

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



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICA**  
**DEL SUELO EN EL FUNDO “CÁRDENAS”, EN NUEVO PROGRESO**  
**PADRE ABAD 2022**

**Tesis**

**Para optar el título de:**

**INGENIERO EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA**

**PRESENTADO POR:**

**ERIKA TEREZA INOCENCIO VASQUEZ**

**Tingo María – Perú.**

**2022**



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Tingo María – Perú

**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**



**ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TESIS N° 036-2022-FRNR-UNAS**

Los que suscriben, miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 25 de Agosto del 2022 a horas 5:50 p. m. en la Sala Sesiones de la Escuela Profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos y Agua de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la Tesis titulada:

**“DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO “CÁRDENAS”, EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022”**

Presentado por la Bachiller: **INOCENCIO VASQUEZ, Erika Tereza**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de **“MUY BUENO”**

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO EN 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, 16 de Setiembre de 2022

Ing. M. Sc. **JUAN PABLO RENGIFO TRIGOZO**  
PRESIDENTE

Ing. M. Sc. **JOSE VICTOR QUIROZ RAMIREZ**  
MIEMBRO



Ing. M. Sc. **MARCO ANTONIO DUEÑAS TUESTA**  
MIEMBRO

Dr. **NELINO FLORIDA ROFNER**  
ASESOR

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



**DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FISICOQUÍMICA**  
**DEL SUELO EN EL FUNDO “CÁRDENAS”, EN NUEVO PROGRESO**  
**PADRE ABAD 2022**

<b>Autor</b>	: Bach. Erika Tereza, Inocencio Vasquez
<b>Asesor</b>	: Dr. Nelino Florida Rofner
<b>Programa de Investigación</b>	: Manejo y Conservación de Suelos
<b>Línea (s) de Investigación</b>	: Ciencias básicas del Suelo
<b>Eje Temático</b>	: Propiedades físicas y químicas del suelo
<b>Lugar de ejecución</b>	: Fundo Cárdenas-Padre Abad
<b>Duración del trabajo</b>	: Seis meses
<b>Financiamiento</b>	: S/. 10 994,50
<b>Propio</b>	: Si
<b>FEDU</b>	: No
<b>Otros</b>	: No

**Tingo María – Perú**

**2022**

## **DEDICATORIA**

A Dios, por escuchar mis oraciones, por todo lo bueno y malo que me ha pasado, por poner personas maravillosas en mi camino, orientarme por el buen camino, darme fuerza para seguir adelante y no desistir en los problemas que se presentaron, enseñándome a enfrentar y superar las limitaciones sin perder los buenos valores.

A mi madre Erlinda Vasquez Ruiz por su apoyo incondicional y por ser mi fortaleza para lograr mis objetivos y metas. A mis hermanos Saby Najhary Inocencio Vasquez, Luis Jhonatan Inocencio Vasquez y Jarin Eladia Inocencio Vasquez porque me inspiraban cada día a seguir adelante porque eran y son mi motor y motivo para seguir cumpliendo mis metas.

A mis familiares, quienes en mi época universitaria siempre me brindaron su apoyo y me animaban a no rendirme y ser un ejemplo.

**El autor**

## **AGRADECIMIENTOS**

A Dios, tu amor y tu bondad no tienen fin, me permites disfrutar de todos mis logros que son resultado de tu ayuda, los obstáculos me sirven para mejorar como ser humano. La tesis ha sido una bendición en todo sentido y estaré agradecido, pues la meta está cumplida.

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva, por haber permitido formarme, gracias a todos los docentes que fueron partícipes de este proceso, ya sea de manera directa o indirecta, gracias a todos, fueron ustedes con sus aportes, que hoy se ve reflejada en la culminación de mi paso por la universidad.

Al Dr. Nelino Florida Rofner, por el asesoramiento en la formulación del proyecto, la ejecución, redacción y sustentación de la tesis.

A los miembros del jurado Ing. M. Sc. Juan Pablo Rengifo Trigozo, Ing. M. Sc. José Quiroz Ramírez, Ing. M. Sc. Marco Antonio Dueñas Tuesta por sus aportes en las correcciones de la presente investigación.

A mis amigos más cercanos que fueron en la universidad, por compartir conocimientos y momentos únicos que nos convirtieron en casi hermanos son y serán un tesoro muy preciado.

## ÍNDICE GENERAL

	<b>Página</b>
I. INTRODUCCIÓN.....	1
1.1 Objetivos	
1.1.1. Objetivo general.....	2
1.1.2. Objetivos específicos.....	2
II. REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1. Calidad del suelo.....	3
2.1.1. Indicadores de calidad fisicoquímicas del suelo.....	3
2.1.2. Indicadores físicos .....	4
2.1.3. Indicadores químicos .....	4
2.3.2 Indicadores químicos.....	4
2.2. Variabilidad espacial de los suelos .....	5
2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG).....	6
2.4. Métodos de interpolación.....	7
2.5. Método Kriging .....	7
2.5.1 Análisis y representación de la dependencia espacial .....	8
2.6. Cacao .....	9
2.7. Estado del arte .....	10
2.7.1. Antecedentes Internacionales.....	10
2.5.1. Antecedentes nacional y locales.....	12
III. MATERIALES Y MÉTODOS.....	14
3.1. Ubicación .....	14
3.2. Características del área de estudio.....	14
3.3. Materiales y equipos.....	15
3.4. Metodología .....	15
3.4.1. Determinación de indicadores fisicoquímicos del suelo.....	15
3.4.2. Determinación de la calidad del suelo a través del método de SAGARPA y Cantú.....	16
3.4.5 Determinación de la distribución espacial de la calidad del suelo a través del método Kriging .....	18

3.5. Universo y muestra .....	20
3.6. Variables en estudio.....	20
IV. RESULTADOS Y DISCUSION .....	21
4.1. Indicadores fisicoquímicos del suelo .....	21
4.2. Calidad del suelo (ICS) .....	24
4.3. Distribución y variabilidad espacial de indicadores fisicoquímico y calidad del suelo..	25
4.3.1. Relevancia estadística de los indicadores evaluados.....	25
4.3.2. Análisis de distribución geoespacial de indicadores relevantes y calidad del suelo .....	27
4.3.3. Análisis de validación geoestadística de indicadores relevantes y calidad del suelo .....	28
V. CONCLUSIÓN.....	32
VI. PROPUESTAS A FUTURO .....	33
VI. REFERENCIAS .....	34
ANEXO .....	39
Trabajo de campo .....	39
Análisis Geoestadístico de indicadores relevantes .....	41
Distribución espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo .....	44

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla</b>	<b>Página</b>
1. Parámetros edáficos, unidades de medida, valores máximos y mínimos definidos para determinar el ICS.....	17
2. Rangos de ICS para determinar la calidad del suelo según método SUSS .....	17
3. Clases de calidad de suelos según Cantú .....	18
4. Ubicación de puntos muestreados .....	18
5. Estadística descriptiva de indicadores evaluados .....	21
6. Cálculo de los ICS del área evaluada .....	25
7. Varianza total explicada por el análisis de componentes principales (ACP).....	26
8. Matriz de componentes e indicadores relevantes .....	26
9. Distribución espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo .....	27
10. Parámetros del variograma aplicando Kriging para indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo .....	28
11. Validación cruzada y eficiencia de predicción de la interpolación Kriging .....	30



## ÍNDICE DE FIGURAS

<b>Figura</b>	<b>Página</b>
1. Elementos de un semivariograma .....	9
2. Localización geográfica del área de estudio.....	14
3. Esquema de muestreo sistemático del fundo Cárdenas .....	18
4. Fundo Cárdenas .....	39
5. Toma de coordenadas .....	39
6. Extracción de muestras .....	40
7. Cultivo de cacao CCN-51 en el Fundo Cárdenas .....	40
8. Variograma para la fracción arena .....	41
9. Variograma para la fracción limo .....	41
10. Variograma para la MO del suelo .....	41
11. Variograma para el N del suelo .....	42
12. Variograma para el K <sup>+</sup> del suelo .....	42
13. Variograma para el Al <sup>3+</sup> del suelo .....	42
14. Variograma para la CIC del suelo .....	43
15. Variograma para el %BC del suelo .....	43
16. Variograma para el %AC del suelo .....	43
17. Variograma para el %SAI del suelo .....	44
18. Variograma para el índice de calidad del suelo (ICS) .....	44

## RESUMEN

Los suelos del trópico peruano presentan variabilidad espacial de moderada a media en distancias cortas de los diferentes indicadores de calidad del suelo. Por ello, se evaluó la distribución y variabilidad espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en el fundo “Cárdenas”, en Nuevo Progreso, Padre Abad. Metodológicamente es una investigación no experimental transversal, en el que se evaluaron indicadores fisicoquímicos y la calidad del suelo al que se sometió al análisis geoestadístico a través del interpolador Kriging. Los resultados muestran coeficientes de variación (CV) baja para arcilla, pH y K, y media para arena, limo, MO, N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, CIC, %SB, %AC y %SAI. La calidad del suelo varía entre baja a muy baja calidad con una distribución espacial de 52,24 % y 47,76% respectivamente. El ACP encontró relevancia estadística para arena, limo, MO, N, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, CIC, %AC, %BC y %SAI, todos presentan variación espacial según su nivel de fertilidad, excepto K<sup>+</sup>. Los modelos con mejores ajustes son el exponencial y lineal con dependencia espacial fuerte para arena, limo y K, moderada para MO, N, Al, CIC, %SAI e ICS, y débil para %BC y %AC, con una eficiencia de predicción confiable. Se concluye, que los indicadores geoestadísticos indican alta variabilidad espacial que se contrasta con los coeficientes de variabilidad, las variaciones se atribuyen a factores de formación por características propias del lugar y el historial de manejo.

**Palabras clave:** Coeficiente de variación, geoestadística, índice de calidad del suelo, Kriging.

## ABSTRACT

The soils of the Peruvian tropics present moderate to medium spatial variability in short distances of the different soil quality indicators. Therefore, we evaluated the distribution and spatial variability of physicochemical indicators and soil quality in the "Cardenas" farm, in Nuevo Progreso, Padre Abad. Methodologically, it is non-experimental cross-sectional research, in which physicochemical indicators and soil quality were evaluated and subjected to geostatistical analysis through the Kriging interpolator. The results show low coefficients of variation (CV) for clay, pH and K, and medium for sand, silt, OM, N, P, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Al<sup>3+</sup>, CEC, %BS, %CA and SAI. Soil quality ranged from low to very low quality with a spatial distribution of 52.24 % and 47.76% respectively. The PCA found statistical significance for sand, silt, OM, N, K<sup>+</sup>, Al<sup>3+</sup>, CEC, %CA, %CB and %SAI, all presenting spatial variation according to their fertility level, except K<sup>+</sup>. The models with best fits are the exponential and linear with strong spatial dependence for sand, silt, and K<sup>+</sup>, moderate for MO, N, Al<sup>3+</sup>, CEC, SAI and SQI, and weak for %CB and %CA, with reliable prediction efficiency. It is concluded that the geostatistical indicators indicate high spatial variability that is contrasted with the coefficients of variability, the variations are attributed to formation factors due to site characteristics and management history.

**Keywords:** Coefficient of variation, geostatistics, soil quality index, Kriging.

## I. INTRODUCCIÓN

La agricultura en el trópico peruano se desarrolla bajo técnicas de manejo orgánico y convencional, en ambos casos, con deficiencias técnicas en el manejo de la fertilidad (Florida y Acuña 2020), en parte, resultado de una variabilidad espacial de moderada a media en distancias cortas de los diferentes indicadores de calidad del suelo (Maharjan et al., 2018; Panday et al., 2018). Frente a ello, las herramientas geoestadísticas como el método de interpolación Kriging ordinario y simple en Arc Gis, permiten determinar las variabilidades espaciales de los atributos del suelo (Balzarini, 2014), información confiable y útil para la elaboración de diagnósticos de fertilidad (Vásquez, 2010) y la aplicación eficiente de planes de fertilización (Gamble et al., 2018).

El fundo Cárdenas, maneja 3.35 ha aproximadamente de cacao CCN-51 en un suelo fuertemente ácido y con aparentes deficiencias nutricionales, que se evidencian por la disparidad en el tamaño, producción y vigor dentro de la misma plantación, por lo que, la aplicación de un plan de fertilización sin el estudio correspondiente no resultaría eficiente y podría generar pérdidas al productor. Frente a esta realidad problemática la investigación plantea la siguiente interrogante ¿Cuál es la distribución espacial de los indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en el fundo “Cárdenas” en Nuevo Progreso-Padre Abad 2022?

En este contexto, el trabajo se justifica en la búsqueda de información básica, a través de herramientas geoestadísticas, que resuelva el problema que afecta al fundo Cárdenas y a productores locales y determine la variabilidad espacial de la calidad del suelo para un mejor diagnóstico de la fertilidad de sus tierras y optimizar la aplicación de los abonos orgánicos e inorgánicos.

Los resultados de esta investigación contribuyen con nuevos conocimientos para la comunidad científica y se utilizarán como material didáctico en la carrera profesional de Ingeniería en Conservación de Suelos. Además, se convertirá en alternativa a ser considerada por el propietario del fundo y de las instituciones que promueven el desarrollo de proyectos productivos en la zona, dentro del plan de desarrollo alternativo, a través de la Comisión Nacional para el Desarrollo y Vida sin Drogas (DEVIDA), el Gobierno Regional de Ucayali (GOREU) y la Asociación de Productores Nuevo Progreso, conformado por productores locales.

En este contexto general la investigación da respuesta al problema planteado, si existe variabilidad espacial de los diferentes indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo en el fundo “Cárdenas” en Nuevo Progreso-Padre Abad.

## **1.1. Objetivos**

### **1.1.1. Objetivo general**

- Evaluar la distribución y variabilidad espacial de indicadores fisicoquímicas y calidad del suelo en el fundo “Cárdenas”, en Nuevo Progreso – Padre Abad.

### **1.1.2. Objetivos específicos**

- Determinar indicadores de calidad fisicoquímica del suelo: Textura, pH, MO, N, P, K,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , CIC, %SB, %AC y %SAI.
- Determinar el índice de calidad del suelo (ICS).
- Determinar la relevancia a través del análisis de componentes principales (ACP), la distribución espacial y validación geoestadística de los indicadores fisicoquímicos y de la calidad del suelo a través del método Kriging.

## II. REVISIÓN DE LITERATURA

### 2.1. Calidad del suelo

Machado & Mielniczuk (2009), define la calidad del suelo como la capacidad del suelo para desempeñar sus funciones actuales y futuras. Sin embargo, es necesario recordar que la comunidad científica progresivamente ha venido incorporando nuevos conceptos al término calidad del suelo a partir de los años 90, cuando se tomó conciencia del papel determinante del recurso suelo en la calidad ambiental; en general las investigaciones han centrado su atención en los procesos que generan la degradación de los recursos naturales, la sustentabilidad y las funciones ambientales del suelo.

También se tienen algunas definiciones enfocadas en la sostenibilidad del agroecosistema como el de Doran & Parkin (1996), definen como la capacidad para funcionar dentro de los límites de un ecosistema natural, capaz de sustentar la productividad, promover la salud de las plantas, animales y del hombre. También Smyth & Dumanski (1995) citados por Meza et al. (2017), define como la capacidad de éste para producir sin degradarse ni perder sus funciones ambientales.

Existe un consenso sobre la calidad del suelo, como la capacidad para producir y mantener los servicios ambientales del agroecosistema (Meza et al., 2017). Sin embargo, Bautista et al. (2004), afirma que ninguna evaluación de la calidad considera los resultados potenciales positivos o negativos en una evaluación integral, habitualmente, se enfatiza los resultados positivos de cada indicadores y/o sólo los negativos como la salinidad y compactación, sin embargo, si bien la MO tiene efectos positivos directa o indirecta sobre el suelo, también puede tener efectos adversos, como la liberación de ácidos orgánicos durante el proceso, aspecto no considerados en los estudios sobre la calidad del suelo.

#### 2.1.1. Indicadores de calidad fisicoquímicas del suelo

Para hacer funcional el concepto de calidad es necesario un número de amplio de indicadores con capacidad para medir el estado del suelo. Estos indicadores explican una condición y generan información del estado y/o cambios o tendencias (Bautista et al., 2004) Además, Hünemeyer et al. (1997), citado por Bautista et al. (2004), señalan que los indicadores deben permitir:

- Analizar el estado actual.
- Predecir impactos antes de una intervención
- Monitorear los cambios producidos por el manejo

- Determinar la sostenibilidad del suelo

También, Prieto et al. (2013) explica que un indicador es una variable que sistematiza información haciendo perceptibles cambios relevantes. Deben ser preferiblemente variables cuantitativas, nominales, de rango u ordinales cuando no se dispone de información cuantitativa, el atributo no es cuantificable o cuando los costos son demasiado elevados.

### 2.1.2 Indicadores físicos

Tienen la capacidad para explicar el flujo hídrico, el crecimiento de las raíces, el desarrollo vegetal, la disposición de partículas y la porosidad. La estructura, densidad, agregados, infiltración, profundidad y capacidad de retención de agua, son parámetros que frecuentemente se utilizan como indicadores de calidad física del suelo (Bautista et al., 2004).

Adicionalmente, una propiedad física importante es la resistencia a la penetrabilidad ( $R_p$ ), por su relación directa con la  $D_a$  y la porosidad. La  $R_p$  es la resistencia mecánica que ofrece el suelo al movimiento de un cono de penetración, es un indicador que expresa la compactación y el endurecimiento de la capa superficial resultado del manejo y generalmente elevan la resistencia a la penetrabilidad (Demuner et al., 2013).

### 2.1.3 Indicadores químicos

Determinan la relación suelo-planta, calidad del agua, reacción, disponibilidad de agua y nutrientes y la vida microbiana. Algunos indicadores son macro y micronutrientes, MO, CO lábil, pH, CE, capacidad de adsorción de fosfatos, CIC, cambios en la MO, nitrógeno total y mineralizable. En caso del potencial de hidrogeno (pH), determina el nivel de adsorción de iones ( $H^+$ ) por las partículas minerales y el nivel de acidez o alcalinidad; además, influye en la solubilidad y movilidad de nutrientes y biodisponibilidad de contaminantes presentes en el suelo, es el indicador con gran influencia sobre la capacidad de resiliencia del suelo (FAO, 2020).

La MO presenta diferentes estados de formación y fracciones, como lábiles y las fracciones húmicas. La MO tiene influencia positiva sobre el suelo al mejorar la retención de agua en el perfil, formación y estabilidad de agregados, eleva la CIC, retención de cationes y oligoelementos esenciales que favorecen el crecimiento de las plantas (FAO, 2020).

El fósforo (P), se lo encuentra formando parte de las estructuras que almacenan energía en las plantas como las semillas, sin embargo, su absorción por los vegetales es muy compleja debido a su baja disponibilidad, esto, por su alta reactividad que termina formando especies químicas insolubles. Además, las formas insolubles no solo se restringen a

los suelos ácidos, también en condiciones de alcalinidad, por lo que, el P biodisponible depende de la mineralización y de los planes de fertilización (SAGARPA, 2012).

El potasio (K), macronutriente muy utilizado por los vegetales en forma de ion  $K^+$ , los niveles en el suelo dependen de la liberación del K que forma parte de la estructura de los filosilicatos (SAGARPA, 2012). Además, es muy importante en la fisiología vegetal, por formar parte de tejidos, como parte no constitutiva de las estructuras básicas esenciales, y por neutralizar los ácidos orgánicos que resultan del metabolismo (Navarro & Navarro, 2003).

El calcio (Ca), catión de reacción básica más abundante en los vegetales después del  $K^+$  con baja capacidad de translocación dentro de las plantas, por ello, los tejidos prematuros tienden a manifestar deficiencias cuando los niveles en los suelos son deficientes. Además, determinan el nivel de pH, CIC, y la relación sinérgica que existe en relación con otros cationes (Navarro & Navarro, 2003).

El magnesio (Mg), constituyente de minerales y en la solución se encuentra como ion intercambiable. Los niveles de  $Mg^{2+}$  en el suelo varían en función del material de origen, tipo de minerales, clase textural, concentración de otros cationes, niveles de pH, clima, extracción vegetal y los aportes vía fertilización. Además, usualmente se observa deficiencias en condiciones de suelos ácidos, suelos arenosos, fuertemente lavados y con baja CIC (Havlin et al., 1999).

## **2.2. Variabilidad espacial de los suelos**

La variabilidad de los diferentes indicadores de calidad del suelo es una condición propia de este recurso, debido a que en su formación intervienen procesos diferentes que, a su vez, están controlados por los factores de formación ya conocidos como el clima, material parental, organismos, relieve y tiempo (Jaramillo, 2012). Además, la variabilidad espacial de estos indicadores dentro de los campos agrícolas está influenciada por la naturaleza geológica del suelo y por el tipo de manejo y tecnología aplicada por la labranza (Déleg, 2018).

Es un consenso que existe variabilidad del suelo desde un punto a otro del paisaje siendo de diversos orígenes, por características inherentes a procesos de formación que prevalecen como: la litología, el clima, la topografía, la actividad biológica y la acción humana (Jaramillo, 2012; Déleg, 2018), estos, pueden generar variación espacial que introducen heterogeneidad en distancias cortas y otros provocan dependencia espacial de mayor extensión (Ulloa, 2002; Jaramillo, 2012). Sin embargo, estas variaciones no se presentan en la misma magnitud para todos los indicadores de calidad del suelo, pues, presentan mayor variabilidad



las propiedades químicas que las físicas y suelos intervenidos con labor agrícola (Jaramillo, 2012)

Las variaciones espaciales en suelos agrícolas pueden estudiarse a través de técnicas geoestadística (Vásquez, 2010). El estudio geoestadístico posibilita identificar la realidad del reparto espacial de las medidas estudiadas que conforman una fundamental herramienta para la investigación descriptivo de la variabilidad espacial de las características del suelo. Con la ubicación de un punto muestreado se pueden analizar los datos y representar el área según su distribución espacial (Vendrusculo, 2001). Este, comportamiento es dependiente de una diversidad de factores. Por ello, su interpretación requiere amplio conocimiento de la propiedad y de los factores influyentes, según Jaramillo (2012), la variabilidad total puede expresarse así:

$$\text{Variación total} = T + DE + \text{azar}$$

Donde:

T= tendencia espacial

DE= dependencia espacial

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

### **2.3. Sistema de Información Geográfica (SIG)**

Tecnología computarizada integrada por 4 elementos básicos: hardware, software, datos y Liveware, este último, es el responsable de diseñar, implementar y usar el SIG, y que necesariamente deben tener conocimiento adecuado, no solo en el manejo del software, sino en áreas del conocimiento relacionado al problema analizar (Redrován, 2018)

SIG es una herramienta que permite analizar, presentar e interpretar hechos relativos a la superficie terrestre a través de software y hardware diseñado específicamente para la gestión de datos cartográficos (Olaya, 2014). Los SIG generan información para tomar decisiones, a través de herramientas que manipulan y analizan la información espacial. Los productos del SIG tienen amplias posibilidades de uso y generan alternativas para solucionar diversas problemáticas. Los instrumentos utilizados para hacer un estudio espacial son primordialmente la Percepción Remota y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), incluidos a un estudio multicriterio. La escala de trabajo va a ser lo cual limite la exploración, insumos construidos a escala 1:100.000 o 1:500.000 difícilmente van a tener el detalle que es necesario para conceptualizar ocupaciones de reposición a grado local y únicamente indicaran ocupaciones de reposición a grado de paisaje (Aguilar & Ramírez, 2015). Asimismo,

la precisión del análisis geoespacial estará en función de la disponibilidad y calidad de los insumos empleados. Según (Olaya, 2014) los elementos básicos del SIG son:

- Datos: Información geográfica para la aplicación de los SIG.
- Métodos: Formulaciones y metodologías para analizar datos.
- Software: Aplicación informática que analiza los datos, a través de los métodos.
- Hardware: Equipo que ejecuta el software.
- Personas: Diseñan y utilizan el software, motor del sistema SIG.

