



Universidad  
Nacional  
de Loja

# Universidad Nacional de Loja

## Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables

Carrera de Ingeniería Agrícola

### Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja.

Trabajo de Titulación previo a  
la obtención del título de  
Ingeniera Agrícola

**Autora:**

Karen Deyanira Cárdenas Ríos

**Director:**

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján Mg. Sc.

Loja-Ecuador

2024

Educamos para Transformar

## Certificación

Loja, 15 de septiembre del 2023

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján Mg.Sc  
**DIRECTORA DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

### C E R T I F I C O:

Que he revisado y orientado todo el proceso de elaboración del trabajo de titulación denominado: **Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja**, previo a la obtención del título de Ingeniera Agrícola, de la autoría de la estudiante **Karen Deyanira Cárdenas Ríos**, con cédula de identidad Nro. **1106061136**, una vez que el trabajo cumple con todos los requisitos exigidos por la Universidad Nacional de Loja, para el efecto, autorizo la presentación del mismo para su respectiva sustentación y defensa.



---

Ing. Fernanda Margoth Livisaca Loján Mg.Sc.

**DIRECTOR DEL TRABAJO DE TITULACIÓN**

CI: 110287135

## **Autoría**

Yo, **Karen Deyanira Cárdenas Ríos**, declaro ser autora del presente Trabajo de Titulación y eximo expresamente a la Universidad Nacional de Loja y a sus representantes jurídicos de posibles reclamos y acciones legales, por el contenido de la misma. Adicionalmente acepto y autorizo a la Universidad Nacional de Loja la publicación de mi Trabajo de Titulación, en el Repositorio Digital Institucional – Biblioteca Virtual.



**Firma:**

**Cédula de Identidad:** 1106061136

**Fecha:** 09 de mayo del 2024

**Correo electrónico:** karen.d.cardenas@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0995017363

**Carta de autorización por parte de la autora, para consulta, reproducción parcial o total y/o publicación electrónica del texto completo, del Trabajo de Titulación.**

Yo, **Karen Deyanira Cárdenas Ríos**, declaro ser autora del Trabajo de Titulación denominado: **“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón”** como requisito para optar por el título de **Ingeniera Agrícola**, autorizo al sistema Bibliotecario de la Universidad Nacional de Loja para que, con fines académicos, muestre la producción intelectual de la Universidad, a través de la visibilidad de su contenido en el Repositorio Institucional.

Los usuarios pueden consultar el contenido de este trabajo en el Repositorio Institucional, en las redes de información del país y del exterior con las cuales tenga convenio la Universidad.

La Universidad Nacional de Loja, no se responsabiliza por el plagio o copia del Trabajo de Titulación que realice un tercero.

Para constancia de esta autorización, en la ciudad de Loja, a los nueve días del mayo del dos mil veinticuatro



**Firma:**

**Autora:** Karen Deyanira Cárdenas Ríos

**Cédula:** 1106061136

**Dirección:** Loja, barrio Yahuarcoma

**Correo electrónico:** karen.d.cardenas@unl.edu.ec

**Teléfono:** 0995017363

**DATOS COMPLEMENTARIOS**

**Director del Trabajo de Titulación:** Ing. Fernanda Margoth Livisaca, Mg. Sc

## **Dedicatoria**

A mis padres y familia, quienes han brindado un apoyo incondicional durante mi trayecto educativo y han sido una guía invaluable en mi formación personal, a mi pequeña Danna Martina espero ser una inspiración en tu vida y en mi veas un modelo a seguir, para que, en un futuro con determinación y fortaleza comprendas que cualquier sueño se puede cumplir.

***Karen Deyanira Cárdenas Ríos.***

## **Agradecimiento**

Agradezco a Dios por ser una guía en mi vida, a mi familia por todo su esfuerzo y paciencia de manera especial a la Universidad Nacional de Loja, la Facultad Agropecuaria y de Recursos Naturales Renovables y a todos los docentes de la Carrera de Ingeniería Agrícola por sus conocimientos brindados durante mis años de formación universitaria, a mi directora de tesis Ing. Fernanda Livisaca Loján por su guía y apoyo.

También quiero expresar mi más sincero agradecimiento al Ing. José Merino Alverca por su gran disposición ayudarme y dar seguimiento hasta finalizar mi presente trabajo de titulación, así como a mis compañeros que siempre estuvieron dispuestos a darme una mano en todo este tiempo.

Gracias a todas las personas que de alguna formaron parte para cumplir este logro.

***Karen Deyanira Cárdenas Ríos.***

## Índice de contenido.

Portada.....	i
Autoría.....	iii
Dedicatoria .....	v
Agradecimiento .....	vi
Índice de contenido.g .....	vii
Índice de figuras.....	xii
Índice de anexos .....	xiii
1.Título.....	1
2.Resumen .....	2
2.1.Abstract.....	3
3. Introducción .....	4
4. Marco teórico .....	6
4.1. La agricultura .....	6
4.2. Suelo. ....	6
4.3. Fertilidad del suelo.....	7
4.3.1. Fertilidad actual del suelo.....	7
4.4. Propiedades físicas del suelo.....	7
4.4.1. Textura.....	7
4.4.2. Estructura.....	8
4.4.3. Porosidad del suelo. ....	8
4.4.4.Consistencia del suelo. ....	8
4.4.5. Densidad aparente .....	8
4.4.6. Capacidad de aireación .....	8
4.4.7. Volumen de poros físicamente inerte (VPFI). ....	9
4.5. Características hidrofísicas. ....	9
4.5.1. Curva de retención de humedad.....	9
4.5.2. Capacidad de campo. ....	9

4.5.3. Punto de marchitez.....	9
4.5.4. Agua aprovechable.....	10
4.4.5. Evaluación de las condiciones físicas.....	10
4.5.6. Velocidad de infiltración.....	11
4.6. Propiedades químicas del suelo.....	12
4.6.1. Capacidad de intercambio catiónico.....	12
4.6.2. pH del suelo.....	13
4.6.3. Materia Orgánica.....	13
4.7. Disponibilidad de nutrientes.....	14
4.7.1. Nitrógeno.....	14
4.7.2. Fósforo.....	14
4.7.3. Calcio.....	14
4.7.4. Magnesio.....	15
4.7.5. Potasio.....	15
4.7.6. Azufre.....	15
4.7.7. Zinc.....	16
4.7.8. Cobre.....	16
4.7.9. Manganeseo.....	16
4.7.10. Boro.....	16
4.7.11. Hierro.....	17
4.7.12. Molibdeno.....	17
4.7.13. Funciones de los nutrientes en las plantas.....	17
4.8. Muestreo georreferenciado de suelos.....	18
4.8.1. Sistema de información geográfica.....	19
4.8.2. Cartografía del suelo.....	19
4.9. Fertilidad de los cultivos.....	19
4.10. El cultivo de la caña.....	20
4.10.1. Características Generales.....	20
4.10.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales de la caña.....	20



4.10.3. Etapas fenológicas del cultivo de caña. ....	21
4.11. Cultivo del maíz. ....	22
4.11.1. Características generales. ....	22
4.11.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales. ....	22
4.11.3. Etapas fenológicas del maíz. ....	22
5. Metodología. ....	24
5.1. Área de estudio. ....	24
5.3. Metodología para el primer objetivo. ....	25
5.3.1. Elaboración de mapas temáticos. ....	25
5.3.2. Mapa de pendiente del suelo. ....	25
5.3.3. Mapa de geología del suelo. ....	25
5.3.4. Mapa de geomorfología del suelo. ....	26
5.3.5. Mapa del uso actual del suelo. ....	26
5.3.6. Sectorización del área de estudio. ....	26
5.3.7. Muestreo del suelo. ....	27
5.3.8. Caracterización de las propiedades físicas del suelo. ....	28
5.4. Metodología para el segundo objetivo. ....	28
5.4.1. Elaboración de mapas de fertilidad. ....	29
5.5. Metodología para el tercer objetivo. ....	29
6. Resultados. ....	31
6.1. Resultados del primer objetivo. ....	31
6.1.1. Geología y geomorfología. ....	31
6.1.2. Pendiente y uso actual del suelo. ....	31
6.2. Características morfológicas del sistema de riego La Palmira. ....	32
6.2.1. Descripción del perfil representativo, Palmira norte. ....	32
6.2.2. Descripción de perfil representativo, Palmira centro. ....	32
6.2.3. Descripción del perfil representativo, Palmira sur. ....	33
6.3. Resultado de los análisis físicos. ....	34
6.4. Resultados de los parámetros hidrofísicos. ....	35

6.5. Resultados de los análisis químicos.....	36
6.6. Resultado del segundo objetivo.....	37
6.7. Resultado del tercer objetivo.....	38
6.7.1. Recomendación para el maíz, sector Palmira norte.....	38
6.7.2. Recomendaciones de fertilización de la caña, Palmira norte.....	39
6.7.3. Recomendaciones de fertilización para la caña, Palmira centro.....	40
6.7.4. Recomendaciones de fertilización para la caña, Palmira centro.....	41
6.7.5. Recomendaciones de fertilización de la caña, Palmira sur.....	42
6.7.6. Recomendaciones de fertilización del maíz, Palmira sur. ....	43
7. Discusiones.....	45
7.1. Caracterización física y química de las áreas agrícolas existentes en el sistema de riego Palmira.....	45
7.1.1. Características físicas del sistema de riego Palmira .....	45
7.2.1. Características químicas de los suelos del sistema de riego Palmira. ....	47
7.2. Mapa de fertilidad del sistema de riego Palmira. ....	48
7.3. Realizar la recomendación de dosis de fertilización para los cultivos representativos de la zona de estudio. ....	49
8. Conclusiones.....	51
9. Recomendaciones.....	52
10. Bibliografía.....	53
11. Anexos.....	64

## Índice de tablas

<b>Tabla 1.</b> Relación tipo suelo (textura) vs retención de agua (clase). .....	10
<b>Tabla 2.</b> Velocidad de infiltración según el tipo de suelo. ....	12
<b>Tabla 3.</b> Rangos de pH del suelo y sus respectivos efectos según la escala.....	13
<b>Tabla 4.</b> Funciones de los elementos en las plantas. ....	17
<b>Tabla 5.</b> Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar según varios autores. ....	21
<b>Tabla 6.</b> Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz. ....	22
<b>Tabla 7.</b> Fases vegetativas y reproductivas del maíz (Zea Mays L). ....	23
<b>Tabla 8.</b> Valores para la suma de la fertilidad.....	29
<b>Tabla 9.</b> Determinación de la fertilidad del suelo.....	29
<b>Tabla 10.</b> pendientes del sistema de riego la Palmira .....	31
<b>Tabla 11.</b> Resultado de los análisis físicos en el primer horizonte. ....	34
<b>Tabla 12.</b> Resultados de las pruebas de infiltración. ....	35
<b>Tabla 13.</b> Resultado de los parámetros hidrofísicos.....	36
<b>Tabla 14.</b> Resultados de los análisis químicos. ....	36
<b>Tabla 15.</b> Mapa de fertilidad del sistema de riego Palmira .....	38
<b>Tabla 16.</b> Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de maíz, sector Palmira norte.....	39
<b>Tabla 17.</b> Plan de fertilización para el cultivo de maíz, Palmira norte.....	39
<b>Tabla 18.</b> Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de caña, Palmira norte.....	40
<b>Tabla 19.</b> Plan de fertilización para el cultivo de la caña, Palmira norte .....	40
<b>Tabla 20.</b> Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de caña, sector palmira centro .....	41
<b>Tabla 21.</b> Plan de fertilización para el cultivo de caña, Palmira centro .....	41
<b>Tabla 22.</b> Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de caña, Palmira centro. ....	42
<b>Tabla 23.</b> Plan de fertilización para el cultivo de caña, sector palmira centro .....	42
<b>Tabla 24.</b> Relación de cationes del cultivo de caña, Palmira sur.....	43
<b>Tabla 25.</b> Plan de fertilización para la caña, sector Palmira sur. ....	43
<b>Tabla 26.</b> Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de maíz, Palmira sur. ....	44
<b>Tabla 27.</b> Plan de fertilización del cultivo del maíz, Palmira sur. ....	44

## Índice de figuras

<b>Figura 1.</b> Diagrama triangular para evaluar las condiciones físicas del suelo.....	11
<b>Figura 2.</b> Ubicación política y geográfica de la zona de estudio. ....	24
<b>Figura 3.</b> Cruce de mapas y selección de los sitios de muestreo.....	27
<b>Figura 4.</b> Perfil representativo del suelo, Palmira norte.....	32
<b>Figura 5.</b> Perfil representativo del suelo, Palmira centro. ....	33
<b>Figura 6.</b> Perfil representativo del suelo, Palmira sur.....	34

## Índice de anexos

<b>Anexo 1.</b> Mapa base del sistema de riego Palmira. ....	64
<b>Anexo 2.</b> Mapa de pendientes del Riego la Palmira.....	65
<b>Anexo 3.</b> Mapa geológico del sistema de riego la Palmira. ....	66
<b>Anexo 4.</b> Mapa geomorfológico del sistema de riego la Palmira.....	67
<b>Anexo 5.</b> Mapa de cobertura de uso de suelo del sistema de riego la Palmira. ....	68
<b>Anexo 6.</b> Descripción general de los 7 perfiles del suelo. ....	69
<b>Anexo 7.</b> Base de datos de las barrenaciones.....	84
<b>Anexo 8.</b> Curvas de retención de humedad zona Palmira norte.....	85
<b>Anexo 9.</b> Curva de retención de humedad zona Palmira centro.....	85
<b>Anexo 10.</b> Curvas de retención de humedad zona Palmira sur. ....	86
<b>Anexo 11.</b> Mapa de la distribución de las texturas del suelo. ....	87
<b>Anexo 12.</b> Mapa de distribución del pH en el suelo. ....	88
<b>Anexo 13.</b> Mapa de distribución de la materia orgánica en el suelo.....	89
<b>Anexo 14.</b> Mapa de distribución de intercambio catiónica en el suelo.....	90
<b>Anexo 15.</b> Mapa de distribución del nitrógeno.....	91
<b>Anexo 16.</b> Mapa de distribución del fósforo.....	92
<b>Anexo 17.</b> Mapa de distribución del potasio.....	93
<b>Anexo 18.</b> Mapa de distribución del cobre.....	94
<b>Anexo 19.</b> Mapa de distribución del hierro. ....	95
<b>Anexo 20.</b> Mapa de distribución del magnesio. ....	96
<b>Anexo 21.</b> Mapa de distribución del Zinc.....	97
<b>Anexo 22.</b> Mapa de fertilidad del suelo del sistema de riego Palmira.....	98
<b>Anexo 23.</b> Pruebas de infiltración y barrenaciones. ....	99
<b>Anexo 24.</b> Resultado de las pruebas químicas realizadas a los 7 perfiles del suelo. ....	99
<b>Anexo 25.</b> Porcentaje del rendimiento de fertilizantes.....	100
<b>Anexo 26.</b> Composición química de los fertilizantes utilizados en el plan de fertilización. ....	100
<b>Anexo 27.</b> Certificación de traducción abstract.....	101

## **1. Título**

**Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja**

## 2. Resumen

El área de estudio se localiza en el sistema de riego Palmira, en la parroquia Quinara. El clima es subtropical, con una temperatura promedio de 20°C y una precipitación que varía entre 800 y 1300 mm. La altitud media es de 1640 msnm. El sector se caracteriza por su producción agrícola en cultivos de caña y maíz. Sin embargo, no se cuenta con información actualizada de los niveles de fertilidad, por lo que se planteó el mapeo de la fertilidad actual de los suelos para la elaboración de planes de fertilización. Se determinaron siete sitios de muestreo considerando información de pendientes, geología, geomorfología y uso del suelo, con esto se caracterizó física y químicamente el sector, obteniendo suelos de clase textural franco y franco arenoso, densidades que van desde 1,18 a 1,58  $g/cm^3$ , con un pH prácticamente neutro, materia orgánica y capacidad de intercambio catiónico en un rango medio, aunque la distribución de macro y micronutrientes variaba de medio a alto, se identificaron deficiencias de nitrógeno en todos los sitios de muestreo y una baja presencia de Zinc. Con los análisis realizados se determinó el nivel de fertilidad de los suelos mediante el uso de un sistema de información geográfica (SIG), generando un mapa de fertilidad; este reveló que el 92,45 % del área de suelo se encuentra en el rango alto y el 7,55 % en el rango medio. Para mejorar la productividad del suelo y satisfacer las necesidades nutricionales de los cultivos como el maíz y la caña, se recomienda aplicar enmiendas para corregir desequilibrios y deficiencias, en el caso del maíz, se necesita una aplicación de 210 kg/ha de nitrógeno (N), 86 kg/ha de fósforo (P) y 193 kg/ha de potasio (K). Mientras que, para la caña, se requieren 130 kg/ha de N, 18 kg/ha de P y 130 kg/ha de K anualmente. Estas medidas garantizan un suministro adecuado de nutrientes esenciales para el crecimiento óptimo de los cultivos y contribuyen a mejorar la fertilidad y productividad del suelo.

**Palabras claves:** Mapa de fertilidad, disponibilidad de nutrientes, suelo agrícola, cultivo de regadío, producción agrícola, plan de fertilización.

## 2.1. Abstract

The study area is located in the Palmira irrigation system, in the Quinara parish. The climate is subtropical, with an average temperature of 20°C and rainfall that varies between 800 and 1300 mm. The average altitude is 1640 masl. The sector is characterized by agricultural production of sugarcane and corn. However, there is no updated information on fertility levels, so a mapping of current soil fertility was proposed for the preparation of fertilization plans. Seven sampling sites were determined considering information on slopes, geology, geomorphology and land use, with this the sector was physically and chemically characterized, obtaining soils of loam and sandy loam textural class, densities ranging from 1,18 to 1,58  $g/cm^3$ , with practically neutral pH, organic matter and cation exchange capacity in a medium range, although the distribution of macro and micronutrients varied from medium to high, nitrogen deficiencies were identified in all sampling sites and a low presence of Zinc. With the analyses carried out, the fertility level of the soils was determined through the use of a geographic information system (GIS), generating a fertility map; this revealed that 92,45 % of the soil area is in the high range and 7,55 % in the medium range. To improve soil productivity and meet the nutritional needs of crops such as corn and sugarcane, it is recommended to apply amendments to correct imbalances and deficiencies; in the case of corn, an application of 210 kg/ha of nitrogen (N), 86 kg/ha of phosphorus (P) and 193 kg/ha of potassium (K) is needed. For sugarcane, 130 kg/ha of N, 18 kg/ha of P and 130 kg/ha of K are required annually. These measures guarantee an adequate supply of essential nutrients for optimum crop growth and contribute to improve soil fertility and productivity.

**Key words:** fertility map, nutrient availability, agricultural soil, irrigated crop, agricultural production, fertilization plan.



### 3. Introducción

En Ecuador se evidencia un agresivo deterioro del recurso suelo por su uso inadecuado, ya sea por falta de capacitación de los usuarios y el crecimiento demográfico, que presiona dar un uso intensivo de los recursos (suelo, agua, vegetación) (Clirsen, 1990). Así mismo, Ríos (2016) afirma que a medida que pasa el tiempo el suelo viene empobreciendo poco a poco por la falta de nutrientes, producto de la deforestación cambiando sus características físico/químicas por el uso de inapropiadas técnicas agrícolas con intervención de plaguicidas, fertilizantes inorgánicos y por otros factores.

Haciendo énfasis en el escenario local, la población de Loja heredó prácticas erróneas de cultivo, que son dañinas para las condiciones ambientales locales, dichas prácticas derivaron en resultados desastrosos: procesos avanzados de erosión, deterioro del suelo y pérdida de fertilidad. Esta situación fue la responsable de una caída constante de la productividad durante décadas y de la inseguridad financiera de las familias afectadas (Prefectura provincial de Loja, 2015).

La parroquia Quinara lleva una agricultura tradicional con baja utilización de insumos tecnológicos. Los cultivos predominantes en la zona son la caña de azúcar y el maíz, los cuales ocupan aproximadamente 200 hectáreas, ocupando la caña el 85 % de esta extensión. Los rendimientos promedio de producción son de 80 toneladas por hectárea para la caña, con un procesamiento artesanal que alcanza las 50,000 panelas por hectárea, y de 3.86 toneladas por hectárea para el maíz duro (Aguilar, 2018)

Sin embargo, la parroquia enfrenta desafíos significativos debido a prácticas agrícolas inapropiadas en el suelo, exacerbadas por las características geográficas de la zona, que incluyen pendientes pronunciadas, suelos degradados y sobrepastoreo de ganado. Esta combinación de factores agrava la situación según el Gobierno Autónomo Descentralizado de Quinara, (2014). En este contexto, la elaboración de un mapa de fertilidad del suelo emerge como una herramienta esencial para la toma de decisiones, permitiendo no solo anticipar las diferencias entre suelos de naturaleza diversa, sino también respaldar la evaluación del uso del suelo (Villarreal, 2018).

Una comprensión detallada de la fertilidad del suelo es esencial para implementar estrategias de manejo adecuadas y sostenibles. Esto no solo mejora la productividad agrícola, sino que también ayuda a mitigar los impactos negativos de las prácticas agrícolas inadecuadas en la zona. Por ende, la investigación en la nutrición sostenida de los suelos agrícolas, afectados por la actividad humana, debe ser la base para el cultivo de cosechas. Actualmente, la agricultura busca información detallada sobre las condiciones químicas, físicas y biológicas del suelo para respaldar decisiones de manejo sostenible. Dentro de las

aplicaciones tecnológicas en la agricultura, los muestreos georreferenciados de suelos se presentan como una solución para mapear las variaciones de fertilidad dentro de las áreas cultivadas. Esto permite definir intervenciones de manejo localizado, optimizando el uso de correctivos y fertilizantes mediante aplicaciones a dosis variables según la demanda específica del cultivo (Alfredo et al., 2012).

Por tanto, para mejorar el uso del suelo y optimizar el rendimiento de los cultivos en el área del sistema de riego Palmira, es crucial conocer la variabilidad de los nutrientes. La elaboración de un mapa de fertilidad servirá como punto de partida para avanzar hacia una agricultura tecnificada (Villarreal, 2018). Este estudio también facilitará la organización del uso del suelo y la zonificación de la producción agrícola en la parroquia. Además, el mapa de fertilidad proporcionará información valiosa para seleccionar los cultivos más adecuados según las características específicas de los suelos.

Para cumplir con la presente investigación, se planteó los siguientes objetivos:

#### **Objetivo general**

- Contribuir a la producción agrícola a través de la caracterización física y química para la elaboración del mapa de fertilidad del suelo y plan de fertilización de los cultivos representativos del sistema de riego Palmira.

