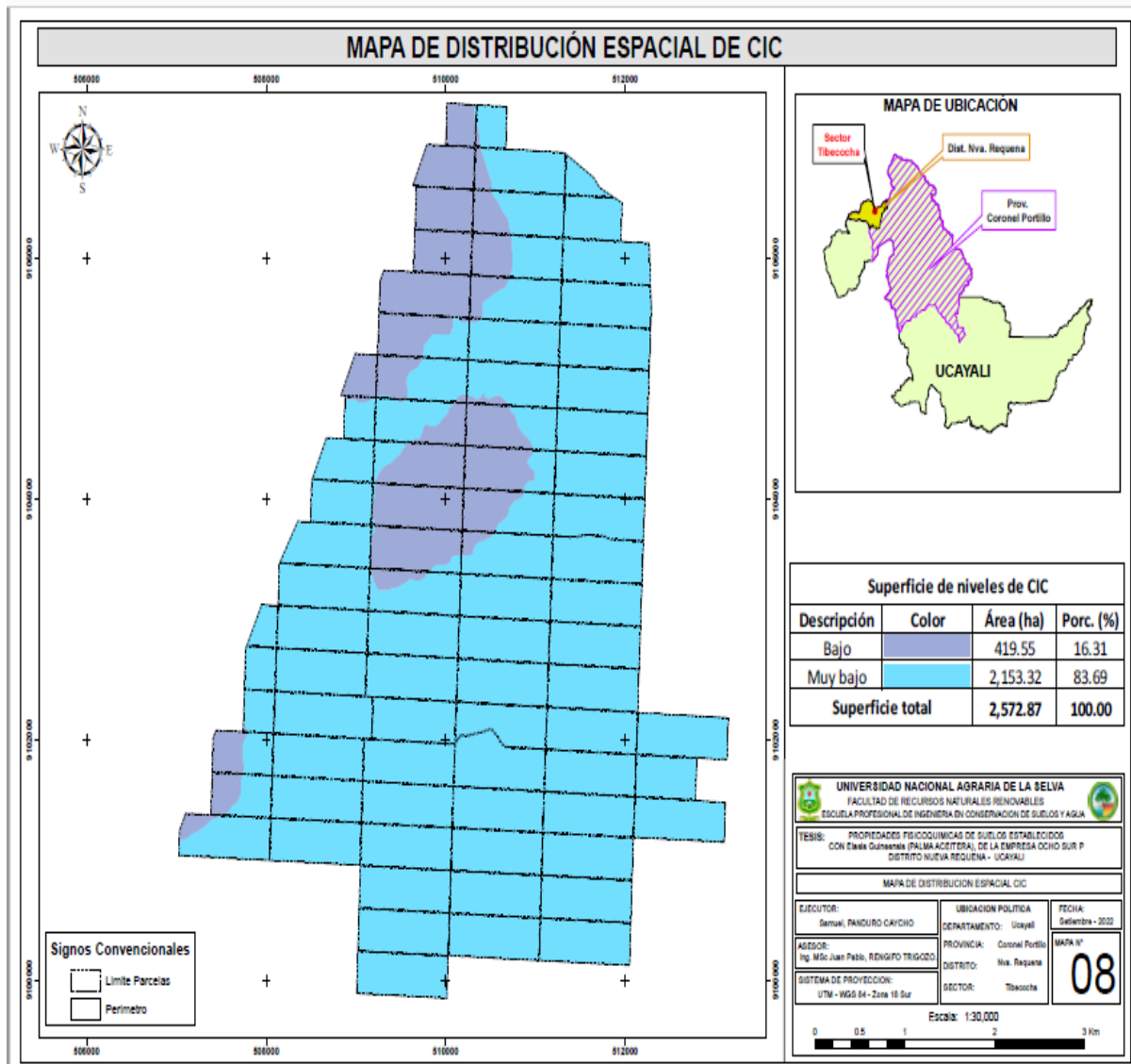


**Figura 19.** Mapa de Potasio disponible del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

#### 4.3.7. Capacidad de intercambio catiónico

La distribución de la CIC en el suelo revela que un 83,69% del área de las parcelas, equivalente a 2,153.32 ha, muestra niveles muy bajos, mientras que un 16,31%, correspondiente a 419.55 ha, presenta niveles bajos en los cultivos de *E. guineensis* (Figura 20). El CIC refleja la capacidad del suelo para retener cationes y nutrientes, así como su pH potencial, entre otros factores. Un suelo con bajo CIC tiene una reducida capacidad de retención de nutrientes, caracterizándose generalmente por ser arenoso o tener escasa materia orgánica. La CIC se mide en centimoles de carga por kg de suelo (cmolc/kg) o meq/100g de suelo.

(Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO, 2015], citado por Huamán, 2021).