#### **2.4. Métodos de interpolación**

Permiten el cálculo aproximado de valores en puntos no muestreados, a partir de los valores reales en una serie de puntos (Olaya, 2014). Existen diferentes métodos de interpolación, algunos son más utilizados en los SIG por su afinidad y adaptabilidad al tipo de información en estudio. Su aplicación habitual dentro de un SIG es una capa ráster bidimensional.

Los sistemas de información geográficas (SIG) han mejorado a través de diferentes herramientas la recolección de datos, su almacenamiento y análisis de las variaciones espaciotemporales para realizar aproximaciones de predicción y representarlos en mapas digitales (Garbanzo et al., 2017). Por lo que, a partir del muestreos y observaciones puntuales es posible interpolar y estimar valores en puntos no muestreados (Déleg, 2018), permitiendo calcular valores de una variable a partir de valores conocidos ubicados a su alrededor (Blanco, 2015; Déleg, 2018).

#### **2.5. Método Kriging**

El interpolador más utilizado pertenece al grupo Kriging (Villatoro, 2008), término acotado en mérito a su creador (Ing. D.G. Krige). En la actualidad los interpoladores geoestadísticos del grupo Kriging presentan variantes, los cuales ofrecen predicciones a diferentes temáticas y los expresa en superficies de respuesta y mapas de probabilidades.

El Kriging Ordinario es aplicable a escala global y local. Se trata de un método geoestadístico, del que existen además diversas variantes, según Olaya (2014), este método brinda una ponderación óptima entre los puntos en un interpolador local, la exactitud del método es función de las siguientes cualidades: es un método de inferencia espacial, estima valores de una variable en lugares no muestreados, utiliza información proporcionada por la muestra y el método da el mejor estimador lineal no sesgado con una varianza mínima (Porrás, 2016). Según Balzarini (2014), la geoestadística realiza interpolaciones espaciales para predecir

valores en sitios no muestreados. El método Kriging es el mejor estimador lineal, que se puede validar a través del error de estimación conocido como varianza de Kriging, este a su vez, depende del modelo de semivariograma ajustado y de la ubicación de los datos de la muestra.

El método Kriging se fundamenta en el conocimiento del comportamiento espacial de la variable, a través de la covarianza entre un punto muestreado y un punto cuyo valor resulta de la predicción. Además del Kriging como herramienta para modelar este comportamiento espacial esta la función inversa de la distancia. El método descarta muestras redundantes, ponderando indistintamente las muestras que están muy cerca entre sí o que estén en lados opuestos al punto que se quiere predecir por interpolación (Parra & Benítez, 2021). Para Gamble et al. (2018) estos modelos son muy útiles para analizar datos en diferentes momentos, con el objetivo de generar con exactitud las variaciones espacio temporales que pueden presentar los terrenos en producción, en este procesamiento un elemento importante es el error de predicción, debe ser mínimo, los puntos cercanos deben tener valores mayores que los lejanos, la presencia de un punto cercano en una dirección debe amortiguar su influencia con puntos en la misma dirección y agrupar valores de puntos distantes con puntos cercanos muy similares de tal forma reduzca sesgo por sobre muestreo.

### 2.5.1 Análisis y representación de la dependencia espacial

La dependencia espacial de los indicadores de calidad del suelo se estudia mediante la geoestadística, específicamente a través de una herramienta básica, el análisis de semivarianza cuyo producto final es el semivariograma. Para ello, se debe cumplir dos condiciones: a) los datos deben tener una distribución normal y b) los datos deben ser estacionarios o presentar simetría en la distribución (Webster, 2008, Jaramillo, 2012), por tanto, los datos sometidos deben al menos ser simétricos o tener distribución normal, además, deben tener varianzas y medias homogéneas en todos los grupos de distancias definidas (Jaramillo, 2012)

En general, según Villatoro (2008) Jaramillo (2012), Déleg (2018) y China & Rodríguez (2021), el semivariograma (Figura 1) presenta los siguientes elementos:

- a) **Nugget (Co)**, representa la discontinuidad en el semivariograma para distancias que sean menores que la menor distancia dada entre los puntos de muestreo. Esta discontinuidad se puede presentar debido a errores en la medición por una deficiente precisión analítica o por la escala utilizada.



especie *cacao*. La planta inicia su producción aproximadamente a partir del tercer al quinto año de sembrado, alcanzando rendimiento óptimo al décimo año. Sin embargo, el cacaoero es productivo hasta los 45 años si se aplica un manejo agronómico adecuado (Quintero, 2004).

En la región Ucayali se cultivan principalmente clones de cacao, plantas con el mismo patrón genético, originada a partir de una planta madre, a través de la propagación asexual de un patrón y se propaga de modo exclusivo por medios vegetativos (Gamboa, 2015). El más cultivado es el CCN-51 genotipo obtenido en Naranjal, Guayas-Ecuador en 1965 por Homero Castro Zurita. Su denominación CCN alude a Colección Castro Naranjal y su numeración como 51 al número de cruces que permitió obtener la variedad deseada; el CCN-51 es un genotipo con muchas ventajas comparativa, entre ellos: variedad precoz, resistente a plagas y enfermedades, adaptable a diversas condiciones tropicales y subtropicales, posee elevado porcentaje de grasa (54%), y muy cotizado en el mercado internacional (Morales et al., 2015).

## **2.7. Estado del arte**

### **2.7.1. Antecedentes Internacionales**

Parra & Benítez (2021), aplicaron la técnica Kriging para el desarrollo de modelos geoestadísticos para N, P y K en suelos ganaderos. En el caso del N nítrico y N amoniacal encontraron valor crítico mayor de cero, que indica la no existencia de un patrón de distribución espacial. El P presentó mejor ajuste con Kriging universal y modelo Gaussiano Cressie, el K con Kriging ordinario y al modelo Gaussiano OLS, y el P a Kriging ordinario y modelo Gaussiano Cressie. En la validación cruzada del modelo para el Fósforo se detecta un sesgo de los datos interpolados en relación con los datos de muestras, lo que compromete la aplicación del modelo. En la validación cruzada del modelo Gaussiano OLS para el K se detecta buen ajuste en relación con los datos de muestras, lo que indica predicciones adecuadas.

Reza et al. (2019) en Tripura- India, determinaron N, K y P, y aplicaron técnicas de interpolación espacial para generar mapas de distribución a través del Kriging ordinario. Concluyen que los modelos esférico, exponencial y Gaussiano son los más apropiados y la validación cruzada determinaron que el método geoestadístico es útil para evaluar la variabilidad espacial de los parámetros del suelo, así mismo, el análisis reveló que los modelos de semivariograma exponencial y esférico presentan mejor ajuste a las variables del suelo estudiadas.

Maharjan et al. (2018) estudiaron suelos lateríticos en Bengala occidental-India y determinaron correlaciones para N, P, K, CO y pH. Los mapas predictivos se realizaron utilizando un semivariograma a través de un Kriging ordinario y el software ArcGIS 8.1. Concluyen que las propiedades del suelo presentaban una dependencia espacial moderada a distancias cortas en la capa superior del suelo, atribuidos a las afectaciones causadas por el manejo del suelo.

Panday et al. (2018) realizaron un estudio en Nepal, a través del levantamiento topográfico utilizando Kriging en ArcGIS para interpolar variables como el pH, MO, N, Fosforo ( $P_2O_5$ ), Potasio ( $K_2O$ ), Zn y B. La estadística descriptiva mostró distribución no normal, realizando la transformación logarítmica. Utilizando Kriging para interpolar las variables identificó variabilidad espacial moderada para el pH, MO, N,  $P_2O_5$ , y débil para  $K_2O$ , Zn y B. Se ajustaron modelos exponenciales (N), esféricos ( $K_2O$ ) y Gaussianos ( $P_2O_5$ ) a los semivariogramas de las variables del suelo.

Déleg (2018), determinó la variabilidad de indicadores físicos del suelo en la parcela Experimental Irquis. Encontró CV medio y bajo, evidenciando variabilidad en el área, esto significa que la escala de muestreo tuvo la suficiente resolución para detectarla. Los modelos teóricos con mejor ajuste fueron el gaussiano, circular, esférico y exponencial. La mayoría de las propiedades presentaron rangos  $> 20$  m, siendo el intervalo de muestreo (10 m) adecuado para identificar la dependencia espacial. Los mapas generados presentan patrones similares de variación entre los dos métodos de interpolación, siendo el Kriging Ordinario el más eficiente en la predicción.

Garbanzo et al. (2017) realizó la validación de modelos geoestadísticos en el Pacífico Sur de Costa Rica, determinaron el mejor semivariograma y usaron el método Kriging para determinar la variabilidad de la fertilidad. Evaluaron pH, %AC, Ca, Mg, K, P, Zn, Cu, Fe y Mn. Los nutrientes poseen una distribución anormal y encontraron variaciones en el PH del suelo; la validación cruzada y los mapas generados arrojaron información confiable y útil para la elaboración de diagnósticos de fertilidad en esta región.

Vásquez et al. (2010), estudió características físicas y químicas del suelo en la Granja de la Universidad del Magdalena (Colombia), los datos fueron analizados geo estadísticamente por medio del programa GS+ Versión 5.1, obteniendo semivariogramas experimentales para cada propiedad. La interpolación por Kriging puntual muestra la variabilidad espacial de los atributos del suelo en el lote empírico es alta, siendo más grande en las características químicas que en las físicas; con exclusión del  $Ca^{+2}$  y el pH, las características químicas de los suelos de la granja muestran niveles de alteración elevados, asociados con una

evidente heterogeneidad en toda la zona de análisis. El  $\text{Ca}^{+2}$ , CIC, P y Cu presento débil dependencia espacial, las propiedades restantes mostraron una moderada dependencia espacial.

### **2.5.1. Antecedente nacional y local**

Junco et al. (2017) determinaron parámetros morfométricos y realizaron la distribución espacial de propiedades del suelo por unidades fisiográficas de la microcuenca Rio Bella - Las Palmas. Encontraron una superficie de 3463,48 ha, perímetro de 29,4 Km, forma oval redonda a oblonga. Suelos de clase textural franco (predominando el franco arcillo arenoso), arenoso, (arenoso franco) y en menor proporción arcilloso, la MO y N, el 81 % del área están en el rango mayor a 4 %; y el 90 % presenta niveles adecuados de P y niveles bajos de  $\text{K}^+$ , consideraron a estos suelos poco fértiles.

Soto (2016), determinó la distribución espacial de las propiedades fisicoquímicas del suelo por unidades fisiográficas en la microcuenca "Las Pavas", distrito Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas. Exhibe la característica estructural de una terraza moderadamente plana y una terraza plana alta y ondulada, seguida de colinas onduladas, colinas de división baja a moderada, colinas altas ligeras, moderada y fuertemente diseccionadas, y montañas altas y bajas, que son parte del este. El mapa de distribución espacial de las propiedades físicas nos muestra que existen zonas homogéneas en toda el área de la microcuenca. Asimismo, los mapas de distribución espacial de propiedades químicas nos muestran que 89.90 % de la cuenca "Las Pavas" tiene un pH moderadamente ácido, seguido de un pH neutro de 9, 7 % y fuertemente ácido con 0.36%. Asimismo, el 100% tiene un contenido de MO de moderado a alto, un contenido de nitrógeno de alto a muy alto de 95,9%, un contenido de fósforo alto de 88,92% y un contenido de óxido de potasio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) medio y alto de 95,1 %. y CIC tiene un promedio de 98,15 %.

Bardales (2015), evaluó Carbono y distribución espacial de las propiedades del suelo en diferentes tipos de cultivos (naranja, guayabo y bambú) en la microcuenca del rio Supte, tingo maría; donde, determinó biomasa del suelo, radicular y hojarasca. La cantidad de carbono en el suelo con naranja fue de 35.99 t/ha, de guayabo de 41.55 t/ha, y bambú 30.39 t/ha; La cantidad de carbono en la raíz de naranja fue 0.20 t/ha, del guayabo 0.19 t/ha y del bambú 2.62 t/ha. La cantidad de carbono en la hojarasca del cultivo de naranja fue 118.67 t/ha, de guayabo 212.83 t/ha y del bambú 480.33 tc/ha; La distribución espacial de las MO, textura y pH de la parcela con naranja muestran un suelo con nivel bajo o pobre y medio, medianamente y ligeramente ácido, franco arcilloso arenoso y franco arcilloso y arcilla arenosa; la parcela con guayabo muestra un suelo ligeramente ácido, franco arcilloso

arenoso, franco arcilloso y franco arenoso arcilloso; finalmente, la parcela con bambú muestra un suelo con nivel fuertemente y medianamente ácido, franco arcilloso arenoso, franco arcilloso limoso y arcilla limoso respectivamente.

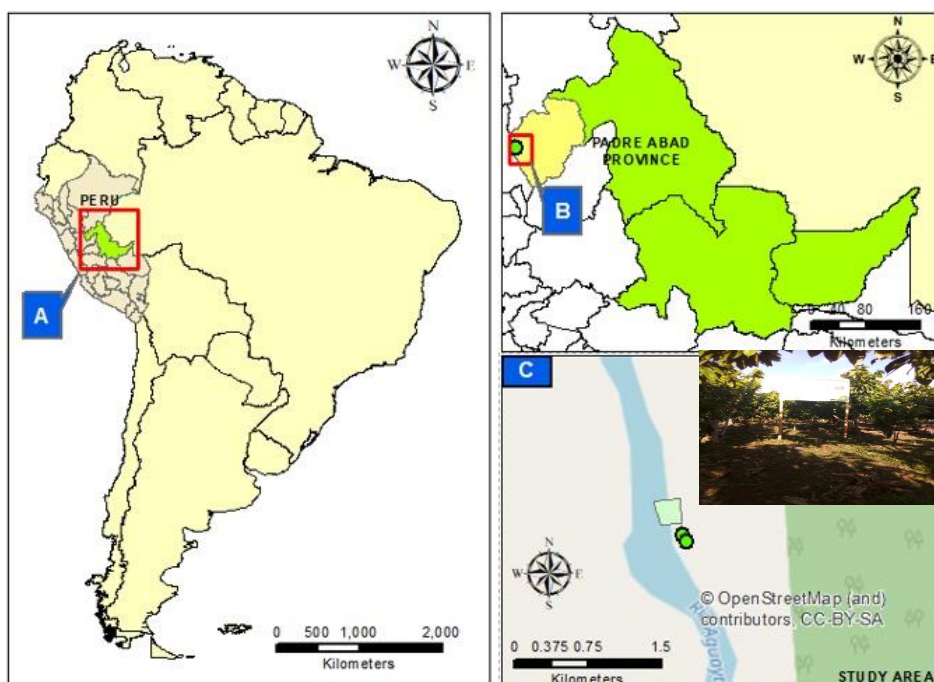
Gonzales (2015), Evaluó la distribución espacial por unidades fisiográficas de las propiedades fisicoquímicas del suelo con palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.) en Nueva Requena- Ucayali. encontró colina baja ligera a moderadamente disectada, lomada y terraza baja inundable a no inundable y los suelos tienen textura franca arcillo arenoso a franca, contenido medio a bajo de MO, pH extremadamente ácido, fósforo bajo a muy bajo, potasio muy bajo, nitrógeno medio a bajo, la CICE es bajo, bajo en BC, consideró a estos suelos como poco fértiles.



### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### 3.1. Ubicación política

El lugar donde se desarrolló la investigación se encuentra en la jurisdicción del centro poblado de Nuevo Progreso (Figura 2), políticamente, el centro poblado pertenece al distrito y provincia de Padre Abad en la región Ucayali. El fundo “Cárdenas” cultiva cacao CCNN-51 de propiedad del Sr. Walker Cárdenas Silva, ubicada a  $8^{\circ}54'23''$  latitud Sur y  $75^{\circ}29'34''$  longitud Oeste.



**Figura 2.** Localización geográfica del área de estudio

#### 3.2 Características del área de estudio

Según Holdridge (2000) Padre Abad pertenece al ecosistema de bosque muy húmedo - Premontano Tropical (bmh-PT) y las condiciones climáticas generales que presenta son las siguientes: temperatura media anual es de  $26,2^{\circ}\text{C}$ , la máxima  $26,6^{\circ}\text{C}$  y la mínima  $25,9^{\circ}\text{C}$ , humedad relativa de 84 % y precipitación anual de 2 800 mm (SENAMHI, 2022). Según PULGAR (2014) el área pertenece a la ecorregión Omagua o selva baja, teniendo como principal fuente hídrica, el río Aguaytía. Además, el área estudiada fisiográficamente se encuentra en terrazas medias no inundable, de origen aluvial antiguo; taxonómicamente corresponde a un suelo Inceptisol.

### 3.3. Materiales y equipos

#### 3.3.1. Materiales de campo

Bolsas plásticas de 2 y 5 Kg, etiquetas o rótulos, Marcadores, guantes de goma, botas de protección y cinta métrica

#### 3.3.2. Materiales de laboratorio

Probeta de 1000 cm<sup>3</sup>, pipetas volumétricas, embudos, vasos de precipitación de 50, 100 y 250 cm<sup>3</sup>, tubos de ensayo, micropipetas, tamices con malla de 3 mm, papel filtro N° 40, reactivos diversos y matraces de 250 cm<sup>3</sup>.

#### 3.3.3. Equipos de campo y laboratorio

Cámara fotográfica, navegador GPS, balanza gramera y analítica, estufa, mufla, pH metro, bureta digital, espectrofotómetro de absorción atómica (EAA) y espectro fotómetro UV - Visible.

### 3.4. Metodología

#### 3.4.1. Determinación de indicadores fisicoquímicos del suelo

La evaluación del suelo se realizó siguiendo los siguientes pasos:

- a). **Determinación de área en estudio**, consistió en determinar los puntos de los vértices del área cultivada en el fundo Cárdenas (100 x 350 m), excluyendo el área de bosque secundario, para definir los puntos de muestreo.
- b). **Muestreo de suelos**, Se realizó en temporada lluviosa entre marzo y abril del 2022, extrayendo muestras cada 30 m en tres hileras paralelas de forma sistemática en toda el área cultivada del fundo Cárdenas (3.35 ha) y la extracción de muestras (28 muestras en total), se realizó tomando en cuenta los criterios de la Guía Técnica de Muestreo, elaborada por el Ministerio del Ambiente [MINAM] (2014).
- c). **Análisis de suelos**, El análisis granulométrico se realizó por medio del método del hidrómetro de Bouyoucos. Los valores de pH en agua destilada (relación 1:2,5) debidamente calibrado con soluciones patrón de pH 4,0 y 7,0. El Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, K<sup>+</sup> y Na<sup>+</sup>, fueron extraídas con acetato de amonio a pH 7, determinadas por absorción atómica. El Al<sup>3+</sup> e H<sup>+</sup> fueron extraídas con KCl, determinadas por titulación con solución de NaOH 0,05 mol L<sup>-1</sup>. El contenido de P disponible por Olsen modificado extraído con solución de NaHCO<sub>3</sub> 0,5 mol L<sup>-1</sup> a pH 8,5 y determinado por colorimetría. El contenido de carbono orgánico (CO), se determinó conforme a

Walkley & Black y la CIC mediante saturación por acetato de amonio ( $\text{CH}_3\text{COOH}$ ) a pH 7, los protocolos para su determinación están descritas en Bazán (2017).

### 3.4.2. Determinación de la calidad del suelo a través del método de SAGARPA (2012) y Cantú et al. (2007).

Los datos obtenidos de los diferentes indicadores físicos y químicos del suelo se sometieron a los siguientes cálculos:

#### a). Sub índice de uso sustentable del suelo (SUSS)

$$SUSS = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n} \quad (1)$$

Donde:

P, es el promedio del valor de los parámetros normalizados; i, es cada indicador o parámetro analizado, y n, es el número total de parámetros analizados

#### - Promedio de los valores normalizados en cada indicador (i).

$$P = \frac{\sum_{i=1}^n Rn_j}{m} \quad (2)$$

Donde:

Rn, es el valor resultante del parámetro normalizado; m, es el número de muestras de suelo analizadas, y j, es cada muestra de suelo

#### - Parámetro normalizado de cada indicador (i).

$$Rn_j = 1 - \left( \frac{Vr_j - d_j}{c_j - d_j} \right) \quad (3)$$

Donde:

Rn, resultado normalizado; Vr, valor del indicador; d, valor deseable en el indicador; c, valor de corte en el indicador, y j, cada muestra de suelo

La **Tabla 1**, Presenta los valores deseables y corte que permitió el cálculo del, valor normalizado o randomizado (Rn), según los indicadores físicos y químicos de cada muestra analizada y a partir de los valores del Rn (fórmula 3), se determinó (fórmula 1) los índices de calidad del suelo (ICS) para cada muestra de suelo.

**Tabla 1.** Parámetros edáficos, valores máximos y de corte definidos para determinar el ICS

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

Fuente: SAGARPA (2012).

La determinación de la clase de calidad se realizó comparando los valores de ICS (**Tabla 2 y 3**) con los rangos de calidad propuesta por Cantú et al. (2007) y SAGARPA (2012).

**Tabla 2.** Rangos de ICS para determinar la calidad del suelo según método SUSS

Calidad de suelo	Descripción
Buena (0.95 < SUSS ≤ 1.0)	La calidad del suelo son las deseables para la actividad agrícola.
Aceptable (0.80 < SUSS ≤ 0.95)	La calidad del suelo está cercana a las condiciones deseables. Las variables poco se alejan de los valores adecuados.
Sensible (0.65 < SUSS ≤ 0.78)	Los parámetros medios ocasionalmente se alejan de los valores óptimos.
Marginal (0.45 < SUSS ≤ 0.65)	Los indicadores son distantes de los valores deseables.
Pobre (0 < SUSS ≤ 0.45)	La calidad para fines agrícolas se encuentra amenazada o afectada. Los indicadores se alejan completamente de los niveles deseable.