#### **Objetivos Específicos**

- Realizar la caracterización física y química de las áreas agrícolas que existen en el sistema de riego Palmira.
- Elaborar el mapa de fertilidad del sistema de riego Palmira con fines de producción agrícola.
- Realizar la recomendación de dosis de fertilización para los cultivos más representativos de la zona de estudio.

## **4. Marco teórico**

### **4.1. La agricultura**

Morales (2021) explica que "la agricultura es el conjunto de actividades económicas asociadas al cultivo de la tierra y a la preparación del suelo fértil para la producción de alimentos. Incluye, por tanto, todas las tecnologías y acciones humanas dirigidas a la extracción de alimentos del medio natural".

De esta manera puede definirse como la producción, transformación, comercialización y distribución de productos agrícolas y ganaderos. Este concepto tiene tintes de modernidad, ya que antes el término se consideraba reservado a la producción vegetal (Collazos, 2016). La agricultura desempeña un papel importante en la economía de un país, es considerada la columna vertebral del sistema económico, ya que no sólo proporciona alimentos y materias primas, sino también oportunidades de empleo para una parte significativa de la población (Bula, 2020).

La agricultura ha sido fundamental en el desarrollo de la civilización humana, siendo la principal ocupación de la mayoría de la población hasta la Revolución Industrial. Durante este tiempo, prevaleció la práctica de la "agricultura de subsistencia", en la cual los agricultores cultivaban principalmente para satisfacer sus propias necesidades, dedicando una pequeña parte de sus cosechas para impuestos, aranceles y comercio (González, 2018). Este enfoque no solo garantizó la subsistencia de millones de personas en todo el mundo, sino que también proporcionó la base para el crecimiento económico y la estabilidad social.

No obstante, el sector agrícola enfrenta desafíos y riesgos. Estadísticas recientes muestran una tendencia a la baja en la producción agrícola per cápita, tanto para el mercado interno como para la exportación. Además, las acciones humanas han generado condiciones que restringen cada vez más las actividades vinculadas a la producción de alimentos (Borja y Valdivia, 2019). Estos aspectos suscitan preocupaciones significativas sobre la sostenibilidad y la seguridad alimentaria a escala global.

### **4.2. Suelo.**

De acuerdo a la Sociedad Americana del Suelo, (2018), el suelo se lo define como el material mineral no consolidado de superficie terrestre, sometido a muchos factores tanto hereditarios como ambientales: material parental, clima, topografía, macro y microorganismos, actuando durante un determinado periodo de tiempo. El suelo juega un papel ambiental de suma importancia, ya que puede considerarse como un reactor bio-físicoquímico en donde se descompone material orgánico (Chuchuca, 2014).

El suelo también es considerado como uno de los recursos básicos que sustentan la vida en el planeta (Acosta, 2007), “De tal manera se afirma, que toda la vida terrestre se relaciona directamente con el suelo y depende del mismo. El suelo ha sido estudiado durante muchos años, y hoy es bien conocido que hay factores que dañan y amenazan su existencia; como también hay otros que contribuyen a perpetuarlos para las futuras generaciones” (Vargas, 2012).

Desde el punto de vista agrícola, el suelo se define como la capa de material fértil que recubre la superficie de la Tierra y que es tomada por las raíces de las plantas y a partir de la cual obtienen sostén, nutrimentos y agua (Acosta, 2007).

#### **4.3. Fertilidad del suelo.**

La fertilidad del suelo se fundamenta en parámetros físicos y químicos esenciales. En cuanto a los aspectos físicos, se busca garantizar un adecuado desarrollo radicular, una buena aireación, capacidad de retención de agua y un sistema de drenaje que evite la lixiviación excesiva y la erosión del suelo. Mientras tanto, la evaluación química se enfoca en la concentración de macro y micronutrientes (Thompson & Troeh, 2021). Además, el componente biológico del suelo, que incluye microorganismos, plantas, hongos y animales, juega un papel crucial. Estos microorganismos, aunque invisibles a simple vista, desempeñan funciones vitales en el transporte de agua y nutrientes, así como en el reciclaje de nutrientes y la disponibilidad de sustancias asimilables para las plantas (Asociación Española de Fabricantes de Agronutrientes, 2022).

Una disminución de los factores antes mencionados puede provocar la pérdida o disminución de la fertilidad del suelo, haciendo que los nutrientes no sean aprovechados en su totalidad (Fertilidad Del Suelo, 2021).

##### **4.3.1. Fertilidad actual del suelo.**

La fertilidad actual de un suelo indica su estado en un momento dado, expresando su capacidad para suministrar nutrientes a las plantas. Esta capacidad, influenciada por el tipo de suelo, vegetación y propiedades químicas, es determinada por macronutrientes y micronutrientes. En contraste, la fertilidad potencial se refiere a la capacidad del suelo para mantener su fertilidad natural con el tiempo, siendo influenciada principalmente por la composición de la fracción granulométrica gruesa, especialmente en suelos arenosos compuestos por minerales primarios (Navarro, 2014).

#### **4.4. Propiedades físicas del suelo**

##### **4.4.1. Textura**

Es la distribución de las partículas del suelo. expresada en porcentaje. Estas partículas son: la arena (2 - 0.02 mm), el limo (0.02 - 0.002 mm) y la arcilla (0,002). Esta característica

Influye sobre la velocidad de infiltración del agua, la facilidad de preparación o laboreo del suelo y el drenaje (Carvajal, 1997).

#### **4.4.2. Estructura.**

La estructura es la forma en que se agrupan las partículas del suelo, juega un papel crucial en determinar la aeración, infiltración, humedad y temperatura del suelo. Esta configuración es responsable de la estabilidad estructural del suelo, que se refiere a la capacidad de los agregados del suelo para resistir la degradación o desintegración (Carvajal, 1997).

#### **4.4.3. Porosidad del suelo.**

Rucks et. al, (2009), expone que en el espacio poroso se pueden distinguir los macroporos que no retienen el agua con la fuerza de la gravedad, son los responsables del drenaje y la aireación del suelo, a diferencia de los microporos que retienen el agua, parte de la cual es disponible para las plantas.

#### **4.4.4. Consistencia del suelo.**

Son las manifestaciones de las fuerzas físicas de cohesión y adhesión, actuando dentro del suelo a varios contenidos de humedad (Rucks et. al, 2009). La consistencia del suelo es la firmeza con que se unen los materiales que lo componen o la resistencia de los suelos a la deformación y la ruptura. La consistencia del suelo se mide por muestras de suelo mojado, húmedo y seco. En los suelos mojados, se expresa como adhesividad y plasticidad (Martin et al. 2004)

#### **4.4.5. Densidad aparente**

El suelo como todo cuerpo poroso tiene dos densidades, la densidad real (densidad media de sus partículas sólidas) y la densidad aparente (teniendo en cuenta el volumen de poros). La densidad aparente es la relación entre la unidad de peso y la unidad de volumen de la fase sólida del suelo siendo más o menos constante, ya que está determinado por la composición química y mineralógica de la fase sólida (Cano, 2016).

#### **4.4.6. Capacidad de aireación**

La capacidad de aireación del suelo, que se define como la cantidad de aire presente en los poros del suelo y su habilidad para moverse a través de ellos, es crucial para el crecimiento de las plantas. Este aspecto es esencial ya que las raíces de las plantas requieren oxígeno para su respiración y desarrollo óptimo. Si la capacidad de aireación del suelo es insuficiente, las plantas pueden verse privadas de oxígeno, lo que afecta negativamente su crecimiento (FAO, 2015).

Diversos factores influyen en la capacidad de aireación del suelo, como la textura del suelo, la compactación, el contenido de agua y la presencia de materia orgánica. Los suelos arenosos, debido a su estructura suelta y porosa, suelen tener una mayor capacidad de aireación, en contraste con los suelos arcillosos, que presentan una capacidad de aireación reducida debido a su estructura más compacta (Cherlinka, 2023).

#### **4.4.7. Volumen de poros físicamente inerte (VPFI).**

El volumen poroso físicamente inerte (VPFI) se refiere al espacio en el suelo ocupado por partículas sólidas que no permiten el flujo de agua o aire. Un VPFI elevado afecta negativamente la capacidad de retención de agua y aireación del suelo, lo que puede perjudicar el crecimiento de las plantas. Es crucial considerar el VPFI al evaluar la calidad del suelo y tomar decisiones de manejo agrícola, implementando medidas para mejorar su estructura y reducir el volumen de poros inertes (Cherlinka, 2023).

### **4.5. Características hidrofísicas.**

#### **4.5.1. Curva de retención de humedad.**

Una curva típica de humedad del suelo ilustra la relación entre el contenido de humedad del suelo y el potencial hídrico o la tensión hídrica del suelo. Esta representación gráfica es útil para comprender cómo el suelo retiene y libera agua en función de la presión o tensión que se ejerce sobre él. La obtención de esta curva implica medir el contenido de agua del suelo a diferentes niveles de tensión o potencial hídrico del sustrato (Tobón, 2003). En el ámbito agrícola y de gestión del agua, esta curva juega un papel fundamental. Proporciona información vital sobre la capacidad de retención de agua del suelo, la disponibilidad hídrica para las plantas y la eficiencia de drenaje del suelo. Estos datos son esenciales para determinar la frecuencia y cantidad de riego requeridos, así como para evaluar la capacidad del suelo para retener agua durante periodos de sequía (Tecnología, 2020).

#### **4.5.2. Capacidad de campo.**

La capacidad de campo se define como la máxima cantidad de agua que el suelo puede retener debido a la gravedad, y generalmente ocurre entre 2 y 5 días después de intensas lluvias o riegos. En suelos pesados o arcillosos, este período puede ser prolongado debido a las particularidades del suelo. En estas circunstancias, el agua se separa de los macroporos y queda retenida en los microporos, mientras que la tensión en la superficie exterior de la película de agua varía según el tipo de suelo, fluctuando entre 0.1 y 0.5 bares (Cabrera, 2014).

#### **4.5.3. Punto de marchitez.**

Hernández et al. (2018) expone que el contenido de humedad del suelo es vital para el desarrollo saludable de las plantas, ya que influye en su capacidad para mantener la

turgencia y prevenir la marchitez. La variabilidad en los niveles de humedad se atribuye a las distintas texturas del suelo: los suelos arenosos retienen menos agua (alrededor del 2%), mientras que los arcillosos pueden retener más (hasta el 30%). Esta comprensión es fundamental para ajustar adecuadamente los niveles de riego y asegurar condiciones óptimas de crecimiento, evitando problemas asociados con la falta o exceso de humedad en el suelo (Cabrera, 2014).

#### **4.5.4. Agua aprovechable.**

Es el agua que pueden utilizar las plantas y se define como la diferencia entre el agua a capacidad de campo (retenida a 1/3 atm) y el punto de marchitamiento permanente (agua retenida a unas 15 atm). Se sitúa entre el agua por gravedad y el agua no disponible retenida por las fuerzas capilares (Vega, 2011).

**Tabla 1.**

Relación tipo suelo (textura) vs retención de agua (clase).

<b>Textura</b>	<b>Capacidad de campo</b>	<b>punto de marchitez</b>	<b>agua disponible</b>
<b>Arenoso</b>	9	2	7
Arenoso	14	4	10
Franco			
Franco	23	9	14
Arenoso			
Franco	34	12	22
Franco	30	16	14
arcilloso			
Arcilloso	38	24	14

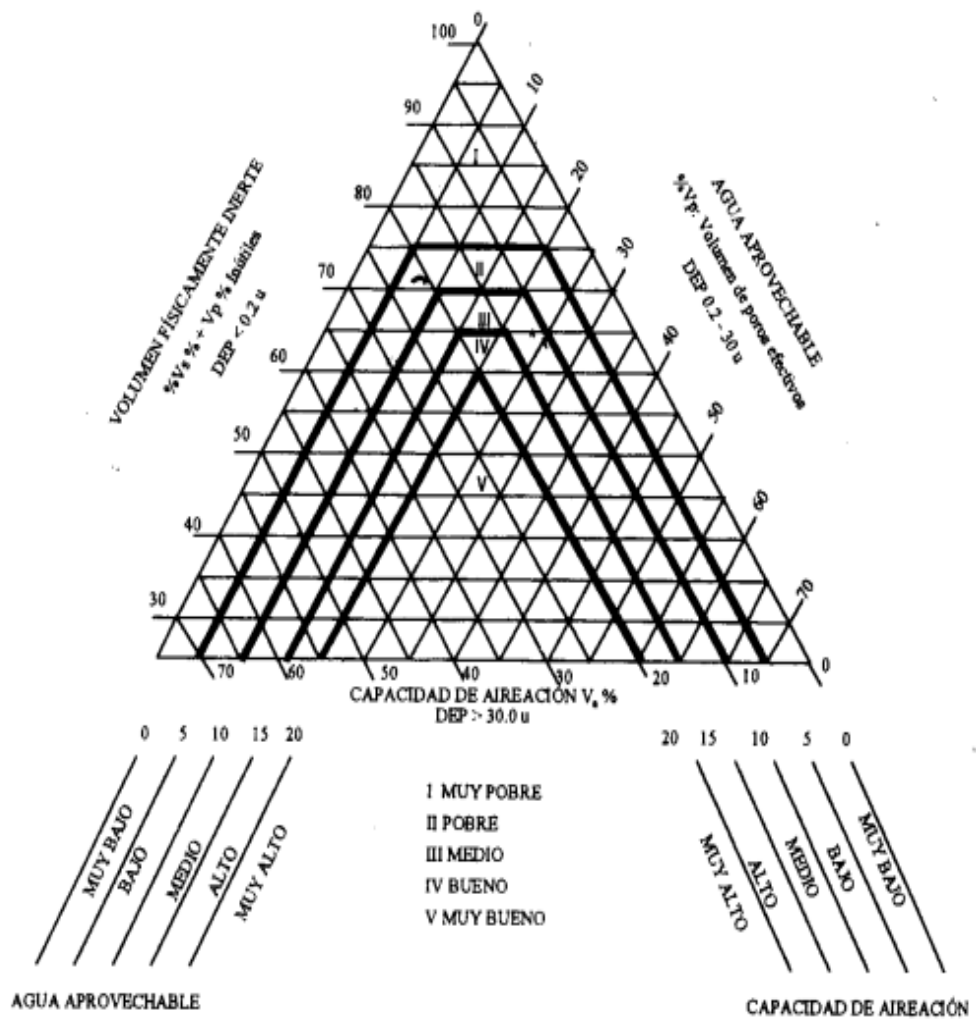
**Fuente:** (Crespo, 2017).

#### **4.4.5. Evaluación de las condiciones físicas.**

Para evaluar las condiciones físicas del suelo, se recurre al diagrama triangular que representa los valores porcentuales del volumen de poros, del agua aprovechable y del volumen de poros físicamente inerte. Dependiendo de los resultados de los análisis físicos del suelo, se pueden clasificar en cinco zonas dentro de este triángulo. La zona I indica una situación muy deficiente de las condiciones físicas del suelo para el crecimiento de las plantas, mientras que las zonas II, III y IV representan condiciones pobres, medias y buenas, respectivamente. Por otro lado, la zona V engloba combinaciones de disponibilidad de agua y aire que se consideran excelentes (Valarezo et al. 1998).

**Figura 1.**

Diagrama triangular para evaluar las condiciones físicas del suelo.



**Fuente:** Valarezo et al., 1998.

**4.5.6. Velocidad de infiltración.**

La velocidad de infiltración se refiere a la rapidez con la que el agua se desplaza a través de la superficie del suelo y penetra en él. Es un factor crucial en la gestión del agua, ya que permite calcular la cantidad de agua que puede infiltrarse en el suelo en un período específico, lo que ayuda a prevenir la erosión y la escorrentía. Esta velocidad puede ser afectada por varios factores, como la textura y permeabilidad del suelo, la presencia de vegetación, así como la intensidad y duración de la precipitación. Existen diversos métodos



para medir la velocidad de infiltración, incluyendo el método del doble anillo, la inundación temporal y la prueba del percolador, entre otros (Anangón, 2016).

**Tabla 2.**

Velocidad de infiltración según el tipo de suelo.

Clase textural	Rango (mm/h)	Velocidad de Infiltración
Arena, Arena muy fina, Arena fina, Arena gruesa	> 250	Muy rápida
Areno Francosa	125 a 250	Rápida
Franco Arenosa	60 a 125	Moderadamente rápida
Franca, Franco Limosa	20 a 60	Moderada
Franco Arcillosa, Franco Arcillo-Arenosa	5 a 20	Moderadamente Lenta
Franco Arcillo-Limosa, Limosa, Arcillo-Arenosa	1 a 5	Lenta
Arcillosa, Arcillo Limosa	< 1	Muy lenta

**Fuente:** Villa y Ferrer (2005) como se citó en SiGTierras (2014).

#### **4.6. Propiedades químicas del suelo**

##### **4.6.1. Capacidad de intercambio catiónico.**

La Capacidad de Intercambio Catiónico (CIC) es una medida que indica la cantidad de cargas negativas en las superficies de los minerales y componentes orgánicos del suelo. Estas cargas permiten que el suelo retenga cationes, los cuales pueden ser intercambiados con otros presentes en la solución del suelo y liberados a través de las raíces de las plantas. La CIC también refleja la disponibilidad de nutrientes en el suelo, siendo una baja CIC indicativa de una deficiente retención de nutrientes. Su unidad de medida es cmolc/kg o meq/100g de suelo. (FAO, 2015).

Los cationes más importantes, considerados así por las participaciones en los procesos de intercambio catiónico son el calcio ( $\text{Ca}^{2+}$ ), magnesio ( $\text{Mg}^{2+}$ ), potasio ( $\text{K}^+$ ) y sodio ( $\text{Na}^+$ ) y amonio ( $\text{NH}_4^+$ ). En suelos ácidos, a partir de ciertos valores de pH, el aluminio intercambiable ( $\text{Al}^{3+}$ ) juega un papel muy importante en el complejo de intercambio catiónico del suelo constituyendo, junto con el hidrogeno ( $\text{H}^+$ ), la acidez intercambiable del mismo (Jaramillo, 2002).

#### 4.6.2. pH del suelo.

El pH del suelo, que representa la concentración de iones hidrógeno activos (H<sup>+</sup>), es una propiedad química crucial que influye en el desarrollo de organismos vivos, incluidos microorganismos y plantas. Esta medida refleja la acidez o alcalinidad del suelo y es determinante en una variedad de procesos físicos, químicos y biológicos del suelo. La lectura del pH se obtiene de la interacción entre los componentes sólidos y líquidos del suelo en su fase líquida. En resumen, el pH del suelo desempeña un papel fundamental en el equilibrio y la salud del ecosistema del suelo (Fernández & Rojas, 2006)

Padilla (2007) manifiesta que, el crecimiento de las plantas, en suelos ácidos como alcalinos hacen que algunos nutrientes sean altamente insolubles a valores de pH altos, mientras que otros son menos disponibles a valores de pH bajo. La disponibilidad máxima para la mayoría de nutrientes ocurre en el rango de pH de 6,5 a 7,5.

**Tabla 3.**

Rangos de pH del suelo y sus respectivos efectos según la escala de acidez o alcalinidad.

pH	Descripción	efectos
<5,5	muy acido	cantidades elevadas y tóxicas de aluminio y magnesio; inhibe la actividad de organismos del suelo
5,5,-6.5	moderadamente acido	puede ser aceptable para algunos cultivos, puede afectar la disponibilidad de nutrientes y la actividad microbológica del suelo, lo que puede tener implicaciones en el crecimiento y desarrollo de las plantas.
6,5	ideal para cultivos agrícolas	valor óptimo para la mayoría de los cultivos agrícolas
6,5- 8,5	Neutro	proporciona un ambiente óptimo para el crecimiento y desarrollo de las plantas, facilitando la absorción de nutrientes y promoviendo la salud del suelo.
>8,5	alcalino	suelos tienden a dispersarse

**Fuente:** (FAO, 2009)

#### 4.6.3. *Materia Orgánica.*

La materia orgánica es la acumulación de todos los residuos vegetales y animales, así como de las células microbiales depositadas en el suelo y que se encuentran en proceso de descomposición, siendo esto importante como fuente de energía requerida para la actividad y el metabolismo de los microorganismos del suelo y como sustrato para el suministro de algunos nutrientes esenciales para las plantas (Blanco, 2006 como se citó en López y Zamora, 2016).

En la materia orgánica del suelo (MOS) están contenidos tres de los elementos minerales esenciales para el crecimiento de los cultivos, el nitrógeno (N), el fósforo (P) y el

azufre (S), por lo que su función en el suelo es fundamental para la mantención de la sustentabilidad de un agro-ecosistema, y muchas de las técnicas agronómicas aplicadas al suelo, influyen directamente sobre el contenido y la dinámica de los componentes de esta materia orgánica (Córdova et al. 2014).

Actualmente la materia orgánica tiene un rol de gran importancia en la fertilidad de los suelos, otorgada por sus propiedades químicas, físicas y biológicas, lo cual la convierte en un vital aporte para el sistema edáfico (Venegas, 2008). La aplicación de materia orgánica tiene como principal objetivo propiciar el mejoramiento de la estructura y características químicas de los suelos, propiciando en forma significativa a la inducción de la diversidad y actividad microbiana presente en el suelo (Ferrera & Alarcón 2001).

#### **4.7. Disponibilidad de nutrientes.**

##### **4.7.1. Nitrógeno.**

El nitrógeno (N), esencial para el crecimiento de las plantas, se encuentra disponible a través de la mineralización de la materia orgánica por microorganismos del suelo, en formas asimilables como cationes amonio o amoniaco de nitrato. Este elemento desempeña funciones vitales en la nutrición de las plantas y su suministro puede ser controlado por el ser humano. Aunque la mayoría es absorbida en forma de nitrato, las plantas también utilizan otras formas orgánicas en menor escala, como ácidos nucleicos y aminoácidos. En promedio, el contenido de nitrógeno en las plantas es del 1.6%, representando aproximadamente el 10% de su peso total. Para cultivos ornamentales como rosas y gipsófilas, los valores varían entre el 3.5% y el 5-6%, respectivamente (Figueroa, 2014).

##### **4.7.2. Fósforo.**

El fósforo (P) se encuentra en el suelo formando parte de diferentes minerales tales como fosforita, apatito, etc. También en compuestos orgánicos, asociado a la materia orgánica y como parte de los microorganismos. La forma en la que las plantas pueden absorber el fósforo es por medio de iones ortofosfatos (Lozano et al. 2014).

Su función es actuar en la floración, fructificación y formación de semillas, se lo conoce también por contrarrestar excesos causados por nitrógeno en exceso e intervenir en el desarrollo radicular y mejorar la calidad en forrajes (Novoa et al. 2018).