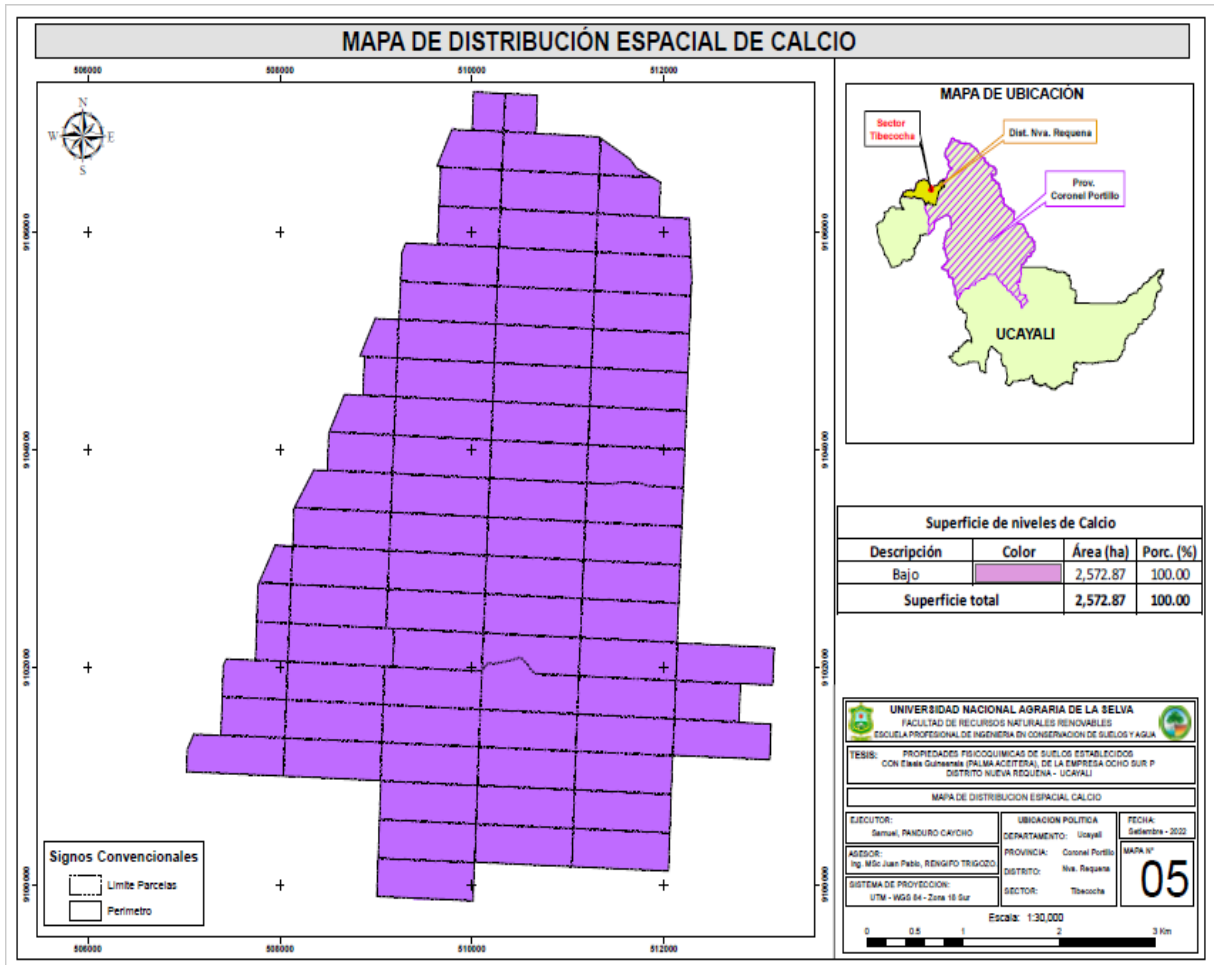


**Figura 20.** Mapa de Capacidad de Intercambio Catiónico del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

#### 4.3.8. El calcio

La distribución del calcio disponible en la tierra se observa que el 100% de las áreas con cultivo de *E. guineensis*. niveles bajo con una extensión de 2 572,87 ha (Figura 21). El Ca, catión reactivo básico más abundante en las plantas después del K, tiene una baja capacidad de transporte en la planta, por lo que cuando los niveles del suelo son insuficientes, los tejidos inmaduros tienden a presentar deficiencia. Además, determinan el pH, la CIC y las relaciones sinérgicas con otros cationes. (Navarro & Navarro, 2003). Coincidiendo con el auto respecto a los resultados obtenidos. Según la SAGARPA, 2012 el calcio es uno de los cationes intercambiables asociados a la degradación del suelo por salinización. Aunque es relativamente

abundante en suelos semiáridos, se presenta generalmente en formas químicas de baja solubilidad, lo que limita su disponibilidad en soluciones de la tierra.

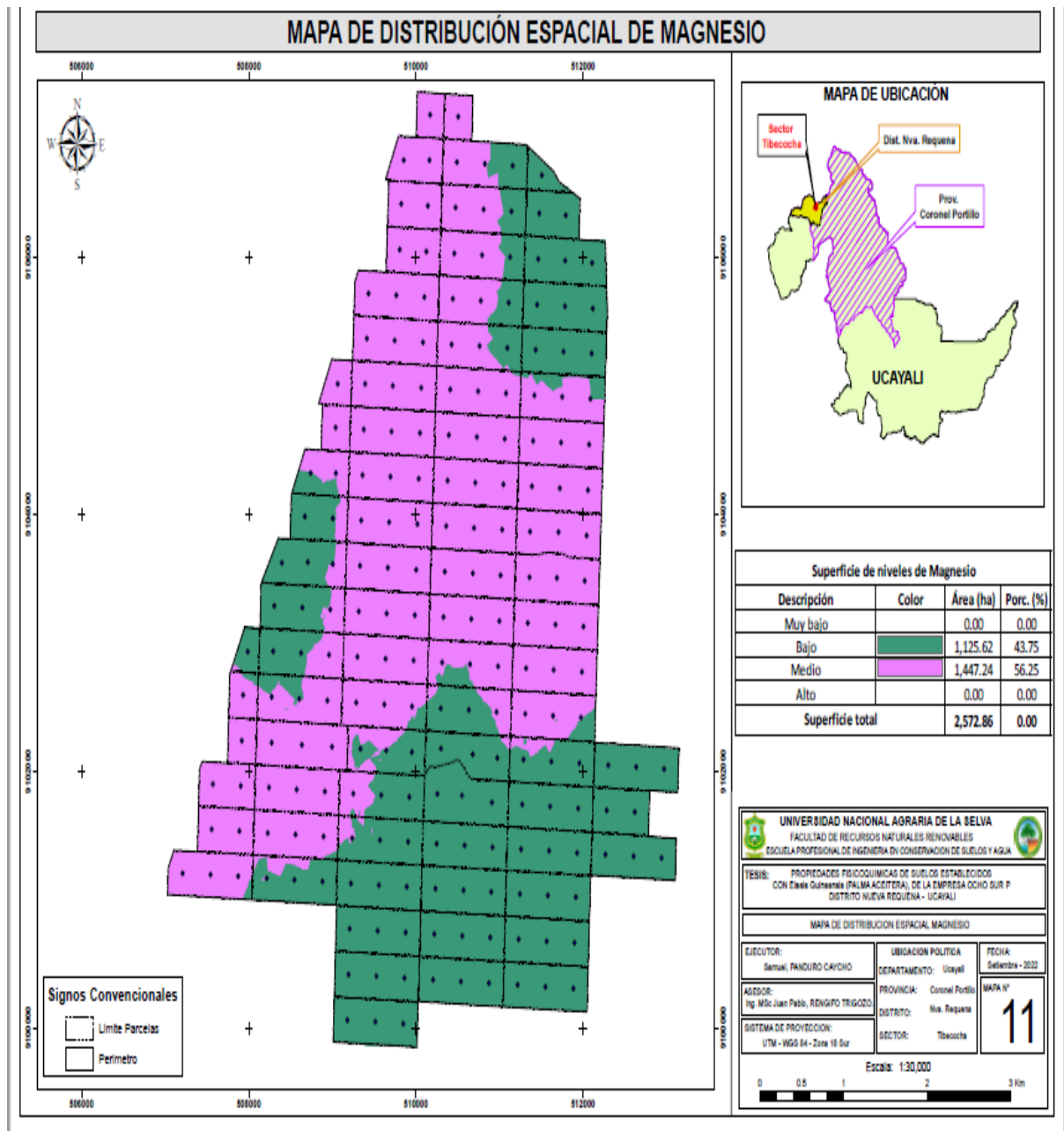


**Figura 21.** Mapa de Calcio del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

#### 4.3.9. El magnesio

La distribución del Mg disponible en el primer horizonte de la microcuenca Picuroyacu por unidades fisiográficas muestra que el 89,84% del área (1,995.15 ha) presenta niveles moderados, con rangos de 1.5 a 4 (Cmol(+)/kg). En segundo lugar, el 7,27% del área (161,50 ha) presenta niveles bajos, con rangos de menos de 0.50 a 1.50 (Cmol(+)/kg). Por último, solo el 2,88% del área (64,06 ha) muestra niveles altos, con rangos de 4 a 8 (Cmol(+)/kg). (Figura 22). El magnesio (Mg), componente de minerales y presente como ion intercambiable, varía en el suelo debido al material de origen, tipo de minerales, textura, concentración de otros cationes, pH, clima, extracción vegetal y uso de fertilizantes. Las deficiencias suelen observarse en suelos ácidos, arenosos, muy lavados y con baja CIC (Havlin et al., 1999). Coincido con el autor en que muchas de estas características están presentes en los suelos de las parcelas. Además, la SAGARPA, 2012 destaca que el magnesio es crucial, ya que

forma parte de la molécula de clorofila, esencial para la fotosíntesis. Las deficiencias de Mg son frecuentes en suelos arenosos con baja CIC.