Fuente: SAGARPA (2012).

**Tabla 3.** Clases de calidad de suelos según Cantú

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

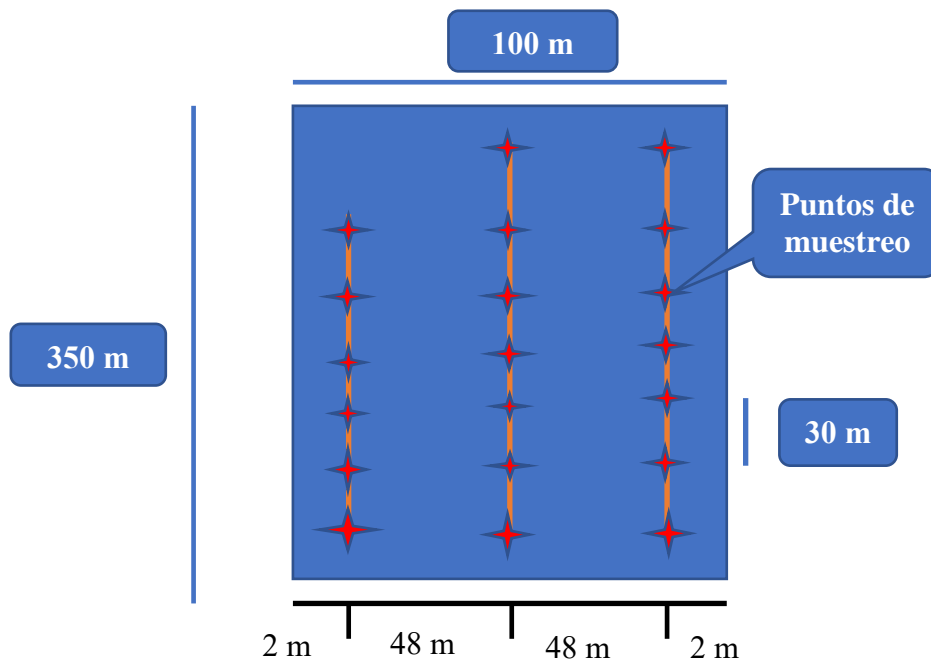
Fuente: Cantú et al. (2007)

### 3.4.3. Determinación de la distribución espacial de la calidad del suelo a través del método Kriging

Se realizó siguiendo los siguientes criterios:

#### a). Determinación de puntos y georreferenciación

Se extrajo 9 muestras/ha, 28 muestras de suelo en 3.35 ha que tiene el área cultivada del Fundo Cárdenas. El muestreo se realizó a través del método sistemático (Figura 2), el cual consistió en trazar 3 transectos paralelos a lo largo del predio y se extrajo muestras cada 30 m.



**Figura 2.** Esquema de muestreo sistemático del fundo Cárdenas

En cada punto muestreado se determinó la ubicación (**Tabla 4**), mediante el contacto directo con el terreno a través de un sistema de posicionamiento global (GPS).

**Tabla 4.** Ubicación de puntos muestreados

Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z	Punto	X	Y	Z
1	445637	9015456	261	11	445769	9015430	265	21	445924	9015407	265
2	445641	9015421	263	12	445762	9015469	265	22	445976	9015424	264
3	445660	9015368	263	13	445804	9015479	263	23	445970	9015460	264
4	445696	9015384	265	14	445811	9015447	265	24	445962	9015502	264
5	445687	9015416	265	15	445825	9015394	265	25	445997	9015485	264
6	445675	9015460	265	16	445867	9015398	265	26	446031	9015427	262
7	445717	9015466	266	17	445865	9015446	264	27	446070	9015433	264
8	445723	9015430	263	18	445862	9015491	265	28	446056	9015477	264
9	445734	9015388	263	19	445907	9015495	266	--	--	--	--
10	445778	9015384	266	20	445917	9015448	266	--	--	--	--

Ubicación en coordenadas UTM, Datum WGS 84, zona 18L

## b). **Distribución y variabilidad de la calidad del suelo**

Se utilizó la geoestadística mediante mapas temáticos, para estudiar las características de los suelos y mapear el comportamiento de los indicadores e índices de calidad de suelo. Con la geolocalización se realizó las proyecciones al Sistema Universal de Mercator (UTM) en el Datum WGS 84, zona 18 L hemisferio Sur. Los resultados de caracterización del suelo se analizaron a través del software Arc GIS 10.5 y para el proceso de interpolación se utilizó el interpolador Kriging Ordinario y/o Kriging simple del *spatial analysis tools* que permite generar superficies a partir de aproximaciones geoestadísticas, con la finalidad de determinar áreas de tipo ráster, que posteriormente se convirtió en polígonos de formato shp, la escala de trabajo fue de 1/2 500. La distribución espacial a nivel detallado de los diferentes indicadores físicos, químicos y de la calidad del suelo (ICS), se realizó aplicando los criterios de SAGARPA (2012), sobre clasificación según los niveles críticos de cada indicador, descritos por Bazán (2017) y los índices de calidad del suelo de Cantú et al. (2007). Para ello, se realizó los siguientes pasos:

### 1. **Análisis exploratorio de los datos y geo distribución espacial**

Se consideró 3 aspectos básicos:

- El tipo de distribución de los datos haciendo uso de la herramienta *Geostatistical Analysis > Explore Data > Histogram*, buscando la opción que más se ajustó a una distribución normal, en esta prueba se comprobó que los valores estén distribuidos normalmente, el histograma no presente valores atípicos y se parezca a una curva de campana.
- Análisis de datos estacionarios o fijos, para estimar que la variación local no cambie en diferentes áreas del mapa. Esta prueba identifica si dos puntos de datos separados por 5 metros en diferentes ubicaciones deben tener diferencias similares en su valor medido, kriging no es óptimo para cambios bruscos. Se comprobó la estacionariedad de los datos utilizando el mapa Voronoi, variación entre vecinos o desviación estándar, en ArcGIS, en *Geostatistical Analysis > Explore Data > Voronoi Map*.
- Análisis de tendencias, son cambios sistemáticos en los datos de toda el área de estudio. Se realizó el análisis de tendencias con la herramienta *Geostatistical Analysis > Explore Data > Trend Analysis*. A partir de allí, se generaron los mapas temáticos de distribución geoespacial, según los niveles críticos de fertilidad.

### 2. **Modelo de interpolación y variabilidad espacial**

Después de haber explorado los datos según los criterios anteriores, se realizó:

- **Modelos de interpolación**, con la herramienta *Geostatistical Analysis* > *Geostatistical Wizard* y seleccionar *Geostatistical methods Kriging*, analizar con *Kriging type* > *ordinario (KO)* y *simple (KS)*, se analizó con ambos tipos de Kriging y se evaluaron los variogramas experimentales y se ajustaron a semivariograma teóricos utilizando como parámetros de selección valores menores de la suma de cuadrados de residuos. Los modelos aplicados a KO y KS tienen tres parámetros como nugget (Co), Sill (Co + C) y rango que fueron utilizados para obtener el grado de dependencia espacial de cada indicador evaluado. A partir de los variogramas ajustados, se generó los mapas de geo distribución e interpolación para cada variable del suelo
- **Validación de los métodos de interpolación**, se realizó mediante validación cruzada, la validación cruzada consistió en extraer 5% de los análisis de suelos colectados para validar las interpolaciones efectuadas en ausencia de estos datos; se ubicó las coordenadas de los datos ausentes para compararlos con los datos interpolados, los métodos de interpolación se calcularon mediante dos índices estadísticos a partir de los valores medidos e interpolados como el error medio (ME), la raíz del error cuadrático medio (RMSE). Se tomó en cuenta los indicadores estadísticos como es el ME que sea próximo o cercano a 0 y la RMSE debe ser lo más pequeño posible para una interpolación precisa.
- **Comparación de los métodos de interpolación**, se realizó utilizando indicadores estadísticos como: el error cuadrático medio (MSE) y la eficiencia de predicción (E) para definir la aplicación del KO y/o KS, para cada indicador evaluado.

### 3.5. Universo y muestra

El universo estuvo conformado por 7 hectáreas de tierras del Fundo Cárdenas, y la muestra por 3.35 ha dedicadas al cultivo de cacao del genotipo CCN-51; el tipo de muestra fue no probabilística y aleatoria, porque, se realizó un muestreo sistemático por conveniencia en toda el área en estudio.

### 3.6. Variables en estudio

- Indicadores físicos y químicos del suelo
- Índice de calidad del suelo
- Distribución geoespacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo
- Variabilidad geoestadística de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo

## IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### 4.1. Indicadores fisicoquímicos del suelo

La **Tabla 5**, presenta la estadística descriptiva general y la clase de acuerdo con los valores de la media para cada indicador.

**Tabla 5.** Estadística descriptiva de indicadores evaluados

Indicador	Mínimo	Máximo	Media	CV	Nivel o Clase media
Arena (%)	12,96	49,96	31,85±11,75	36,89	Franco
Arcilla (%)	19,76	31,76	26,73±3,14	11,75	
Limo (%)	25,88	60,88	41,42±10,82	26,12	
pH	3,81	4,75	4,23±0,24	5,67	Fuertemente ácido
MO (%)	1,76	4,13	3,1±0,67	21,61	M
N (%)	0,09	0,21	0,15±0,03	20,00	M
P (ppm)	0,58	6,62	2,54±1,19	46,85	B
K <sup>+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	80,64	97,48	90,59±4,23	4,67	B
Ca <sup>2+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	1,13	4,55	2,42±0,93	38,43	B
Mg <sup>2+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	0,16	0,82	0,34±0,16	47,06	Mb
Al <sup>3+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	2,49	7,61	3,91±1,22	31,20	A
CIC (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	5,27	15,82	8,29±2,21	26,66	B
SB (%)	14,53	50,35	33,18±9,31	28,06	B
AC (%)	49,65	85,47	66,82±9,31	13,93	A
SAI (%)	33,45	69,12	47,22±8,16	17,28	A

CV coeficiente de variación, ICS índice de calidad del suelo, A alto, M medio, B bajo, Mb muy bajo.

Considerando valores mínimos y máximos y los criterios de clasificación de SAGARPA (2012) y Bazán (2017), el área presenta indicadores que varían en su nivel o clase entre ellos: textura que varía entre Franco arcilloso, Franco y Franco limoso; nivel medio a alto en MO, N y AC; bajo a medio en P y CIC; bajo a muy bajo en Ca<sup>2+</sup> y Mg<sup>2+</sup>; alto a muy alto en Al y SAI; sin embargo, algunos indicadores no presentaron cambios en su nivel crítico, entre ellos, el K<sup>+</sup> (nivel bajo) y el pH permaneció en el nivel fuertemente ácido. En general los valores medios encontrados no son favorables para el desarrollo del cultivo de cacao en el área de estudio.

La textura media del suelo es Franca, es un excelente indicador (García et al., 2012), por su relación con otras características físicas del suelo, como Da, Rp, porosidad, retención hídrica, aireación y contenido de MO (FAO, 2009; SAGARPA, 2012; Camacho et al., 2017). Este resultado revela una condición física favorable, considerando al cacao como cultivo principal del área se desarrolla en óptimas condiciones en suelos de textura franco (MINAGRI, 2016).



Se encontró pH fuertemente ácido, el nivel corresponde a suelos ácidos con deficiencias de bases cambiables ( $\text{Ca}^{2+}$  y  $\text{Mg}^{2+}$ ), contrastándose con los niveles medios de estos cationes (bajos en  $\text{Ca}^{2+}$  a muy bajos en  $\text{Mg}^{2+}$ ); estas son condiciones que normalmente se presentan a estos niveles de pH (Bohn et al., 1993; Navarro y Navarro, 2003; Rosas et al., 2017). Además, la alta pluviometría de la zona y las texturas francas encontradas generan pérdida de bases por lavado, esto, explicarían estos niveles de pH (SAGARPA, 2012; Havlin *et al.*, 1999; Bohn, 1993). Los resultados muestran que los valores encontrados de pH no cambian de nivel crítico y tampoco son condiciones favorables para los cultivos. Además, coinciden con los reportes de Florida et al. (2019) al evaluar el efecto del compost y NPK en la parte central dentro de este fundo, reporta valor medio de 4,24 de pH. También, Celis et al. (2020) reportan valores medios de pH que varían entre 3,83 a 4,04, en áreas con diferentes sistemas de manejo, adyacentes al fundo Cárdenas, y Gonzales (2015) en suelos con palma en Nueva Requena, condición de suelos similares, reporta valores entre 3,73 a 4,18 de pH según las unidades fisiográficas encontradas. Por lo que, los resultados son coherentes con las referencias y las condiciones edafoclimáticas de la zona.

La MO y N, presenta en promedio nivel medio, indicadores favorables para la fertilidad del suelo, por su efecto directo sobre la regulación del aluminio, y procesos fisicoquímicos importantes (Navarro y Navarro, 2003; SAGARPA, 2012). Los resultados muestran amplia variabilidad entre 1,76 a 4,13 % de MO y 0,09 – 0,21 % de N, valores relativamente mayores a los de Florida et al. (2019) reportan valor medio de 1,97 para MO y 0,09 % de N. También Celis et al. (2020) reportan valores medios varían entre 1,58 a 1,79 % MO, en áreas de cacao convencional y bosque; sin embargo, concuerdan con Gonzales (2015), en Nueva requena encontró valores entre 1,83 a 3,68 % de MO.

Los resultados de MO del trabajo son relativamente más altos, en comparación a los estudios desarrollados en el área (Florida et al., 2019) y en el entorno (Celis et al. 2020), pueden explicarse, considerando: el muestreo en este trabajo se realizó en temporada lluviosa que genera un crecimiento rápido de plantas no deseadas y la dominancia de la gramínea *Axonopus compressus* (torourco), y el no uso de herbicidas en el área; por ello, los altos niveles de MO y N, este comportamiento ha sido evidenciado por Navarro et al. (2018) y Silva et al. (2015) quienes encontraron altos niveles de MO en áreas de pastos con gramínea, atribuidos a una mayor exploración del sistema radicular, que contribuye a elevar los contenidos de MO y N del suelo, sin embargo, advierten que este comportamiento no significa condiciones óptimas de calidad del suelo.

Respecto al  $\text{Al}^{3+}$ , %AC y %SAI, todos presentan niveles altos o considerados tóxicos para los cultivos (SAGARPA, 2012). Los valores son poco favorables para el desarrollo del cacao, a pesar de tener valores medios a altos en MO; esto concuerda con lo advertido por Navarro et al. (2018) y Silva et al. (2015), que valores altos de MO en suelos con gramíneas no significa condiciones óptimas sobre otros indicadores de calidad del suelo. Además, estos resultados son propios de suelos fuertemente ácidos, con alta pluviometría y lavado de bases que favorecen el incremento de  $\text{Al}^{3+}$ , %AC y %SAI, y disminución de la CIC (Bohn, 1993; Havlin *et al.*, 1999; May, 2015), condiciones que se evidencian en los resultados y concuerdan con los valores encontrados por Gonzales (2015), 1,59 a 3,68  $\text{Cmol}^{(+)}/\text{Kg}$  para Al, 40,41 a 62,48 % para AC; Florida et al. (2019) encontró medias de 4,4  $\text{Cmol}^{(+)}/\text{Kg}$  de Al y 50,90 % de AC, y Celis et al. (2020) encontraron valores entre 3,04 a 3,94  $\text{Cmol}^{(+)}/\text{Kg}$  de Al, 51,93 a 60,21 % de AC y 35,48 a 46,29 % de saturación de aluminio.

En la **Tabla 5**, estadísticamente un indicador relevante son los valores de CV, este oscila entre 4,67 ( $\text{K}^+$ ) a 47,06 ( $\text{Mg}^{2+}$ ). Según la clasificación del CV en propiedades del suelo de Warrick & Nielsen (1980), Citado por Déleg (2018), se observa un coeficiente de variación baja ( $\text{CV} < 12\%$ ) para arcilla, pH y K, estos últimos se contrastan con la permanencia en un mismo nivel crítico de fertilidad, y variación media ( $\text{CV}$  entre 12-60 %) para el resto de indicadores evaluados (Arena, limo, MO, N, P,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Ca}^{2+}$ ,  $\text{Mg}^{2+}$ ,  $\text{Al}^{3+}$ , CIC, SB, AC y SAI). Para Déleg (2018), las variaciones se atribuyen a factores de formación y características agroclimáticas locales, en este caso generaron variaciones espaciales, aun en un área relativamente pequeña (3,35 ha).

Los resultados de CV concuerdan con Junco et al. (2017), estudiaron la distribución espacial por unidades fisiográficas en la microcuenca río Bella-Las Palmas, encontraron CV baja (11,26 %) para pH, y media para MO (31,25 %), N (22 %), P (29,65 %), K (29,81 %), Ca (21,86 %), Mg (23,06 %), Al (17,26 %), y CIC 17,27 %. Sin embargo, son relativamente menores en comparación con China & Rodríguez (2021), encontraron CV de 18,68 para pH, 51,91 para K y 110,27 para P. Respecto a los CV de las diferentes fracciones son similares a lo reportado por Déleg (2018), al estudiar la variabilidad de las características físicas del suelo en la parcela Experimental Irquis en Azuay Cuenca- Ecuador, encontró CV de 45,18 para arena, 27,44 para limo y 35,23 % para arcilla. También, concuerdan con los resultados de Acevedo et al. (2008), en el Campo Agrícola Experimental de la Universidad Autónoma Chapingo, encontraron CV de 25,52 % para MO, 24,26 (N), 53,585 (P), excepto para K (70,00 %), este último, muy superior a los 4,67 % encontrado en el área de estudio.

Un aspecto para destacar es el bajo CV del pH (5,67), sin embargo, es un valor apropiado y normal para este indicador, según Acevedo et al. (2008) el pH es un indicador del suelo con menores variaciones espaciales, debido a que responde a procesos pedogenéticos del suelo y su coeficiente de variación frecuentemente fluctúa entre 2 a 15%. En general, los resultados evidencian variabilidad media, lo que representa según Chinea & Rodríguez (2021) una marcada variabilidad del suelo y para Acevedo et al. (2008) es el resultado de las características intrínsecas del suelo y el historial de manejo.

#### **4.2. Calidad del suelo (ICS)**

La **Tabla 6**, muestra el cálculo general de los ICS, el valor máximo es de 0,37 y la mínima de 0,08, esto, muestra que existe variabilidad de la calidad en el área evaluada. Al respecto, el valor medio encontrado corresponde según Estrada (2017) y Cantú et al. (2007) ha suelo de baja calidad y para SAGARPA (2012) son suelos pobres, Sin embargo, considerando los valores mínimos y máximos el área varía entre calidad baja a muy baja calidad (Cantú et al., 2007; Estrada et al., 2017).

Los ICS permiten evaluar aplicando principios estadísticos la condición integral del suelo y revela los efectos de las prácticas agrícolas sobre la calidad (Cantú et al., 2007; Prieto et al., 2013; Estrada et al., 2017). Los resultados (Tabla 6), muestran un CV de 40 %, que representa una Variabilidad media según Déleg (2018) y demuestra heterogeneidad respecto a la calidad en el área de estudio.

La interpretación de SAGARPA (2012) para el área de estudio es que la calidad se encuentra amenazada y los indicadores se alejan de los niveles deseables, aunque no se han encontrado referencias locales, si se pueden contrastar con los resultados encontrados por Azañero et al. (2020) en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, encontró suelos de calidad marginal (sistema coca), sensible (bosque) y aceptable (agroforestal); también, Solsol (2020) en recuperación de suelos degradados en el distrito de Mariano Dámaso Beraun, encontró suelos de calidad pobre ( $ICS < 0,39$ ); Yaros (2014) en el Padre Felipe Luyando, determinó que el sistema de cacao tiene un SUSS sensible, el plátano, bosque secundario y cítrico marginal y el ex cocal y cocal pobre. Los resultados son relativamente menores a estas referencias.