##### **4.7.3. Calcio.**

El calcio es un elemento esencial para las plantas, siendo absorbido en forma de ion calcio. Su papel clave reside en la formación de la pared celular y la membrana celular, contribuyendo así al crecimiento y desarrollo vegetal. Además, el calcio participa en la regulación de diversos procesos fisiológicos, como la activación de enzimas y la transmisión de señales (Gómez, 2014).

Aunque la absorción de calcio ocurre principalmente a través de las raíces y su transporte se realiza a través de la xilema, su distribución dentro de la planta es limitada debido a su movilidad reducida, lo que depende en gran medida de la transpiración (Alfa, 2011).

#### **4.7.4. Magnesio.**

El magnesio proviene de minerales como biotita, hornablenda, dolomita y clorita. Al igual que el calcio está sujeto a fenómenos del intercambio catiónico. El magnesio se encuentra en la solución del suelo y se absorbe en las superficies de las arcillas y la materia orgánica. Los suelos generalmente contienen menos Magnesio (Mg) que calcio (Ca) debido a que el magnesio (Mg) no es absorbido tan fuertemente como el calcio (Ca) por los coloides del suelo y puede perderse más fácilmente por lixiviación (Ross, 2004). Actúa como componente de la clorofila, activador enzimático, estabilizador de membranas celulares, facilitador del transporte de nutrientes y regulador del equilibrio iónico. La deficiencia de magnesio puede afectar negativamente el crecimiento y la productividad de las plantas (Fischer et al. 2016).

#### **4.7.5. Potasio.**

El potasio es un nutriente esencial para las plantas y desempeña un papel crucial en su crecimiento y desarrollo, contribuye a la regulación del equilibrio hídrico, mejora la resistencia al estrés, activa enzimas, facilita el transporte de nutrientes y mejora la calidad de los cultivos (Conti, 2000).

La deficiencia de potasio puede tener efectos negativos en las plantas, afectando su crecimiento, resistencia y calidad. Es un elemento esencial para la nutrición de las plantas, ayuda a la planta a formar tallos fuertes y vigorosos, contribuye a la fotosíntesis, mejora la calidad de las cosechas. El potasio intercambiable lo constituye la forma iónica ( $K^+$ ) unido electrostáticamente a los materiales que componen la fase sólida coloidal mineral y orgánica de los suelos (Novoa *et al.*, 2018).

#### **4.7.6. Azufre.**

El azufre (S) es un elemento secundario constituyente estructural de compuestos orgánicos, algunos de los cuales son únicamente sintetizados por las plantas, como es el caso de los aminoácidos cisteína, cistina y metionina, requeridos para sintetizar proteínas. Es importante también para algunas vitaminas y coenzimas, y actúan como grupo funcional directamente involucrado en reacciones metabólicas (Intagri, 2012). El azufre se agrega al suelo por medio de la lluvia, el aire o en la materia orgánica, promueve la formación de nódulos en las raíces, y su deficiencia causa una planta de bajo tamaño con hojas amarillas y tallos delgados (Corrales et al. 2014).

#### **4.7.7. Zinc**

El zinc o cinc activa las enzimas responsables de la síntesis de ciertas proteínas. Es utilizado en la formación de clorofila y algunos carbohidratos, y en la conversión de almidones en azúcares; su presencia en el tejido foliar ayuda a las plantas a resistir las bajas temperaturas. Es fundamental en la formación de auxinas, mismas que coadyuvan a la regulación del desarrollo y a la elongación del tallo (Chen,2021).

Este micronutriente es esencial en bajas cantidades, su nivel en el tejido foliar oscila entre 15-60ppm. Algunos síntomas de la deficiencia del zinc son clorosis en las hojas nuevas con puntas necrosadas y retraso en el crecimiento radicular (Almendros et al. 2008)

#### **4.7.8. Cobre.**

El cobre, presente en los suelos como  $\text{Cu}^{2+}$ , es absorbido principalmente por las plantas en esta forma y se acumula principalmente en las raíces. Su concentración en el tejido vegetal varía entre 5 y 20 ppm, mientras que en el suelo varía de 2 a 100 ppm (mg/kg). Sin embargo, gran parte del cobre en el suelo no está disponible para las plantas, ya que tiende a fijarse a los minerales de arcilla y adsorberse fácilmente a la materia orgánica, siendo su disponibilidad mayor en suelos con pH inferior a 7.0 (Gaete et al. 2010). El cobre desempeña roles estructurales en proteínas, influye en la fotosíntesis, la respiración y es un activador enzimático importante, además de participar en el metabolismo de la pared celular. La deficiencia de cobre afecta principalmente el crecimiento reproductivo, incluida la formación de semillas, granos y frutos (Sela, 2021).

#### **4.7.9. Manganeso.**

El manganeso es un micronutriente esencial para las plantas. El manganeso es un nutriente inmóvil y, por lo tanto, los síntomas de deficiencia de manganeso aparecen primero en las hojas más jóvenes. Un nivel de manganeso de 20 a 40 ppm ( $\text{mg kg}^{-1}$ ) en el tejido vegetal es suficiente para la mayoría de las plantas. La toxicidad puede ocurrir cuando los niveles de tejido de manganeso son superiores a 400 ppm (Sela, 2021). Los síntomas de deficiencia pueden aparecer en hojas medias, debido a la preferencia del transporte de Mn desde la raíz a las hojas medias y no a las jóvenes. Los signos de la deficiencia se manifiestan por una clorosis inter nervial, que puede llegar a necrosarse (Bennett, 2019).

#### **4.7.10. Boro.**

El boro se usa con calcio en la síntesis de las paredes celulares y es esencial para la división celular (creación de células de plantas nuevas). Los requisitos de boro son mucho más altos para el crecimiento reproductivo, por lo que ayuda con la polinización y el desarrollo de frutas y semillas. Como el boro ayuda a transportar azúcares, su deficiencia causa una

reducción de exudados y azúcares en las raíces de la planta, lo que puede reducir la atracción y colonización de hongos micorrícicos (Chen, 2021).

#### **4.7.11. Hierro.**

El hierro es esencial para las plantas, especialmente en la síntesis de proteínas cloroplásticas, donde se acumula en forma estable en los cloroplastos. La mayoría del hierro en las hojas se encuentra en los cloroplastos, representando aproximadamente el 80% del total. La deficiencia de hierro causa clorosis férrica, que afecta principalmente a las hojas jóvenes al modificar la estructura de los cloroplastos. Esta clorosis se manifiesta inicialmente en el espacio entre las venas de las hojas jóvenes y puede extenderse a los nervios, dejando la hoja casi blanca y, en casos extremos, causando defoliación prematura (Aguado et al. 2012).

#### **4.7.12. Molibdeno**

El molibdeno es esencial para las bacterias fijadoras de nitrógeno, ya que las enzimas que utilizan para fijar el nitrógeno contienen este elemento. Además de su papel clave en el metabolismo del nitrógeno, el molibdeno también participa en la síntesis del ácido ascórbico y la disponibilidad del hierro. Tiene efectos beneficiosos cuando los niveles de cobre, boro, cobalto, manganeso y zinc son demasiado altos (Gaete al et. 2010). En las plantas, el molibdeno es necesario para la síntesis y activación de la enzima nitrato reductasa, que convierte el nitrato en nitrito como parte del metabolismo normal de la planta. También es esencial para convertir el fósforo inorgánico en su forma orgánica dentro de la planta (Gacitua, 2005).

#### **4.7.13. Funciones de los nutrientes en las plantas.**

**Tabla 4.**

Funciones de los elementos en las plantas.

<b>Nutriente</b>	<b>Función</b>
Nitrógeno (N)	Estimula el crecimiento rápido; favorece la síntesis de clorofila, de aminoácidos y proteínas
Fosforo (P)	Estimula el crecimiento de la raíz; favorece la formación de la semilla; participa en la fotosíntesis y respiración
Potasio (K)	Acentúa el vigor; aporta resistencia a las enfermedades, fuerza al tallo y calidad a la semilla.
Calcio (Ca)	Constituyente de las paredes celulares; colabora en la división celular.

Magnesio (Mg)	Componente de la clorofila, de las enzimas y de las vitaminas; colabora en la incorporación de nutrientes.
Azufre (S)	Esencial para la formación de aminoácidos y vitaminas; aporta el color verde a las hojas.
Boro (B)	Importante en la floración, formación de frutos y división celular.
Cobre (Cu)	Componente de las enzimas; colabora en la síntesis de clorofila y en la respiración.
Cloro (Cl)	No está bien definido; colabora con el crecimiento de las raíces y de los brotes
Hierro (Fe)	Catalizador en la formación de clorofila; componente de las enzimas
Manganeso (Mn)	Participa en la síntesis de clorofila.
Molibdeno (Mo)	Colabora con la fijación de nitrógeno y con la síntesis de proteínas
Zinc (Zn)	Esencial para la formación de auxina y almidón.

---

**Fuente:** (Infoagro,2017).

#### **4.8. Muestreo georreferenciado de suelos.**

Los muestreos georreferenciados de suelos permiten mapear las variaciones de fertilidad dentro de las áreas cultivadas y definir intervenciones de manejo localizado (o sitio-específico), que procura optimizar el uso de correctivos y fertilizantes por medio de aplicaciones a dosis variable de acuerdo con la demanda local del cultivo. Tales muestreos también sirven para la adopción de siembra a dosis variable de los cultivos anuales (Programa cooperativo para el desarrollo tecnológico agroalimentario y agroindustrial del Cono Sur, 2021).

El muestreo georreferenciado en la agricultura de alta precisión busca identificar factores que afectan el rendimiento del cultivo y tomar medidas de manejo del suelo para mejorar su productividad. Esto implica recolectar muestras representativas en áreas específicas donde se observan limitaciones en el crecimiento de las plantas. Utilizando la combinación de computación y GPS, este sistema asegura que los nutrientes se administren de manera precisa y eficiente, adaptándose a las necesidades específicas de cada lugar (Mendoza & Espinoza, 2017; Reynaldo et al., 2017).

#### **4.8.1. Sistema de información geográfica.**

El Sistema de Información Geográfica (SIG) es una herramienta informática fundamental en las Ciencias de la Tierra y Ambientales, utilizada para la gestión de datos espaciales. Estos sistemas han evolucionado para integrar programas diversos en una única plataforma compleja, dando origen a una nueva disciplina denominada Ciencia de la Información Geográfica (Alonso, 2017).

Los SIG analiza la ubicación espacial y organiza capas de información para su visualización, utilizando mapas y escenas 3D y revela el conocimiento más profundo escondido en los datos, como patrones, relaciones y situaciones, ayudando a los usuarios a tomar decisiones más inteligentes (Aeroterra, 2021).

Olaya (2020) destaca que un Sistema de Información Geográfica (SIG) debe facilitar la lectura, edición, almacenamiento y gestión de datos espaciales, lo que abarca desde consultas simples hasta análisis complejos y la creación de diversos resultados como mapas, informes y gráficos.

#### **4.8.2. Cartografía del suelo.**

Un mapa de la Tierra representa un conjunto de características interconectadas que caracterizan a la Tierra como una entidad natural. Esto no incluye mapas que muestran la distribución de características como textura, pendiente o profundidad, solos o en un grupo limitado (Fadda, 2010).

Ligier (2014) señala que desde 1990, los avances tecnológicos, como la teledetección espacial y los Sistemas de Información Geográfica (SIG), han transformado el mapeo y la edición de la información. Estas mejoras han permitido que los mapas de suelos brinden una representación precisa de la distribución geográfica de los tipos de suelo en áreas específicas. Esto tiene aplicaciones diversas, desde la planificación del uso del suelo hasta el desarrollo agrícola o urbano.

#### **4.9. Fertilidad de los cultivos.**

La aplicación de fertilizantes es crucial para proporcionar a las plantas los nutrientes necesarios para un óptimo crecimiento y producción. Esto implica abordar las deficiencias de micronutrientes para mejorar el rendimiento de los cultivos. Es fundamental aplicar el abono en la dosis adecuada, según las necesidades específicas de cada cultivo (González, 2008). Se recomienda realizar análisis de suelos para interpretar correctamente los datos sobre textura, contenido de nutrientes, pH, y otros factores relevantes. Además, es importante tener en cuenta la curva de absorción de nutrientes, las necesidades de las especies vegetales y las condiciones de cultivo para optimizar el proceso (Traxco, 2015).



Según González y Pomares (2013), los principales objetivos de las buenas prácticas de fertilización, que puede decirse que son razonables o adecuadas para una agricultura sostenible son los siguientes:

- Alcanzar rendimientos máximos compatibles con una buena calidad comercial del producto cosechado.
- Minimizar el riesgo de contaminación medioambiental evitando, en la medida de lo posible, pérdidas innecesarias de nutrientes en el sistema agrícola.
- Minimizar el riesgo de contaminación medioambiental.
- Debe procurarse una nutrición adecuada de los cultivos al menor coste económico posible.

Rizo (2019) propone que con la aplicación de fertilizante se trata de conseguir un equilibrio de los nutrientes de los que dependen los rendimientos agrícolas, teniendo en cuenta el impacto sobre el medio natural y minimizando las pérdidas de nitrógeno por volatilización, lixiviación a aguas subterráneas y desnitrificación; de fósforo por contracorriente; y de otros nutrientes por insolubilidad.

#### **4.10. El cultivo de la caña.**

##### **4.10.1. Características Generales.**

La caña de azúcar, conocida científicamente como *Saccharum officinarum L.*, es una planta tropical de la familia Poaceae. Se caracteriza por tener yemas axilares en los nodos de su eje principal, de los cuales brotan nuevos brotes. Se reproduce principalmente de forma asexual mediante la ramificación y los esquejes que contienen estas yemas. Los tallos son cilíndricos, erectos, fibrosos, y pueden alcanzar alturas de 1,0 a 5,0 metros. Las raíces se concentran mayormente en los primeros 20 cm del suelo. Las hojas están formadas por láminas y vainas dispuestas alternativamente alrededor del tallo (Duarte & González, 2019)

##### **4.10.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales de la caña.**

Duarte & González (2019) expone que para que el cultivo de caña se desarrolle de la mejor manera, necesita de un clima cálido con temperaturas altas que varían de 20°C a 38°C, una precipitación de 1,200 a 1,500 mm por año, aunque su requerimiento de agua varía durante su ciclo vegetativo, sometiéndose a la luz del sol en un promedio de 10 a 14 horas. Las propiedades favorables del suelo para el cultivo de la caña de azúcar en la textura se requieren de un suelo franco-areno-arcilloso con una estructura granular que facilite su laboreo y capacidad para almacenar agua y un adecuado grado de infiltración, y tolera valores de pH entre los 5,5 a 8, los requerimientos nutricionales de la caña se exponen en la Tabla 5 estos requerimientos son en Kg/ha.

**Tabla 5.**

Requerimientos nutricionales de la caña de azúcar según varios autores.

Autor	requerimientos nutricionales de la caña de azúcar (Kg/ha)					
	N	P	K	Ca	Mg	S
Velasco V.J.,2014	252	50	294	30	32	
CINCAE, 2014	135	17	155			
Davila,2014	261	21	336	32	22	
Yara ecuador, 2021	130,0	18,0	310,0	49	33	29

#### **4.10.3. Etapas fenológicas del cultivo de caña.**

Desde la siembra hasta la cosecha, el proceso dura entre 14 y 17 meses, durante este tiempo, la caña pasa por cuatro etapas: germinación y emergencia, amacollamiento o ahijamiento, crecimiento rápido y madurez (Ochoa et al. 2010)

- **Germinación y emergencia:** tan pronto como las semillas (esquejes o vástagos) entran en contacto con la humedad del suelo, los esquejes o semillas de agama comienzan a brotar. Para una alta probabilidad de regeneración, antes de la siembra se deben considerar factores externos e internos como temperatura, humedad, condiciones físicas del suelo y control de malezas (Aguilar, 2009). La duración de esta fase varía, pero comienza entre 7 y 10 días después de la siembra. El crecimiento inicial dura hasta 35 días. La temperatura óptima para la germinación es de 24-37°C y la humedad del suelo es adecuada (Ochoa et al. 2010).
- **Amacollamiento o ahijamiento:** comienza unos 35-40 días después de la plantación y se caracteriza por la aparición de varios brotes a partir de los nudos de la base del tallo principal. Los factores que promueven el ahijamiento incluyen la variedad, la duración prolongada del día y la alta intensidad de la luz, una temperatura óptima de alrededor de 30°C, alta humedad del suelo y alto contenido de nitrógeno (Castillo & Silva, 2004).
- **Rápido crecimiento:** Durante este periodo, el tronco se forma y se alarga rápidamente. También se acumula una gran cantidad de materia seca y la superficie foliar sobre el suelo alcanza su máximo. Este periodo puede prolongarse, dependiendo de la variedad, la temperatura y la humedad. Sin embargo, a título orientativo, comienza unos 120 días después de la siembra, definiéndose la emergencia del tallo unos 180 días más tarde. En esta etapa, las plantas requieren temperaturas superiores a 30°C, un buen aporte de nutrientes y buenas condiciones de humedad (Ochoa et al., 2010).
- **Maduración:** En esta fase, el proceso de síntesis y acumulación de sacarosa tiene lugar en el tallo de la caña. La maduración de la caña de azúcar tiene lugar desde la

base de la planta hacia la parte superior. Esta parte de la planta tarda unos 2-3 meses en desarrollarse. Las temperaturas rondan los 18°C y las aplicaciones de nitrógeno elevadas o mal programadas pueden tener un impacto negativo, ya que retrasan la maduración (Castillo & Silva, 2004).

#### 4.11. Cultivo del maíz.

##### 4.11.1. Características generales

El maíz es un grano de cereal, una gramínea monocotiledónea americana cultivada en todo el mundo y es el alimento básico de muchos pueblos. Pertenece a la familia de las *Poáceas*, a la tribu *Maydeas*, al género *Zea*, especie *mays* y su nombre científico es *Zea mays* L. Se caracteriza por sus tallos largos y sólidos, que pueden alcanzar de 2 a 6 m de altura, con numerosos nudos y entrenudos, y en cuyo extremo hay una inflorescencia en forma de espiga (inflorescencia femenina) con semillas y granos de maíz alineados a lo largo del eje (Sánchez, 2014).

##### 4.11.2. Requerimientos edafoclimáticos y nutricionales.

Según el INIAP (2014), el maíz (INIAP 182- almendral) requiere 550-200 mm de precipitaciones al año, temperaturas de 24-28°C, una altitud de 400-1400msnm y 750- 100 horas de sol al año para crecer de forma óptima. Los suelos adecuados para este cultivo son de textura franco y profundos, con topografía poco profunda e irregular y buen drenaje superficial, tolera un pH de 5,5-7,3, entre ácido y prácticamente neutro, los requerimientos nutricionales del maíz se encuentran en la Tabla 6.

**Tabla 6.**

Requerimientos nutricionales del cultivo de maíz.

Autor	requerimientos nutricionales del maíz					
	N	P	K	C	M	S
García, 2005	220	40	190	30	30	40
Hurtado, 2014	198,0	36,0	171,0	27,0	27,0	36,0
Yara Ecuador, 2018	210,0	37	160,0	28,0	30,0	26

##### 4.11.3. Etapas fenológicas del maíz.

La Tabla 7 presenta las siguientes fases vegetativa y reproductiva del maíz: fase reproductiva: VE (emergencia), V1 (1ª hoja), V2 (2ª hoja), V3 (3ª hoja), V(n) enésima hoja, VT (trozo de pluma) fase reproductiva: R1 (emergencia del tallo), R2 (fructificación o germinación), R3 (grano de leche), R4 (grano de masa), R5 (grano duro o dentado), R6 (madurez fisiológica).

**Tabla 7.**Fases vegetativas y reproductivas del maíz (*Zea Mays L.*)

<b>Etapa</b>	<b>Días</b>	<b>Características</b>
VE	5	El coleoptilo emerge de la superficie del suelo
V1	9	Es visible el cuello de la primera hoja
V2	12	Es visible el cuello de la segunda hoja.
Vn		Es visible el cuello de la hoja número "n". ("n" es igual al número definitivo de hojas que tiene la planta; "n" generalmente fluctúa entre 16 y 22, pero para la floración se habrán perdido las 4 a 5 hojas de más abajo.)
VT	55	Es completamente visible la última rama de la panícula.
Ro	57	Antesis o floración masculina. El polen se comienza a arrojar.
R1	59	Son visibles los estigmas.
R2	71	Etapa de ampolla. Los granos se llenan con un líquido claro y se puede ver el embrión.
R3	80	Etapa lechosa. Los granos se llenan con un líquido lechoso blanco.
R4	90	Etapa masosa. Los granos se llenan con una pasta blanca. El embrión tiene aproximadamente la mitad del ancho del grano
R5	102	Etapa dentada. La parte superior de los granos se llena con almidón sólido y, cuando el genotipo es dentado, los granos adquieren la forma dentada. En los tipos tanto cristalinos como dentados es visible una "línea de leche" cuando se observa el grano desde el costado.
R6	112	Madurez fisiológica. Una capa negra es visible en la base del grano. La humedad del grano es generalmente de alrededor del 35%.

---

**Fuente:** (CIMMYT, 2014 como se citó en Oñate, 2016)

## 5. Metodología

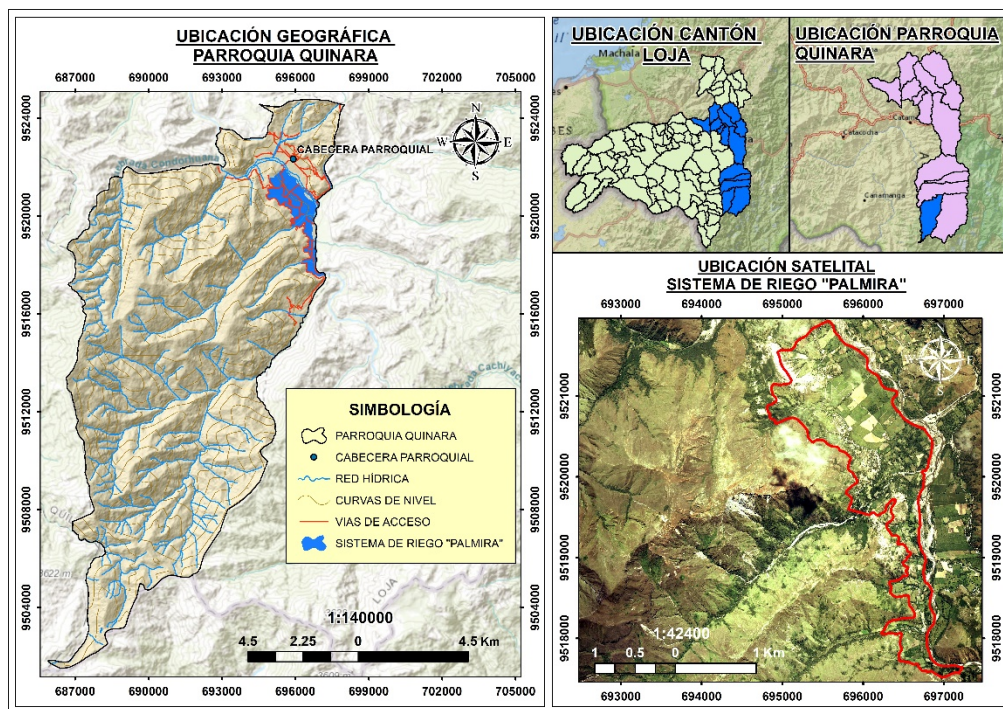
### 5.1. Área de estudio.