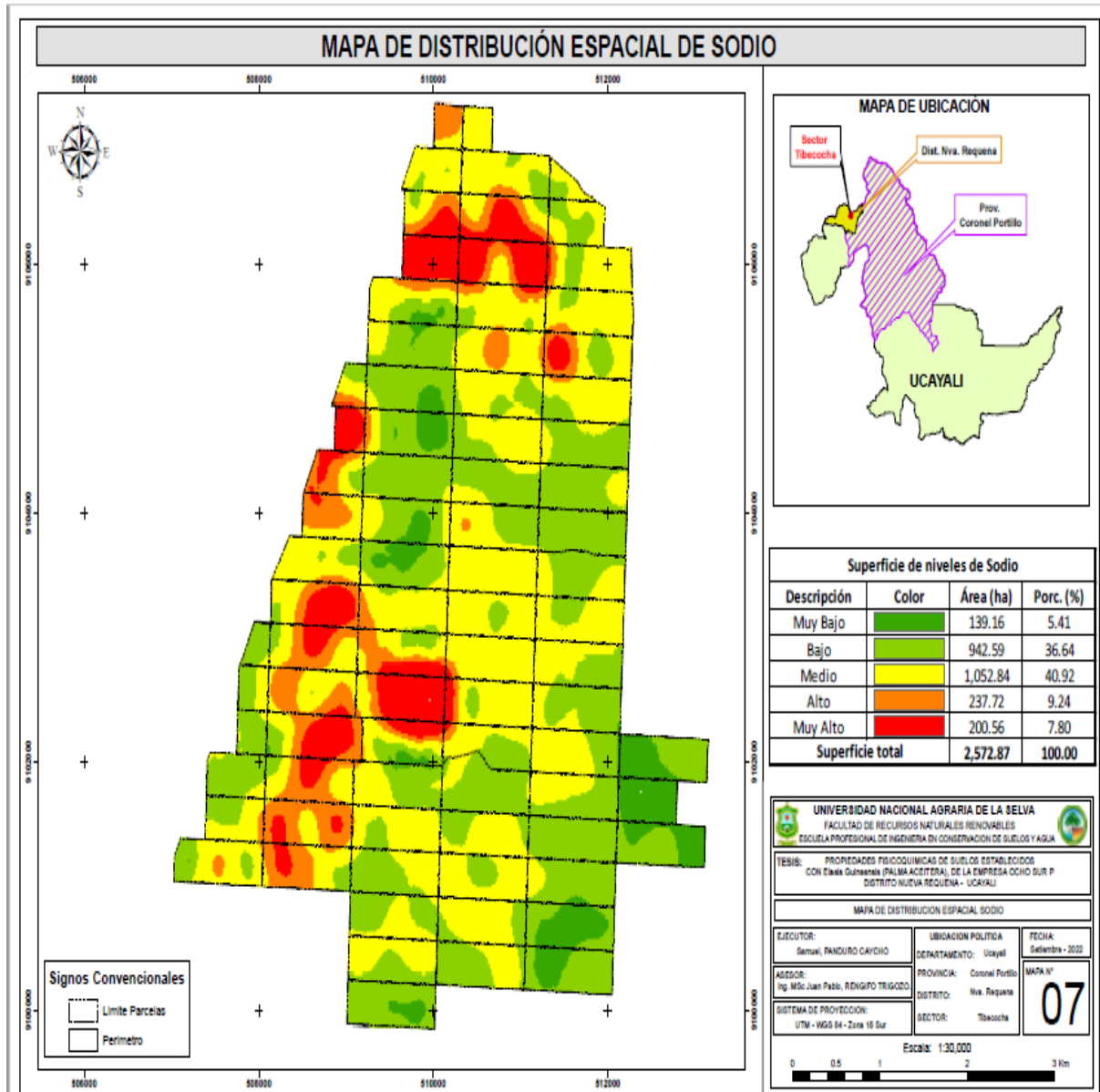


**Figura 22.** Mapa de magnesio del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

#### 4.3.10. El sodio

La distribución del Na disponible en la tierra se observa un nivel medio con una capacidad de 1 052,84 ha, que indica el 40,92% del sector de las parcelas, seguida de un nivel bajo con una extensión de 942,59 ha, representando el 36,64% de la zona de las parcelas, nivel alto con una extensión de 237,72 ha, representando el 9,24% de la zona de las parcelas, nivel muy alto con una extensión de 200,56 ha, representando el 7,80% de la zona de las parcelas y nivel muy bajo con una extensión de 139,16 ha, representando el 5,41% del total de

las áreas de las parcelas con *E. guineensis*. (Figura 23). El sodio, aunque no es un nutriente esencial, puede reemplazar al K en ciertos casos. Muchas plantas poseen mecanismos que restringen la absorción y el movimiento de Na hacia las hojas, evitando así su toxicidad por acumulación en tallos, troncos y raíces. Los síntomas de toxicidad por Na en las hojas incluyen manchas necróticas intervenales y pueden causar deficiencias de otros cationes como K, Ca y Mg. (SAGARPA, 2012).



**Figura 23.** Mapa de Sodio del suelo en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

## V. CONCLUSIONES

1. Las zonas de cultivo con *E. guineensis* presentan una textura franco-arenosa, teniendo en la zona E los mayores valores de densidad aparente de 1,56 g/cm<sup>3</sup>, pH extremadamente ácido, Materia orgánica, nitrógeno y fósforo muy bajo, así como en la zona I el Potasio, Calcio y Magnesio muy bajo, en la zona H el Sodio con nivel bajo y mayor valor de la CIC en la zona L con un valor bajo.
2. Existe correlación lineal estadísticamente significativa de las propiedades químicas entre el pH, Potasio, materia orgánica, Magnesio, Calcio y la CIC.
3. Existe una distribución espacial uniforme de las propiedades fisicoquímicas que permiten visualizar como se distribuyen en la zona de estudio.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Realizar estudios con más parámetros fisicoquímicos del suelo evaluadas en época seca y estiaje con la finalidad de compararlos con el presente trabajo de investigación y poder generar indicadores en ambas épocas.
2. Realizar estudios sobre la respuesta del suelo luego de aplicar un plan de fertilización en todas las zonas de cultivo y compararlo con una plantación con producción orgánica.
3. En base a la distribución espacial realizar un plan de fertilización orgánica a estas especies que se encuentran en producción.