**Tabla 6.** Cálculo de los ICS del área evaluada

Muestra	Indicadores																		ICS					
	SB	Rn	SAI	Rn	pH	Rn	MO	Rn	N	Rn	P	Rn	Ca	Rn	Mg	Rn	CIC	Rn						
M1	48,95	-0,02	33,45	0,41	4,20	-0,40	2,46	0,44	0,12	0,49	0,58	0,05	3,23	0,36	0,41	0,14	7,44	0,24	0,19					
M2	34,03	-0,32	44,03	0,15	4,07	-0,47	2,28	0,40	0,11	0,43	2,28	0,24	2,15	0,24	0,23	0,08	6,97	0,20	0,10					
M3	39,33	-0,21	48,53	0,04	4,17	-0,42	2,81	0,51	0,14	0,60	2,56	0,28	1,84	0,20	0,23	0,08	5,27	0,03	0,12					
M4	26,63	-0,47	38,87	0,28	3,85	-0,58	2,63	0,47	0,13	0,54	6,62	0,73	1,85	0,21	0,22	0,07	7,77	0,28	0,17					
M5	48,04	-0,04	38,00	0,30	4,16	-0,42	3,60	0,69	0,18	0,87	3,13	0,34	2,84	0,32	0,40	0,13	6,74	0,17	0,26					
M6	37,48	-0,25	38,20	0,29	4,32	-0,34	1,93	0,32	0,10	0,31	2,47	0,27	2,49	0,28	0,21	0,07	7,20	0,22	0,13					
M7	26,43	-0,47	51,86	-0,05	4,08	-0,46	2,99	0,55	0,15	0,66	3,03	0,33	1,98	0,22	0,25	0,08	8,43	0,34	0,13					
M8	23,53	-0,53	44,41	0,14	4,03	-0,49	3,25	0,61	0,16	0,75	0,77	0,08	1,41	0,16	0,19	0,06	6,80	0,18	0,11					
M9	21,15	-0,58	47,93	0,05	3,81	-0,60	2,99	0,55	0,15	0,66	3,13	0,34	1,18	0,13	0,19	0,06	6,47	0,15	0,09					
M10	23,51	-0,53	53,67	-0,09	3,94	-0,53	1,76	0,28	0,09	0,25	1,62	0,17	1,61	0,18	0,23	0,08	7,84	0,28	0,01					
M11	33,75	-0,32	40,98	0,23	3,86	-0,57	3,07	0,57	0,15	0,69	3,03	0,33	2,62	0,29	0,38	0,13	8,91	0,39	0,19					
M12	22,88	-0,54	57,21	-0,18	4,19	-0,41	3,25	0,61	0,16	0,75	2,28	0,24	1,46	0,16	0,17	0,06	7,13	0,21	0,10					
M13	37,04	-0,26	44,35	0,14	4,40	-0,30	3,78	0,73	0,19	0,93	1,90	0,20	2,32	0,26	0,32	0,11	7,15	0,21	0,22					
M14	25,94	-0,48	54,65	-0,12	4,08	-0,46	2,46	0,44	0,12	0,49	1,24	0,13	1,55	0,17	0,20	0,07	6,75	0,18	0,05					
M15	33,81	-0,32	48,39	0,04	4,11	-0,45	3,78	0,73	0,19	0,93	2,94	0,32	1,98	0,22	0,32	0,11	6,80	0,18	0,19					
M16	23,54	-0,53	69,12	-0,48	4,20	-0,40	2,46	0,44	0,12	0,49	2,37	0,26	1,33	0,15	0,21	0,07	6,54	0,15	0,02					
M17	36,51	-0,27	51,53	-0,04	4,26	-0,37	2,99	0,55	0,15	0,66	3,13	0,34	3,05	0,34	0,41	0,14	9,45	0,45	0,20					
M18	26,05	-0,48	50,40	-0,01	4,50	-0,25	3,60	0,69	0,18	0,87	1,81	0,19	2,05	0,23	0,24	0,08	8,79	0,38	0,19					
M19	25,19	-0,50	44,88	0,13	4,25	-0,38	3,51	0,67	0,18	0,84	2,37	0,26	1,95	0,22	0,34	0,11	9,09	0,41	0,20					
M20	43,58	-0,13	45,28	0,12	4,75	-0,13	4,13	0,81	0,21	1,04	2,47	0,27	2,70	0,30	0,40	0,13	7,09	0,21	0,29					
M21	38,26	-0,23	47,59	0,06	4,41	-0,30	2,72	0,49	0,14	0,57	2,18	0,23	2,12	0,24	0,42	0,14	6,64	0,16	0,15					
M22	41,30	-0,17	42,76	0,18	4,65	-0,18	3,34	0,63	0,17	0,78	1,34	0,14	3,71	0,41	0,52	0,17	10,22	0,52	0,28					
M23	32,38	-0,35	48,09	0,05	4,38	-0,31	3,95	0,77	0,20	0,98	2,75	0,30	4,55	0,51	0,58	0,19	15,82	1,08	0,36					
M24	32,89	-0,34	48,40	0,04	4,16	-0,42	4,13	0,81	0,21	1,04	3,98	0,44	3,81	0,42	0,60	0,20	13,41	0,84	0,34					
M25	50,35	0,01	39,61	0,26	4,55	-0,23	3,69	0,71	0,18	0,90	4,54	0,50	3,95	0,44	0,82	0,27	9,47	0,45	0,37					
M26	36,69	-0,27	46,49	0,09	4,43	-0,29	2,72	0,49	0,14	0,57	1,43	0,15	3,49	0,39	0,39	0,13	10,58	0,56	0,20					
M27	45,15	-0,10	36,88	0,33	4,48	-0,26	4,13	0,81	0,21	1,04	2,56	0,28	3,40	0,38	0,47	0,16	8,57	0,36	0,33					
M28	36,00	-0,28	48,00	0,05	4,13	-0,44	2,37	0,42	0,12	0,46	2,57	0,28	3,31	0,37	0,36	0,12	10,27	0,53	0,17					
Valor mínimo-máximo-medio del ICS																			0,08	0,37	0,20±0,08			
Cv																			40					
Clase o nivel de calidad																			Pobre*			Baja calidad**		

\*SAGARPA (2012), \*\*Cantú et al. (2007), Cv coeficiente de variación, ICS índice de calidad del suelo\*-

### 4.3. Distribución espacial de indicadores fisicoquímico y calidad del suelo

#### 4.3.1. Relevancia estadística de los indicadores evaluados

La **Tabla 7**, muestra el análisis estadístico para determinar la relevancia de los indicadores evaluados, a través del análisis de componentes principales (ACP), previo al análisis geoestadístico de la variabilidad espacial, el ACP permite identificar a los indicadores más relevantes que explican la varianza total encontrada entre los diferentes indicadores evaluados a través de componentes y/o factores principales. Se encontró 5 componentes o

factores mayores a la unidad, con autovalores de 6,33 para el factor 1 y 1,15 para el factor 5, en conjunto explican el 87,97 % de la varianza total.

**Tabla 7.** Varianza total explicada por el análisis de componentes principales (ACP)

Componente	Autovalores iniciales			Sumas de cargas al cuadrado de la extracción		
	Total	% de varianza	% acumulado	Total	% de varianza	% acumulado
1	6,336	39,597	39,597	6,336	39,597	39,597
2	3,122	19,516	59,113	3,122	19,516	59,113
3	2,068	12,925	72,037	2,068	12,925	72,037
4	1,395	8,721	80,758	1,395	8,721	80,758
5	1,154	7,210	87,968	1,154	7,210	87,968
6	0,767	4,791	92,759			
7	0,541	3,379	96,138			
8	0,249	1,557	97,695			
9	0,231	1,447	99,142			
10	0,078	0,486	99,628			
11	0,001	0,004	100,000			

Las cargas factoriales obtenidas por Varimax (**Tabla 8**), nos permiten determinar a todos los indicadores que son relevantes en cada componente o factor, tomando como criterio de selección a indicadores con cargas factoriales mayores a 0.75, por tener el valor de  $n < 50$  (28 muestras de suelos).

**Tabla 8.** Matriz de componentes e indicadores relevantes

	Componente y/o factor				
	1	2	3	4	5
AC (%)	-0,939*	-0,194	0,078	-0,119	-0,126
SB (%)	0,939*	0,194	-0,078	0,119	0,126
SAI (%)	-0,844*	-0,119	0,072	0,298	0,155
Ca <sup>2+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	0,705	0,273	0,613	0,154	0,071
Mg <sup>2+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	0,609	0,454	0,485	0,109	0,238
N (%)	0,204	0,914*	0,150	0,123	-0,078
MO (%)	0,204	0,914*	0,150	0,123	-0,078
CIC (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	0,071	0,238	0,946*	0,107	-0,005
Al <sup>3+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	-0,379	0,134	0,862*	0,236	0,070
Arena (%)	0,007	0,119	0,299	0,888*	-0,054
Limo (%)	0,124	-0,224	-0,221	-0,866*	-0,094
pH	0,413	0,384	0,025	0,640	0,202
P (ppm)	-0,070	0,402	0,202	-0,579	0,246
K <sup>+</sup> (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	-0,189	0,119	-0,116	-0,055	-0,834*
Arcilla (%)	-0,453	0,324	-0,357	-0,342	0,527

\*Indicador relevante por ACP (carga factorial > 0,75)

Los indicadores relevantes son AC, BC y SAI para el Factor 1, MO y N para el Factor 2, CIC y Al para el Factor 3, arena y limo para el Factor 4 y  $K^+$  para el factor 5. Este análisis excluye a la fracción arcilla, el pH, Ca, Mg y P, por no tener influencia sobre la varianza total encontrada entre los indicadores evaluados. Estos resultados concuerdan con los resultados de Prieto et al. (2013) y Cantú et al. (2007), son indicadores que normalmente presentan relevancia estadística y explican los cambios en la calidad producto del manejo del suelo. Además, la técnica del ACP permite reducir variables a su menor número sin perder poder estadístico (Garbanzo et al., 2017).

#### 4.3.2. Análisis de distribución geoespacial de indicadores relevantes y calidad del suelo

La **Tabla 9**, muestra la distribución geoespacial general, según nivel, de los indicadores fisicoquímicos relevantes y del índice de calidad del suelo en el fundo Cárdenas, se observa que los indicadores arena, limo, MO, N, CIC, AC, BC y SAI presentan variabilidad en los niveles de clasificación, contrario, los indicadores K y Al no presentan variabilidad según los niveles críticos de clasificación de cada parámetro.

**Tabla 9.** Distribución espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo

Indicador	Descripción			
	Intervalo	Nivel	Área (ha)	Área (%)
Arena (%)	< 20	Bajo	0,66	19,70
	20-50	Medio	2,69	80,30
Limo (%)	20-50	Medio	2,50	74,63
	50-85	Alto	0,85	25,37
MO (%)	1,5-3,5	Medio	2,58	77,01
	3,5-6	Alto	0,77	22,99
N (%)	0,05 – 0,1	Bajo	0,03	0,90
	0,1-0,15	Medio	1,15	34,33
	0,15-0,25	Alto	2,17	64,78
K (ppm)	<100	Bajo	3,35	100,00
Al (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	> 1	Muy alto	3,35	100,00
CIC (Cmol <sup>(+)</sup> /Kg)	5 - 15	Bajo	0,03	0,90
	15 - 25	Medio	3,32	99,10
AC (%)	> 50	Alto	3,34	99,70
	35 - 50	Medio	0,01	0,30
BC (%)	< 35	Bajo	2,06	61,49
	35-50	Medio	1,28	38,21
	> 50	Alto	0,01	0,30
SAI (%)	30 - 60	Alto	3,24	96,72
	> 60	Muy alto	0,11	3,28
ICS	0,20 - 0,39	Baja calidad	1,75	52,24
	0,00 - 0,19	Muy baja calidad	1,60	47,76
Total, por indicador			3,35	100,00

La calidad del suelo calculada a través del ICS es una herramienta estadística que expresa íntegramente el estado de conservación o la calidad del suelo (Estrada et al., 2017), el resultado evidencia cambios en la distribución espacial con 52,24 % de calidad baja y 47,76% del área presenta calidad muy baja, esta información es muy importante en la toma de decisiones para un adecuado manejo del fundo Cárdenas. Además, los resultados de distribución concuerdan con lo reportado por Junco et al. (2017), en diferentes unidades fisiográficas, los indicadores con mayor variabilidad espacial fueron MO, N, P, K, Ca, y Mg; también, China & Rodríguez (2021) encontraron alta variabilidad para K y P. Déleg (2018), en arena, limo y arcilla. En general los resultados concuerdan con las referencias citadas.

#### 4.3.3. Análisis de validación geostatística de indicadores relevantes y calidad del suelo

La **Tabla 10**, muestra el análisis de interpolación geostatística a través del interpolador Kriging, aplicando sus diferentes variantes o tipos que más se ajusten a cada indicador, los resultados muestran que el tipo de Kriging que mejor predice el error de interpolación son el Kriging ordinario (KO) para el indicador arena y limo y el Kriging simple (KS) para el resto de indicadores relevantes. Además, los modelos que mejor se ajustan a cada indicador son el exponencial para MO y lineal para el resto de indicadores.

**Tabla 10.** Parámetros del variograma aplicando Kriging para indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo

Indicador	Descripción					
	Tipo	Modelo	Nugget	Sill	Rango (m)	GDE (%)
Arena (%)	Ko	Lineal	45,2914	196,6458	222,89	23,03
Limo (%)	Ko	Lineal	20,1615	177,9503	209,2	11,33
MO (%)	Ks	Exponencial	0,4958	1,2825	363,5	38,66
N (%)	Ks	Lineal	0,7562	1,2686	308,05	59,61
K (ppm)	Ks	Lineal	0,00	1,1675	82,29	0,00
Al (Cmol <sup>+</sup> /Kg)	Ks	Lineal	0,4497	0,9462	266,88	47,53
CIC (Cmol <sup>+</sup> /Kg)	Ks	Lineal	0,5259	1,3348	261,05	39,39
BC (%)	Ks	Lineal	71,3988	90,1414	241,65	79,21
AC (%)	Ks	Lineal	0,8548	1,0792	241,65	79,21
SAI (%)	Ks	Lineal	0,6245	1,1662	214,03	53,55
ICS	KS	Lineal	0,5248	1,0035	291,51	52,29

GDE grado de dependencia espacial, ICS índice de calidad del suelo

Respecto a los modelos concuerdan con Garbanzo et al. (2017), quienes encontraron mejores ajustes con el modelo exponencial y lineal, además, de gaussiano y esférico. Por el contrario, para indicadores físicos Déleg (2018) encontró mejores ajustes con los modelos gaussianos y esféricos y para indicadores químicos (pH, P y K) Chinae & Rodríguez (2021) encontraron mejor ajuste con el modelo esférico.

El semivariograma experimental es una herramienta fundamental en el análisis geoestadístico, los elementos del variograma establecen la estructura de correlación espacial de los indicadores evaluados (Déleg, 2018). La **Tabla 10**, muestran valores del Nugget, Sill, Rango y el grado de dependencia espacial GDE. Los valores del Nugget son cercanos a cero para MO, N, K, Al, CIC, Ac, SAl e ICS, y valores altos para arena, limo y %BC. Los valores altos del nugget expresan alta variabilidad en campo y posibles errores instrumentales en la medición, por ello, Jaramillo et al. (2012) y Chinae & Rodríguez (2021) recomiendan tener nugget cercano a cero o valores menores en comparación al Sill, este último, representa el valor máximo de la semivarianza.

El Rango, es un elemento importante del variograma, es el valor que establece el límite de pérdida de correlación (Jaramillo et al., 2012). Los valores encontrados varían entre 82,29 para K y 363,5 m para MO, son valores altos en comparación a la distancia entre los puntos muestreados (30 m), para Déleg (2018) tener rangos altos es favorable. El rango establece una distancia límite en el que los puntos ya no se consideran correlacionados, por ello, entre más grande sea el rango, más cerca se está del modelo de dependencia espacial (Villatoro, 2008; Jaramillo, 2012). Por tanto, los rangos encontrados son superiores a 80 m, siendo que el intervalo de muestreo utilizado (30 m) permitió identificar la dependencia espacial dentro del fundo Cárdenas; similares resultados fueron encontrados por Déleg (2018) valores entre 19,99 a 87,22 m para un distanciamiento entre muestreo de 10 m; sin embargo, distanciamientos mayores son reportados por Chinae & Rodríguez (2021) entre 750 m hasta 2000 m. En este contexto, los resultados presentan rangos relativamente bajos, esto indica alta variabilidad espacial de los indicadores evaluados y la autocorrelación se pierde en valores cercanos a los rangos encontrados (Henríquez, et al., 2013).

El grado de dependencia espacial GDE resulta de la relación del efecto nugget/sill (Jaramillo, 2012) y se tienen diferentes clases de dependencia espacial, según Cambardella et al. (1994), citado por Déleg (2018) clasifica como fuerte dependencia espacial valores < 25 %, moderada dependencia a valores entre 25-75 % y débil valores mayores a 75 %. Los resultados varían entre 0,00 a 79,21 y muestran dependencia espacial fuerte para arena,



limo y K, dependencia espacial moderada para MO, N, Al, CIC, SAl e ICS, los indicadores BC y AC muestran dependencia espacial débil. Los resultados se pueden contrastar con los resultados de Déleg (2018), encontró valores de DGE entre 3.86 a 42,85 con dependencia espacial moderada para arena, limo y materia orgánica.

La **Tabla 11**, muestra los elementos de la validación del análisis de interpolación, los valores del Error Medio (ME) y Raíz del Error Cuadrático Medio (RMSE), se obtuvieron valores más bajos para Kriging Ordinario y Simple para los indicadores evaluados, esto indica que los indicadores se ajustan mejor a determinado tipo de Kriging para predecir las propiedades del suelo.

**Tabla 11.** Validación cruzada y eficiencia de predicción de la interpolación Kriging

Indicador	Descripción			
	ME	RMSE	MSE	EP
Arena	-0,0856	0,9733	7,7399	34,360
Limo	0,1087	1,0477	5,9171	42,787
MO	0,0135	1,1024	0,6709	13,3509
N	0,0006	1,0382	0,0321	10,1438
K	0,0112	0,9508	4,1852	91,607
Al	-0,0001	1,1112	1,0718	14,0378
CIC	-0,0032	1,0168	1,7416	8,6137
BC	-0,1708	1,0408	9,329	33,357
AC	0,1708	1,0408	9,3290	65,224
SAl	-0,0401	1,1771	8,3138	47,982
ICS	0,0013	1,1068	0,0712	10,2003

ME error medio, RMSE raíz del error cuadrático medio, MSE error cuadrático medio, EP eficiencia de predicción, ICS índice de calidad del suelo

Un elemento importante en la validación es la eficiencia de predicción (EP), según Déleg (2018), valores de eficiencia de predicción igual a 100 % indica una predicción perfecta, valores positivos entre 0 a 100 % indican que las predicciones son más confiables que el uso de la media de la muestra y valores negativos  $< 0,00$  indican que las predicciones son menos confiables que usar la media de la muestra. Los resultados presentan valores entre 8,61 (CIC) a 91,60 % (para K), encontrándose todos los indicadores incluyendo el ICS en el rango positivo e indican que las predicciones son más confiables que el uso de la media de la muestra. Los resultados de eficiencia de predicción concuerdan con lo encontrado por Déleg (2018), encontró valores entre 19,96 a 54,71%.

En general, los resultados de distribución geoespacial y variabilidad geoestadística fue mayor en los indicadores químicos evaluados, este comportamiento concuerdan con Jaramillo et al. (2012), afirma que mayor variabilidad presenta las propiedades químicas que las físicas, Además, Villatoro (2008) señala que la interpolación de datos ofrece la ventaja de proyectar mapas o superficies continuas a partir de datos discretos, pero, el número elevado de muestras del área en estudio limita su utilización. Sin embargo, Chinae & Rodríguez (2021) consideran que la técnica de interpolación es herramienta útil para comprender la variabilidad de las propiedades del suelo en áreas específicas, así como, profundizar en el diagnóstico y recomendación de fertilizantes y enmiendas. También, Acevedo et al. (2008), señala que esta herramienta que permite generar mapas para identificar áreas parciales con diferente variabilidad, importante para ubicar y orientar estudios específicos. Todo esto, enfocado en la agricultura de precisión que tiene como estrategia de gestión la recopilación, procesamiento y análisis de datos temporales y espaciales para mejorar la eficiencia, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad del agroecosistema (Saavedra & Chaparro, 2022).

## V. CONCLUSIONES

1. Se evaluaron indicadores de calidad fisicoquímica del suelo, los valores medios encontrados corresponden a suelos de textura franco, pH fuertemente ácido, nivel medio en MO y N, bajo para P,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ , CIC y SB, muy bajo para  $Mg^{2+}$  y alto para  $Al^{3+}$ , %AC y %SAI, con coeficientes de variación baja para arcilla, pH y K, y media para arena, limo, MO, N, P,  $K^+$ ,  $Ca^{2+}$ ,  $Mg^{2+}$ ,  $Al^{3+}$ , CIC, SB, AC y SAI.
2. La calidad del suelo varía entre baja a muy baja calidad, presenta variabilidad media, que evidencia heterogeneidad y presenta cambios en la distribución espacial con 52,24 % de calidad baja y 47,76% del área presenta calidad muy baja
3. El ACP encontró relevancia estadística para los indicadores arena, limo, MO, N,  $K^+$ ,  $Al^{3+}$ , CIC, %AC, %BC y %Sal. La distribución espacial encontró variación para todos los indicadores evaluados, excepto el  $K^+$  y pH, y la validación de interpolación geoestadística muestra mejor predicción del error con Kriging ordinario para arena y limo y el Kriging simple para el resto de indicadores, cuyos modelos con mejores ajustes son el exponencial y lineal, con dependencia espacial fuerte para arena, limo y K, moderada para MO, N, Al, CIC, SAI e ICS, y débil para BC y AC. La eficiencia de predicción, son valores positivos e indican que las predicciones son más confiables que el uso de la media de la muestra.

## **VI. PROPUESTAS A FUTURO**

1. Aplicar la geoestadística como estrategia de gestión, para generar mapas e identificar áreas con diferente variabilidad antes de implementar planes de fertilización, para ser más eficiente y conservar el agroecosistema.
2. Desarrollar estudios en áreas más amplias para determinar parámetros como el rango, que permitan a estudios futuros conocer el distanciamiento mínimo entre puntos de muestreos. Así, reducir los costos y pueda esta herramienta ser accesible para pequeños y medianos productores
3. Realizar investigaciones de comparación entre las herramientas de interpolación, como el Kriging ordinario, Kriging simple, la Distancia Inversa Ponderada (IDW), entre otros, para comparar los indicadores de validación y eficiencia de predicción entre ellos y determinar el más apropiado para las condiciones locales.
4. Desarrollar investigaciones para diseñar planes de fertilización orgánica y convencional basado en la geo distribución espacial de los principales indicadores de calidad del suelo.