El área de estudio se ubica en el sistema de riego Palmira, de la parroquia Quinara, situada a 64 km al suroccidente del cantón Loja y a 14 km de la Parroquia de Vilcabamba (Figura 2). Cuenta con un clima subtropical, una temperatura promedio de 20°C, una precipitación que va desde los 800 hasta los 1300 mm y con una altitud promedio 1640 msnm. El Sistema de riego se ubica en las siguientes coordenadas planas:

Latitud: 9517493 N a 9521921 N y Longitud: 694806 E a 6972287 E.

### Figura 2.

Ubicación política y geográfica de la zona de estudio.



Fuente: La autora

### 5.2. Equipo y materiales

Los materiales empleados para la siguiente investigación son:

- Matillo de gomo
- Cinta edafológica
- Pala y pico
- Barreno
- Kit edafológico.
- Cilindros Koppeky
- Anillos infiltrómetros

- Cintas medidoras de pH
- Agua oxigenada
- Cinta métrica
- Mapas temáticos
- Computadora
- GPS
- Bolsas plásticas
- Recipientes (Balde)

### **5.3. Metodología para el primer objetivo.**

*“Realizar la caracterización física y química de las áreas agrícolas que existen en el sistema de riego Palmira”.*

Para determinar las características físicas y químicas de las tierras agrícolas existentes en el sistema de riego de Palmira, se tomó información de instituciones públicas y observaciones directas en campo. La información sobre el uso actual del suelo se obtuvo del portal web del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) (<http://geoportal.agricultura.gob.ec/>) y del Centro de Estudios Territoriales de la Universidad Nacional de Loja (CIT).

#### **5.3.1. Elaboración de mapas temáticos.**

El primer paso en esta fase es comprobar la exactitud, veracidad y consistencia del mapa base (Alvarado, 2019). Se creó un mapa base (Anexo 1) basado en información secundaria para delimitar el área de estudio utilizando un software de información geográfica. Se recopiló datos y se seleccionaron mapas temáticos y fotografías aéreas que pudieran utilizarse de manera confiable como fuente de información.

#### **5.3.2. Mapa de pendiente del suelo.**

Las pendientes del suelo se establecieron a partir de las curvas de nivel obtenidas del DEM (Modelo Digital de Elevaciones) a intervalos de 3 m, lo que proporcionó un buen nivel de detalle permitiendo distinguir los diferentes tipos de pendientes a una escala de 1:25 000 (Anexo 2).

#### **5.3.3. Mapa de geología del suelo.**

La geología se elaboró a partir de la información de los mapas geológicos elaborados por el programa nacional de regionalización agraria (PRONAREG) a una escala de 1:25000 (Anexo 3).

#### **5.3.4. Mapa de geomorfología del suelo.**

Para el mapa geomorfológico de la zona de estudio procede de la información del ministerio de agricultura y ganadería “MAG” a una escala 1:25 000 (Anexo 4).

#### **5.3.5. Mapa del uso actual del suelo**

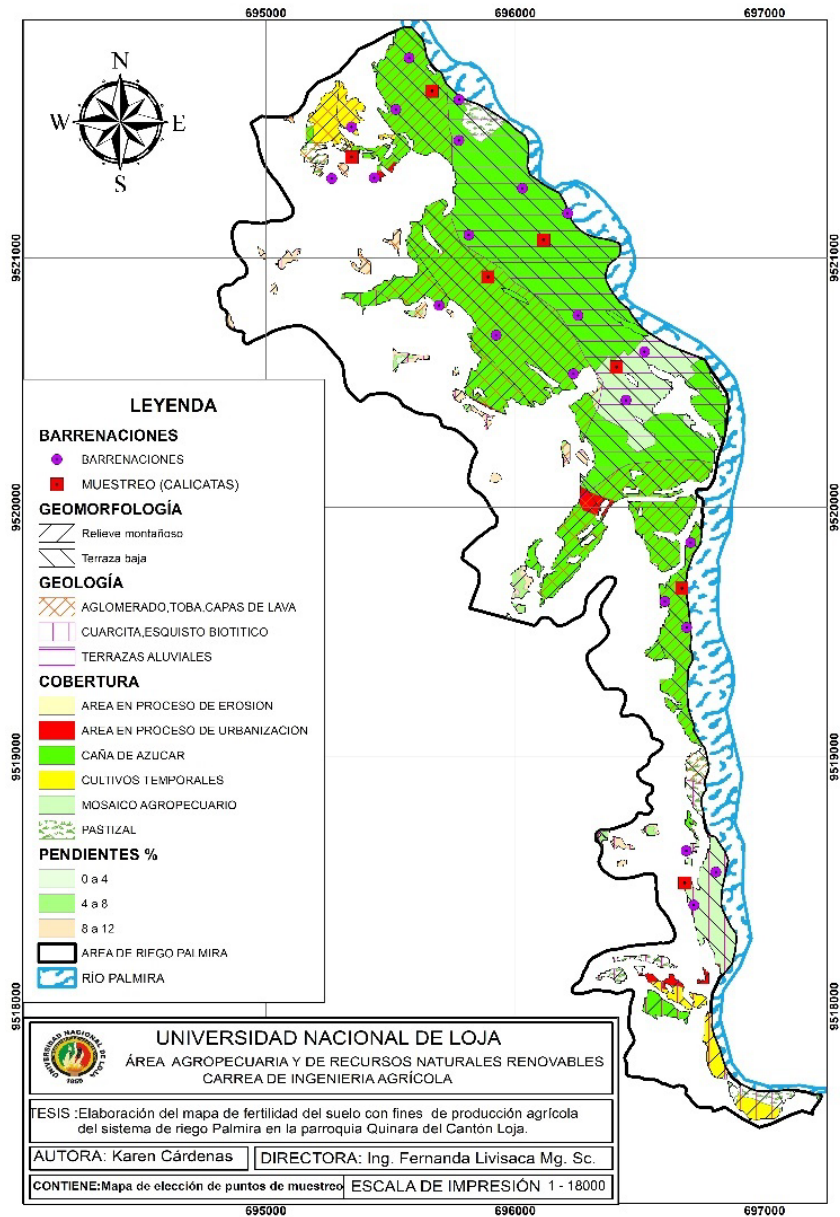
El uso del suelo se basó en la información de mapa elaborado por el ministerio de agricultura y ganadería (2019) a escala 1:25 000, la misma que fue actualizada mediante un recorrido por la zona de estudio, lo que dio lugar a un mapa más detallado (Anexo 5).

#### **5.3.6. Sectorización del área de estudio.**

Con base en toda la información obtenida en la elaboración de los mapas temáticos se realizaron cruces de mapas para sectorizar el área de estudio, identificando características comunes como: pendiente hasta 12% (Anexo 2), geología (Anexo 3), geomorfología (Anexo 4) y uso actual del suelo (Anexo 5), para poder tomar muestras de suelo localmente representativas y cubriendo toda la zona de riego como se lo presenta en la Figura 3. Para esta sectorización se lo realizó por zonas denominadas: Palmira norte (dos perfiles), Palmira centro (dos perfiles), Palmira sur (tres perfiles).

**Figura 3.**

Cruce de mapas y selección de los sitios de muestreo.



**Fuente:** la autora.

### 5.3.7. Muestreo del suelo.

Se identificaron siete perfiles modales, uno por cada unidad geomorfológica (Figura 3). Para su descripción y muestreo, se realizaron de acuerdo a los parámetros establecidos en la guía de la FAO (2009), las calicatas de elaboración con las siguientes dimensiones fueron 1,20 de profundidad por 1 m de ancho y 1,50 m de largo, se caracterizó el número de horizontes siguiendo la nomenclatura de designación capas y horizontes de la USDA Soil Taxonomy (2010). Se tomaron siete muestras disturbadas del primer horizonte y 21 muestras no disturbadas que se analizaron en el laboratorio y en campo.



Complementariamente a los perfiles se efectuaron 4 barrenaciones por calicata una distancia de 100 m en un recorrido en cuadrícula para observar e identificar

los cambios las características del suelo como: textura, el color, la presencia de raíces, presencia de gravas, materia orgánica (mediante peróxido) y pH (mediante cintas de tornasol), con la finalidad de identificar hasta donde se extienden las características la unidad este parámetro se los describió siguiendo la guía para la descripción de suelos de la FAO (2009).

### **5.3.8. Caracterización de las propiedades físicas del suelo.**

Para las propiedades físicas como: el color se utilizó la tabla Munsell, la textura del suelo se utilizó en el laboratorio el método de Bouyoucos (utilizando como dispersante NaOH<sup>+</sup> oxalato de sodio), densidad aparente por el método del cilindro (relación Ms/Vt).

Para la caracterización de las propiedades hidrofísicas del suelo se utilizaron los cilindros Koppecky de 100 cm<sup>3</sup> con tres repeticiones, se determinó: la porosidad total, retención de agua a pF: 0,0; 2,5 y 4,2 atm, el agua aprovechable, la capacidad de aireación, volumen de poros físicamente Inerte y la fertilidad física del suelo con la ayuda del diagrama triangular. Para las pruebas de permeabilidad se realizaron siete pruebas de infiltración con tres repeticiones con los cilindros infiltrómetros.

Se tomaron siete muestras disturbadas del primer horizonte en las cuales se analizaron análisis: pH de suelo (relación 1:2.5 suelo agua), materia orgánica (Walkley y Black), Capacidad de intercambio catiónico (CIC) con acetato de amonio 1N pH 7,0 y generación de OH<sup>-</sup> con formaldehído y los macronutrientes que son nitrógeno (%) y fósforo (ppm) determinados mediante la espectrofotometría UV – visible, potasio, calcio y magnesio (meq/100g), y micronutrientes (ppm) por Adsorción Atómica utilizando como extractante (extracción de la solución de Olsen Modificada: NaHCO<sub>3</sub> + EDTA).

### **5.4. Metodología para el segundo objetivo.**

*“Elaborar el mapa de fertilidad del sistema de riego Palmira con fines de producción agrícola”*

Cada muestra tomada fue georreferenciada con un navegador GPS. Una vez obtenido los resultados de los análisis del laboratorio tanto físicos como químicos, se elaboró una tabla en una hoja de cálculo, donde se colocó los siguientes parámetros: coordenadas (longitud y latitud), pH, CIC, materia orgánica, textura, macro y micronutrientes (N, P, K, Ca, Mg, Zn, Cu, Fe, Mn), densidad aparente, saturación, infiltración de perfiles como de barrenaciones.

Para el proceso de interpolación mediante el método IDW (ponderación de distancia inversa) con lo cual se generó una capa de tipo ráster con los valores de cada uno de los

parámetros evaluados, la que debió ser reclasificada en rangos y posteriormente se convirtió en un archivo vectorial tipo punto (shape file), que mostro la distribución espacial de los sitios o fincas de la parroquia

#### **5.4.1. Elaboración de mapas de fertilidad.**

Tras analizar las muestras de suelo en el laboratorio, se crearon capas de macronutrientes (N, P, K, Ca, Mg y Mo). Los datos de cada elemento se almacenaron en las tablas y bases de datos correspondientes para crear archivos SHP (capas geográficas), tras lo cual se asignaron valores numéricos como se muestra en la Tabla 8.

**Tabla 8.**

Valores para la suma de la fertilidad

<b>Rango</b>	<b>Código</b>
muy bajo	1
Bajo	2
Medio	3
Alto	4
Muy alto	5

**Fuente:** El autor

Luego se procedió a realizar la intersección (unión) de las capas de micronutrientes por separado, para obtener un solo SHP con los valores de todos los micro o macronutrientes y poder determinar la fertilidad al realizar la sumatoria de los valores de cada elemento (Tabla 9).

**Tabla 9.**

Determinación de la fertilidad del suelo.

<b>Sumatoria de valores</b>	<b>Fertilidad</b>
<5	Muy baja
5 a 10	Baja
10 a 15	Media
15 a 20	Alta

**Fuente:** El autor

#### **5.5. Metodología para el tercer objetivo.**

*“Realizar la recomendación de dosis de fertilización para los cultivos más representativos de zona de estudio”*

Se utilizaron los resultados de los análisis químicos y se definieron dos cultivos más representativos de la zona de estudio como los son la caña de azúcar y el maíz. Se definió las cantidades y tipos de fertilizantes a aplicar, basándose en los nutrientes disponibles del suelo, de acuerdo a los requerimientos del cultivo, a la relación de cationes y a las curvas de absorción. La relación de cationes utilizada para los dos cultivos es general, siendo Ca/Mg: 2-5  $cmol\ kg^{-1}$ ; Mg/K: 2.5-14 $cmol\ kg^{-1}$ ; (Ca+Mg)/K: 10-40 $cmol\ kg^{-1}$ ; Ca/K (5-25)  $cmol\ kg^{-1}$  (Mendez & Berch, 2017). A partir de la información obtenida, se realizaron cálculos para garantizar que los fertilizantes se aplican correctamente y satisfacer las necesidades de nutrientes de los dos cultivos seleccionados.

## 6. Resultados

### 6.1. Resultados del primer objetivo.

“Realizar la caracterización física y química de las áreas agrícolas que existen en el sistema de riego Palmira”.

#### 6.1.1. Geología y geomorfología

En la zona de estudio se encontraron tres unidades geológicas: 1) La *Formación Montaña Blanca*, caracterizada por su presencia de áridos, tobas y lavas, que ocupa un total de 68,33 ha; 2) La *Terraza Aluvial*, se distingue por la presencia de cantos rodados, gravas, arenas y limos, abarca una extensión de 56,30 ha; y, 3) La *Serie Zamora*, compuesta por cuarcitas y esquistos de biotita, se extiende sobre una superficie de 18,41 ha, como se detalla en el Anexo 3

En cuanto a las unidades geomorfológicas corresponden dos: *terrazas de montaña* que cubren una superficie de 26,30 ha y las *terrazas bajas* con un área de 81,61 ha, según se detalla en el Anexo 4.

#### 6.1.2. Pendiente y uso actual del suelo.

En la zona de estudio se encontraron tres categorías de pendientes, como muestra la Tabla 10, las pendientes consideradas suaves (4-8%), ocupan la mayor superficie, correspondiente al 44,15%, mientras que las consideradas como muy suaves (0-4%) representan el 31,26% del terreno (Anexo 2)

**Tabla 10.**

Pendientes del sistema de riego la Palmira

Categorías (%)	Superficie (ha)	Porcentaje ocupación (%)	Características
0-4	44,75	31,26	muy suaves
4-8	63,21	44,15	Suaves
8-12	35,21	31,26	Medianas

El uso del suelo está representado por caña de azúcar, con una superficie de 107,96 ha. Seguido de mosaicos agropecuarios (mangos, bananos y chirimoyas, maíz en una porción menor), que abarca 20,86 hectáreas; y, cultivos temporales como maíz, tomates, pepinos, entre otros, en un área de 6,70 hectáreas.

Los cultivos más representativos de la zona son la caña de azúcar y el maíz, que se distribuyen en las regiones norte, centro y sur del sistema de riego, según se detalla en el Anexo 5.

## 6.2. Características morfológicas del sistema de riego La Palmira.

### Descripción de los perfiles representativos de la zona de suelo

Para esta descripción se lo realizo por zonas denominadas: Palmira norte, Palmira centro y Palmira Sur, por cada zona se escogió el perfil que engloba las características predominantes de cada sector, la descripción de los siete perfiles se encuentra en el Anexo 6.

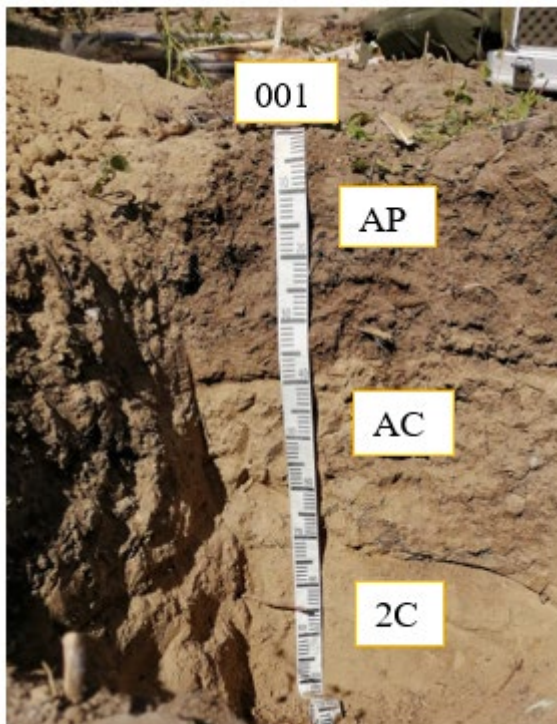
#### 6.2.1. Descripción del perfil representativo, Palmira norte.

##### Descripción general del perfil

Suelo Joven, desarrollado en una pendiente de 0-4% de relieve ligeramente inclinado. La Figura 4 se observa que no presenta horizontes genéticos, compuesto por dos depósitos aluviales: el primer depósito y el más antiguo pertenece a la capa 2C se extiende desde 35 cm hasta 80 cm, de textura franco y color amarillento con un cambio brusco en la granulometría que evidencia cambio de material parental; el depósito más reciente más de origen aluvio-columial formado por dos horizontes, un Ap /AC de 35 cm de profundidad, color grisáceo oscuro, textura franco arcilloso. Perfil con presencia de raíces hasta los 60 cm, bien drenado y un pH prácticamente neutro.

#### Figura 4.

Perfil representativo del suelo, Palmira norte



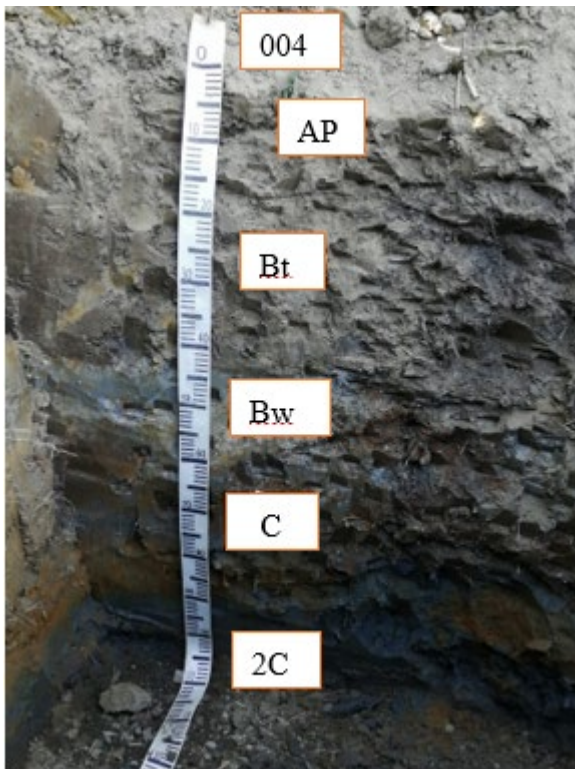
#### 6.2.2. Descripción de perfil representativo, Palmira centro.

##### Descripción general del perfil del suelo.

Suelo desarrollado ligeramente inclinado (0-4%), tipo de paisaje planicie presenta un drenaje pobre aluvial constituido por cinco horizontes (Figura 5), el horizonte Ap de 15 cm, con un color pardo grisáceo de textura arcillo limoso con raíces pocas y comunes, el segundo horizonte Bt de 15 cm con presencia de cutanes continuos y delgados, color marrón oliva de textura franco limosa con pocas raíces finas y muy finas, tercer horizonte Bw de 15cm con un color marrón de textura franco arcillosa y estructura blocosa subangular moderadamente desarrollada con raíces comunes medias finas y muy finas, cuarto horizonte C de 40 cm, color gris de textura franco arcillo limoso con pocas raíces y finas, quinto horizonte 2C de 25 cm con un color gris oscuro de textura franco arcillo limosa con muy pocas raíces y finas.

**Figura 5.**

Perfil representativo del suelo, Palmira centro.



**6.2.3. Descripción del perfil representativo, Palmira sur.**

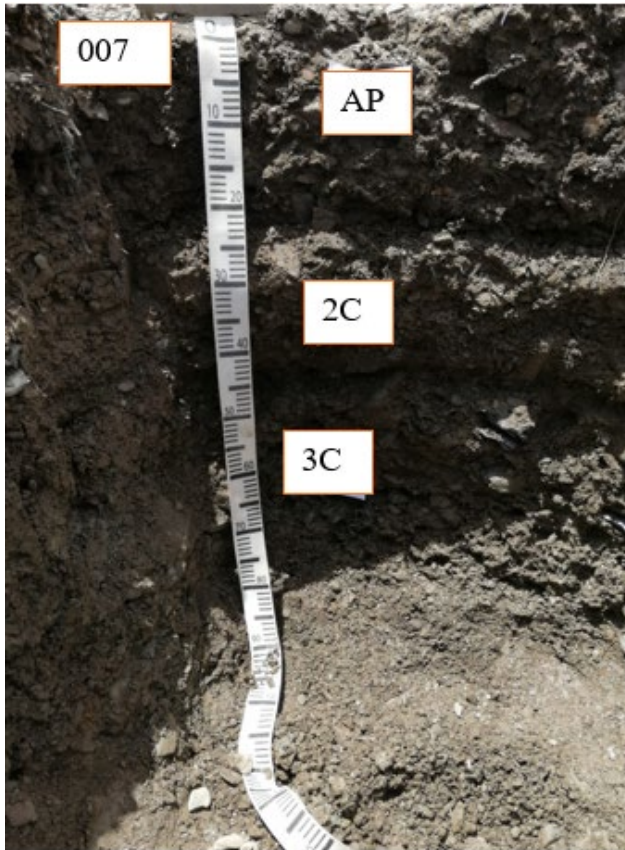
**Descripción general del perfil**

Suelo con una pendiente inclinada, presenta drenaje bueno y una erosión ligera. Es un suelo joven de origen fluvial con la disposición de 3 horizontes (Figura 6), Ap que presenta una textura franco arenosa al tacto con un color pardo grisáceo oscuro, tiene una estructura débil con fragmentos rocosos en un 30%, el horizonte 2C se observa un color pardo grisáceo, con una estructura suelta, su textura es arenosa, presenta fragmentos rocosos en un 60%, finalmente el horizonte 3C con un color pardo grisáceo oscuro con una estructura gravillas y

suelta, con una textura de grava al tacto, con contenido de grava que van desde 0.2 a 7.5cm que abarca un 60-70%, con la profundidad efectiva que llega a los 20cm de profundidad.