## VII. REFERENCIAS

- Almasoum, A. A. 2000. *Effect of planting depth on growth and productivity of tomatoes using drip irrigation with semi saline water*. Acta Hort. 537:773-778.
- Arévalo, L., Sanco, M. (2002). *Manual de laboratorio para análisis físico químico del suelo*. S.I. ICRF – CHEMONICS. 48 p.
- Bautista, A., Etchevers, J., Del Castillo, R.F. & Gutiérrez, C. (2004). *La calidad del suelo y sus indicadores*. Ecosistemas, 13 (2), 90-97.  
<http://www.revistaecosistemas.net/articulo.asp?Id=149>
- Benitez, F. L., Anderson, L. O., & Formaggio, A. R. (2016). Evaluation of geostatistical techniques to estimate the spatial distribution of aboveground biomass in the Amazon rainforest using high-resolution remote sensing data. Acta Amazonica, 46(2), 151-160.
- Booth, B., & Bratt, S. (2004). Using ArcGIS 3D Analyst. Environmental Systems Research Institute (ESRI).
- Betancourt, P., González, J., Figueroa, B., González, F. (1999). *Materia orgánica y caracterización de suelos en proceso de recuperación con coberturas vegetativas en zonas templadas de México*. Terra latinoamericana 17(2): 139-148.  
<https://www.redalyc.org/pdf/573/57317207.pdf>
- Bohn, H. L., Mcneal, B.L., O'connor, G. A. (2001). *Soil Chemistry*. Tercera edición. John Wiley & Sons, INC, New York. 307 p.
- Brady, N and Weil, R. (2002). *Soil acidity: Calcium and Magnesium as plant nutrients* Cap 9:11 pg. 404- 410.
- Bruz, D. J., De Gruijter, J., Barsman, B., Visschers, R., Bregt, A., Brewuwsma, A., Bouma, J. (1996). *The performance of spatial interpolation methods and choropleth maps to estimate properties at points: a soil survey case study*. Environmetrics. 7(1):1-16.
- Campos, M. (2019). *Calidad de suelo del cultivo de cacao de diferentes edades sector ventenjeve distrito y provincia de Tocache – San Martín*. [Tesis de grado] Facultad de Recursos Naturales Renovables de la Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María. Perú. 102 p.
- Carvajal, J.F.; López, C.A. (1963). *Efecto del pH del substrato en el crecimiento y la absorción del café*. Rev. Biol. Trop., 11(2): 141-155.
- Castellanos, J. Z. (2000). *Manual de Interpretación de Análisis de Suelos, Aguas*. Ed. Intagri. Gto., México. 186 p. <https://www.intagri.com/articulos/suelos/propiedades-fisicas-del-suelo-y-el-crecimiento-de-las-plantas>
- Cepeda, D. (1991). *Química de Suelos*. 2 ed. Trillas S.A., México. 167 p.

- Cressie, N. (1991). *Statistics for spatial data*. New York, John Wiley.
- Cruz-Macias, W., Rodríguez-Larramendi, L. Salas-Marina, M., Hernández-García, V., Campos-Saldaña, R., Chávez-Hernández, M., Gordillo-Curiel, A. (2021). *Efecto de la materia orgánica y la capacidad de intercambio catiónico en la acidez de suelos cultivados con maíz en dos regiones de Chiapas, México*. Terra Latinoam vol.38 (3). <https://doi.org/10.28940/terra.v38i3.506>.
- Déleg, X. R. (2018) “*Determinación de la variabilidad espacial de las características físicas del suelo en la parcela Experimental Irquis*.” [Tesis de pregrado, Universidad de Cuenca]. Repositorio UCUENCA <http://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/30227/1/Trabajo%20de%20Titulaci%C3%B3n.pdf>
- 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>
- Doran, J.W. y Parkin, B.T. (1994). *Defining Soil Quality for a Sustainable Environment*. Soil Science Society of America, Inc. Special Publication. Number 35. Madison, Wisconsin, USA.
- Fassbender, H. (1987). *Química de suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 ed. IICA, San José, Costa Rica.
- Fassbender, H., Bornemisza, E. (1987). *Química de Suelos con énfasis en suelos de América Latina*. 2 ed. IICA. San José, Costa Rica. 40 p.
- Felicísimo, A. (1994). *Modelos digitales del terreno; Introducción y aplicaciones en las ciencias ambientales*. <http://www.etsimo.uniovi.es/~feli>.
- Folegatti, M.V.; Brasil, R.P.C. Do; Blanco, F.F. (2001). *Sampling equipment for soil bulk density determination tested in a Kandiuclalfic Eutrudox and a Typic Hapludox*. Scientia Agricola 58: 833-838.
- Goovaerts, P. (1999). *Geostatistics in soil science: state of the art and perspectives*. Geoderma 89 (1-2): 1-45.
- Goykovic C. V. y G. Saavedra R. (2007). *Algunos efectos de la salinidad en el cultivo del tomate y prácticas agronómicas de su manejo*. IDESA 25(3):47-58.
- Guerrero, J. (2000). *El suelo, los abonos y la fertilización de los cultivos*. 2 ed. Aedos. S.A., España.

- Havlin, J. L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L. & Nelson, W.L. (1999). *Soil fertility and fertilizers; an introduction to nutrient management*. 6. ed. Upper Saddle River (Estados Unidos), Prentice Hall. 499 p.
- Harold, W., Hocker, J.R. (1984). *Introducción a la biología forestal*. AGT Editor. México.
- Henríquez C., Killorn, R., Bertsch, F., Sancho, F. (2005). *La geoestadística en el estudio de la variación espacial de la fertilidad del suelo mediante el uso del interpolador kriging*. *Agronomía Costarricense*. 29 (2): 73-81.
- Higuera, C., Gómez, J., Pardo, O., (2012). *Caracterización de un suelo arcilloso tratado con hidróxido de calcio*. *Facultad de Ingeniería* 21(32):21-40. <https://www.redalyc.org/pdf/4139/413940771003.pdf>.
- Huaman, J. H. (2021). *Influencia de los sistemas de uso en la calidad del suelo sector Cora Cora distrito Luyando, provincia de Leoncio Prado*. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 75 p.
- Inocencio, V. E. (2022). *Distribución espacial de indicadores de calidad fisicoquímica del suelo en el fundo "Cárdenas", en Nuevo Progreso Padre Abad*. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 70 p.
- Jaramillo, D. (2003). *Introducción a la Ciencia del Suelo*. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. pp 553-572.
- Jaramillo, D. F. (2012). *Variabilidad espacial del suelo: bases para su estudio*. *Revista de la Facultad de Ciencias Universidad Nacional de Colombia, Sede Medellín*. 1(01), 73 – 87. <https://revistas.unal.edu.co/index.php/rfc/article/view/49004/50077>
- Junco, C. W. A. (2016). *Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo de la microcuenca Río Bella, distrito de Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas*. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 110 p.
- López Báez, W., R. Reynoso-Santos, J. López-Martínez, B. Villar-Sánchez, R. Camas-Gómez y J. García-Santiago. (2019). *Caracterización físico-química de suelos cultivados con maíz en Villaflores, Chiapas*. *Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 10: 897-910. doi: <https://doi.org/10.29312/remexca.v10i4.1764>.
- Martínez, R., Tuya, L., Martínez, M., Pérez, A., Cánovas, A. (2009). El coeficiente de correlación de los rangos de Spearman caracterización. *Revista Habanera de Ciencias Médicas*, 8(2) <https://www.redalyc.org/pdf/1804/180414044017.pdf>