## VI. REFERENCIAS

- Acevedo, C., Álvarez, M. E., Hernández, E., Maldonado, R., Pérez, M., Castro, R. (2008). Variabilidad espacial de propiedades químicas del suelo y su uso en el diseño de experimentos. *Terra Latinoamericana*, 26(4), 317-324. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=57313051004>
- Aguilar G. & Ramírez, (2015). Monitoreo a procesos de restauración ecológica, aplicado a ecosistemas terrestres. Instituto de Investigación de Recursos Biológicos Alexander Von Humboldt (IAvH). Bogotá D.C., Colombia. 250 pp.
- Azañero, L., Ñique, M., & Florida, N. (2020). Calidad del suelo en diferentes sistemas de uso en selva alta de Huánuco, Perú. *Rev. Tayacaja* 3(1), 112 – 125. <https://doi.org/10.46908/rict.v3i1.75>
- Balzarini, M. (2014). Análisis de la variabilidad espacial en lotes agrícolas. Manual de buenas prácticas. Córdoba, Argentina.: Eudecor. [https://www.researchgate.net/profile/MarianoCordoba/publication/341281987\\_Analisis\\_de\\_la\\_variabilidad\\_espacial\\_en\\_lotes\\_agricolas/s/links/5eb88b4092851cd50da89c45/Analisis-de-la-variabilidad-espacial-en-lotesagricolas.pdf](https://www.researchgate.net/profile/MarianoCordoba/publication/341281987_Analisis_de_la_variabilidad_espacial_en_lotes_agricolas/s/links/5eb88b4092851cd50da89c45/Analisis-de-la-variabilidad-espacial-en-lotesagricolas.pdf)
- Bardales, C. V. (2015). Carbono almacenado y distribución espacial de las propiedades del suelo en diferentes tipos de cultivos en la microcuenca del río Supte, Tingo María. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1096>
- 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>
- Bazán, R. (2017). Manual de procedimientos de los análisis de suelos y agua con fines de riego. Repositorio INIA, [http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/BazanManual\\_de\\_procedimientos\\_de\\_los.pdf](http://repositorio.inia.gob.pe/bitstream/inia/504/1/BazanManual_de_procedimientos_de_los.pdf)
- Blanco, A. (2015). Estudio de la distribución espacial y cartografía digital de algunas propiedades físicas, químicas e hidrodinámicas de suelos de la Cuenca del Segura. Facultad de Biología. Retrieved from [https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/46968/1/TESIS\\_ARANTZAZU\\_2015.pdf](https://digitum.um.es/xmlui/bitstream/10201/46968/1/TESIS_ARANTZAZU_2015.pdf)
- Camacho, T. J., Forero, C. N., Ramírez, L. L. y Rubiano, Y. (2017). Evaluación de textura del suelo con espectroscopía de infrarrojo cercano en un oxisol de Colombia. *Colombia Forestal*, 20(1),5-18. <http://dx.doi.org/10.14483/udistrital.jour.colomb.for.2017.1.a01>
- Cantú, M. P., Becker, A., Bedano, J. C., & Schiavo, H. F. (2007). Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices. *Ci. Suelo Argentina*. 25(2), 173-178. [http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol\\_25n2/25\\_2\\_cantu\\_173\\_178.pdf](http://www.suelos.org.ar/publicaciones/vol_25n2/25_2_cantu_173_178.pdf)
- China, A., & Rodríguez, L. (2021). Comportamiento geoespacial de algunas propiedades del suelo en el cultivo de la caña de azúcar. *Revista Ingeniería Agrícola*. 11(1), e01. <https://www.redalyc.org/journal/5862/586269368001/html/>

- 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. & Parkin, T.B. (1996). Quantitative indicators of soil quality: a minimum data set. In *Methods for assessing Soil quality*. Soil Science Society of America: Madison, WI Special Publication N° 49. Wisconsin, USA. p. 25-37.
- Estrada, R., Hidalgo, C., Guzmán, R., Almaraz, J. J., Navarro, H., y Etchevers, J. D. (2017). Indicadores de calidad de suelo para evaluar su fertilidad. *Agrociencia*, 51(8), 813-831. <http://www.scielo.org.mx/pdf/agro/v51n8/1405-3195-agro-51-08-813.pdf>
- Florida N., & Acuña G, (2020), Soil quality with traditional management in the Chambira native community. *Plant Soil Environ*. 66: 375–380. <https://doi.org/10.17221/144/2020-PSE>
- Gamble, J. D., Feyereisen, G. W., Papiernik, S. K., & Wentz, C. B. (2018). Regression-Kriged Soil Organic Carbon Stock Changes. *Soil & Water Management & Conservation*, 1-10. [https://www.ars.usda.gov/ARSPUserFiles/247/Updates/2018\\_Gamble\\_Regressionkriged.pdf](https://www.ars.usda.gov/ARSPUserFiles/247/Updates/2018_Gamble_Regressionkriged.pdf)
- Gamboa, A. (2015). Comportamiento en vivero de cuatro clones de cacao (*Theobroma cacao* L.) sobre diferentes patrones en Satipo. Tesis de pregrado. Universidad Nacional Agraria La Molina. Lima -Perú.
- Garbanzo, G., Alemán, B., Alvarado, A., Henríquez, C. (2017). Validación de modelos geoestadísticos y convencionales en la determinación de la variación espacial de la fertilidad de suelos del Pacífico Sur de Costa Rica. *Investigaciones Geográficas*. 93, <http://dx.doi.org/10.14350/ig.54706>
- Garbanzo, L., Alemán, M., Alvarado, H., & Henríquez, H. (2017). Validación de modelos geoestadísticos y convencionales en la determinación de la variación espacial de la fertilidad de suelos del Pacífico Sur de Costa Rica. *Investigaciones Geográficas, Boletín del Instituto de Geografía*, 20 - 41.
- Gonzales, S. A. (2015). Distribución espacial por unidades fisiográficas, las propiedades físicas y químicas de los suelos con palma aceitera (*Elaeis guineensis* Jacq.), Nueva Requena-Ucayali. (Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva). Repositorio UNAS. <https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/397/T.CSA-134.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- 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.
- Henríquez, C., Méndez, J. C., & Masís, R. (2013). Interpolación de variables de fertilidad de suelo mediante el Análisis kriging y su validación<sup>1</sup>. *Agronomía Costarricense*, 37(2), 71-82. [http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0377-94242013000200006&lng=en&tlng=es](http://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242013000200006&lng=en&tlng=es).

- Holdridge, R.L. (2000). Ecología basada en zonas de vida. Quinta reimpresión. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura (IICA) San José- Costa Rica, 216 pp.
- 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, W. Rengifo, J. P., Rengifo, A. (2017). Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas del suelo de la microcuenca Rio Bella-Distrito Mariano Dámaso Beraún - Las Palmas. Investigación y Amazonía, 7(3), 20-29. <https://revistas.unas.edu.pe/index.php/revia/article/view/171/155>
- Machado F., y Mielniczuk J. (2009). Revisão de literatura uma visão sobre qualidade do solo. Rev. Bras. Ci. Solo.; 33: 743-755. Disponible en: [http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0100-06832009000400001](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-06832009000400001)
- Maharjan, B., Panday, D., Chalise, D., Shrestha, R. K., & Twanabasu, B. (2018). Digital soil mapping in the Bara district of Nepal using kriging tool in ArcGIS. PLOS ONE ORG. Obtenido de <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0206350>
- Meza, M., Castro, C., Pereira, K., & Puga, G. (2017). Indicadores para el monitoreo de la calidad del suelo en áreas periurbanas. valle de Quillota, cuenca del Aconcagua, Chile. Interciencia; 42(8): 494-502. Disponible en <https://www.interciencia.net/wp-content/uploads/2017/08/494.pdf>
- Ministerio de Agricultura y Riego-MINAGRI. (2016). Estudio del cacao en el Perú y en el mundo; Situación Actual y Perspectivas en el Mercado Nacional e Internacional al 2015. MINAGRI-DGPADEEIA.
- Ministerio del Ambiente [MINAM] (2014). Guía para el muestreo de suelos. [https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO\\_MINAM1.pdf](https://www.minam.gob.pe/wp-content/uploads/2014/04/GUIA-MUESTREO-SUELO_MINAM1.pdf)
- Morales O., Borda A., Argandoña A., Farach R., Garcia L., y Lazo K. (2015). La Alianza Cacao Perú y la cadena productiva del cacao fino de aroma [Tesis]. Universidad ESAN.: 182p. Disponible en: <https://www.esan.edu.pe/publicaciones/2015/08/17/La%20Alianza%20Cacao%20Per%C3%BA%20para%20web.pdf>
- 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.
- Olaya V. (2014). Sistemas de Información Geográfica. [https://www.icog.es/TyT/files/Libro\\_SIG.pdf](https://www.icog.es/TyT/files/Libro_SIG.pdf).
- 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]. (2009). Guía para la descripción de suelos 4º edición. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-a0541s.pdf>

- Panday, D., Maharjan, B., Chalise, D., Shrestha, R. K., & Twanabasu, B. (2018). Digital soil mapping in the Bara district of Nepal using kriging tool in ArcGIS. (U. D. Richard Mankin, Ed.) PLOS ONE, 1-20. <https://journals.plos.org/plosone/article/file?id=10.1371/journal.pone.0206350&type=printable>
- Parra, C. A. & Benítez, K. S. (2021). Aplicación de la técnica kriging para desarrollo de modelos geoestadísticos para Nitrógeno, Fósforo y Potasio en suelos ganaderos en el municipio de Suesca, departamento de Cundinamarca. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Abierta y a Distancia -UNAD]. Repositorio UNAD <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/41912/caparrad.pdf?sequence=3&isAllowed=y>
- Porras, A. (2016). Método Kriging de inferencia espacial. Centro de Investigación en Geografía y Geomática. <https://centrogeo.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1012/160/1/16-M%C3%A9todo%20Kriging%20de%20Inferencia%20espacial%20-%20Diplomado%20en%20An%C3%A1lisis%20de%20Informaci%C3%B3n%20Geoespacial.pdf>
- Prieto, J., Prieto, F., Acevedo, O. A., & Méndez, M. A. (2013). Indicadores e índices de calidad de los suelos (ICS) cebaderos del sur del estado de Hidalgo, México. *Agronomía Mesoamericana*. 24(1), 83-91. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43726204013>
- Pulgar, V. J. (2014). Las ocho regiones naturales del Perú. *Terra Brasilis (Nova Série)* 3: 1-20. <https://doi.org/10.4000/terrabrasilis.1027>
- Redrován, K. J. (2018). Aplicación de sistemas de información geográfica para el análisis espacial para la variable radiación solar en la ciudad de Cuenca. [Tesis de pregrado, Universidad Politécnica Salesiana-Sede Cuenca]. Repositorio UPS, <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/15631/1/UPS-CT007681.pdf>
- Reza, S. K., Ray, P., Ramachandran, S., Sah, K., Mukhopadhyay, S., Nayak, D., . . . Ray, S. (2019). Spatial Distribution of Soil Nitrogen, Phosphorus and Potassium Contents and Stocks in Humid Subtropical North-Eastern India. *Journal of the Indian Society of Soil Science*, 12–20. doi:10.5958/0974-0228.2019.00002.1.
- Rosas, P. G., Puentes, Y. J., & Menjivar, J. C. (2017). Relación entre el pH y la disponibilidad de nutrientes para cacao en un entisol de la Amazonia colombiana. *Corpoica Ciencia y Tecnología Agropecuaria*, 18(3), 529-541. [https://doi.org/10.21930/rcta.vol18\\_num3\\_art:742](https://doi.org/10.21930/rcta.vol18_num3_art:742)
- Saavedra, S., & Chaparro, O. (2022). Desarrollo de una aplicación en Python para mapeo de variabilidad espacial en la agricultura digital. *Avances en Investigación Agropecuaria*. 26(1), 7-27. <http://doi.org/10.53807/revAIA.22.26.01>
- 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)
- Servicio Nacional de Meteorología e Hidrología del Perú-SENAMHI. (2021). Descarga de datos meteorológicos a nivel nacional. <https://senamhi.gob.pe/?&p=descarga-datos-hidrometeorologicos>



- Solsol, E. (2018). La recuperación de suelos degradados ex cicales por procesos naturales en periodos de abandono en 5, 10, 15, 20 años en el distrito de Mariano Dámaso Beraun-2018. [Tesis pregrado. Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. [https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1468/SRE\\_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://repositorio.unas.edu.pe/bitstream/handle/UNAS/1468/SRE_2018.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
- Soto, A.C. (2016). Distribución espacial de las propiedades físicas y químicas de los suelos por unidades fisiográficas en la microcuenca Las Pavas, distrito Mariano Dámaso Beraún – Las Palmas. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS, <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1606>
- 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>
- 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.
- Villatoro, M., Henríquez, C., Sancho, F. (2008). Comparación de los interpoladores IDW Y Kriging en la variación espacial de pH, Ca, CICE y P del suelo. *Agronomía Costarricense*, 32(1), 95-105. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=43632109>
- Yaros, M. M. (2014). Evaluación del efecto de tres sistemas de uso de la tierra en las propiedades físicas, química y biológicas en el sector naranjillo del distrito Padre Felipe Luyando. [Tesis pregrado, Universidad Nacional Agraria de la Selva]. Repositorio UNAS. <http://repositorio.unas.edu.pe/handle/UNAS/1067>

## ANEXO

### Trabajo de campo



**Figura 4.** Fundo Cárdenas



**Figura 5.** Toma de coordenadas

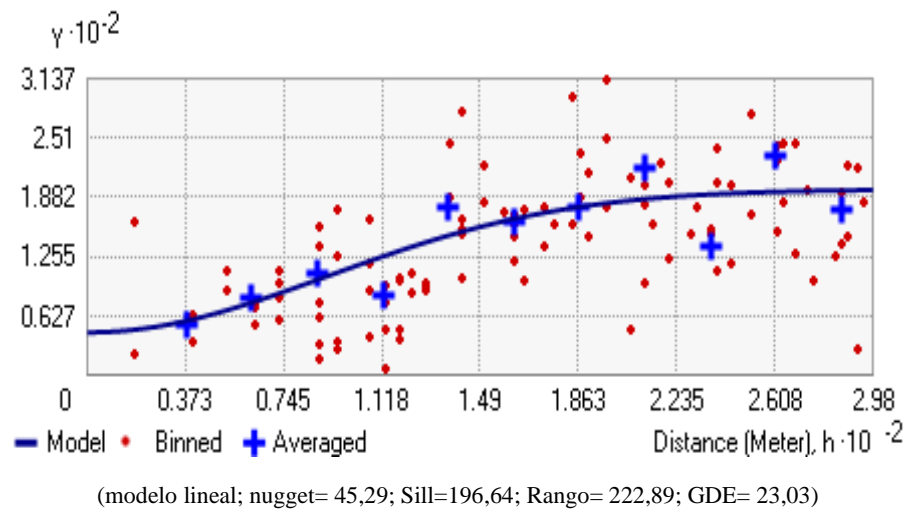


**Figura 6.** Extracción de muestras

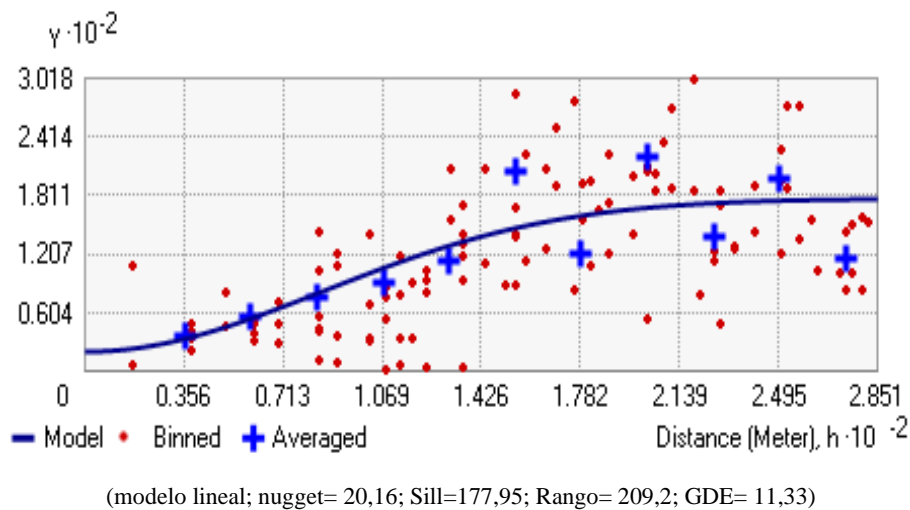


**Figura 7.** Cultivo de cacao CCN-51 en el Fundo Cárdenas

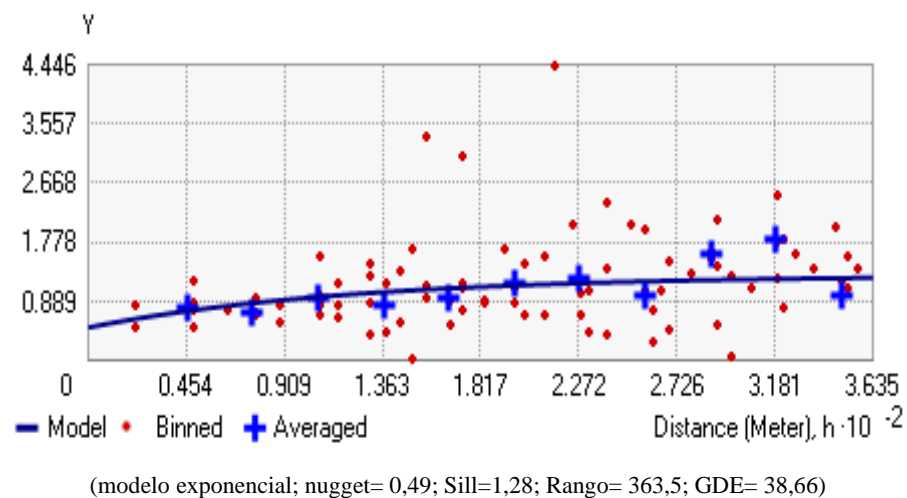
## Análisis Geoestadístico de indicadores relevantes



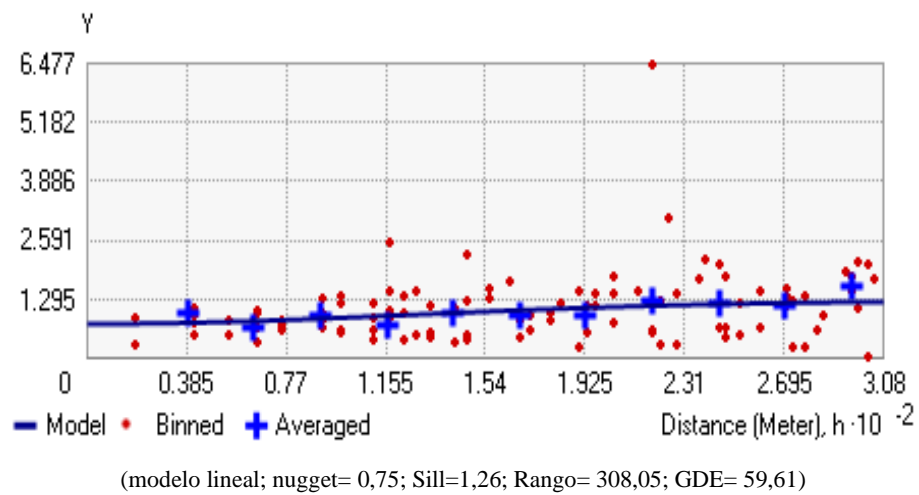
**Figura 8.** Variograma para la fracción arena



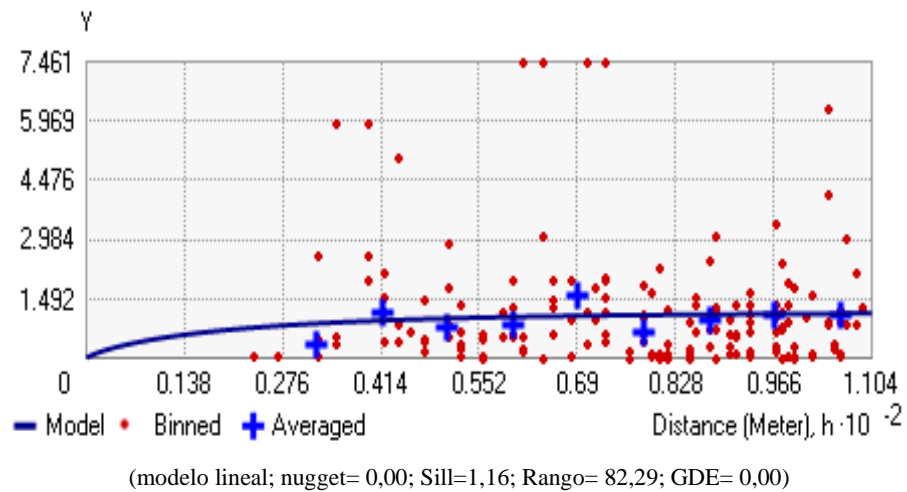
**Figura 9.** Variograma para la fracción limo



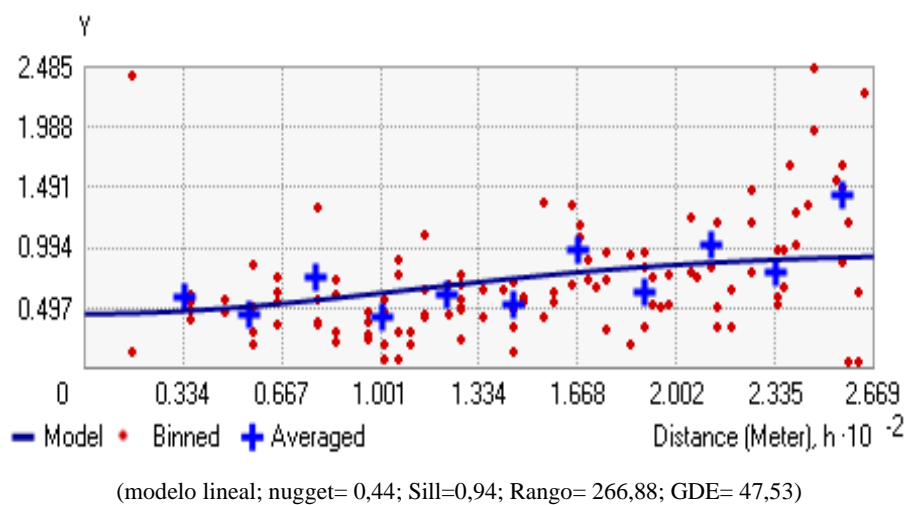
**Figura 10.** Variograma para la MO del suelo



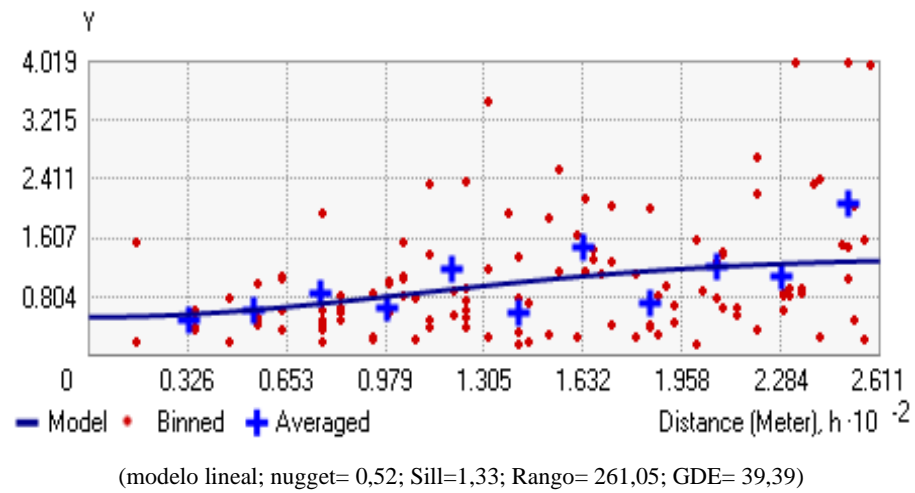
**Figura 11.** Variograma para el N del suelo



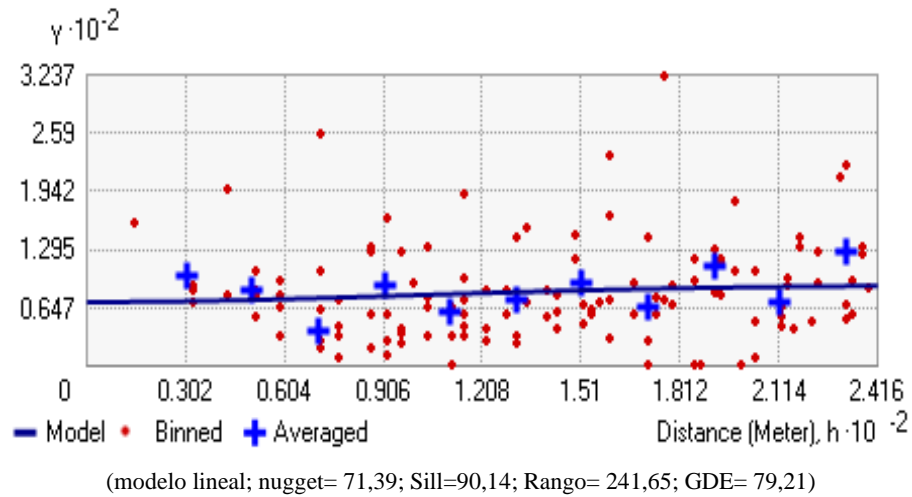
**Figura 12.** Variograma para el K<sup>+</sup> del suelo