**Figura 6.**

Perfil representativo del suelo, Palmira sur.



### 6.3. Resultado de los análisis físicos.

En la Tabla 11 se describen las características físicas de los perfiles del área de estudio del sistema de riego, donde la profundidad efectiva oscila entre 20 a 80 cm, con texturas que son francos, franco arcilloso, franco arenoso y areno franco (figura 11) con una densidad que fluctúa de 1,18 g/cm<sup>3</sup> la más baja a 1,58 g/cm<sup>3</sup> la más alta.

**Tabla 11.**

Resultado de los análisis físicos en el primer horizonte.

Calicata	Profundidad efectiva cm	Textura	Color	estructura	Plasticidad	Densidad gr/cm <sup>3</sup>
1	65	Franco	grisáceo oscuro	Débil	Plástico	1,18
2	35	Franco	pardo oscuro	Moderado	Plástico	1,53
3	40	Franco	pardo grisáceo oscuro	Moderado	muy plástico	1,52

4	65	Franco arcillosa	pardo grisáceo	Moderado	Plástico	1,54
5	80	Franco arenosa	marrón oscuro	Débil	no plástico	1,41
6	30	Arenoso Franco	pardo oscuro	Débil	no plástico	1,58
7	20	Franco arenosa	pardo grisáceo oscuro	Débil	ligeramente plástico	1,39

**Fuente:** La autora

La infiltración básica dada en  $mm/h^{-1}$  (Tabla 12), en la zona Palmira norte tienen una velocidad moderada ya que son suelos de textura franco, en la zona Palmira centro con una velocidad moderadamente lenta y moderadamente rápida para una textura franco arcillosa, en la zona Palmira sur tienen una velocidad denominada rápida y moderadamente por su textura que es arena franca y franco arenoso

**Tabla 12.**

Resultados de las pruebas de infiltración.

Calicatas	Infiltración básica ( $mm/h^{-1}$ )	Interpretación
1	34,27	Moderada
2	23,09	Moderada
3	57,7	Moderada
4	6,05	Moderadamente lenta
5	120,1	Moderadamente rápida
6	230,4	Rápida
7	183,5	Moderadamente rápida

**Fuente:** La autora.

#### 6.4. Resultados de los parámetros hidrofísicos.

La Tabla 13 presenta los valores de los contenidos de humedad a saturación, con porcentajes de 32,5 a 56,1%; la capacidad de campo en el sistema presenta valores de 12,4 a 39,4 %.

El 42,85 % de las muestras de suelo se encuentran catalogadas como "muy pobre", mientras que el 57,15 % se distribuye entre las zonas II y III, las cuales se identifican como "clase pobre" y "medio", respectivamente, en el diagrama triangular de las condiciones físicas del suelo.



**Tabla 13.**

Resultado de los parámetros hidrofísicos.

Calicata	Condiciones físicas de suelo (% $\theta_v$ )					Equivalencia		
	SS	CC	PMP	AA	CA	VPFI	Zona	Clase
	pF=0	pF=2.52	pF=4.2	pF=2.25	pF=2.52			
1	48,60	31,93	17,35	14,55M	16,70 A	68,75	III	Medio
2	56,11	39,40	21,42	17,98M	16,70 A	65,32	III	Medio
3	43,14	29,27	15,85	13,39B	13,90 M	72,71	II	Pobre
4	44,85	39,33	21,35	17,95B	5,55B	76,50	I	Muy pobre
5	32,50	27,33	14,85	12,40M	5,10 B	82,50	I	Muy pobre
6	35,19	12,42	6,75	5,65B	22,80 A	71,56	I	Muy pobre
7	38,70	25,15	13,67	11,53M	13,60 M	74,87	II	Pobre

SS= saturación; CC= capacidad de campo; PMP= punto de marchitez permanente; AA=agua aprovechable; CA= capacidad de aireación; VPFI= volumen de poros físicamente inerte; M=medio; B=bajo; A=alto

### 6.5. Resultados de los análisis químicos.

En la Tabla 14 se detallan los resultados de los análisis químicos del suelo, revelando que el pH se sitúa en rangos ligeramente ácido mostrando una predominancia en estos suelos. Los niveles de materia orgánica varían, siendo 4,3% el valor medio y 1,2% el más bajo registrado. Asimismo, la capacidad de intercambio catiónico (CIC) presenta una amplia variabilidad, con valores que oscilan entre 42,4 meq/100g, considerado alto, y 7,4 meq/100g, el más bajo.

En términos de macronutrientes, los resultados indican que el nitrógeno exhibe niveles bajos en todos los sitios de muestreo, de manera similar, el potasio muestra valores bajos en algunos de los sitios, el potasio, calcio y magnesio se encuentran en niveles altos y medios. En cuanto a los micronutrientes, los valores son mayormente adecuados, con excepción del zinc, que presenta rangos bajos en algunos puntos de muestreo.

Los mapas de distribución del pH, materia orgánica y CIC para el sistema de riego Palmira se presentan detalladamente en los Anexos 12,13 y 14. Estos mapas ofrecen una visualización clara de la variabilidad espacial de estas propiedades en el área de estudio.

**Tabla 14.**

Resultados de los análisis químicos.

calicata	pH	MO %	CIC meq/100 g suelo	Ppm		meq/100mL				Ppm			
				N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	
1	6,2 Lac	3,2 M	42,2 A	18,70 B	7,40 B	0,52 A	20,10 A	4,64 A	2,2 B	1,5 M	51,0 A	7,2 M	
2	6,5 PN	1,2 B	51,2 A	16,30 B	3,00 B	0,39 M	19,20 A	6,54 A	2,4 B	1,7 M	63,0 A	6,5 M	
3	6,8 PN	2,8 B	12,6 B	3,40 B	6,60 B	0,24 M	8,74 A	2,93 M	4,2 M	5,6 M	210,0 A	6,9 M	
4	6,4 Lac	4,3 M	32,2 M	4,00 B	19,20 M	0,40 M	21,70 A	5,74 A	3,7 B	2,4 M	58,0 A	7,4 M	
5	6,1 Lac	4,3 M	27 M	5,30 B	10,20 M	0,30 M	16,00 A	3,34 A	9,1 A	2,6 M	129,0 A	7,9 M	
6	6,0 Lac	2,05 B	12,6 B	2,80 B	5,60 B	0,39 M	5,07 M	1,16 M	2,8 B	2,9 M	77,0 A	11,5 A	
7	6,2 Lac	3,29 M	7,4 B	1,00 B	25,10 A	0,29 M	8,94 A	1,53 M	5,3 M	4,2 M	107,0 A	11,3 A	

Lac= ligeramente ácido; PN= prácticamente neutro; A=alto; M=medio; B= bajo

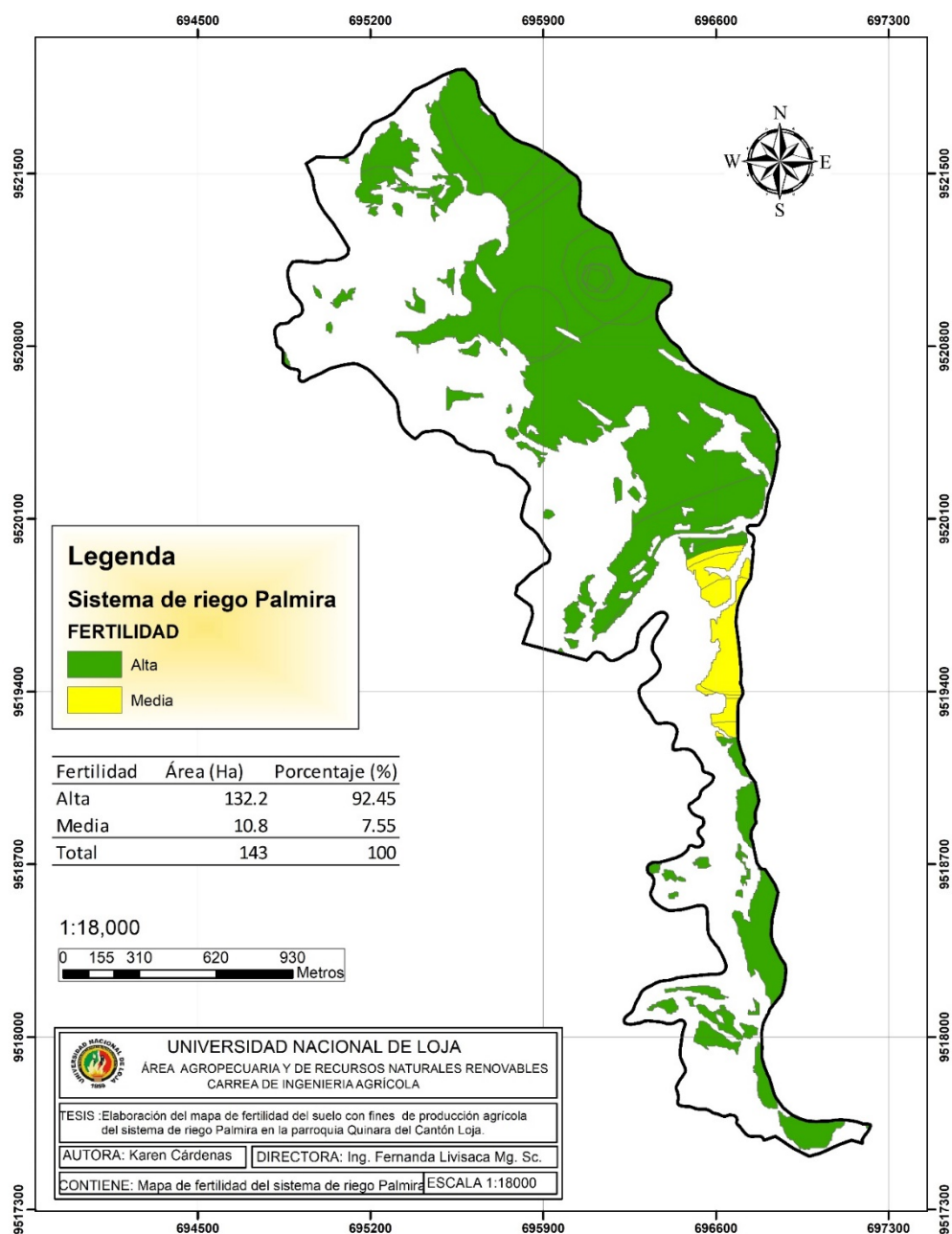
**6.6. Resultado del segundo objetivo.**

*“Elaborar el mapa de fertilidad del sistema de riego Palmira con fines de producción agrícola”*

De acuerdo a la Tabla 13 y Figura 15, el 92,45 % se encuentra en el rango alto de fertilidad mismo que está ubicado en la zona norte y sur con 132,2 ha y el 7,55 % de los suelos con una fertilidad media que se encuentra ubicada en la parte central del Sistema de Riego La Palmira al que le corresponden 10,8 ha del área total.

**Tabla 15.**

Mapa de fertilidad del sistema de riego Palmira



**Fuente:** la autora.

## 6.7. Resultado del tercer objetivo.

*“Recomendación de dosis de fertilización para los cultivos más representativos de zona de estudio”*

### 6.7.1. Recomendación para el maíz, sector Palmira norte.

Los análisis químicos realizados (Tabla 14) permitieron determinar la relación óptima de cationes para el cultivo del maíz. Sin embargo, al calcular la relación de cationes, se

observó que no se encuentra dentro del rango adecuado, por lo que se implementó una enmienda con 0,405 meq de K. Se recomienda el uso de un fertilizante que proporcione este elemento para corregir la deficiencia identificada.

**Tabla 16.**

Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de maíz, sector Palmira norte.

Análisis suelo		Enmienda		Relación de cationes			
SB	Antes	Enmienda	Después	Cationes	Antes	R. óptimo	Después
Ca ++	20,1		20,1	Ca/Mg	4,43	(2-5)	4,33
Mg++	4,64		4,64	Mg/K	8,73	(2.5-15)	4,91
K+	0,52	0,405 meq	0,93	(Ca + Mg) /K	38,65	(10-40)	26,64
CICE 1	25,26	CICE 2	25,67	Ca/K	38,65	(5-25)	21,73

**Fuente:** La autora

El plan de fertilización se adaptó a las diferentes etapas fenológicas del cultivo del maíz, que abarca un período de tres meses. Se detallan en la Tabla 7 los fertilizantes recomendados y las cantidades en gramos por planta necesarias para satisfacer las demandas del cultivo, considerando una densidad de siembra de 50,000 plantas por hectárea. Se sugiere dividir la aplicación del fertilizante Yara Rafos semanalmente o cada 15 días durante los primeros 60 días, brindando flexibilidad en la programación de la fertilización. Además, se aconseja incorporar el sulfato de potasio como parte de la fertilización base antes de la siembra para equilibrar los cationes en el suelo.

**Tabla 17.**

Plan de fertilización para el cultivo de maíz, Palmira norte

Fertilizante	kg/ha/año	Etapa			
		Pre-siembra (g/plan)	Vegetativa (g/plant)	Reproductiva (g/plant)	Productiva (g/plant)
Yara Rafos	520	-	4	2	3
Sulfato de K	4539	90			

**Fuente:** La autora

### **6.7.2. Recomendaciones de fertilización de la caña, Palmira norte.**

Los análisis químicos realizados (ver Tabla 14) permitieron determinar la relación óptima de cationes para el cultivo de la caña. Para la corrección de esta relación (Tabla 18), se tomó el promedio de los resultados obtenidos en los análisis de laboratorio de las calicatas 2 y 3, dado que presentan valores similares, al realizar la relación de cationes, se evidenció que no se encuentra en rangos adecuados para ello se implementó una enmienda con 0,35

meq de K, y se aconseja el uso de un fertilizante que suministre estos elementos para subsanar la deficiencia identificada.

**Tabla 18.**

Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de caña, Palmira norte.

Análisis suelo		Enmienda		Relación de cationes			
SB	Antes	Enmienda	Después	Cationes	Antes	R. Óptimo	Después
Ca	13,97		13,97	Ca/Mg	2,95	(2-5)	2,95
Mg	4,74		4,74	Mg/K	15,03	(2.5-15)	7,12
K	0,32	0,35 meq	0,67	(Ca + Mg) /K	59,38	(10-40)	21,01
CICE 1	19,03	CICE 2	19,38	Ca/K	44,35	(5-25)	28,13

**Fuente:** La autora

El plan de fertilización de la caña se elaboró de acuerdo a las etapas fenológicas del cultivo que tiene una duración de 12 meses, en la Tabla 19 se muestra los fertilizantes recomendados y los gramos planta que se deben aplicar para suplir las necesidades del cultivo, estas cantidades están determinadas para una densidad de 90 000 plantas/ha.

El sulfato de potasio se lo aplica como parte de la fertilización base antes de la siembra, con el propósito de equilibrar los cationes en el suelo.

**Tabla 19.**

Plan de fertilización para el cultivo de la caña, Palmira norte

Fertilizante	kg/ha/año	etapa				
		Pre-siembra (g/plan)	Establecimiento (g/plant)	Macollaje (g/plant)	Gran Crecimiento (g/plant)	Madurez (g/plant)
Nitrato de Ca	128	-	0,14	0,57	0,57	0,57
Grosso	94	-	0,12	0,09	0,62	0,22
Sulfato de K	1669	18				
UREA	211		0,74	0,18	1,04	0,41

**Fuente:** la autora.

### **6.7.3. Recomendaciones de fertilización para la caña, Palmira centro.**

Al calcular la relación de cationes, se observó que no se encuentra dentro del rango adecuado, por lo que se implementó una enmienda con 0,85 meq de K (Tabla 20). ara lo cual, se recomienda el uso de un fertilizante que proporcione este elemento para corregir la deficiencia identificada.

**Tabla 20.**

Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de caña, sector palmira centro

Análisis suelo		Enmienda		Relación de cationes			
SB	Antes	Enmienda	Después	Cationes	Antes	R. Óptimo	Después
Ca ++	21,7		21,7	Ca/Mg	3,78	(2-5)	3,78
Mg++	5,74		5,74	Mg/K	14,35	(2.5-15)	4,59
k+	0,4	0,85meq	1,25	(Ca + Mg) /K	68,6	(10-40)	21,36
CICE 1	27,84	CICE 2	28,69	Ca/K	54,25	(5-25)	17,36

**Fuente:** la autora

El plan de fertilización se elaboró conforme a las etapas fenológicas del cultivo de la caña, que tiene una duración de 12 meses, en la Tabla 21 se muestra los fertilizantes recomendados y los gramos planta que se deben aplicar para suplir las necesidades del cultivo, estas cantidades están determinadas para una densidad de 90000 plantas/ha.

El sulfato de potasio se lo aplica como parte de la fertilización base antes de la siembra, con el propósito de equilibrar los cationes en el suelo.

**Tabla 21.**

Plan de fertilización para el cultivo de caña, Palmira centro

Fertilizante	kg/ha/año	Etapa				
		Pre-siembra (g/plant)	Establecimiento (g/plant)	Macollaje (g/plant)	Gran Crecimiento (g/plant)	Madurez (g/plant)
Nitrato de Calcio	128	-	0,14	0,57	0,57	0,57
Grosso	94	-	0,12	0,09	0,62	0,22
Sulfato de K	4094	45				
UREA	211		0,74	0,18	1,04	0,41

**Fuente:** la autora.**6.7.4. Recomendaciones de fertilización para la caña, Palmira centro.**

Al realizar la relación de cationes no se encuentra en el rango adecuado, por consiguiente, se aplicó una enmienda de 0,6 meq de K (Tabla 22), se debe utilizar un fertilizante que aporte este elemento.

**Tabla 22.**

Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de caña, Palmira centro.

Análisis suelo		Enmienda		Relación de cationes			
SB	Antes	Enmienda	Después	Cationes	Antes	R. Óptimo	Después
Ca ++	16		16	Ca/Mg	4,79	(2-5)	4,79
Mg++	3,34		3,34	Mg/K	11,13	(2.5-15)	3,71
k+	0,3	0,6 meq	0,9	(Ca + Mg) /K	64,47	(10-40)	21,49
<b>CICE</b>	<b>19,64</b>	<b>CICE</b>	<b>20,24</b>	Ca/K	53,33	(5-25)	17,78

**Fuente:** La autora

El plan de fertilización se elaboró conforme a las etapas fenológicas del cultivo de la caña, que tiene una duración de 12 meses, en la Tabla 23 se muestra los fertilizantes recomendados y los gramos planta que se deben aplicar para suplir las necesidades del cultivo, estas cantidades están determinadas para una densidad de 90 000 plantas/ha.

El sulfato de potasio se lo aplica como parte de la fertilización base antes de la siembra, con el propósito de equilibrar los cationes en el suelo.

**Tabla 23.**

Plan de fertilización para el cultivo de caña, sector palmira centro

Fertilizante	kg/ha/año	etapa				
		Pre-siembra (g/plant)	Establecimiento (g/plant)	Macollaje (g/plant)	Gran Crecimiento (g/plant)	Madurez (g/plant)
Nitrato de Calcio	128	-	0,14	0,57	0,57	0,57
Grosso	94	-	0,12	0,09	0,62	0,22
Sulfato de K	2646	29				
UREA	211		0,74	0,18	1,04	0,41

**Fuente:** la autora.

#### **6.7.5. Recomendaciones de fertilización de la caña, Palmira sur.**

A través de los análisis químicos detallados en la Tabla 14, se logró establecer que la relación de cationes para el cultivo de la caña se encuentra dentro de los valores óptimos. En consecuencia, no se considera necesario aplicar enmiendas en este suelo (Tabla 24), dado que los niveles actuales son adecuados para el desarrollo del cultivo.

**Tabla 24.**

Relación de cationes del cultivo de caña, Palmira sur.

Análisis de suelo		Relación cationes	Valor	valores óptimos	Interpretación
Catión	meq/100g				
		Ca/Mg	4,37	(2-5)	Optimo
K	0,39	Mg/K	2,97	(2.5-15)	Optimo
Ca	5,07	Ca/K	13,00	(5-25)	Optimo
Mg	1,16	Ca+Mg/K	15,97	(10-40)	Optimo

**Fuente:** la autora.

El plan de fertilización de la caña se elaboró conforme a las etapas fenológicas del cultivo de la caña, en la Tabla 25 se muestra los fertilizantes recomendados para la caña y los gramos planta que se deben aplicar para suplir las necesidades del cultivo, estas cantidades están determinadas para una densidad de 90 000 plantas/ha.

El sulfato de potasio se lo aplica como parte de la fertilización base antes de la siembra, con el propósito de equilibrar los cationes en el suelo.

**Tabla 25.**

Plan de fertilización para la caña, sector Palmira sur.

Fertilizante	kg/ha/año	Etapa				
		Pre-siembra	Establecimiento (g/plant)	Macollaje (g/plant)	Gran Crecimiento (g/plant)	Madurez (g/plant)
Nitrato de Ca	128	-	0,14	0,57	0,57	0,57
Grosso	94	-	0,12	0,09	0,62	0,22
Sulfato de K	211	-	0,18	0,19	0,48	0,48
UREA	211		0,74	0,18	1,04	0,41

**Fuente:** La autora.**6.7.6. Recomendaciones de fertilización del maíz, Palmira sur.**

A través de los análisis químicos detallados en la tabla 14, se estableció que la relación de cationes para el cultivo del maíz no se encontraba dentro del rango adecuado. Como respuesta a esta situación, se implementó una enmienda consistente en 0.6 meq de Mg y 0.1 meq de potasio (Tabla 26). Se recomienda utilizar un fertilizante que proporcione estos elementos para corregir la deficiencia identificada.



**Tabla 26.**

Enmienda y cationes óptimos para el cultivo de maíz, Palmira sur.

Análisis suelo		Enmienda		Relación de cationes			
SB	Antes	Enmienda	Después	Cationes	Antes	R. óptimo	Después
Ca ++	8.94		8,94	Ca/Mg	5.84	(2-5)	4.76
Mg++	1.53	0.6	2.13	Mg/K	5.28	(2.5-15)	5.46
k+	0.29	0.1	0.30	(Ca + Mg) /K	36.10	(10-40)	28.38
CICE 1	10.76	CICE 2	11.37	Ca/K	30.83	(5-25)	22.38

**Fuente:** La autora

El plan de fertilización se lo presenta en la Tabla 27 para el cultivo de miz, se recomienda incorporar el sulfato de K y Kieserita como parte de la fertilización base antes de la siembra, con el propósito de equilibrar los cationes en el suelo, donde la kiserita se fraccionará para un periodo de 3 años con aplicaciones al inicio de la siembre del cultivo.