- Mejía A.E., Acosta, W.E., Diosdado, H.B. (2010). *Distribución espacial de los suelos de un área productiva de palma de aceite (Elaeis guineensis L.) en San Lorenzo, Ecuador*. XII Congreso Ecuatoriano de la Ciencia del Suelo. 13 p.
- Mengel, K.; Kirkby, E. A. (2000). *Principios de nutrición vegetal*. Traducción al español de la 4a edición (1987). Internacional Potash Institute. Basel, Switzerland. 692 p
- Moro, A. (2015). *Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos*. Análisis agrícola. <http://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>.
- Moscatelli, G., Sobral, R., Nakama, V, V. (2005). *Nueva tendencia para conocer el estado de los suelos*. (<http://www.inta.gov.ar/Articulo>).
- Navarro, G. (2003). *Química agrícola. El suelo y los elementos químicos esenciales en la vida vegetal*. 2 ed. Mundi Prensa, España.
- 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.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura [FAO]. (2020). *Portal de Suelos de la FAO: Propiedades químicas del Suelo*. <http://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/clasificacion-de-suelos/sistemas-numericos/propiedades-quimicas/es/>
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. [FAO]. (2002). *Desafíos y Oportunidades para el Sector Forestal en Virtud Del Protocolo De Kyoto*.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (1994). *Water quality for agriculture*. 29 Rev. 1.
- Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura, [FAO]. (2015). *Propiedades físicas químicas y biológicas del suelo*. (<http://www.fao.org/soils-portal/levantamiento-de-suelos/propiedades-del-suelo/es/>).
- Osorio, N. (2012).: *pH del suelo y disponibilidad de nutrientes*. Manejo Integral del Suelo y Nutrición Vegetal 1(4). <https://www.bioedafologia.com/sites/default/files/documentos/pdf/pH-del-suelo-y-nutrientes.pdf>.
- Paredes, M. (2004). *Manual del Cultivo del Cacao*. (En línea). Lima, PE. Consultado 12 oct.2020.Formato (PDF). Disponible en <http://www.proamazonia.gob.pe/estudios/manualcacao.pdf>.
- Pérez Rosales, A., Galvis Spínola, A., Bugarín Montoya, R., Hernández Mendoza., T., Vázquez Peña, M. Rodríguez González, A. (2017). Capacidad de intercambio catiónico: descripción del método de la tiourea de plata (AgTU+n). *Revista Mexicana de Ciencias*

- Agrícolas* 8(1):171-177. <https://www.scielo.org.mx/pdf/remexca/v8n1/2007-0934-remexca-8-01-171.pdf>.
- Reátegui, V. M. (2016). *Calidad de suelos en diferentes sistemas de uso de la tierra, distrito el Eslabón, provincia de Huallaga – San Martín*. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 110 p.
- Ross, M. 2004. *Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite*. Vol. 25 N° Especial, Tomo II. <https://publicaciones.fedepalma.org/index.php/palmas/article/download/1071/1071>.
- Rossiter, D.G. (2005). *Digital Soil Mapping: towards a multiple use of Soil Information System*. Semana de la Geomática 2005. Santa Fe de Bogotá, Colombia.
- Sánchez, J. 2007. Fertilidad de suelos y nutrición mineral de plantas. FERTITEC S.A. 19 p.
- Sánchez, R. E. (2016). *Distribución espacial por unidades fisiográficas de las propiedades fisicoquímicas del suelo de la microcuenca Picuroyacu, distrito de Rupa Rupa – Tingo María*. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 116 p.
- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación (SAGARPA). (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](https://silo.tips/queue/subindice-de-uso-sustentable-del-suelo-metodologia-de-calculo?&queue_id=-1&v=1625244045&u=MTkwLjIzNy4xNTcuMjEz)
- Soil Survey Staff. (1993). *Soil survey manual*. United States Department of Agriculture, [USDA]. Hnbk no. 18 U.S. Gov. Printing Office, Washington, DC.
- Soil Science Division Staff, [USDA]. (2017). *Soil survey manual*. C. Ditzler, K. Scheffe, and H.C. Monger (eds.). Handbook 18. Government Printing Office, Washington, D.C
- Ulloa, M. (2002). *Aplicación de la Geoestadística al Estudio de la Fertilidad del Suelo*. [Tesis grado, Universidad de Coruña]. <https://dialnet.unirioja.es/servlet/tesis?codigo=216697>
- Valbuena, C., Martínez, L., Giraldo, R. (2007). *Variabilidad espacial de la fertilidad del suelo y el rendimiento en un cultivo de mango (Mangifera indica L.) localizado en la Mesa Cundinamarca*. Semana Geomática Colombia.
- Vargas, R. (2009). *Mapeo digital del suelo y su evaluación con fines de producción de caña de azúcar en los municipios de Ixiamas y San Buenaventura*. Conservación Internacional Bolivia y Conservación Estratégica. 140 p.
- Vásquez, J.R., Baena, D., & Menjivar, J.C. (2010). *Variabilidad espacial de propiedades físicas y químicas en suelos de la granja experimental de la Universidad del Magdalena* (Santa

- Marta, Colombia). *Acta Agronómica*, 59(4), 449-456.  
[http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0120-28122010000400009&lng=es&tlng=es](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0120-28122010000400009&lng=es&tlng=es).
- Vendrusculo, L. (2001). *Desenvolvimento de um sistema computacional para análise geoestatística*. [Tesis de maestría]. Universidad de Campinas, Brasil.
- Villacorta, J. S. (2013). *Distribución espacial de las propiedades fisicoquímicas del suelo de los Palmicultores en la zona de Shambillo*. [Tesis de grado]. Facultad de Recursos Naturales Renovables. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú. 106 p.
- Vistoso E., Martínez-Lagos, J. (2020). *Magnesio disponible y fertilización en suelos de la Región de Los Ríos*. Instituto De Investigaciones Agropecuarias - Informativo N° 261 - <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/67254/NR42460.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.
- Wan, W. J., J. Tan, Y. Wang, Y. Qin, H. He, H. Wu, W. Zuo, and D. He. (2019). *Responses of the rhizosphere bacterial community in acidic crop soil to pH: Changes in diversity, composition, interaction, and function*. *Sci. Total Environ.* 697: 134418. doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.134418>.
- Webster, R., Burgess, T.M. (1980). Optimal interpolation and isarithmic mapping of soil properties. III. Changing drift and Universal Kriging." *European Journal of Soil Science* 31(3): 505-524.
- Yong, R. N.; Warkentin, B. P.; Phadungchewit, Y. and Galvez, R. (1990). Buffer capacity and lead retention in some clay. *Water, Air, and Soil Pollution*. 53: 53-67.
- Zavaleta, G. (1992). *Edafología. El suelo en relación con la producción*. Consejo Nacional de Concentración y Tecnología. Lima, Perú.
- Zhu, A. X. (2001b). *Soil Mapping using GIS, Expert Knowledge & Fuzzy Logic*. SOLIM Workshop.