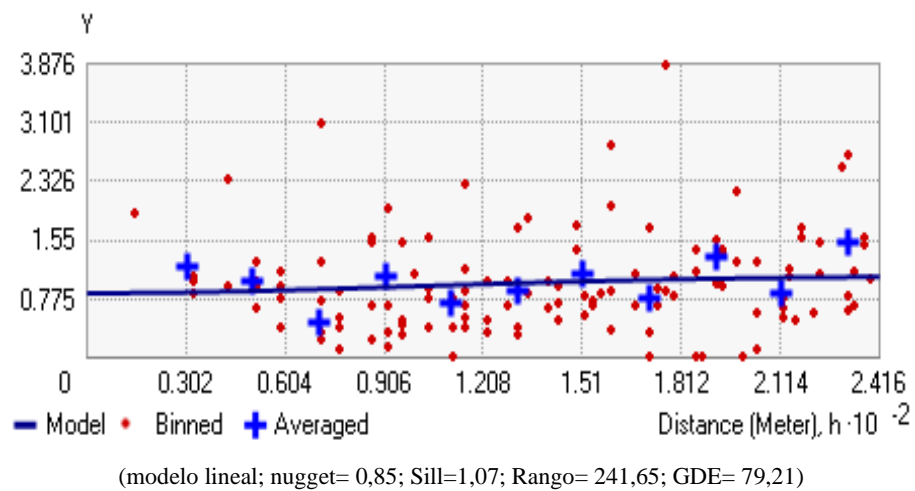
**Figura 13.** Variograma para el Al<sup>3+</sup> del suelo



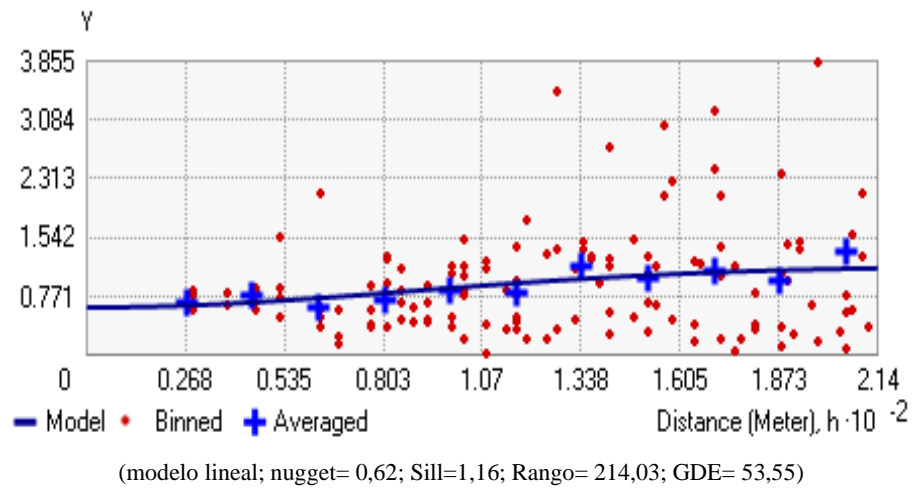
**Figura 14.** Variograma para la CIC del suelo



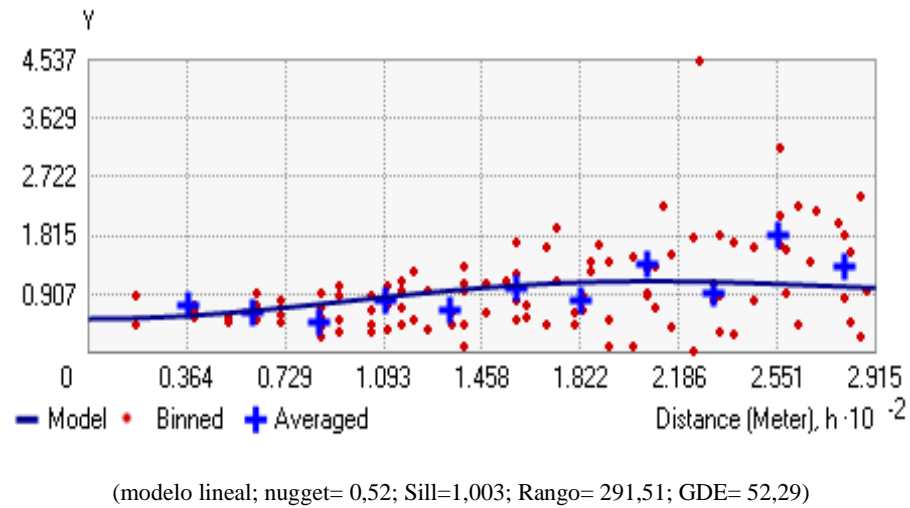
**Figura 15.** Variograma para el %BC del suelo



**Figura 16.** Variograma para el %AC del suelo

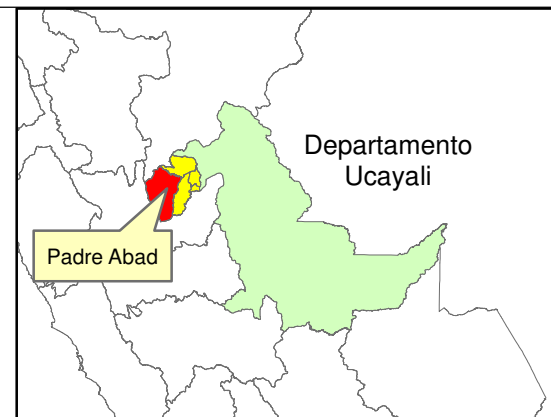
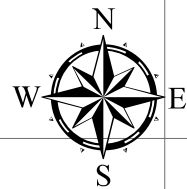
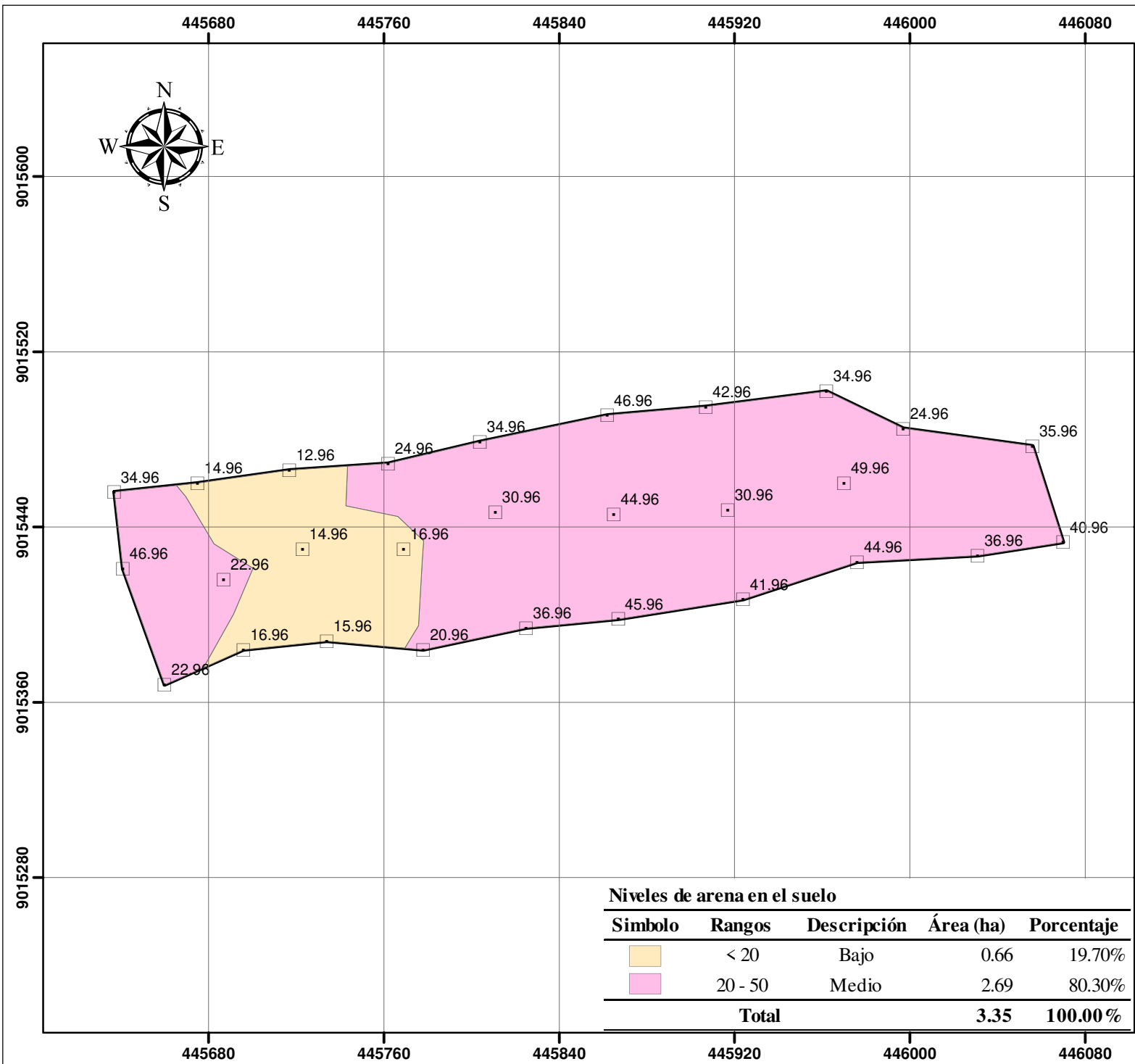


**Figura 17.** Variograma para el %SAI del suelo



**Figura 18.** Variograma para el índice de calidad del suelo (ICS)

### Distribución espacial de indicadores fisicoquímicos y calidad del suelo

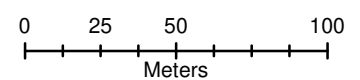


Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

□ Puntos de muestreo



DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FAULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUÍA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

Mapa **Niveles de arena en el suelo**

Ubicación política      Región      Ucayali  
Sector    Nuevo Progreso    Provincia    Padre Abad  
Parcela    **Fundo Cárdenas**    Distrito    **Padre Abad**

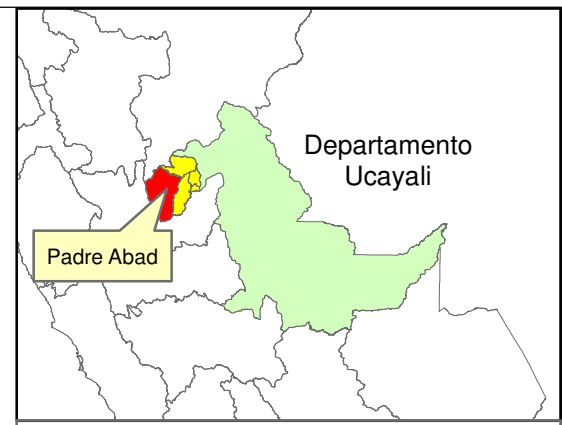
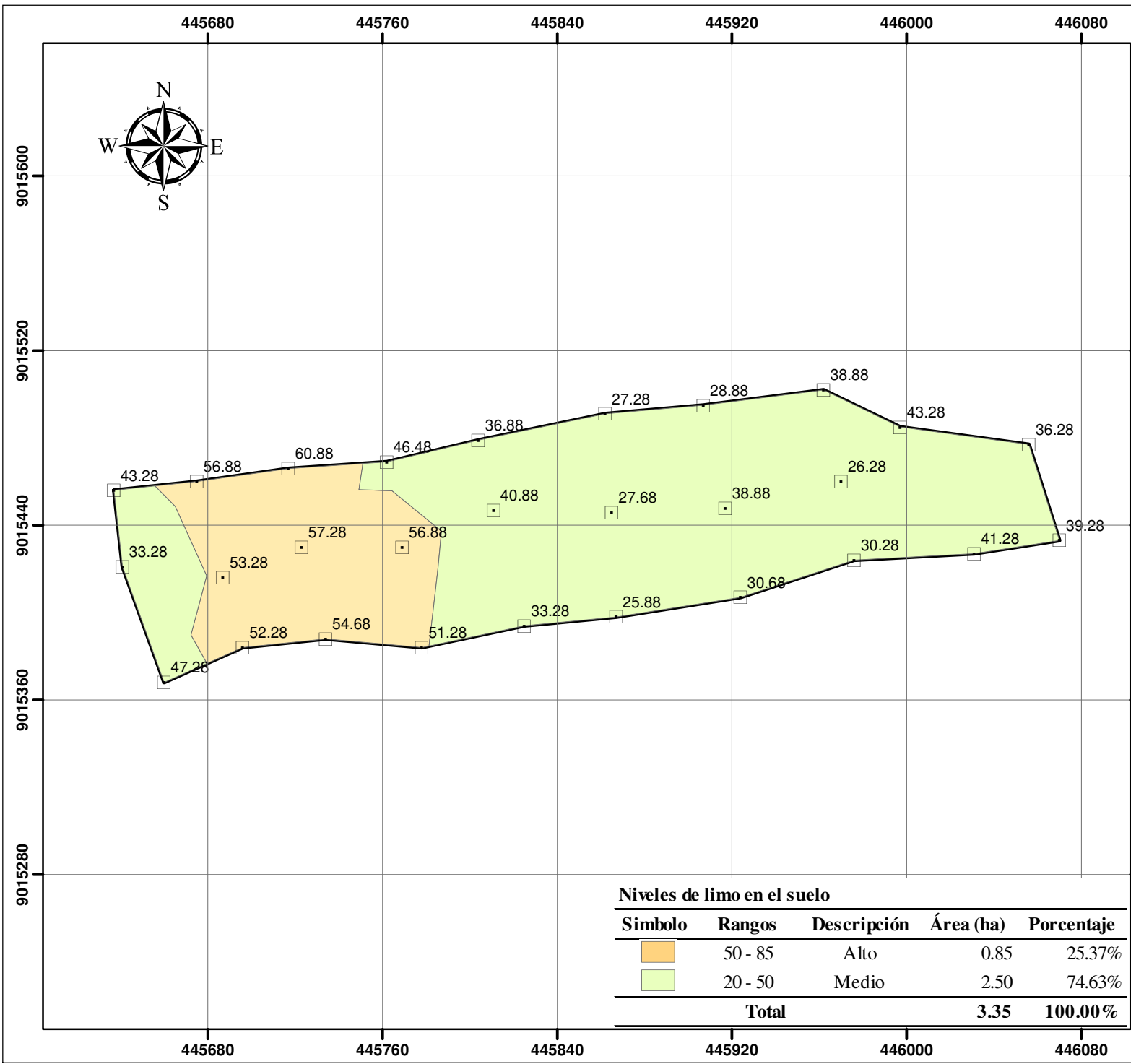
Tesista **Inocencio Vasquez Erika Tereza**      Lámina

Asesor **Dr. Nelino Florida Rofner**

Escala **1: 2,500**      Fecha **Mayo 2022**

**P-1**





Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FA CULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUÍA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICOQUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

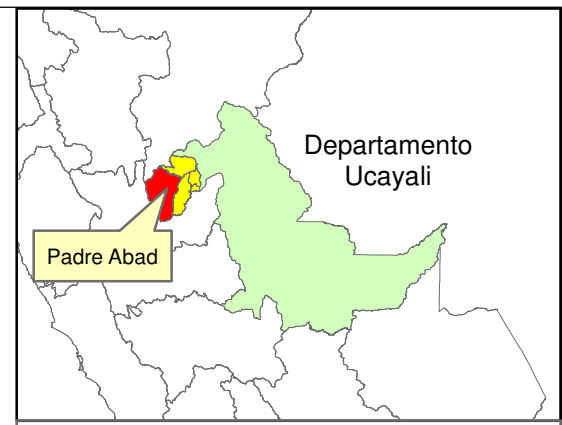
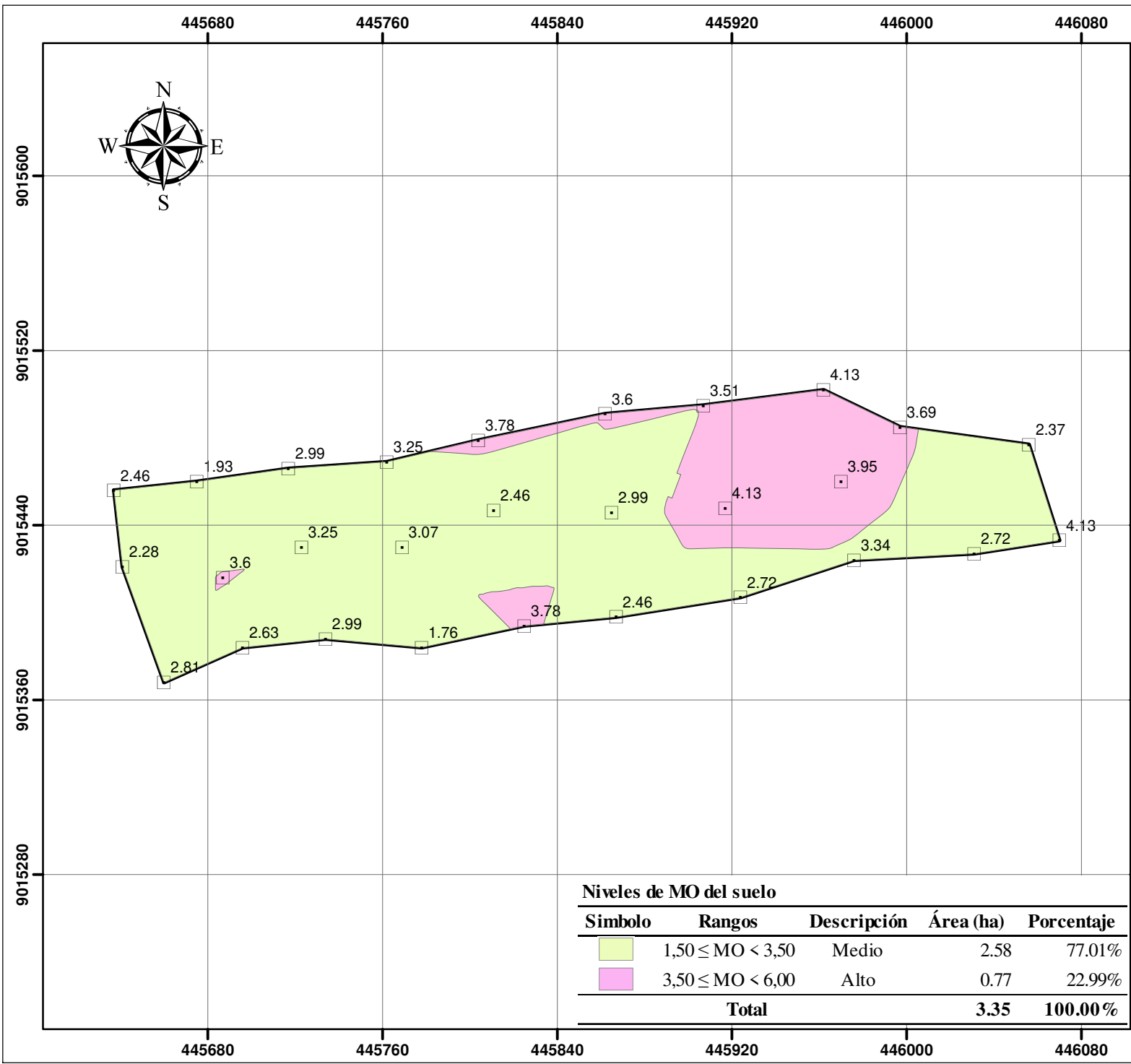
Mapa **Niveles de limo en el suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-2</b>
Escala	1: 2,500	
Fecha	Mayo 2022	

**Niveles de limo en el suelo**

Símbolo	Rangos	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
■	50 - 85	Alto	0.85	25.37%
■	20 - 50	Medio	2.50	74.63%
<b>Total</b>			<b>3.35</b>	<b>100.00%</b>



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

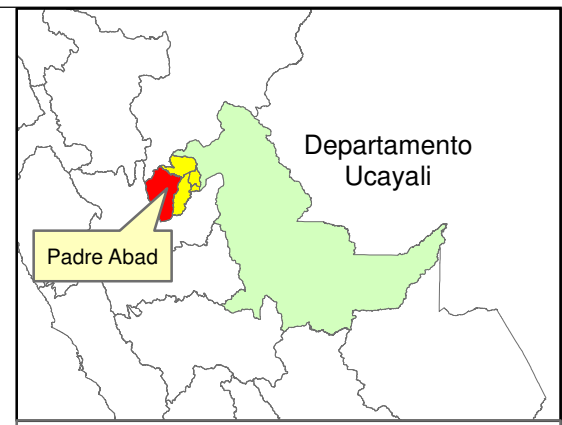
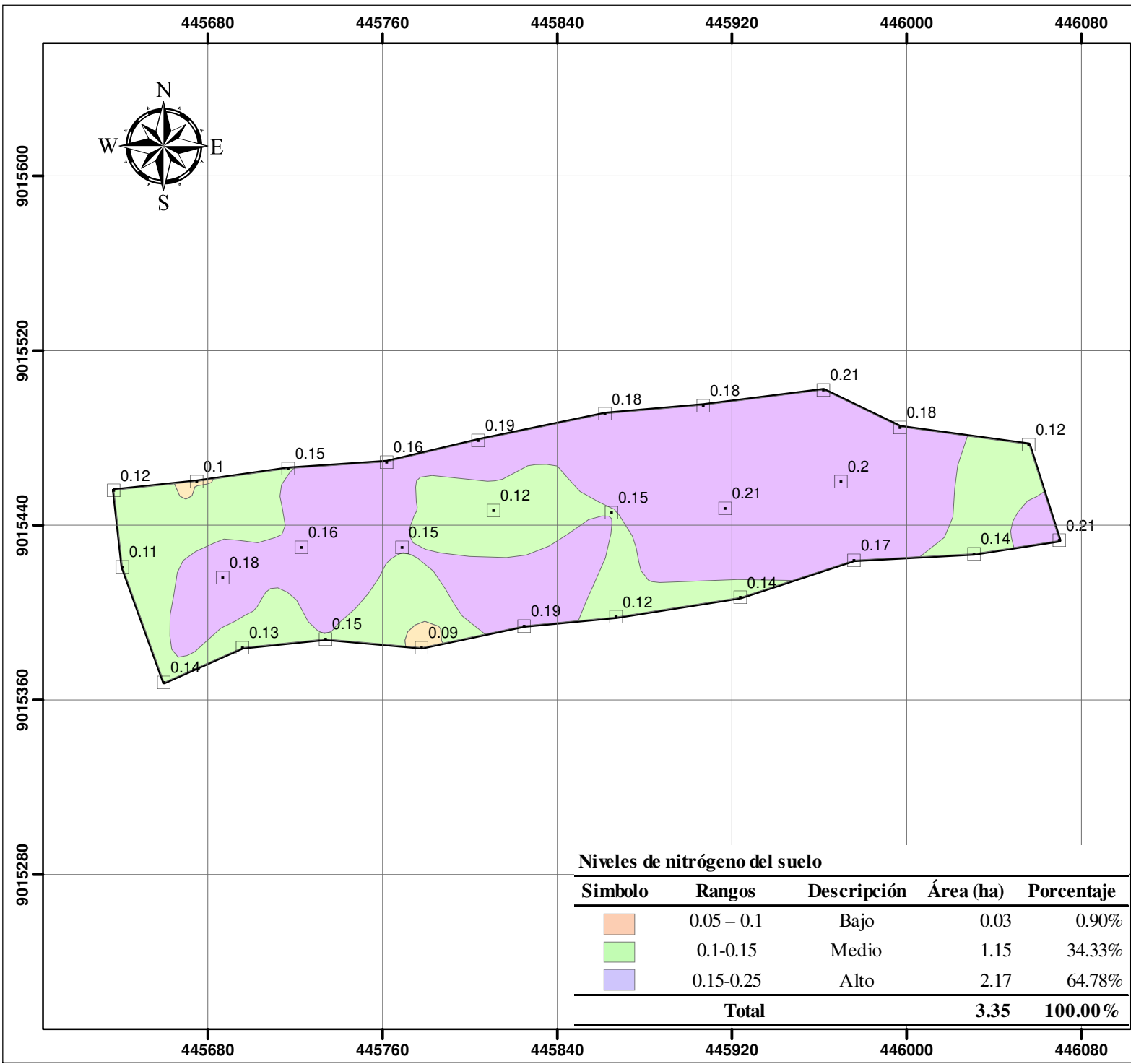
**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FAULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