**Tabla 27.**

Plan de fertilización del cultivo del maíz, Palmira sur.

Fertilizante	kg/ha/año	Etapa			
		Pre-siembra (g/plant)	Vegetativa (g/plant)	Reproductiva (g/plant)	Productiva (g/plant)
Nitrato de Calcio	115	-	0.86	1	1
Grosso	187	-	1	1	1
Sulfato de K	652	13			
UREA	357		3	3	2
Kieserita	7246	144			

**Fuente:** La autora.

## 7. Discusiones

### 7.1. Caracterización física y química de las áreas agrícolas existentes en el sistema de riego Palmira.

#### 7.1.1. Características físicas del sistema de riego Palmira

La fertilidad física del área de investigación presenta condiciones favorables para el desarrollo de los cultivos con densidades de 1,18 a 1,53  $g/cm^3$  en la zona norte; valores que se encuentran en los rangos comunes para suelos de textura franca; mientras que en la zona central esta alrededor de 1,54  $g/cm^3$  valor promedio para una textura franco arcillosa, en la zona sur se encuentran densidades de 1,58  $g/cm^3$  para textura franco arenosa, valores considerados normales para estas texturas. Todos estos valores son corroborados con los valores que se encuentran reportados en las características físicas de los suelos de la región sur del Ecuador (Valarezo et al 1997). Así mismo, Carvajal (2004) menciona que la densidad aparente es una característica que da a conocer las condiciones en las cuales se encuentra el suelo con respecto a la compactación, porosidad, disponibilidad de agua y de oxígeno empezando a tener problemas de compactación, cuando estos valores son superiores a 1,6  $g/cm^3$ .

El volumen total de poros va de 32,5% en la zona central a 56,1% en la parte norte, valores que se consideran dentro de los rangos normales para suelos de texturas franco arenoso a franco arcillosos (Valarezo et. Al. 1998). El agua aprovechable (AA) en la zona de estudio es de media (18,00 %) y baja (5,67%), los mismos que son coherentes a los reportados en la bibliografía internacional (Valarezo et, al. 1998). Según Salcedo et al. (2007) exponen que el AA a una profundidad de 50 cm, las raíces absorben el agua por capilaridad, entre más alta sea esta mayor es la resistencia de la planta para retener el agua en épocas de sequía, pero como se puede evidenciar en los resultados algunas zonas tienen bajos niveles de AA, ya que estos están en función la estructura y textura del suelo (francos arenosos), estos suelos son más permeables y retienen menos agua que los arcillosos

La capacidad de aireación arrojó valores altos para cinco muestras de suelo para palmira norte, valores que están directamente relacionados con el contenido de la materia orgánica y una densidad aparente de 1,18  $g/cm^3$  y las últimas muestras arrojan valores bajos consecuencia de los bajos contenido de materia orgánica y alta densidad aparente (1,58  $g/cm^3$ ), Pineda et al. (2012) argumentan que esto también sucede por la reducción de macroporos e incremento de microporos Macas (2021), señala que la escasa aireación del suelo, así como las malas condiciones físicas de los horizontes definidas como pobres, se clasifican como deficientes, ya que proporcionan condiciones desfavorables para el desarrollo de las raíces de las plantas y se relaciona con una elevada densidad aparente con niveles reducidos de oxígeno y asfixia de las raíces.

Los perfiles, que se encuentran en la parte centro y sur del sistema de riego corresponden a un suelo de condiciones físicas Muy Pobres, según el diagrama triangular de las propiedades físicas (Zona I), lo que demuestra una degradación de la estructura y compactación del suelo, consecuentemente una disminución de la macroporosidad del suelo, posiblemente debido al monocultivo de caña (Valarezo et al, 2020). Mientras que, para los perfiles de la zona norte, las condiciones físicas para el crecimiento de las raíces, se encuentran en la zona III del diagrama triangular, categorizadas como medias para el desarrollo de las raíces. El suelo se ubica en el rango medio de propiedades físicas la explicación se atribuye a el alto porcentaje de poros físicamente inerte (68.75%), la capacidad de aireación sigue siendo alta (16.70%) y el agua aprovechable está en un rango medio (14.55%). Bajo esta perspectiva García et al. (2008) menciona que pese a contar con una predominancia de poros inútiles la textura franca proporciona una red de poros activos que permiten la circulación de aire incluso si el agua aprovechable está en un rango medio la textura franca equilibra la retención y disponibilidad de agua para las plantas.

La velocidad de infiltración se encuentra en los rangos de moderada para texturas francas y rápidas para texturas franco arenosa, valores como lo expone Villa y Ferrer (2005) citado por SiGTierras (2014), que se encuentran de acuerdo al tipo de suelo del lugar de estudio, estableciendo que la infiltración es un parámetro que está en función de las propiedades del suelo como textura (las texturas más gruesas normalmente permiten una mayor infiltración), el tipo de arcilla, la estructura del suelo formación de agregados y el contenido de materia orgánica (Romera & Santos, 2017), esto hace referencia que a pesar de tener muestras con el mismo tipo de suelo su velocidad de infiltración no es igual por los factores expuestos por el autor.

Un estudio llevado a cabo por Abad (2022) en la parroquia Malacatos desveló que los suelos de la región poseen una textura franca y una densidad promedio de  $1,4 \text{ g/cm}^3$ . Asimismo, Guamán (2023) informó sobre suelos con características similares, tanto en textura (franca- franca arcillosa) como en densidad ( $1,55 \text{ g/cm}^3$ .) en la parroquia Landangui. Estos resultados guardan similitud con los suelos encontrados en Palmira. No obstante, ambos estudios señalaron problemas de compactación en Malacatos y Landangui, atribuidos al exceso de pastoreo en estas áreas, en contraste con Palmira donde es mínimo.

Además, la tasa de infiltración registrada en estos estudios es similar, mostrando una velocidad moderadamente lenta, a diferencia de Palmira, que exhibe rangos entre moderadamente rápida y lenta debido a su menor nivel de compactación y mayor contenido de materia orgánica. A pesar de estos desafíos, se destaca la capacidad de adaptación de estos suelos para la agricultura en estas zonas.

### **7.2.1. Características químicas de los suelos del sistema de riego Palmira.**

El pH del suelo en la zona de estudio es ligeramente ácido a prácticamente neutro, los cultivos de la zona pueden adaptarse fácilmente a este rango de pH; según Prasad & Power (1997) citado en Catalán (2016) el rango óptimo de pH del suelo debe estar entre 6,5 y 7,0, que es el rango en el que los nutrientes se asimilan fácilmente y la mayoría de las plantas se adaptan con mayor facilidad. En relación con los cultivos específicos de la zona, Duarte y Gonzales (2019) indican que el cultivo de caña de azúcar requiere rangos de pH aceptables entre 5,5 y 8, mientras que el maíz demuestra resistencia en un intervalo de pH de 5,5 a 7,3, según lo señala el INIAP (2014). Estos datos subrayan la versatilidad de los cultivos locales ante las variaciones de pH en el suelo.

En general, el contenido de materia orgánica tiene un rango medio por lo tanto son suelos poco fértiles, a excepción de algunas muestras con un contenido de materia orgánica inferior al 2,8 %. Estos valores están estrechamente relacionados con el material parental y la escasa fertilidad natural del suelo, el manejo del cultivo de caña (quemadas), que no han favorecen el desarrollo de una capa superficial importante que aumente la materia orgánica del suelo (Ogras et al. 2013).

El nitrógeno y fósforo se encuentra en niveles bajos en toda la zona de estudio, valores que están relacionados directamente con la cantidad materia orgánica, ya que esta es una fuente de nutrientes que en procesos de mineralización liberan formas inorgánicas nitrógeno y fósforo (Otiniano et al. 2006)

La capacidad de intercambio catiónico de la zona de estudio se encuentra en los rangos que van medios a altos, los mismos que están relacionados con las fracciones coloidales de arcilla y de materia orgánica que beneficia la retención de humedad y una buena asimilación de nutrientes. Sin embargo, también hay zonas con valores bajos de capacidad de intercambio catiónico, donde los suelos generalmente contienen partículas arenosas con bajo contenido de materia orgánica, Cacuango (2013) concluyó que los suelos arenosos con baja capacidad de intercambio catiónico retienen menos cationes y menos partículas de humus y arcilla, que son responsables de la mayor capacidad de intercambio catiónico.

Las bases cambiables son un indicativo de la fertilidad del suelo en el sistema de riego Palmira, se encuentran en rangos medios a altos que establecen una buena fertilidad en los suelos, esto se debe a que el pH del lugar se encuentra en rangos casi neutros. Molina, (2017) afirma que el contenido de bases intercambiables (calcio, magnesio y potasio) determina en gran medida el grado de fertilidad del suelo, especialmente los dos primeros. Los suelos fértiles se caracterizan por altos niveles de calcio y magnesio, mientras que los suelos muy ácidos suelen ser deficientes en calcio y magnesio; cuanto más altos sean los niveles de calcio

y magnesio, mayor será la fertilidad del suelo, y el potasio igual se encuentra en un rango alto para la zona de estudio. Respecto a los microelementos analizados en los siete perfiles, los rangos se encuentran medios a altos, con excepción del zinc que tiene rangos variables, esto se debe a la materia orgánica existente que afecta a la disponibilidad de este microelemento, pero el pH de la zona también ayuda a que los demás elementos estén disponibles para las plantas como lo afirma Torris et al. (2015).

El mismo estudio de Guaman (2023), que caracterizó químicamente los suelos del sector Landangui, reveló valores de pH ligeramente alcalinos (7,7), una capacidad de intercambio catiónico en un rango bajo ( $19,90 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ ) y un contenido medio de materia orgánica (2,20 %). En lo referente a los macroelementos, se observa un nivel elevado de nitrógeno y fósforo, mientras que el potasio, calcio y magnesio muestran niveles más bajos, al igual que el azufre. Estos resultados son consistentes con los hallazgos en la zona de Palmira, a excepción de una deficiencia específica de nitrógeno. En contraste, el estudio de los suelos en la región Sur del Ecuador, descritos por Valarezo et al. (1998) en la parroquia Quinara, indica suelos con pH ácidos (5,3), baja materia orgánica (1,8 %) y capacidad de intercambio catiónico ( $19,2 \text{ meq } 100\text{g}^{-1}$ ), con niveles medios a bajos de bases cambiables. Estos hallazgos sugieren una notable mejora en la fertilidad química de los suelos en nuestro sector a lo largo de los años. Esta mejora contribuye a una mayor producción de productos locales, lo que resalta la importancia de la gestión adecuada de los recursos naturales para el desarrollo sostenible de la región.

## **7.2. Mapa de fertilidad del sistema de riego Palmira.**

En la zona de estudio, se identificaron dos clases de fertilidad basadas en las características químicas de los resultados de los análisis del suelo, es decir, fertilidad alta ocupa el 92,45 % y media con el 7,55 % de la superficie, elaborando así un mapa a escala 1:18000. El Ministerio de Agricultura (2022) realizó un estudio a escala nacional para determinar la fertilidad de 13,400 perfiles en todo el país, y se elaboraron mapas a escala 1:25000. Los resultados de esta publicación mostraron valores similares a los del presente estudio el 79,4 % de la superficie tenía una fertilidad alta y el 11,1 % una fertilidad muy alta (Anexo 22).

El objetivo de los mapas de fertilidad es proporcionar recomendaciones para la aplicación de fertilizantes a los diferentes cultivos de la zona. Como demostraron Henríquez et al. (2013), los mapas de fertilidad generados a partir de las variables químicas reportadas en los análisis de suelos son muy útiles para diagnosticar y recomendar la aplicación y mejora de fertilizantes. Un ejemplo de ello es el informe de Bertsch et al. (2002), quienes desarrollaron

con éxito programas de manejo de fertilizantes para fincas de café y caña de azúcar adaptados a las necesidades de cada sitio.

### **7.3. Realizar la recomendación de dosis de fertilización para los cultivos representativos de la zona de estudio.**

Con los resultados de los análisis químicos se calculó la relación de cationes intercambiables, partiendo de esta información se evalúa el balance de cationes y se toman decisiones pertinentes referidas a la adición de fertilizantes que se encuentran en desequilibrio. En la relación de cationes el potasio es el elemento que está en desequilibrio en casi todas las muestras de suelo que se analizaron, se debe suplir este elemento proporcionando fertilizantes con concentraciones de K, Sadeghian (2012) señala que el K puede inhibir la absorción de Mg cuando la concentración de este último en la solución externa es baja.

En el cultivo de maíz se requiere dosis altas de nitrógeno y potasio, ya que son los elementos que más absorbe la planta en su ciclo fenológico, Yara Ecuador (2018) propone los siguientes requerimientos nutricionales para este cultivo que son 210 kg/ha de N, 86 kg/ha de  $P_2O_5$ , 193 kg/ha de  $K_2O$ , 50 kg/ha de MgO, 40 kg/ha de CaO y 26 kg/ha de S para obtener una cosecha de 7 t/ha, a lo que Sánchez (2022) menciona en el informe técnico de producción y cosecha de maíz agosto, en el centro binacional zapotepamba, donde añade que para altos rendimientos de 20,97 t/ha, se usa una dosis de: N; 145, P; 60 y K; 162 kg/ha que son valores bajos en comparación a los que propone Yara Ecuador a excepción del potasio que son similares.

Para la dosificación se utilizó las curvas de absorción propuestas por Sigcho (2020) según estas curvas, se recomienda aplicar nitrógeno de manera constante cada 10 días, hasta un máximo de 45 días. El fósforo debe ser aplicado principalmente en las primeras etapas hasta los 15 días después de la siembra, mientras que el potasio se debe aplicar hasta los 30 días, esto se puede comparar con el plan de fertilización del maíz realizado en el cantón Pindal por Gahona (2023), donde la el fraccionamiento del nitrógeno y potasio lo realizó hasta la semana 7, que son hasta los 49 días, donde el cultivo aprovecha al máximo estos dos elementos.

Analizando la oferta y la demanda del cultivo de la caña, León y Arrollo (2012) señala que la caña requiere grandes cantidades de potasio en función de la variedad por lo cual, para obtener rendimientos óptimos es necesario invertir en fertilizantes que contienen principalmente estos elementos, la demanda del K es alto y la concentración de la planta se relaciona positivamente con el elemento. Una plantación que alcanza un rendimiento de 100 toneladas por hectárea al año, utiliza aproximadamente 130 kg/ha de N, 18,93 kg/ha de P,

310 kg/ha de K, 33,32 kg/ha de magnesio, 49,01 kg/ha de Ca y 29,18 kg/ha de S, según datos de Yara (2018), el manual técnico clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el litoral ecuatoriano elaborado por el INIAP (2010) expone que para una producción de 50 tn/ha/año se necesitan 150 kg/ha de N, 35 kg/ha de P y 208 kg/ha de K. lo que puede evidenciar que utilizan más cantidad de fertilizantes para la mitad del rendimiento propuesto por Yara Ecuador esto se puede ser porque existen diferentes variedades de caña. Estos requerimientos nutricionales se distribuyen a lo largo de las distintas etapas fenológicas del cultivo, siguiendo las curvas de absorción propuestas por Mite (2005), indican que los nutrientes alcanzan su máxima absorción durante los primeros tres meses del cultivo. Por ende, se recomienda realizar la fertilización antes del tercer mes de desarrollo del cultivo para asegurar una disponibilidad óptima de nutrientes en esta fase crucial del crecimiento de la planta.

## 8. Conclusiones

- Los suelos del sistema de riego Palmira se caracterizan por ser suelos con una profundidad efectiva hasta los 80 cm, con texturas Francos y Francos arenosos, con densidades que van 1,18 a 1,58  $g/cm^3$ .
- Las condiciones físicas de estos suelos se categorizan como clase media y en y muy pobres, la velocidad de infiltración se encuentra en una velocidad moderada y moderadamente rápida.
- Los suelos generalmente presentan una ligera acidez o neutralidad, con niveles moderados de materia orgánica, lo que resulta en bajos contenidos de nitrógeno y fósforo. Además, su capacidad de intercambio catiónico (CIC) se sitúa entre niveles medio y alto, con una buena presencia de elementos cambiables como potasio, calcio y magnesio, los cuales juegan un papel crucial en la fertilidad del suelo.
- Los suelos del sistema de riego Palmira, presentan un nivel de fertilidad alta con el 92,45 % (132,20 ha) y media con el 7,55 % (10,80 ha) de la superficie total.
- Utilizando las herramientas SIG se obtuvo el mapa de fertilidad con la finalidad de dar un diagnóstico del estado actual de los suelos.
- El diseño del plan de fertilización se basó para las necesidades nutricionales específicas del maíz y la caña de azúcar, así como los resultados de los análisis químicos de los suelos. Obteniendo que el requerimiento nutricional al año es de 210 kg/ha de N, 86 Kg/ha de P, 193 kg/ha de k para el maíz y para la caña es de 130nkg/ha de N, 18,93 kg/h P y 130 kg/ha de K.



## **9. Recomendaciones**

- Para mayor precisión del estado de fertilidad de los suelos se recomienda realizar más puntos de observación en el sistema de riego, puesto para un estudio de precisión es recomendable realizar por lo menos una observación por ha.
- Se recomienda la creación de un geoportal basado en el mapa de fertilidad, permitiendo a los usuarios descubrir, visualizar y acceder fácilmente a información detallada y servicios espaciales. Esta herramienta integral facilitaría la toma de decisiones informadas en el sector agrícola, mejorando la planificación del uso del suelo.

## 10. Bibliografía

- Abad, C. (2023). Evaluación de un sistema de riego por aspersión en un predio del sector El Porvenir, Parroquia Malacatos. [ tesis para la obtención de ingeniera agrícola]. Universidad Nacional de Loja.
- Acosta, C. (2007). El suelo agrícola, un ser vivo. *Inventio*, 3(5), 55-59.
- Acosta, M. B. 2021. Nutrición de las plantas: proceso. *ecologiaverde.com*. Disponible en <https://www.ecologiaverde.com/nutricion-de-las-plantas-proceso-2667.html> (consultado en junio del 2022).
- Aeroterra S.A. 2021. ¿Qué es SIG? | Sistemas de Información Geográfica. Disponible en <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion> (consultado el junio del 2022)
- Aguado-Santacruz, G. A., Moreno-Gómez, B., Jiménez-Francisco, B., García-Moya, E., & Preciado-Ortiz, R. E. (2012). Impacto de los sideróforos microbianos y fitosideróforos en la asimilación de hierro por las plantas: una síntesis. *Revista fitotecnica mexicana*, 35(1), 9-21.
- Aguilar, G. E. (2018). El agroturismo como una alternativa de desarrollo sostenible para la parroquia Quinara, cantón y provincia de Loja (Bachelor's thesis).
- Aguilar, N. (2009). Competitividad de la agroindustria azucarera de la huasteca México. *Sivicaña*, 1, 16.
- Alfa, Unión Europea Aid (2011). Edafología 1 (Pg. 72-74). Espacio grafico de comunicaciones S.A.
- Alfredo, A., Calderón, P., Lara, D., & Cabrera, A. (2012). Recuperado 8 de julio de 2022, de [https://www.researchgate.net/publication/262477239\\_CONFECION\\_DE\\_MAPAS\\_TEMATICOS\\_PARA\\_EVALUAR\\_LA\\_FERTILIDAD\\_DEL\\_SUELO\\_EN\\_LAS\\_AREAS\\_AGRICOLAS\\_DEL\\_INSTITUTO\\_NACIONAL\\_DE\\_CIENCIAS\\_AGRICOLAS](https://www.researchgate.net/publication/262477239_CONFECION_DE_MAPAS_TEMATICOS_PARA_EVALUAR_LA_FERTILIDAD_DEL_SUELO_EN_LAS_AREAS_AGRICOLAS_DEL_INSTITUTO_NACIONAL_DE_CIENCIAS_AGRICOLAS)
- Almendros García, P., Rico Selas, M. I., López Valdivia, L. M., & Álvarez Álvarez, J. M. (2008). Deficiencia de zinc en los cultivos y correctores de carencia del micronutriente. *Vida rural*, 19(280), 12-16.
- Alonso, F. (2017). sistemas de información Geográfica. Recuperado de <https://www.um.es/geograf/sigmur/sigpdf/temario.pdfca>.

- Anangonó, M. (2019). Comparación de tres métodos de infiltración utilizados para el cálculo del balance hídrico del suelo, en la Cuenca del río Suquiapa, El Salvador. *UNED Research Journal*, 9(1), 23-33.
- Asociación española de fabricantes de agronutrientes (2022). Recuperado 4 de junio de 2022, de <https://aefa-agronutrientes.org/fertilidad-del-suelo>
- Bennett, w.f. 2019. Nutrient deficiencies & toxicity's in cropplants. APS PRESS. The American Phytopathological Society. St. Paul. Minnesota. Disponible
- Bertsch, F. (2002). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica. (Publicación Técnica No 2.) 24
- Bravo, 2014. "Análisis de costos en la labor de fertilización en el sostenimiento del cultivo de caña de azúcar en el ingenio monterrey". [Tesis ingeniería en administración y producción agropecuaria]. Universidad Nacional de Loja
- Borja J, y Valdivia R, 2019. Introducción a la agronomía. (pp. 3). IDIMEC. Vo1.
- Bula A. 2020. Importancia de la agricultura en el desarrollo socio-económico. Universidad Nacional del Rosario.
- Cabrera R. (2014). Practicas básicas uso y manejo del agua. [tesis de ingeniero agrónomo]. UNIVERSIDAD AUTONOMA AGRARIA "ANTONIO NARRO" DIVISION
- Cacuango, J. A. (2013). Evaluación de la variación del ph y cic de un suelo acido mediante encalado y su efecto en la producción de alfalfa var. Macate.
- Campo García, A. D. D., Aguilera, A., Lidón, A., & Segura Orega, G. (2008). Influencia del tipo y dosis de hidrogel en las propiedades hidrofísicas de tres suelos forestales de distinta textura. *Cuadernos de la Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 25, 137-143.
- Castillo, Raúl, & Silva, E. (2004). Fisiología, Floración y Mejoramiento Genético de la Caña de Azúcar. (Publicación Técnica No. 3), 27
- Carvajal, J. (2004). *Cafeto; cultivo y fertilización*. Instituto Internacional de la Potasa Bema/Suiza. Obtenido de <https://www.ipipotash.org/uploads/udocs/65-carvajal-cafeto-cultivo-y-fertilizacion.pdf>
- Carvajal, R. R. (1997). Propiedades físicas químicas y biológicas de los suelos. 24.