## **ANEXOS**

## Anexo A. Tablas de los resultados de la distribución espacial

**Tabla 32.** Textura del suelo cultivado con *E. guineensis*.

Superficie de clases textural			
Descripción	Grupos texturales	Área (ha)	Porc. (%)
Ao Fco	Textura gruesa	92,40	3,59
Fco Ao	Textura media	1 629,36	63,33
Fco	Textura media	562,59	21,87
Fco Arc	Textura moderadamente fina	122,52	4,76
Fco Arc Ao	Textura moderadamente fina	166,00	6,45
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

Fuente: MINAGRI (2009)

**Tabla 33.** pH del suelo cultivado con *E. guineensis*.

Superficie de niveles de PH			
Descripción	Rango	Área (ha)	Porc. (%)
Fuertemente Acido	5,1 – 5,5	296,39	11,52
Muy Fuertemente Acido	4,5 – 5,0	1 819,20	70,71
Extremadamente Acido	3,6 – 4,4	457,28	17,77
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

Fuente: MINAGRI (2009)

**Tabla 34.** Materia orgánica del suelo cultivado con *E. guineensis*.

Superficie de niveles de Materia orgánica (%)			
Descripción	Rango	Área (ha)	Porc. (%)
Muy Bajo	< 2	2 443,46	94,97
Bajo	< 2	129,41	5,03
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 35.** Nitrógeno disponible del suelo cultivado con *E. guineensis*.

Superficie de niveles de Nitrógeno (%)			
Descripción	Rango	Área (ha)	Porc. (%)
Muy bajo	< 0.1	2 572,87	100,00
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 36.** Fósforo disponible del suelo cultivado con *E. guineensis*.

Superficie de niveles de Fósforo (ppm)			
Descripción	Rango	Área (ha)	Porc. (%)
Muy bajo	< 7	2 572,87	100,00

<b>Superficie total</b>	<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>
-------------------------	-----------------	---------------

**Tabla 37.** Potasio disponible del suelo cultivo con *E. guineensis*.

<b>Superficie de niveles de Potasio (kg/ha)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Rango</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porc. (%)</b>
Medio	300 - 600	1 933,02	75,13
Bajo	< 300	632,30	24,58
Muy Bajo	< 300	7,55	0,29
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 38.** Capacidad de intercambio catiónico del suelo cultivo con *E. guineensis*.

<b>Superficie de niveles de CIC (Cmol (+) kg<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Rango</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porc. (%)</b>
Bajo	$5 \leq \text{CIC} < 15$	419,55	16,31
Muy bajo	$\text{CIC} < 5$	2 153,32	83,69
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

Fuente: SAGARPA (2012)

**Tabla 39.** Calcio del suelo cultivo con *E. guineensis*.

<b>Superficie de niveles de Ca (Cmol (+) kg<sup>-1</sup>)</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Nivel</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porc. (%)</b>
Bajo	< 2	2 572,87	100,00
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 40.** Magnesio del suelo cultivo con *E. guineensis*.

<b>Superficie de niveles de Mg</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Nivel</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porc. (%)</b>
Bajo	< 0.5	1125,62	42,75
Medio	< 0.5	1447,24	56,25
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

**Tabla 41.** Sodio del suelo con cultivo de *E. guineensis*.

<b>Superficie de niveles de Sodio</b>			
<b>Descripción</b>	<b>Nivel</b>	<b>Área (ha)</b>	<b>Porc. (%)</b>
Muy Bajo	$0.0 \leq \text{Na} < 0.3$	139,16	5,41
Bajo	$0.3 \leq \text{Na} < 0.6$	942,59	36,64
Medio	$0.6 \leq \text{Na} < 1.0$	1 052,84	40,92
Alto	$1.0 \leq \text{Na} < 1.5$	237,72	9,24
Muy Alto	$\text{Na} \geq 1.5$	200,56	7,80
<b>Superficie total</b>		<b>2 572,87</b>	<b>100,00</b>

### Anexo B. Panel fotográfico



**Figura 24.** Vista del área y las Calicatas abiertas en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.



**Figura 25.** Vista de las Calicatas 10 y 13 abiertas en las zonas de cultivo de *E. guineensis*.

## Anexo B. Datos de campo

**Tabla 42.** Valores de la densidad aparente en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1,56	1,52	1,53	1,53	1,49	1,46	1,46	1,54
2		1,52	1,51	1,55	1,50	1,44	1,46	1,46
3		1,45	1,61	1,58	1,49	1,47	1,43	1,45
4		1,59	1,60	1,46	1,52	1,47	1,42	1,40
5		1,48	1,45	1,43	1,41	1,49	1,41	1,44
6		1,49	1,37	1,48	1,45	1,47	1,52	
7		1,57	1,54	1,53	1,46	1,39	1,42	
8		1,55	1,55	1,57	1,46	1,46	1,41	
9		1,61	1,45	1,50	1,49	1,49	1,43	
10		1,53	1,52	1,46	1,53	1,44		
11		1,45	1,56	1,47	1,43	1,43		
12			1,57	1,48	1,49			
13			1,51	1,49				
14			1,48	1,47				
15			1,41					
16			1,58					
17			1,49					
18			1,42					

**Tabla 43.** Valores del pH en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	4,09	4,46	3,98	4,63	4,60	4,21	3,92	4,47
2		4,26	4,41	4,35	4,35	4,09	4,10	3,79
3		4,09	4,75	4,01	4,11	4,09	3,97	3,98
4		4,65	4,70	4,01	4,44	4,14	3,88	4,16
5		4,29	3,97	3,79	4,14	4,17	4,18	4,02
6		4,28	3,88	4,01	4,09	3,86	4,05	
7		4,26	4,39	4,39	4,13	4,16	3,90	
8		4,13	4,13	4,50	4,16	3,99	4,11	
9		5,09	4,16	4,05	3,89	4,06	4,19	
10		4,03	4,13	3,97	3,92	4,03		
11		3,73	4,66	4,19	4,01	4,09		
12			4,50	4,42	3,87			
13			4,09	4,14				
14			4,14	3,97				
15			4,08					
16			5,11					
17			4,24					
18			3,96					

**Tabla 44.** Valores de la materia orgánica en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1,23	0,71	0,88	0,94	1,22	1,02	0,88	1,09
2		0,78	1,02	0,72	0,67	1,22	0,95	1,14
3		0,90	0,77	1,19	0,99	1,37	1,33	1,13
4		0,58	1,07	0,97	1,03	1,10	1,17	1,16
5		0,82	0,97	0,76	0,89	1,12	1,08	1,01
6		0,89	0,77	0,71	1,19	1,90	1,00	
7		0,89	0,63	0,84	1,26	1,46	1,33	
8		1,05	0,69	0,85	1,17	0,91	1,12	
9		0,93	0,85	1,02	0,85	0,83	1,06	
10		0,86	0,79	0,84	0,83	1,32		
11		0,82	0,83	0,98	1,21	0,97		
12			0,77	0,91	0,50			
13			1,11	1,15				
14			1,02	1,03				
15			0,68					
16			0,96					
17			1,00					
18			0,71					

**Tabla 45.** Valores del nitrógeno en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,06	0,03	0,04	0,04	0,05	0,05	0,04	0,05
2		0,04	0,05	0,03	0,03	0,05	0,04	0,05
3		0,04	0,03	0,05	0,04	0,06	0,06	0,05
4		0,03	0,05	0,04	0,05	0,05	0,05	0,05
5		0,04	0,04	0,03	0,04	0,05	0,05	0,05
6		0,04	0,03	0,03	0,05	0,03	0,05	
7		0,04	0,03	0,04	0,06	0,07	0,06	
8		0,05	0,03	0,04	0,05	0,04	0,05	
9		0,04	0,04	0,05	0,04	0,04	0,05	
10		0,04	0,04	0,04	0,04	0,06		
11		0,04	0,04	0,04	0,05	0,04		
12			0,03	0,04	0,02			
13			0,05	0,05				
14			0,05	0,05				
15			0,03					
16			0,04					
17			0,04					
18			0,03					