Mapa  
**Niveles de materia orgánica del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina	
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-3</b>	
Escala	1: 2,500		Fecha



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- ⬭ Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

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

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

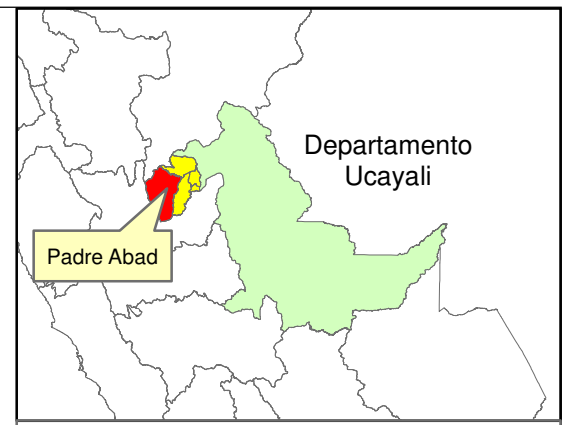
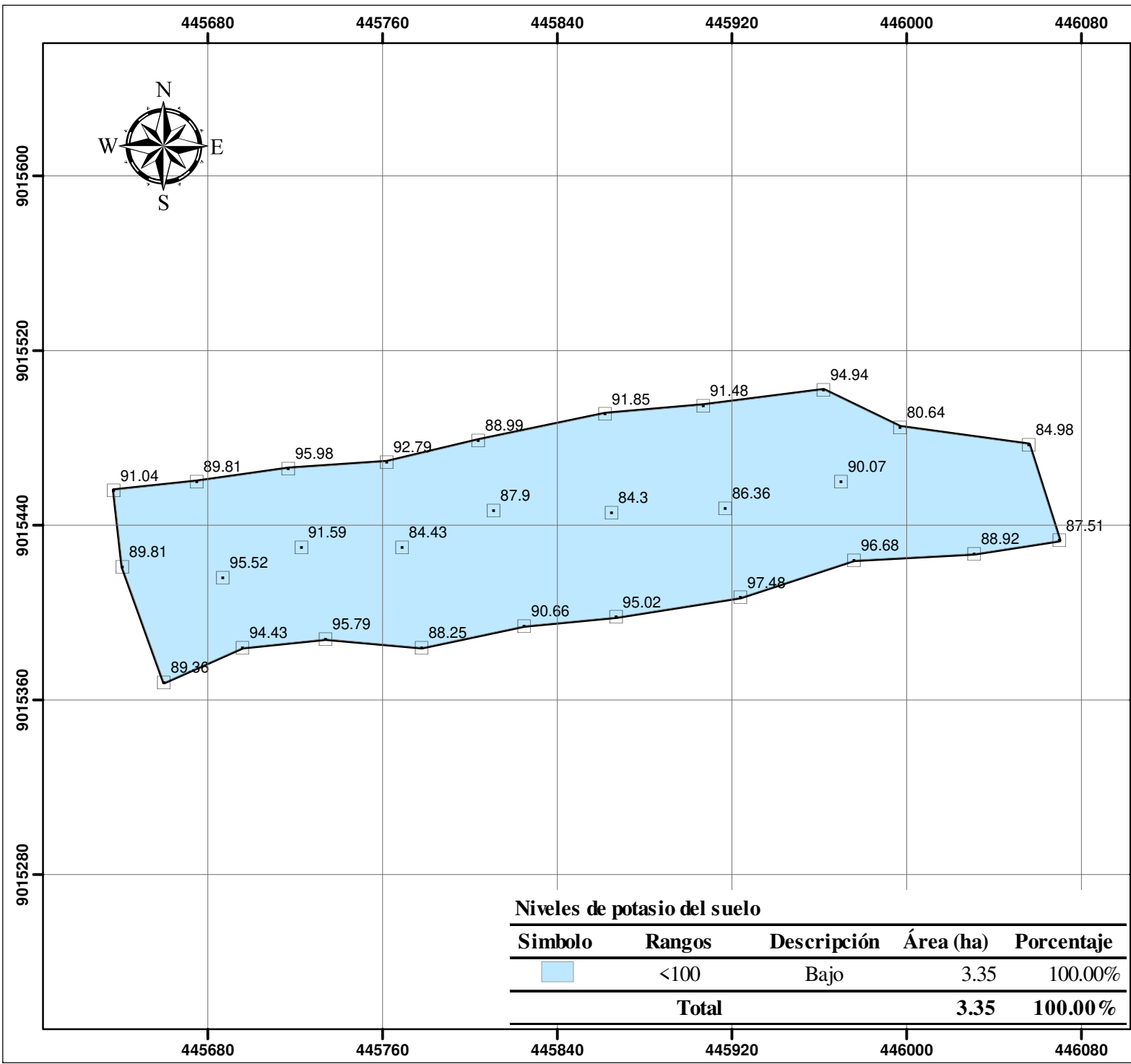
Mapa  
**Niveles de nitrógeno del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-4</b>
Escala	1: 2,500	
Fecha	Mayo 2022	

**Niveles de nitrógeno del suelo**

Símbolo	Rangos	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
■	0.05 – 0.1	Bajo	0.03	0.90%
■	0.1-0.15	Medio	1.15	34.33%
■	0.15-0.25	Alto	2.17	64.78%
<b>Total</b>			<b>3.35</b>	<b>100.00%</b>



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FA CULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUA

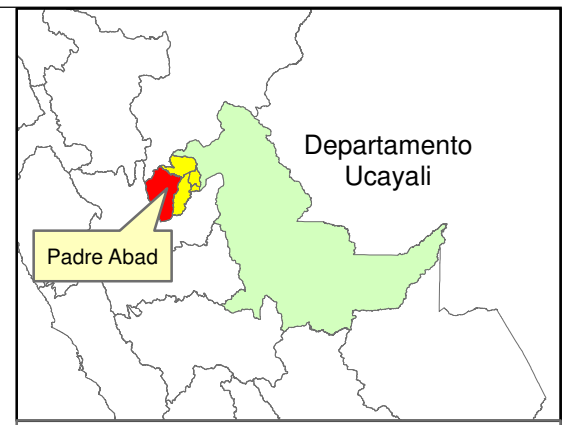
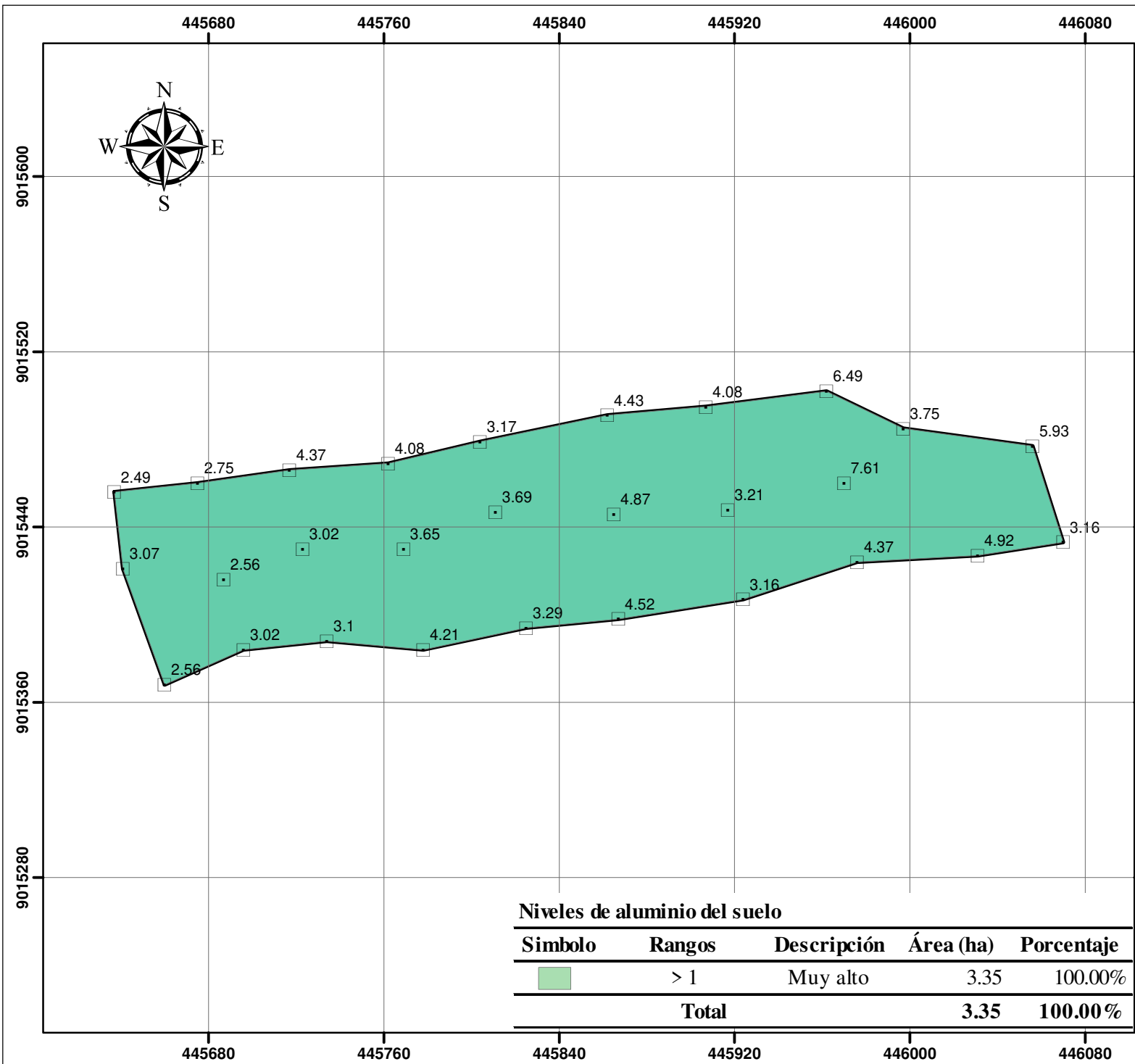
Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

Mapa  
**Niveles de potasio del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-5</b>
Escala	1: 2,500	
Fecha	Mayo 2022	

Simbolo	Rangos	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
■	<100	Bajo	3.35	100.00%
<b>Total</b>			<b>3.35</b>	<b>100.00%</b>



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FA CULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUA

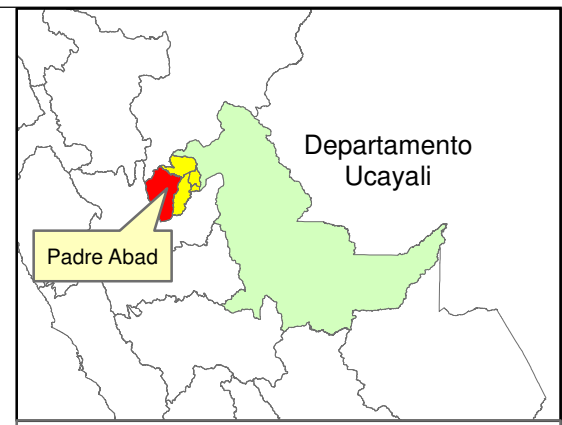
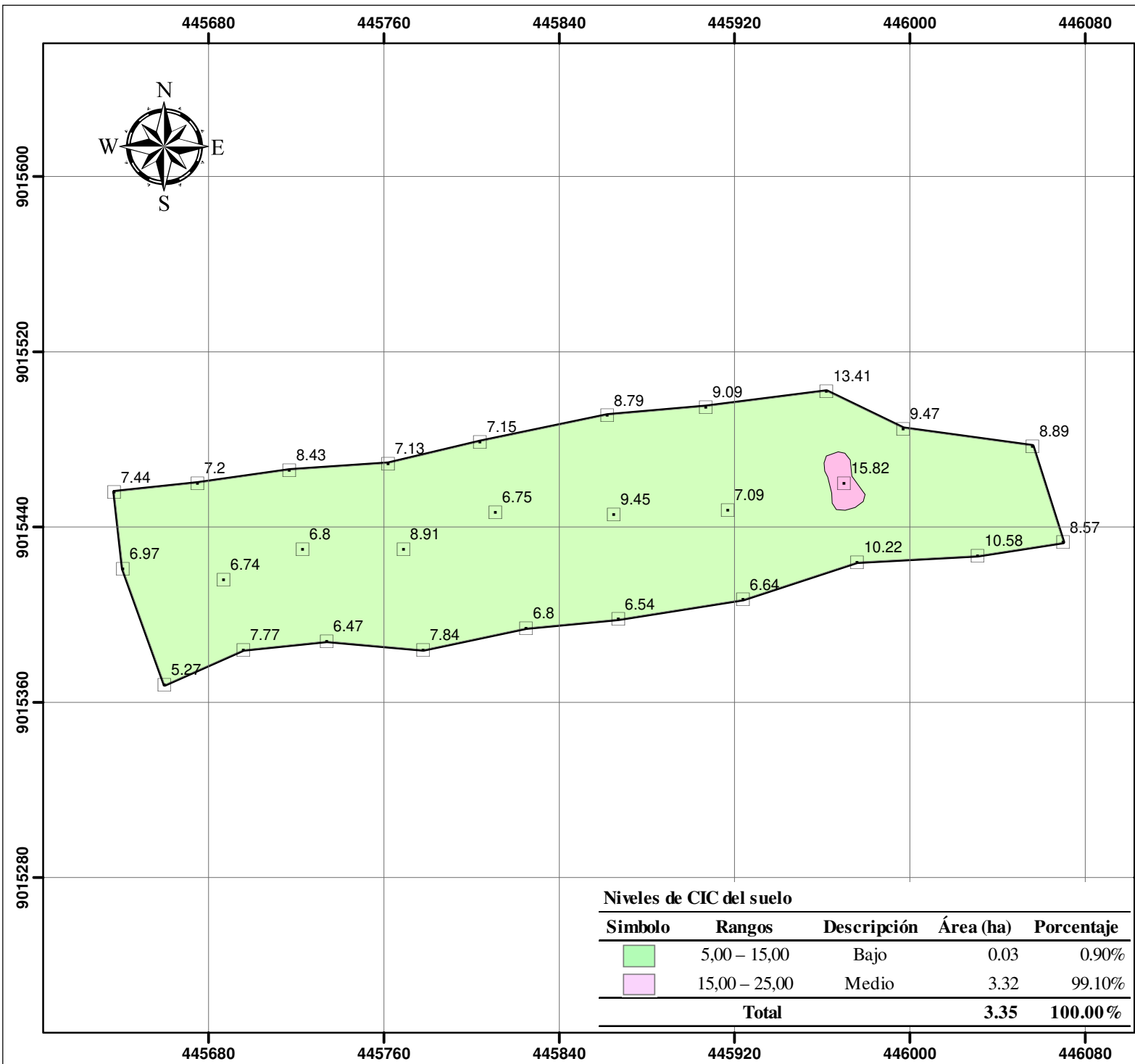
Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

Mapa  
**Niveles de aluminio del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-6</b>
Escala	1: 2,500	
Fecha	Mayo 2022	

Símbolo	Rangos	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
■	> 1	Muy alto	3.35	100.00%
<b>Total</b>			<b>3.35</b>	<b>100.00%</b>



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- ⬭ Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FAULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**  
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUÍA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

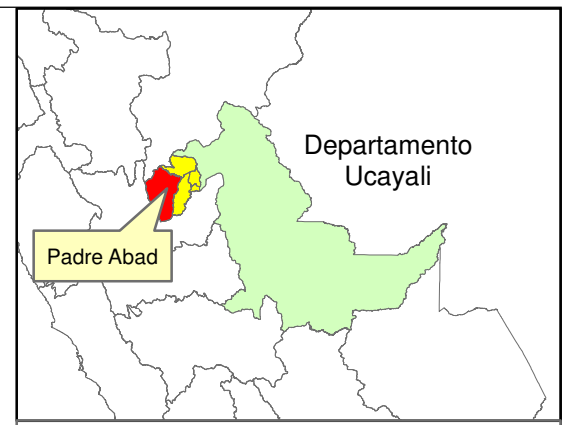
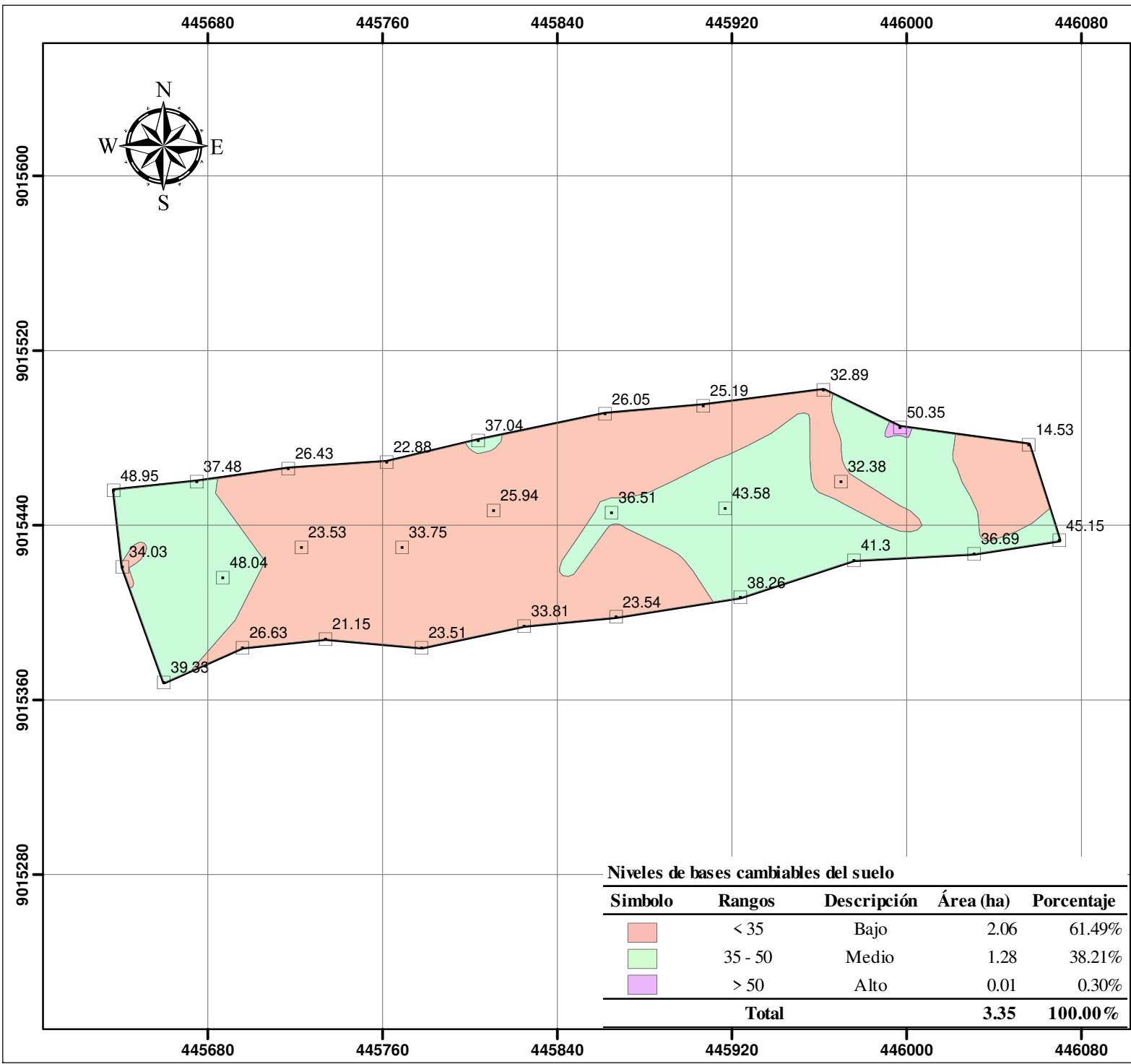
Mapa **Niveles de CIC del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-7</b>
Escala	1: 2,500	
Fecha	Mayo 2022	

**Niveles de CIC del suelo**

Simbolo	Rangos	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
□	5,00 – 15,00	Bajo	0.03	0.90%
□	15,00 – 25,00	Medio	3.32	99.10%
<b>Total</b>			<b>3.35</b>	<b>100.00%</b>



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- ⬭ Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FAULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUÍA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