DE INGENIERIA

- Catalán, G. (2016, noviembre 8). [[: Es]El pH del suelo en la agricultura[:fr]Le pH du sol[:]. Agropal. <http://www.agropal.com/es/el-ph-del-suelo/>
- Cano M. (2016). (02:54:13 UTC). Densidad del suelo. Exposición. <https://es.slideshare.net/MishCano/densidad-del-suelo-exposicion>
- Cerdas, R. (2011). Programa de fertilización de forrajes. Desarrollo de un módulo práctico para técnicos y estudiantes de ganadería de Guanacaste, Costa Rica. InterSedes: Revista de las Sedes Regionales, XII ( ) 109-128. Recuperado de <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=66622581007>
- CINCAE. (2014). Aspectos Técnicos sobre Cuarenta y Cinco Cultivos Agrícolas de Costa Rica. Dirección General de Investigación y Extensión Agrícola. Ministerio de Agricultura y Ganadería. San José, Costa Rica.
- Collazos, J. M. (2016). Una mirada al mundo de la agricultura y el desarrollo rural. La agricultura familiar en Colombia Estudios de caso desde la multifuncionalidad y su aporte a la paz.
- Córdova C. Zagal E. Hepp C. y Barattini P. (2014). Aspectos de la materia orgánica en suelos volcánicos del valle Simpson y su impacto en la transformación del azufre y del nitrógeno. 1era edición
- Cono Sur. 2021. Manual de Agricultura de Precisión. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111153/1/Muestreo-mapeo.pdf> (consultado en mayo del 2022).
- Conti, M. E. (2000). Dinámica de la liberación y fijación de potasio en el suelo. Informaciones Agronómicas del Cono Sur. INPOFOS, 8, 25-37.
- Copa R, (2014). Propiedades hidrofísicas y químicas del suelo para el mejoramiento del sistema de riego y su uso sostenible (centro rivera - rio desaguadero, altiplano central boliviano). [ Maestría ingeniera en riego]. Universidad mayor de san Andrés facultad de agronomía
- Corralea, M. C. G., Vargas-Arispuro, I., Vallejo-Cohén, S., & Martínez-Téllez, M. A. (2014). Deficiencia de azufre en suelos cultivables y su efecto en la productividad. *Biotecnia*, 16(1), 38-44.
- Chen, J. (2021, 9 noviembre). La función del zinc en el cultivo de plantas | PRO-MIX. PRO-MIX. Recuperado 7 de mayo de 2022, de

<https://www.pthorticulture.com/es/centro-de-formacion/lafuncion-del-zinc-en-el-cultivo-deplantas/#:%7E:text=El%20zinc%20o%20cinc%20activa,a%20resistir%20las%20bajas%20temperaturas.>

Cherlinka, V. (2023). Aireación del suelo: consejos de ejecución y mejora. EOS Data Analytics. <https://eos.com/es/blog/aireacion-del-suelo/>

Chuchuca P. (2014). algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento. fertilidad y las condiciones físicas. EEA y Bariloche.

Clirsen (1990) (Centro de Levantamientos Integrados de Recursos Naturales por Sensores Remotos); PRONAREG (Programa Nacional de Regionalización); I NERHI (Instituto Nacional Ecuatoriano de Recursos Hídricos); DINAC (Dirección Nacional de Avalúos y Catastros); SECS (Sociedad Ecuatoriana de la Ciencia del Suelo); Universidad Central del Ecuador. Manual para estudios de suelos. Quito, Ecuador.

Crespo, C. (2017, 29 noviembre). Metodología para determinar los parámetros hídricos de un suelo - PortalFruticola.com. [PortalFruticola.com. https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/11/30/metodologia-para-determinar-los-parametros-hidricos-de-un-suelo/](https://www.portalfruticola.com/noticias/2017/11/30/metodologia-para-determinar-los-parametros-hidricos-de-un-suelo/)

Dávila, M. (2004). Aptitud agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el sur de Tamaulipas, México. *Investigaciones geográficas*, (53), 58-74.

Duarte, O., & Gonzalez, J. (2009). Guía técnica del cultivo de caña de azúcar (1ra ed.). San Lorenzo Paraguay.

Fadda, G. 2010. Cartografía de suelos. Cátedra de edafología. Facultad de Agronomía y Zootecnia. Universidad Nacional de Tucumán Argentina, p1.

FAO 2015. Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS) – Resumen Técnico. Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura y Grupo Técnico Intergubernamental del Suelo, Roma, Italia

FAO. 2009. Guía para la descripción de suelos. disponible en <https://www.fao.org/3/a0541s/a0541s.pdf> (consultado en julio del 2022).

FAO 2006. Claves para la taxonomía de suelos. Trad. S. Ortiz y Ma. del C. Gutiérrez. 1 ed. en español. Departamento de Agricultura de los Estados Unidos, Servicio de Conservación de Recursos Naturales. p. 26-28.

- Fertilidad del suelo. (2022). AEFA. Recuperado 4 de junio de 2022, de <https://aefa-agronutrientes.org/fertilidad-del-suelo>
- Fertilidad Del Suelo: Cómo Mantenerla Y Recuperar Su Pérdida. (2021, marzo 6). <https://eos.com/es/blog/fertilidad-del-suelo/>
- Fernández, L y Rojas, N. 2006. Manual de técnicas de análisis de suelos aplicadas a la remediación de sitios contaminados. (En línea). Mx. Consultado el 12 de oct. 2015. Formato PDF. 37 <http://www2.inecc.gob>.
- Ferrera, R. y Alarcón, A. 2001. La microbiología del suelo en la agricultura sostenible. *Revista Ciencia Ergo Sum*. 8 (2):175- 183.
- Figuroa, J. (2004). Fijación biológica de nitrógeno. *Revista Científica UDO Agrícola*, 4(1), 1-20.
- Fischer, S., Wilckens, R., Vidal, I., Astete, P., & Maier, J. (2016). Respuesta de la achicoria (*Cichorium intybus* L.) a la aplicación de magnesio. *Chilean journal of agricultural & animal sciences*, 32(1), 3-11.
- Foth, H.D. 2007. Fundamentos de la ciencia del suelo. México. Tercera edición. Talleres de la compañía editorial continental, S. A. de C. V. Pág. 207, 208, 211.
- Gaete, H., Hidalgo, M. E., Neaman, A., & Ávila, G. (2010). Evaluación de la toxicidad de cobre en suelos a través de biomarcadores de estrés oxidativo en *Eisenia foetida*. *Química Nova*, 33, 566-570.
- Gacitua, e. M. V. (2005). Factores que influyen la dinámica del molibdeno en el sistema suelo-planta en andisoles del sur de Chile (Doctoral dissertation, UNIVERSIDAD DE LA FRONTERA).
- Gahona, P, 2023. "Caracterización física y química del suelo en la finca Callancas cantón Pindal". [tesis de ingeniera agrícola]. Universidad Nacional de Loja,
- García, M. (2005). Nutrición de maíz: requerimientos y absorción de nutrientes. *Informaciones agronómicas*, 48, 14-18.
- Gobierno autónomo descentralizado de Quinara, 2015. Plan de ordenamiento territorial de la parroquia Quinara. recuperado de [http://quinara.gob.ec/media/quinara/pdot\\_archivos/PDOT-QUINARA\\_FINAL\\_jdjjmyF.pdf](http://quinara.gob.ec/media/quinara/pdot_archivos/PDOT-QUINARA_FINAL_jdjjmyF.pdf)
- Gómez, V. B. (2014). El calcio y su asimilación por parte de las plantas. *Cannabis Magazine: La revista de los profesionales y amantes del cáñamo*, (125), 58-63.

- González, R. (2018). Agricultura - ¿Qué es? Historia y Tipos de Agricultura. <https://www.ecologiahoy.com/agricultura>
- González, V., & Pomares, F. (2008). La fertilización y el balance de nutrientes en sistemas agroecológicos. *Sociedad Española de Agricultura Ecológica, Madrid*.
- Guamán, D. (2023). Diseño de un plan de fertirrigación para el cultivo de mora de castilla (*Rubus glaucus b*), en el barrio Landangui, parroquia Malacatos, cantón y provincia Loja. [tesis para la obtención de ingeniero agrícola]. universidad nacional de Lpja.
- Hernandez, J. P., Diaz, E., & Cerana, J. (2018). Estimación del punto de marchitez permanente en suelos de la provincia de Entre Ríos.
- 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>. [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0377-94242013000200006](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0377-94242013000200006)
- Hurtado, J. (2014). Requerimientos y respuestas a la fertilización del maíz en suelos de sabanas ácidas de Colombia. *Informaciones Agronómicas de Hispanoamérica, 15(5)*.
- Infoagro. (2017, 13 julio). Nutrientes presentes en el suelo. Revista InfoAgro México. <https://mexico.infoagro.com/nutrientes-presentes-en-el-suelo/>
- INTAGRI. (2017). Los Factores de Formación del Suelo. Serie Suelos. Núm. 27. Artículos Técnicos de INTAGRI. México. 4 p.
- Intagri. (2012). Importancia del Azufre (S) en las Plantas | Intagri S.C. Recuperado 7 de mayo de 2022, de <https://www.intagri.com/articulos/nutricion-vegetal/importancia-del-azufre-s-en-las-plantas>
- INIAP, (2014). Clima, suelos, nutrición y fertilización de cultivos en el litoral ecuatoriano. Manual Técnico No. 26 Estación Experimental Tropical Pichilingue
- Jaramillo, D. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. (En línea). Medellín, disponible en <http://www.bdigital.unal.edu>. (consultado en junio del 2022)
- León, J; Arroyo, N. 2010. Información para discusión desarrollo histórico del sector agroindustrial de la caña de azúcares siglo XX: aspectos económicos, institucionales y tecnológicos

- Ligier H. 2014. La Cartografía de Suelos. INTA. Disponible en de <https://inta.gob.ar/documentos/la-cartografia-de-suelos> (consultado en junio del 2022)
- López G y Zamora A, (2016). Diagnóstico de la fertilidad del suelo en el área de investigación, innovación y desarrollo de la ESPAM- MFL. Tesis de ingeniero Agrónomo. Escuela Superior Politécnica Agropecuaria de Manabí Manuel Feliz López
- Lozano, Z., Hernández, R. M. H., Bravo, C., Rivero, C., & Delgado, M. (2012). Disponibilidad de fósforo en un suelo de las sabanas bien drenadas venezolanas, bajo diferentes coberturas y tipos de fertilización. *Interciencia*, 37(11), 820-827.
- Macas, K. (2021). "Efecto de los diferentes niveles de nitrógeno en el crecimiento del café en el cantón Loja". [título de ingeniero agrícola]. Universidad Nacional de Loja.
- Martín, B. D., Cairo, P. C., Sarmiento, M. M., & Ariles, P. T. (2004). Influencia de diferentes sistemas de manejo de la materia orgánica sobre el estado estructural y la consistencia del suelo. *Centro Agrícola*, 31(3-4), 5.
- Mendoza R. y Espinoza A. 2017. Guía Técnica para Muestreo de Suelo. Primera edición. Aeroterra S.A. 2021. ¿Qué es SIG? | Sistemas de Información Geográfica. Disponible en <https://www.aeroterra.com/es-ar/que-es-gis/introduccion> (consultado el junio del 2022)
- Méndez, Juan Carlos & Bertsch, Floria. (2012). Guía para la interpretación de la fertilidad de los suelos de Costa Rica.
- Mite, J, 2005. Curva de Absorción de Nutrientes del Cultivo de Caña de Azúcar en el Valle de Cantarranas, Compañía Azucarera Tres Valles, Francisco Morazán, Honduras. [tesis de ingerio agronomo].
- Ministerio de Agricultura, (2022). geoportal de Agro Ecuatoriano. Recuperado de <http://geoportal.agricultura.gob.ec/>
- Molina, E. (2017). Análisis de suelos y su interpretación. Centro de investigaciones agronómicas. <http://www.infoagro.go.cr/Inforegiones/RegionCentralOriental/Documentos/Suelos/SUELOS-AMINOGROWanalisisinterpretacion.pdf>
- Morales, F 2021. Agricultura. Economipedia. disponible en <https://economipedia.com/definiciones/agricultura.html#:~:text=La%20agricultura%20es%20el%20conjunto,de%20alimento%20del%20entorno%20natural>. (consultado en junio del 2022)



- Navarro, G. Navarro, S. (2014). Fertilizantes: química y acción, editorial paraninfo, pág 7.
- Novoa, M. A., Miranda, D., & MELGAREJO, L. (2018). Efecto de las deficiencias y excesos de fósforo, potasio y boro en la fisiología y el crecimiento de plantas de aguacate (*Persea americana*, cv. Hass). *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 12(2), 293-307.
- Ochoa L. (2010). Evaluación multicriterio y aptitud agroclimática del cultivo de caña de azúcar en la región Huasteca (México). *Ciencia y tecnología agropecuaria*, 11(2), 144-154p
- Olaya V. (2020). Sistemas de información geográfica. Recuperado de [http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Introduccion\\_fundamentos.html](http://volaya.github.io/libro-sig/chapters/Introduccion_fundamentos.html)
- Ogras, V., León, L., Pacosaca, O., & Castro, E. (2013). Evaluación de la fertilidad de los suelos para la producción sostenible de quinua. *T'inkazos. Revista Boliviana de Ciencias Sociales*, 33, 89-112.
- Otiniano, A. J., Meneses-Florián, L., Blas, R., & Bello-Amez, S. (2006). LA MATERIA ORGÁNICA, IMPORTANCIA y EXPERIENCIA DE SU USO EN LA AGRICULTURA. *Idesia*, 24(1). <https://doi.org/10.4067/s0718-34292006000100009>
- Oñate Zúñiga, L. A. (2016). Duración de las etapas fenológicas y profundidad radicular del cultivo de maíz (*Zea mays*) var. Blanco harinoso *criollo*, bajo las condiciones climáticas del cantón Cevallos (Bachelor's thesis).
- Padilla, W. 2007. Fertilización de suelos y nutrición vegetal. Quito, EC. Clínica Agrícola. Agrobiolab. p 327.
- Pineda-Pineda, J., Sánchez del Castillo, F., Ramírez-Arias, A., Castillo-González, A. M., Valdés-Aguilar, L. A., & Moreno-Pérez, E. D. C. (2012). Aserrín de pino como sustrato hidropónico. I: Variación en características físicas durante cinco ciclos de cultivo. *Revista Chapingo. Serie horticultura*, 18(1), 95-111.
- Prefectura provincial de Loja, 2015. Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial de la provincia de Loja. Recuperado de <https://www.loja.gob.ec/contenido/plan-de-desarrollo-y-ordenamiento-territorial>
- Programa Cooperativo para el Desarrollo Tecnológico Agroalimentario y Agroindustrial del Cono Sur. 2021. Manual de Agricultura de Precisión. Disponible en <https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/111153/1/Muestreo-mapeo.pdf> (consultado en mayo del 2022).

- Reynaldo B, Mendoza C y Espinoza A, (2017). Guía técnica para el muestreo del suelo. 1era edición. <https://repositorio.una.edu.ni/3613/1/P33M539.pdf>
- Ríos, K. (2016). Determinación de la calidad del suelo, mediante la caracterización física, química y biológica, para proponer un plan de recuperación de suelos en la comunidad Sacha Runa, parroquia Shell, cantón Mera, provincia de Pastaza. Universidad Nacional de Loja. (esta incompleta, es libro tesis, etc
- Rizo, E. (2019, 25 septiembre). Fertilización adecuada de cultivos - Hortalizas. Hortalizas. <https://www.hortalizas.com/nutricion-vegetal/fertilizacion-adecuada-de-cultivos/>
- Romera, S. & Santos S. (2017). infiltración y humedad del suelo. En A. García (Ed.), Desafíos ambientales del siglo XXI (pp. 45-67).
- Ross, M. (2004). Importancia del magnesio para altos rendimientos sostenibles en palma de aceite. *Palmas*, 25(especial,), 98-104.
- Rucks, L, F García, A Kaplán , J Ponce de León , y M Hill. (2009). «Propiedades Físicas del Suelo.». <http://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
- Salcedo-Pérez, E., Galvis-Spinola, A., Hernández-Mendoza, T. M., Rodríguez-Macias, R., Zamora-Natera, F., Bugarin-Montoya, R., & Carrillo-González, R. (2007). La humedad aprovechable y su relación con la materia orgánica y superficie específica del suelo. *Terra Latinoamericana*, 25(4), 419-425.
- Sánchez, H. (2022). Informe técnico de producción y cosecha de maíz agosto de 2022. Centro Binacional de Formación Técnica Zapotepamba. Universidad Nacional de Loja
- Sánchez, J. (2014). Bases para el manejo del cultivo del maíz. INTA, Buenos Aires.
- Sadeghian, 2012. Efecto de los cambios en las relaciones de calcio, magnesio y potasio intercambiables en suelos de la zona cafetera colombiana sobre la nutrición de café (*Coffea arabica* L.) en la etapa de almácigo. [Doctor en ciencias agrarias]. Universidad nacional de Colombia.
- Sela, I. E. G. (2021). Los nutrientes esenciales de las plantas. *Cropaia*. 39 <https://croipaia.com/es/blog/nutrientes-de-plantas/>
- Sela, I. E. G. (2021, 12 enero). El cobre en las plantas. *Cropaia*. Recuperado 7 de mayo de 2022, de <https://croipaia.com/es/blog/cobre-en-las-plantas>
- Servicio de Conservación de Recursos Naturales del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA-NRCS). (2010). *Soil Taxonomy: A Basic System of Soil*

Classification for Making and Interpreting Soil Surveys (Agriculture Handbook No. 436).

Sigcho, 2020. CURVA DE ABSORCIÓN DE NUTRIENTES DEL CULTIVO DE MAÍZ (Zea mays), EN SUELOS ENTISOLES DE PUERTO INCA, NARANJAL – ECUADOR. [ tesis de ingeniero agrónomo]. Universidad Agraria del Ecuador.

SIGTierras (2017), Sistema Nacional de Información y Gestión de Tierras Rurales e Infraestructura Tecnológica. Mapa Digital, Órdenes de Suelos del Ecuador. Escala 1:4 300.000. Quito, Ecuador.

SIGTierras. (2014). Levantamiento de Cartografía temática a escala 1:25000, lotes 1 y 2, velocidad de infiltración. Versión 5.1. recuperado a partir de [http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Velocidad\\_infiltracion\\_10052016.pdf](http://metadatos.sigtierras.gob.ec/pdf/Velocidad_infiltracion_10052016.pdf)

Sociedad Americana de la ciencia del suelo (2018). Glossary of Soil Science Terms. Disponible en: [www.soils.org](http://www.soils.org). F

Tecnología, P. (2021, 14 septiembre). Importancia de los nutrientes esenciales en las plantas. ProainShop. Recuperado 5 de junio de 2022, de <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/importancia-de-los-nutrientes-esenciales-en-las-plantas>

Tecnología, P. (2020, 14 octubre). LA HUMEDAD DEL SUELO EN LA AGRICULTURA. ProainShop. <https://proain.com/blogs/notas-tecnicas/la-humedad-del-suelo-en-la-agricultura>

Thompson, L.M. (2006). Los Suelos y su fertilidad. España: Reverté

Thompson, L. M., & Troeh, F. R. (2021). Los suelos y su fertilidad. Reverté.

Tobón J. 2003. HIDROLOGÍA DE LA ZONA VADOSA EN LA TERRAZA DE LLANOGRANDE (RIONEGRO – ANTIOQUIA). [tesis para el título de magister en Aprovechamiento de Recursos Hidráulicos]. Universidad Nacional de Colombia.

Torris, S., Urricatiet, A. S., & Lavado, R. (2015). Micronutrientes. En: Fertilidad de suelos y fertilización de cultivos. (García F y Echeverría H. Ediciones INTA, Vol. 1).