**Tabla 46.** Valores del fósforo en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	3,07	1,67	3,67	2,13	2,97	2,33	1,37	9,70
2		2,67	3,13	1,73	2,37	2,67	1,83	1,43
3		2,40	1,87	1,90	2,93	2,70	1,60	1,10
4		1,37	1,73	0,73	1,77	1,63	1,50	0,45
5		1,37	1,77	1,90	1,87	1,90	0,53	0,80
6		2,03	2,15	1,00	2,23	0,40	3,35	
7		1,80	2,15	1,43	1,40	0,80	1,43	
8		1,43	2,10	3,33	1,57	2,10	1,75	
9		2,40	1,47	1,53	0,70	1,87	0,75	
10		1,13	1,70	1,77	0,55	1,27		
11		1,93	2,37	0,97	1,90	0,80		
12			3,23	2,13	0,35			
13			1,40	1,40				
14			1,43	1,30				
15			1,40					
16			2,67					
17			1,67					
18			2,20					

**Tabla 47.** Valores del potasio en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	114,00	93,67	94,33	135,67	157,67	124,33	100,33	76,00
2		107,33	125,67	83,33	117,33	114,00	130,00	75,00
3		110,33	97,67	147,00	110,00	94,67	69,00	76,00
4		80,33	189,00	109,67	101,33	130,33	90,00	115,00
5		99,67	102,00	129,00	135,00	118,00	126,33	87,00
6		121,00	145,00	106,00	105,00	124,00	89,50	
7		129,67	92,00	118,67	162,33	132,00	81,33	
8		142,67	101,67	96,67	156,00	124,00	116,50	
9		156,67	141,67	172,00	141,00	108,00	104,00	
10		94,67	142,33	138,33	140,00	75,00		
11		125,00	98,33	131,33	130,67	115,67		
12			96,33	118,33	120,50			
13			191,33	163,67				
14			108,67	149,00				
15			135,00					
16			183,33					
17			88,67					
18			123,00					

**Tabla 48.** Valores del calcio en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	1,45	0,94	1,06	1,57	2,15	1,45	0,80	2,04
2		1,10	1,26	1,26	1,24	2,01	0,97	0,94
3		1,06	1,04	2,30	1,10	1,21	1,72	1,54
4		0,96	1,45	1,49	1,65	1,25	1,72	2,79
5		1,48	0,96	0,70	2,01	2,38	1,90	1,39
6		1,38	1,01	1,23	2,23	1,12	1,02	
7		1,19	0,88	1,49	2,93	2,99	1,43	
8		0,98	0,88	1,58	2,52	1,07	2,11	
9		1,27	1,06	0,96	0,60	1,07	1,71	
10		0,85	1,18	1,05	0,62	1,03		
11		0,90	1,46	1,81	1,49	1,63		
12			1,26	1,74	0,70			
13			1,09	1,71				
14			1,17	1,02				
15			1,89					
16			1,84					
17			1,38					
18			1,58					

**Tabla 49.** Valores del magnesio en las zonas de cultivo con *E. guineensis*

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,66	0,57	0,56	0,83	1,57	1,16	0,69	0,60
2		0,62	0,75	0,83	0,93	1,53	0,64	0,73
3		0,71	0,57	1,06	0,86	1,07	1,01	0,98
4		0,55	0,90	0,84	1,08	1,01	1,19	2,08
5		0,93	1,29	0,75	1,94	0,98	1,49	0,93
6		0,88	1,08	0,73	1,57	0,92	0,59	
7		0,56	0,61	1,09	1,39	2,30	1,02	
8		0,54	0,48	0,74	1,38	0,82	1,65	
9		0,66	0,91	1,07	0,58	0,76	1,33	
10		0,49	0,82	0,91	0,58	0,81		
11		0,69	0,69	1,26	1,30	1,21		
12			0,72	1,07	0,61			
13			0,77	1,23				
14			1,09	0,76				
15			1,41					
16			0,76					
17			0,81					
18			1,45					

**Tabla 50.** Valores del sodio en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	0,15	0,16	0,15	0,18	0,20	0,19	0,22	0,19
2		0,14	0,18	0,26	0,18	0,23	0,22	0,21
3		0,18	0,21	0,87	0,19	0,20	0,22	0,24
4		0,19	0,21	0,31	0,22	0,16	0,55	0,20
5		0,22	0,38	0,17	0,23	0,16	0,19	0,34
6		0,21	0,21	0,17	0,18	0,66	0,19	
7		0,21	0,12	0,20	0,15	0,22	0,36	
8		0,19	0,14	0,23	0,18	0,21	0,59	
9		0,19	0,20	0,27	0,19	0,32	0,34	
10		0,32	0,20	0,31	0,36	0,28		
11		0,21	0,19	0,21	0,17	0,18		
12			0,20	0,23	0,30			
13			0,22	0,25				
14			0,30	0,41				
15			0,17					
16			0,21					
17			0,40					
18			0,17					

**Tabla 51.** Valores de la capacidad de intercambio catiónico en las zonas de cultivo con *E. guineensis*.

Zonas	E	F	G	H	I	J	K	L
1	3,01	2,32	2,19	2,99	4,44	3,82	2,69	3,06
2		2,54	2,71	2,88	2,91	5,52	2,89	3,76
3		3,40	2,06	4,73	2,96	4,26	4,36	4,83
4		2,07	2,83	4,79	3,30	4,17	5,44	6,95
5		3,81	4,46	4,56	6,32	4,94	5,55	4,43
6		3,43	6,11	3,24	5,63	4,76	2,30	
7		2,76	1,98	3,33	5,73	7,41	4,66	
8		2,89	1,81	3,08	6,69	3,02	6,08	
9		2,74	3,65	4,42	3,58	2,95	5,23	
10		2,66	2,71	4,52	3,27	3,52		
11		4,15	2,88	4,23	5,46	5,43		
12			2,44	3,64	3,84			
13			3,21	4,72				
14			3,85	3,98				
15			5,34					
16			3,06					
17			3,68					
18			5,31					

**Tabla 52.** Propiedades químicas de las calicatas en las zonas de cultivo.

<b>Calicatas</b>	<b>pH</b>	<b>K</b>	<b>MO</b>	<b>P</b>	<b>CIC</b>	<b>Ca</b>	<b>Mg</b>	<b>Na</b>
1	4,38	94,75	0,58	0,75	7,80	1,49	0,70	0,35
2	4,38	44,00	0,76	0,88	6,28	1,49	0,78	0,31
3	4,40	34,67	0,72	0,73	11,89	0,86	0,45	0,44
4	4,50	51,00	0,55	1,27	7,15	0,94	0,63	0,31
5	4,52	33,67	0,60	0,60	7,25	0,69	0,29	0,42
6	4,05	85,67	0,60	0,50	13,28	1,15	0,93	0,32
7	3,98	110,67	0,81	0,87	14,67	0,69	1,07	0,30
8	4,09	62,67	0,51	2,07	11,52	0,82	0,58	0,43
9	4,69	35,67	0,41	1,90	2,72	0,76	0,30	0,27
10	4,09	116,25	0,85	0,58	19,04	2,37	3,50	0,38
11	4,10	58,00	0,56	0,43	12,43	1,04	1,06	0,35
12	4,22	47,33	0,75	0,47	10,61	1,69	1,12	0,31
13	3,96	63,00	0,92	1,13	13,07	1,46	1,56	0,30
14	4,02	81,50	0,73	0,95	10,36	0,76	0,58	0,32
15	3,66	42,67	0,47	0,57	8,27	0,67	0,62	0,30