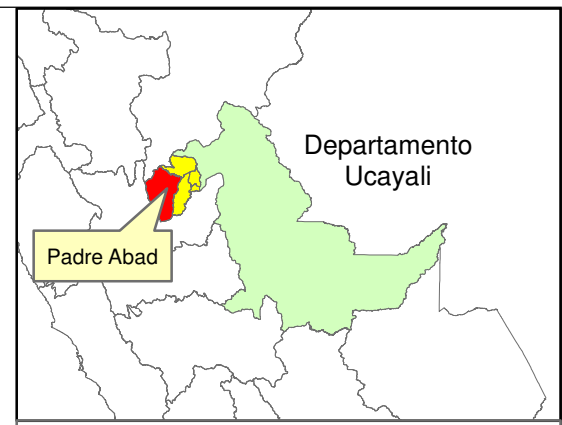
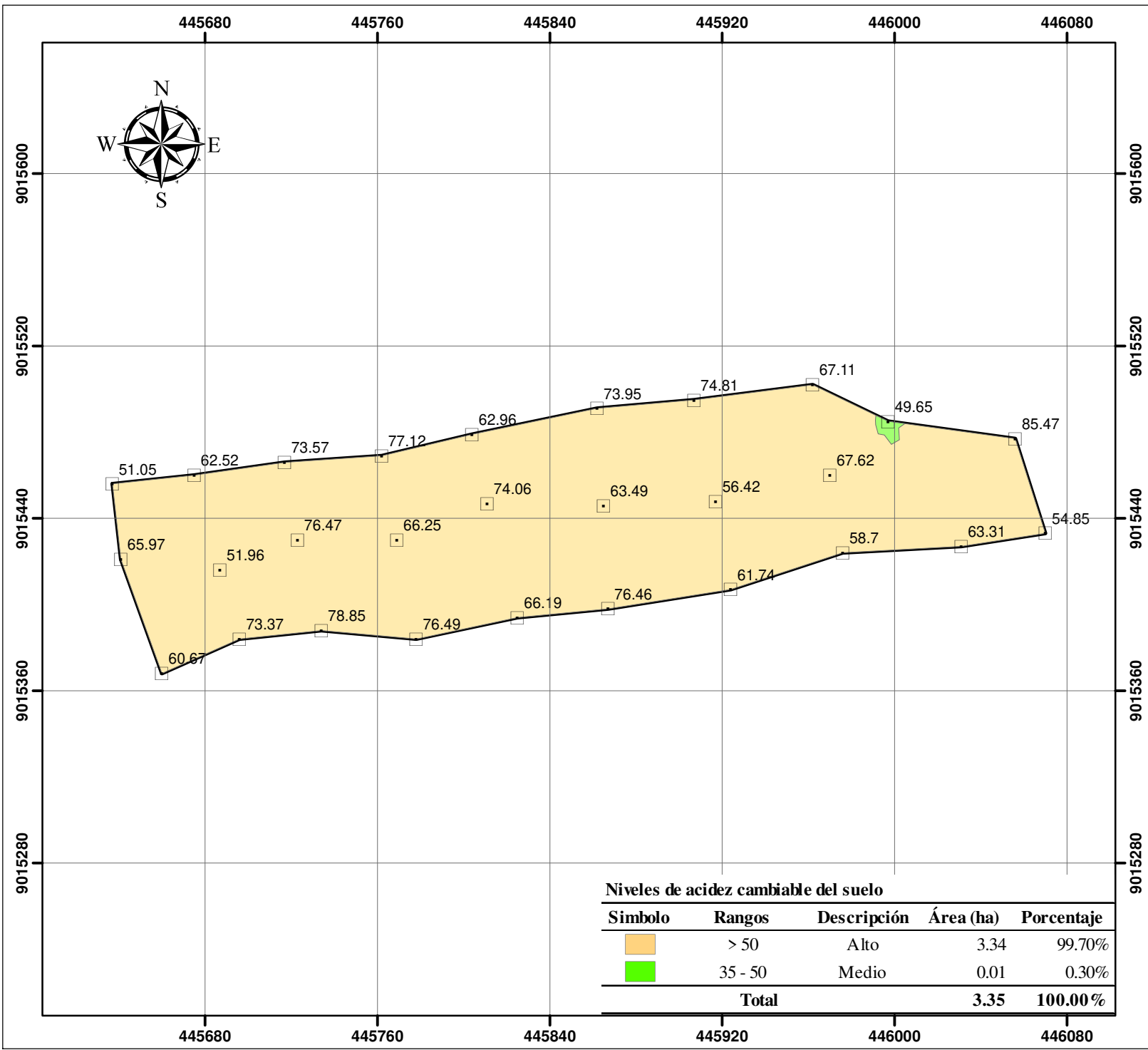
Mapa  
**Niveles de bases cambiables del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector <b>Nuevo Progreso</b>	Provincia	<b>Padre Abad</b>
Parcela <b>Fundo Cárdenas</b>	Distrito	<b>Padre Abad</b>

Tesista <b>Inocencio Vasquez Erika Tereza</b>	Lámina
Asesor <b>Dr. Nelino Florida Rofner</b>	<b>P-8</b>
Escala <b>1: 2,500</b>	

**Niveles de bases cambiables del suelo**

Simbolo	Rangos	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
■	< 35	Bajo	2.06	61.49%
■	35 - 50	Medio	1.28	38.21%
■	> 50	Alto	0.01	0.30%
<b>Total</b>			<b>3.35</b>	<b>100.00%</b>



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
**FAULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

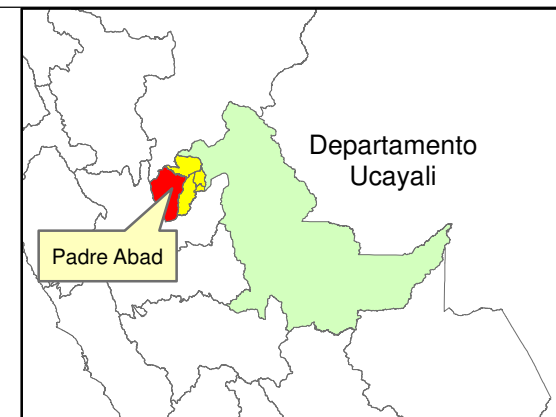
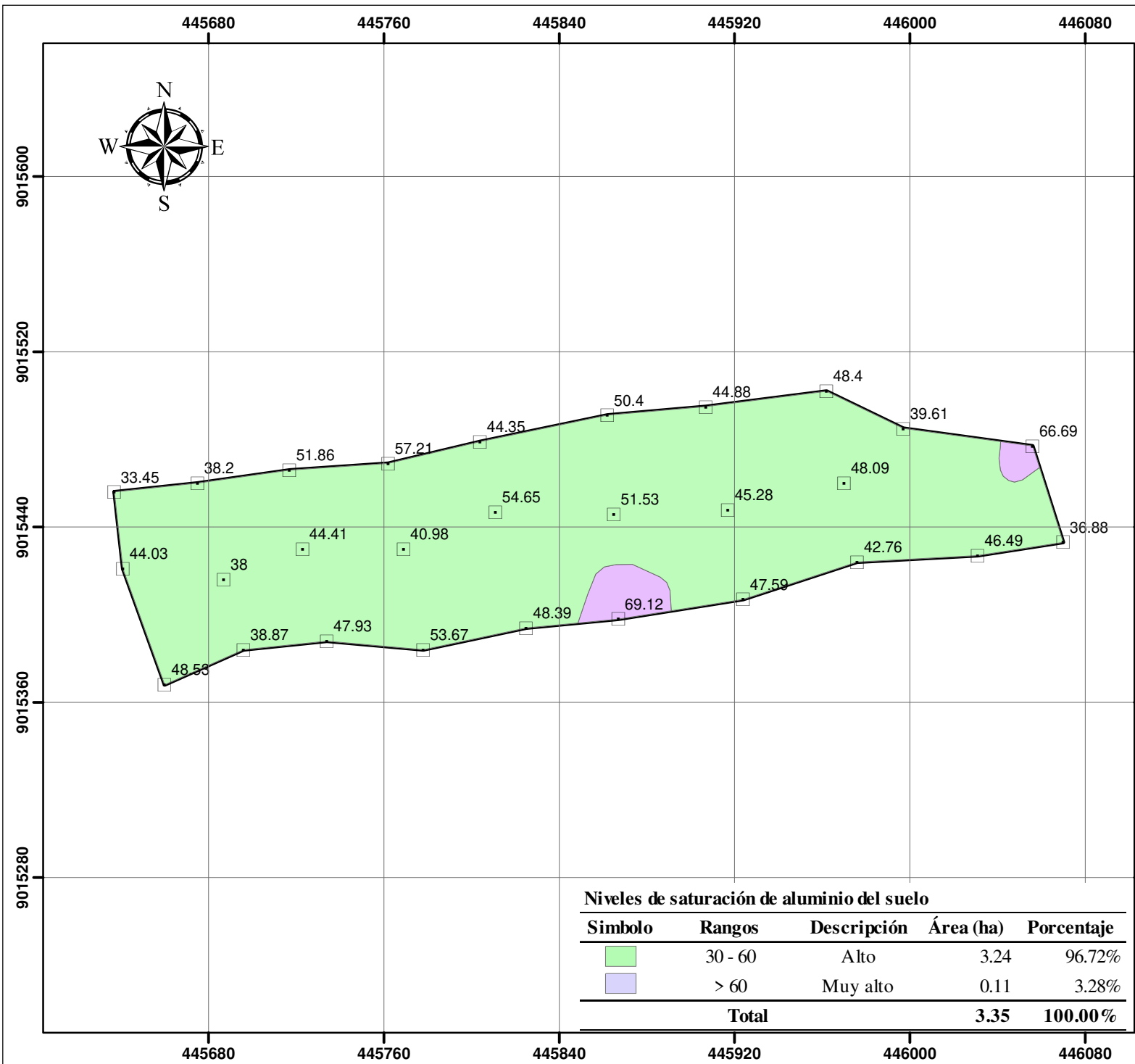
Mapa  
**Niveles de acidez cambiabile del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-9</b>
Escala	1: 2,500	
Fecha	Mayo 2022	

Símbolo	Rangos	Descripción	Área (ha)	Porcentaje
■	> 50	Alto	3.34	99.70%
■	35 - 50	Medio	0.01	0.30%
<b>Total</b>			<b>3.35</b>	<b>100.00%</b>





Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FAULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

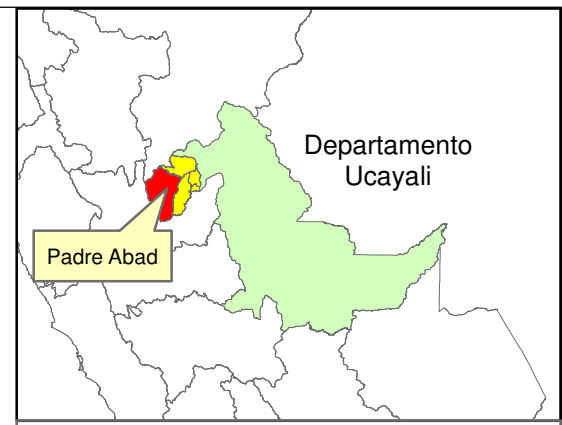
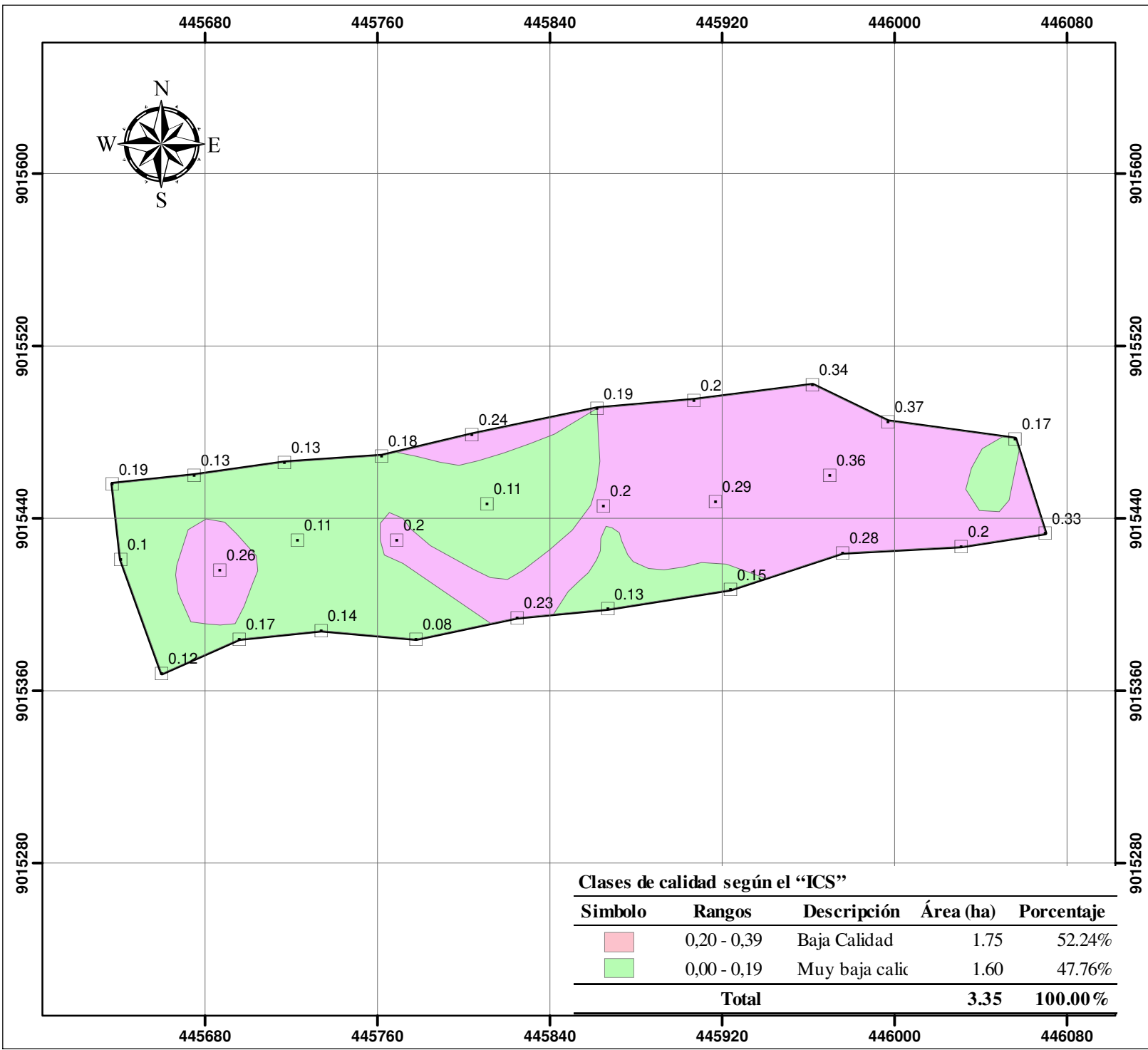
ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y AGUA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

Mapa  
**Niveles de saturación de aluminio del suelo**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	<b>P-10</b>
Escala	1: 2,500	
Fecha	Mayo 2022	



Esc.: 1:15,000,000

**LEYENDA**

**SIGNOS CONVENCIONALES**

- Puntos de muestreo
- Parcela

0 25 50 100  
Meters

DATUM: WGS84  
HEMISFERIO: SUR  
ZONA: 18  
SISTEMA DE PROYECCION: UTM

**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

**FAULTA DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES**

ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERÍA EN CONSERVACIÓN DE SUELOS Y A GUA

Tesis: **DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE INDICADORES DE CALIDAD FÍSICO QUÍMICA DEL SUELO EN EL FUNDO "CÁRDENAS", EN NUEVO PROGRESO PADRE ABAD 2022**

Mapa **Calidad del suelo "ICS"**

Ubicación política	Región	Ucayali
Sector	Nuevo Progreso	Provincia Padre Abad
Parcela	Fundo Cárdenas	Distrito Padre Abad

Tesista	Inocencio Vasquez Erika Tereza	Lámina
Asesor	Dr. Nelino Florida Rofner	P-11
Escala	1: 2,500	
		Mayo 2022



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**

Carretera Central Km 1.21 - Tingo Maria - CELULAR 944407531

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

[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



# ANÁLISIS DE SUELOS

**SOLICITANTE:**

**INOCENCIO VASQUEZ ERIKA TEREZA**

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (kg/ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTRA (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	EDAD DEL CULTIVO (AÑOS)	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)							
														LATITUD	LONGITUD								
DATOS																							
N°	CODIGO DEL LABORATORIO	REFERENCIA		ANÁLISIS MECÁNICO		pH	M.O. %	N %	P ppm	K ppm	CIC	CAMBIABLES Cmol(+)/kg			CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb. Al						
		Arena %	Arcilla %	Limo %	Textura							Ca	Mg	K				Na	Al	H			
1	S0198-1	M1	35	22	43	Franco	4.20	2.46	0.12	0.58	91.04	7.44	3.23	0.41	--	--	--	2.49	1.31	7.44	49	51	33
2	S0198-2	M2	47	20	33	Franco	4.07	2.28	0.11	2.28	89.81	6.97	2.15	0.23	--	--	--	3.07	1.53	6.97	34	66	44
3	S0198-3	M3	23	30	47	Franco Arcillo Limoso	4.17	2.81	0.14	2.56	89.36	5.27	1.84	0.23	--	--	--	2.56	0.64	5.27	39	61	49
4	S0198-4	M4	17	31	52	Franco Arcillo Limoso	3.85	2.63	0.13	6.62	94.43	7.77	1.85	0.22	--	--	--	3.02	2.68	7.77	27	73	39
5	S0198-5	M5	23	24	53	Franco Limoso	4.16	3.60	0.18	3.13	95.52	6.74	2.84	0.40	--	--	--	2.56	0.94	6.74	48	52	38
6	S0198-6	M6	15	28	57	Franco Arcillo Limoso	4.32	1.93	0.10	2.47	89.81	7.20	2.49	0.21	--	--	--	2.75	1.75	7.20	37	63	38
7	S0198-7	M7	13	26	61	Franco Limoso	4.08	2.99	0.15	3.03	95.98	8.43	1.98	0.25	--	--	--	4.37	1.83	8.43	26	74	52
8	S0198-8	M8	15	28	57	Franco Arcillo Limoso	4.03	3.25	0.16	0.77	91.59	6.80	1.41	0.19	--	--	--	3.02	2.18	6.80	24	76	44
9	S0198-9	M9	16	29	55	Franco Arcillo Limoso	3.81	2.99	0.15	3.13	95.79	6.47	1.18	0.19	--	--	--	3.10	2.00	6.47	21	79	48
10	S0198-10	M10	21	28	51	Franco Arcillo Limoso	3.94	1.76	0.09	1.62	88.25	7.84	1.61	0.23	--	--	--	4.21	1.79	7.84	24	76	54
11	S0198-11	M11	17	26	57	Franco Limoso	3.86	3.07	0.15	3.03	84.43	8.91	2.62	0.38	--	--	--	3.65	2.25	8.91	34	66	41
12	S0198-12	M12	25	29	46	Franco Arcillo Limoso	4.19	3.25	0.16	2.28	92.79	7.13	1.46	0.17	--	--	--	4.08	1.42	7.13	23	77	57
13	S0198-13	M13	35	28	37	Franco Arcilloso	4.40	3.78	0.19	1.90	88.99	7.15	2.32	0.32	--	--	--	3.17	1.33	7.15	37	63	44
14	S0198-14	M14	31	28	41	Franco Arcillo Limoso	4.08	2.46	0.12	1.24	87.90	6.75	1.55	0.20	--	--	--	3.69	1.31	6.75	26	74	55

MUESTREO POR EL SOLICITANTE

RECIBO No.

001-0644224

TINGO MARIA, 20 DE ABRIL 2022

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo Maria



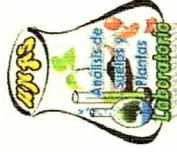
Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI

Jefe (e) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología



**UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA**  
Carretera Central Km 1.21 - Tingo María - CELULAR 944407531

Facultad de Agronomía - Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología  
[analisisdesuelosunas@hotmail.com](mailto:analisisdesuelosunas@hotmail.com)



# ANÁLISIS DE SUELOS

SOLICITANTE:

INOCENCIO VASQUEZ ERIKA TEREZA

N°	CODIGO DEL LABORATORIO	DEPARTAMENTO	PROVINCIA	DISTRITO	SECTOR	NOMBRE DE LA PARCELA	AREA (Has)	CULTIVO ANTERIOR	CULTIVO ACTUAL	RENDIMIENTO (kg/ha)	PROFUNDIDAD DE MUESTRA EO (cm)	DENSIDAD DE SIEMBRA	EDAD DEL CULTIVO (AÑOS)	COORDENADAS		ALTITUD (m.s.n.m.)								
														LATITUD	LONGITUD									
N°	CODIGO DEL LABORATORIO	REFERENCIA	ANÁLISIS MECÁNICO			pH	M.O. %	N %	P ppm	K disponible ppm	CIC	CAMBIABLES Cmo/(g)kg			Ca	Mg	K	Na	Al	H	CICe	% Bas. Camb.	% Ac. Camb. Al	% Sat. Al
			Arena %	Arcilla %	Limo %							Ca	Mg	K										
1	S0198-1	UCAVALI	PADRE ABAD	NESHUYA	NUOVO PROGRESO	FUNDO CARDENAS	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--	--
15	S0198-15	M15	37	30	33	4.11	3.78	0.19	2.94	90.66	6.80	1.98	0.32	--	--	--	--	3.29	1.21	6.80	34	66	48	
16	S0198-16	M16	46	28	26	4.20	2.46	0.12	2.37	95.02	6.54	1.33	0.21	--	--	--	--	4.52	0.48	6.54	24	76	69	
17	S0198-17	M17	45	27	28	4.26	2.99	0.15	3.13	84.30	9.45	3.05	0.41	--	--	--	--	4.87	1.13	9.45	37	63	52	
18	S0198-18	M18	47	26	27	4.50	3.60	0.18	1.81	91.85	8.79	2.05	0.24	--	--	--	--	4.43	2.07	8.79	26	74	50	
19	S0198-19	M19	43	28	29	4.25	3.51	0.18	2.37	91.48	9.09	1.95	0.34	--	--	--	--	4.08	2.72	9.09	25	75	45	
20	S0198-20	M20	31	30	39	4.75	4.13	0.21	2.47	86.36	7.09	2.70	0.40	--	--	--	--	3.21	0.79	7.09	44	56	45	
21	S0198-21	M21	42	27	31	4.41	2.72	0.14	2.18	97.48	6.64	2.12	0.42	--	--	--	--	3.16	0.94	6.64	38	62	48	
22	S0198-22	M22	45	25	30	4.65	3.34	0.17	1.34	96.68	10.22	3.71	0.52	--	--	--	--	4.37	1.63	10.22	41	59	43	
23	S0198-23	M23	50	24	26	4.38	3.95	0.20	2.75	90.07	15.82	4.55	0.58	--	--	--	--	7.61	3.09	15.82	32	68	48	
24	S0198-24	M24	35	26	39	4.16	4.13	0.21	3.98	94.94	13.41	3.81	0.60	--	--	--	--	6.49	2.51	13.41	33	67	48	
25	S0198-25	M25	25	32	43	4.55	3.69	0.18	4.54	80.64	9.47	3.95	0.82	--	--	--	--	3.75	0.95	9.47	50	50	40	
26	S0198-26	M26	37	22	41	4.43	2.72	0.14	1.43	88.92	10.58	3.49	0.39	--	--	--	--	4.92	1.78	10.58	37	63	46	
27	S0198-27	M27	41	20	39	4.48	4.13	0.21	2.56	87.51	8.57	3.40	0.47	--	--	--	--	3.16	1.54	8.57	45	55	37	
28	S0198-28	M28	36	28	36	4.13	2.37	0.12	2.57	84.98	8.89	1.13	0.16	--	--	--	--	5.93	1.67	8.89	15	85	67	

MUESTREADO POR EL SOLICITANTE

RECIBO No. 001-0644224

TINGO MARIA, 20 DE ABRIL 2022



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

Tingo María

*[Signature]*

Dr. HUGO ALFREDO HUAMANI YUPANQUI

Jefe (e) Laboratorio de Análisis de Suelos, Agua y Ecotoxicología