## Anexo C. Análisis de suelos por calicata

### Calicata 1

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C1-H1	0 - 20	5.08	F.A.	0.87	MB	1.1	MB	173	M	56	30	14	Fco Ao	0.30	5.07	5.92	Ópt.
C1-H2	20 - 40	4.50	MF.A.	0.50	MB	0.6	MB	109	M	56	28	16	Fco Ao	1.10	3.69	29.81	Ópt.
C1-H3	40 - 70	3.95	EA.	0.53	MB	0.9	MB	54	MB	46	26	28	Fco Arc Ao	4.50	6.65	67.65	Tóx.
C1-H4	70 - 120	3.97	EA.	0.41	MB	0.4	MB	43	MB	46	26	28	Fco Arc Ao	5.90	7.78	75.84	Tóx.

### Calicata 2

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C2-H1	0 - 20	5.30	F.A.	1.15	MB	1.4	MB	45	MB	66	26	8	Fco Ao	0.30	4.13	7.27	Ópt.
C2-H2	20 - 50	4.41	MF.A.	0.62	MB	0.5	MB	49	MB	58	30	12	Fco Ao	0.50	2.68	18.64	Ópt.
C2-H3	50 - 80	3.92	EA.	0.62	MB	0.5	MB	39	MB	46	32	22	Fco	2.70	5.14	52.54	Lig. Tóx.
C2-H4	80 - 100	3.88	EA.	0.64	MB	1.1	MB	43	MB	56	24	20	Fco Arc Ao	5.60	8.13	68.92	Tóx.

### Calicata 3

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C3-H1	0 - 20	4.19	MF.A.	0.86	MB	1.1	MB	31	MB	42	42	16	Fco	1.50	3.53	42.46	Lig. Tóx.
C3-H2	20 - 50	4.10	MF.A.	0.70	MB	0.8	MB	31	MB	32	32	36	Fco Arc	7.10	8.87	80.03	Tóx.
C3-H3	50 - 100	4.92	F.A.	0.61	MB	0.3	MB	42	MB	28	32	40	Arc	6.60	8.53	77.35	Tóx.

## Calicata 4

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C4-H1	0 - 30	5.64	M.A.	0.71	MB	0.4	MB	58	MB	56	34	10	Fco Ao	0.40	3.13	12.79	Ópt.
C4-H2	30 - 70	3.92	EA.	0.52	MB	0.4	MB	47	MB	42	30	28	Fco Arc	4.00	6.01	66.53	Tóx.
C4-H3	70 - 110	3.93	EA.	0.41	MB	3.0	MB	48	MB	36	34	30	Fco Arc	5.20	6.71	77.54	Tóx.

## Calicata 5

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C5-H1	0 - 20	4.41	MF.A.	0.87	MB	0.5	MB	30	MB	52	34	14	Fco	0.80	2.39	33.45	Ópt.
C5-H2	20 - 40	4.38	MF.A.	0.49	MB	0.4	MB	19	MB	56	32	12	Fco Ao	1.00	2.18	45.83	Lig. Tóx.
C5-H3	40 - 100	4.78	F.A.	0.43	MB	0.9	MB	52	MB	40	22	38	Fco Arc	4.90	6.71	73.00	Tóx.

## Calicata 6

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C6-H1	0 - 20	4.15	MF.A.	0.81	MB	0.6	MB	81	B	46	22	32	Fco Arc Ao	2.80	7.02	39.88	Ópt.
C6-H2	20 - 40	4.01	MF.A.	0.44	MB	0.5	MB	72	B	50	18	32	Fco Arc Ao	5.40	7.36	73.35	Tóx.
C6-H3	40 - 100	3.98	EA.	0.54	MB	0.4	MB	104	M	44	20	36	Fco Arc	5.70	7.51	75.89	Tóx.

## Calicata 7

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C7-H1	0 - 20	4.13	MF.A.	1.22	B	0.7	MB	143	M	48	30	22	Fco	2.00	4.49	44.56	Lig. Tóx.
C7-H2	20 - 70	3.93	EA.	0.76	MB	1.6	MB	98	B	40	20	40	Arc	6.40	8.81	72.63	Tóx.
C7-H3	70 - 110	3.89	EA.	0.45	MB	0.3	MB	91	B	34	22	44	Arc	7.60	9.78	77.72	Tóx.

## Calicata 8

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C8-H1	0 - 20	4.04	MF.A.	0.66	MB	1.1	MB	71	B	36	42	22	Fco	1.10	3.59	30.65	Ópt.
C8-H2	20 - 60	4.08	MF.A.	0.49	MB	4.3	B	56	MB	24	34	42	Arc	7.40	9.12	81.15	Tóx.
C8-H3	60 - 90	4.15	MF.A.	0.38	MB	0.8	MB	61	B	42	26	32	Fco Arc	7.50	9.37	80.01	Tóx.

## Calicata 9

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C9-H1	0 - 20	4.52	F.A.	0.50	MB	1.2	MB	36	MB	84	10	6	Ao Fco	0.40	1.81	22.11	Ópt.
C9-H2	20 - 50	4.81	F.A.	0.39	MB	1.1	MB	27	MB	88	12	0	Ao	0.20	1.67	11.95	Ópt.
C9-H3	50 - 90	4.75	F.A.	0.33	MB	3.4	MB	44	MB	84	10	6	Ao Fco	0.30	1.74	17.28	Ópt.

## Calicata 11

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C15-H1	0 - 40	3.48	EA.	0.44	MB	0.6	MB	47	MB	64	22	14	Fco Ao	0.90	2.85	31.58	Ópt.
C15-H2	40 - 100	3.64	EA.	0.44	MB	0.2	MB	41	MB	54	20	26	Fco Arc Ao	2.50	4.16	60.16	Tóx.
C15-H3	100 - 120	3.86	EA.	0.54	MB	0.9	MB	40	MB	52	18	30	Fco Arc Ao	4.10	5.66	72.45	Tóx.

## Calicata 12

CLAVE	PROF.	pH		% M.O		P (ppm)		K (ppm)		% Ao	% Li	% Arc	Clase Textural	Al <sup>3+</sup> + H <sup>+</sup>	CICe	% Acidez Cambiable	
C16-H1	0 - 20	4.50	MF.A.	1.41	B	4.8	B	79	B	46	36	18	Fco	0.30	3.53	8.51	Ópt.
C16-H2	20 - 40	4.28	MF.A.	0.46	MB	1.0	MB	31	MB	46	32	22	Fco	2.60	4.26	60.99	Tóx.
C16-H3	40 - 110	4.55	F.A.	0.36	MB	0.2	MB	42	MB	42	24	34	Fco Arc	4.70	6.50	72.30	Tóx.