<https://www.slideshare.net/Shvana/micronutrientes-en-fertilidad-de-suelos-y-fertilizacin-de-cultivos>

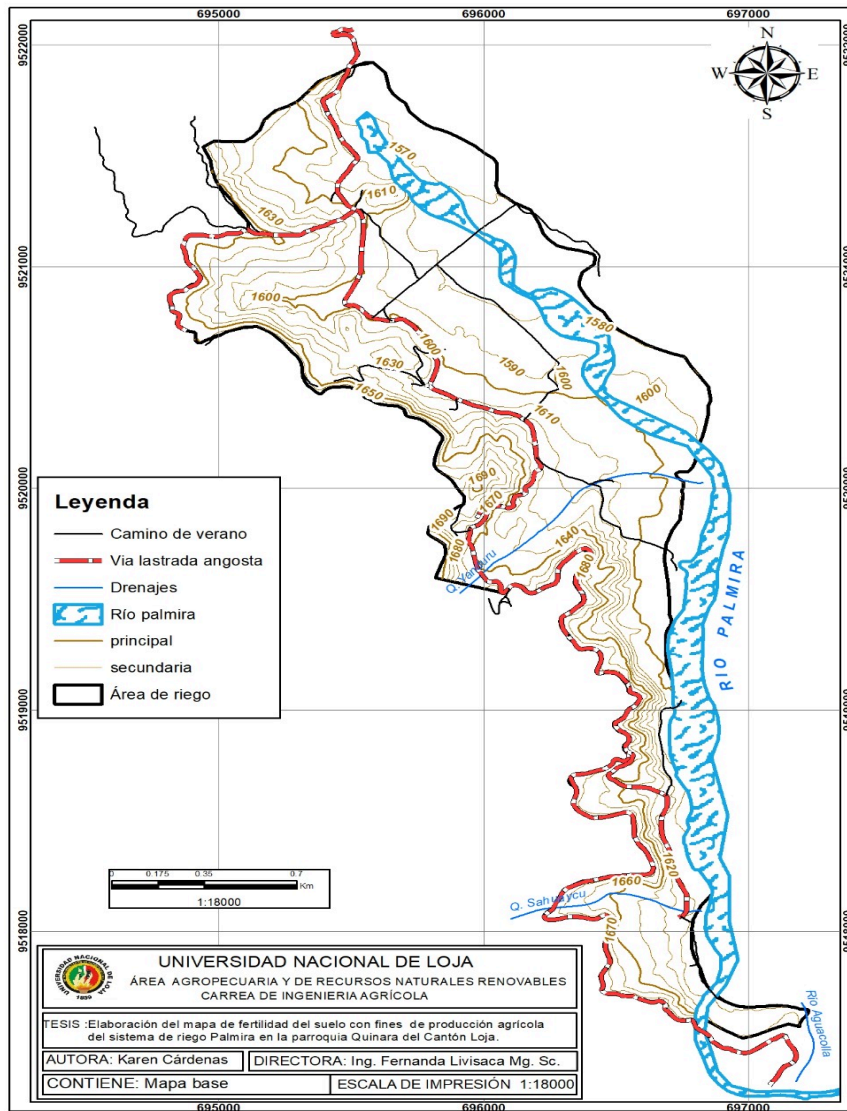
Traxco. (2015, 16 abril). Fertilización: aportar a la planta los nutrientes necesarios. <https://www.traxco.es/blog/labores-del-campo/fertilizacion>

- Valarezo, C., Iñiguez, M., Valarezo, L., y Guaya, P. (1998). Condiciones físicas de los suelos de la región sur del Ecuador, Loja: Gráficas Cosmos
- Valarezo L, Valarezo C, y Mancino M. (2020). PRODUCCION AGROPECUARIA SOSTENIBLE EN SUELOS ARCILLOS DEL PISO TEMPERADO ANDINO DEL SUR DEL ECUADOR, caso sistema de riego Santiago..EDILOJA Cía.Ltda
- Vargas C. (2012). CARACTERIZACIÓN FÍSICO-QUÍMICA DE SUELOS EN PLANTACIONES DE *Pinus radiata* EN ACOSA, PARROQUIA LASSO, CANTÓN LATACUNGA, PROVINCIA DE COTOPAXI. [tesis para la obtencion del titulo de ingenieria forestal]. Escuela Politécnica de Chimborazo.
- Venegas, A .2008. Caracterización de la materia orgánica de suelos de praderas naturales y cultivadas de la ix región. (En línea). Chile. Formato PDF. Disponible en <http://www.tesis.uchile.cl>.
- Vega V. (2011). Diseño de un sistema de riego a gravedad. [ tesis de ingeniero civil]. Universidad San Francisco de Quito.
- Velasco-Velasco, J. (2018). Los biofertilizantes y la caña de azúcar (*Saccharum spp.*). Agro Productividad, 7(2). Recuperado a partir de <https://revista-agroproductividad.org/index.php/agroproductividad/article/view/516>
- Villarreal, J. E. (2018). Mapas de fertilidad como herramienta para zonificación de suelos en Panamá. 8.
- Yara Ecuador, (2021). resumen nutricional y requerimientos del cultivo de caña: recuperado de <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/cana-de-azucar/gestion-de-suelos-y-agua-en-cana-de-azucar/#:~:text=Por%20lo%20tanto%2C%20un%20cultivo,suficiente%20para%20germinar%20y%20crecer.>
- Yara Ecuador, (2018). Resumen nutricional del maíz. Recuperado de <https://www.yara.com.ec/nutricion-vegetal/maiz/resumen-nutricional/>

# 11. Anexos

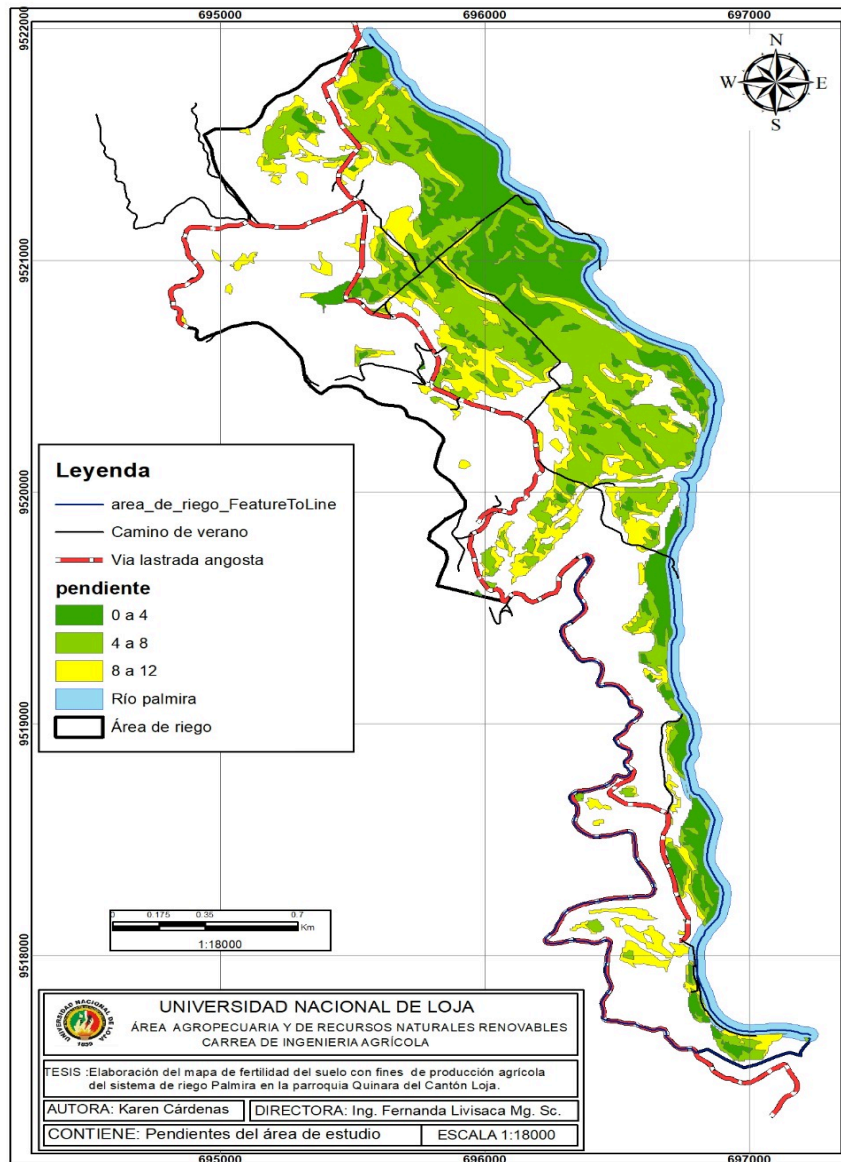
## Anexo 1.

Mapa base del sistema de riego Palmira.



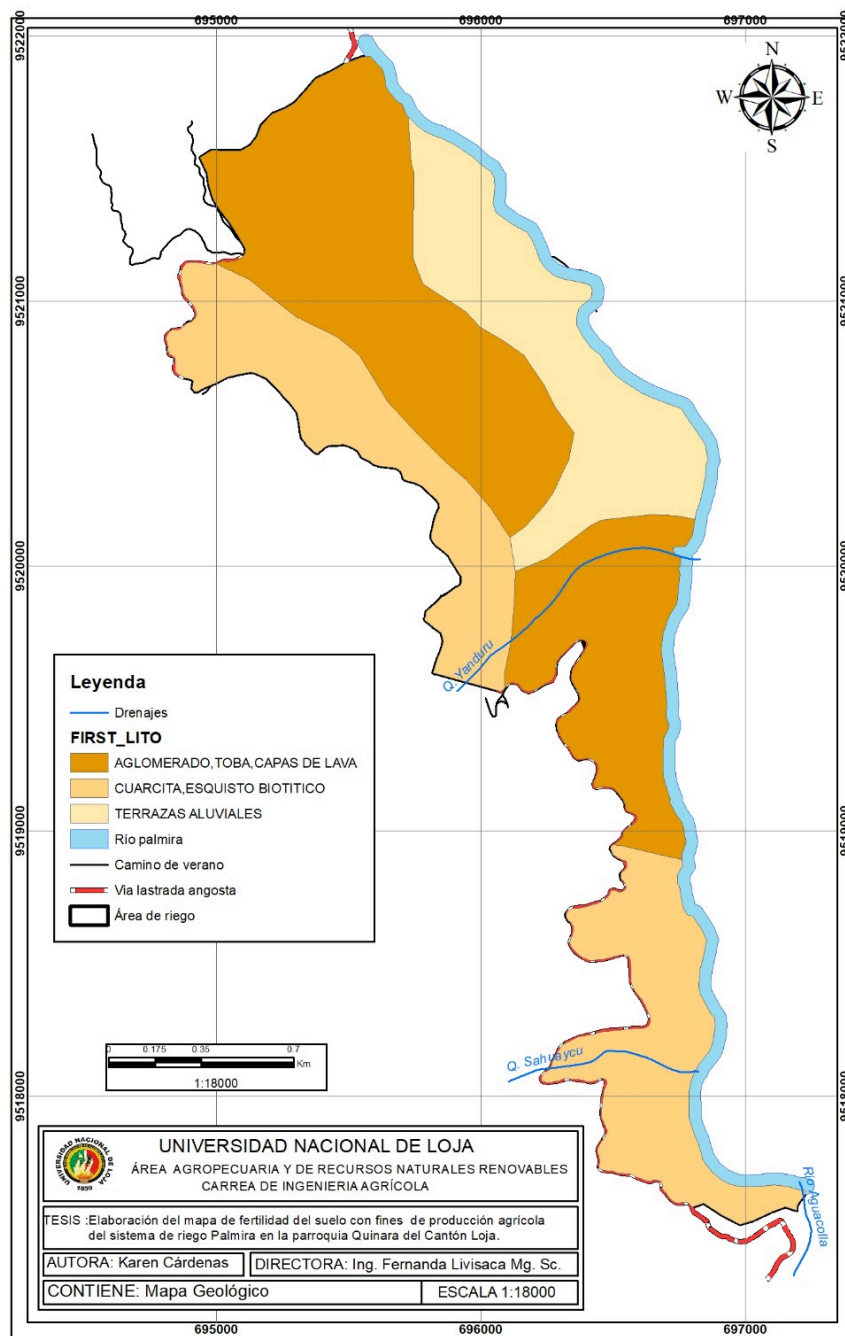
## Anexo 2.

Mapa de pendientes del Riego la Palmira.



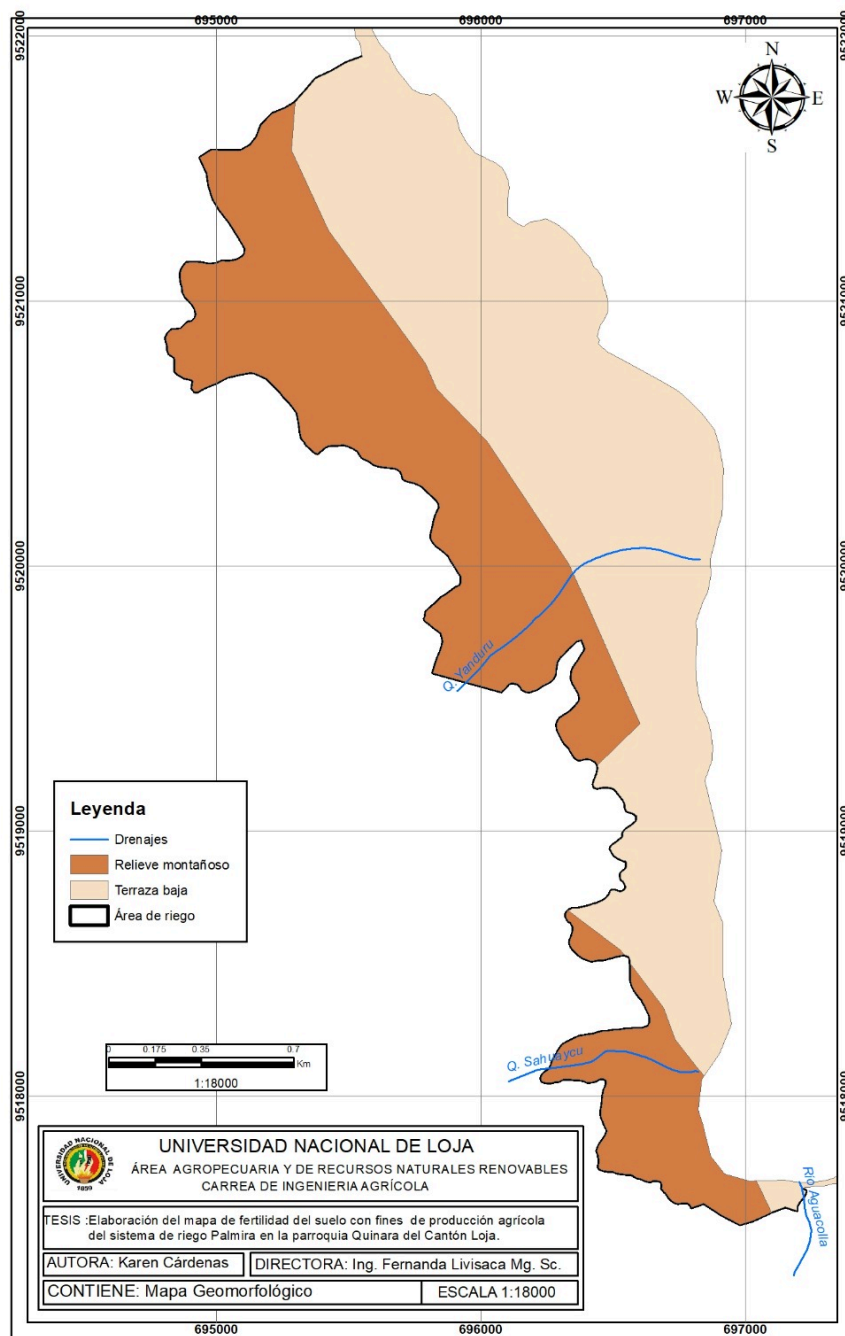
### Anexo 3.

Mapa geológico del sistema de riego la Palmira.



#### Anexo 4.

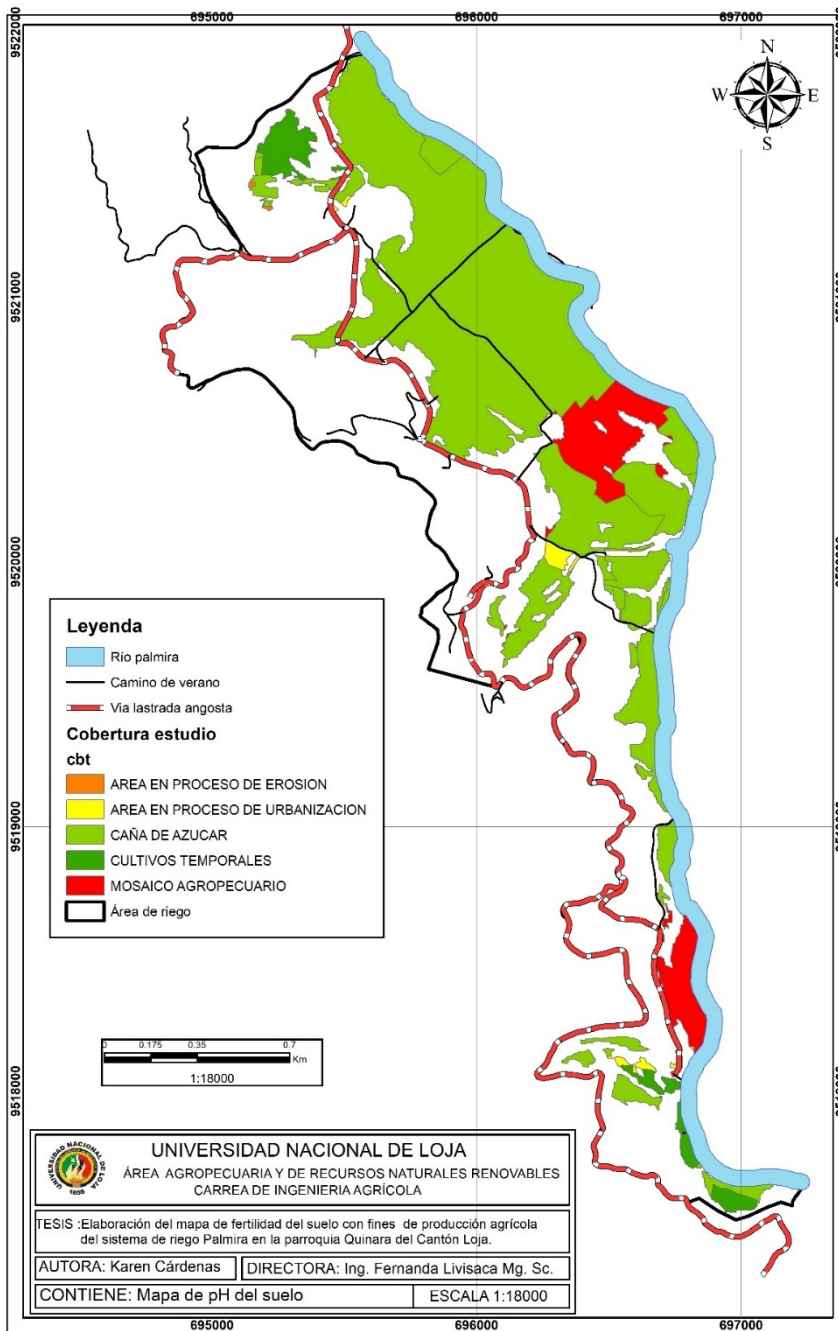
Mapa geomorfológico del sistema de riego la Palmira.





## Anexo 5.

Mapa de cobertura de uso de suelo del sistema de riego la Palmira.



**Anexo 6.**

Descripción general de los 7 perfiles del suelo.

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

**AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.**

**“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja”**

**FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS.**

**Código:** 001, **Fecha:** 18-11-2022, **autor:** Karen Cárdenas, **sitio:** La palmira

**Altitud (m.s.n.m.):** 1593.96 **coordenadas:** 695699.75 E 9521630.05 N

**Paisaje:** pie de monte, **tipo de relieve:** vertiente cresta, **forma del terreno:** pendiente ligeramente inclinada.

**Pendiente:** 0-4%

**Uso actual:** maíz

**Condiciones de humedad:** húmedo, **pedregosidad:** 0%, **tamaño** cm

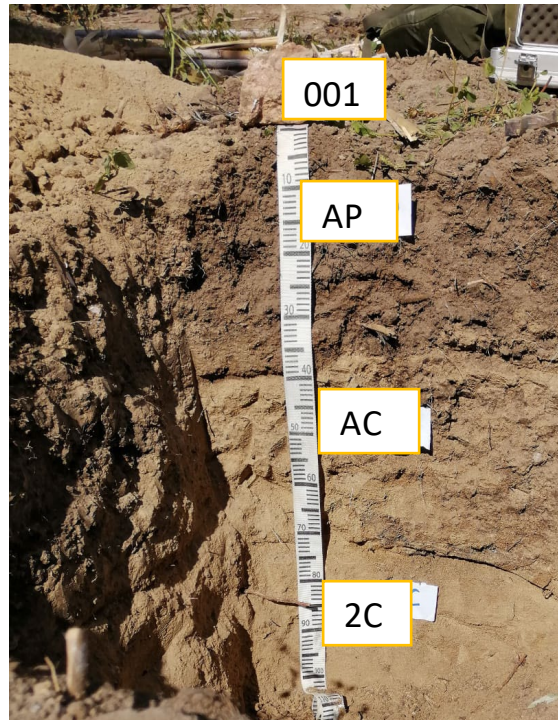
**Afloramientos rocosos:** 1%, **tipo material paretal:** cuarcita, esquitos biotítico

**Profundidad de la capa freática:** no, **fluctuación:** no cm

**Presencias de sales o álcalis:** no

**Drenaje:** bueno

**Erosión:** ligera hídrica.



Suelo genéticamente formado por un horizonte AP, AC Y 2C; desarrollado por dos estratos el primer depósito de origen aluvio coluvial y un segundo depósito de textura arenoso y suelto, tiene un buen drenaje y las raíces alcanzan hasta los 60 cm de profundidad.

### **DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS HORIZONTES 001.**

AP 00-35 cm      Color pardo grisáceo oscuro (10yr 4/2) húmedo y su color en seco pardo grisáceo (10yr 5/2), no presenta manchas de color, su estructura es de grado débil, tipo bloques subangulares finos de tamaño medio, con una textura franco arcillosa al tacto. Es adherente, plástico y su cohesión es firme, contiene muchos poros y su diámetro está en finos y medio. Las raíces que presenta son comunes con una cantidad finas a medias. El límite de ancho del horizonte es brusco con su topografía ondulada.

AC 35-65 cm      Este horizonte se compone en un 50% de color pardo amarillento oscuro (10yr 4/3) y el otro 50% de color pardo grisáceo en húmedo, no presenta manchas de color, su estructura es de grado débil, tipo de bloques subangulares finos y de tamaño fino, con una textura franco arcillosa al tacto. Es adherente, plástico y su cohesión es firme, contiene muchos poros con diámetro fino y

medio. Las raíces que presenta son pocas con una cantidad de finas. El límite de ancho del horizonte es neto con su topografía plano.

2C 60-110 cm Color amarillo (10yr 8/6) en húmedo, su color en seco es marrón muy pálido (10yr 8/3), no presenta manchas de color, no tiene estructura con una textura arenosa al tacto. No es adherente, no plástico con una cohesión suelta, sus poros son medias con un diámetro medio. El límite de ancho del horizonte es neto con su topografía plano.

## **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

### **AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.**

**“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja”**

#### **FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS.**

**Código:** 002, **Fecha:** 18-11-2022, **autor:** Karen Cárdenas, **sitio:** La palmira

**Altitud (m.s.n.m.):**1567.87 **coordenadas:** 696036.22 E 9521014.06 N

**Paisaje:** pie de monte, **tipo de relieve:** vertiente cresta, **forma del terreno:** pendiente media.

**Pendiente:** 6-12%

**Uso actual:** Caña

**Condiciones de humedad:** húmedo, **pedregosidad:** 0%, **tamaño** cm

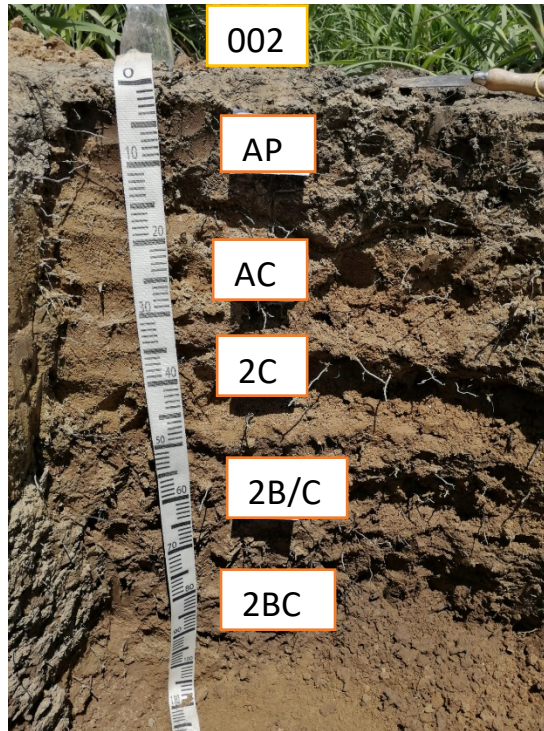
**Afloramientos rocosos:** 1%, **tipo material paretal:**

**Profundidad de la capa freática:** no, **fluctuación:** no cm

**Presencias de sales o álcalis:** no

**Drenaje:** bueno

**Erosión:** ligera hídrica.



### DESCRIPCION GENERAL DEL PERFIL

Un horizonte con una profundidad efectiva de 35cm presenta 5 horizontes, con un drenaje bueno y una erosión hídrica ligera, el horizonte AP de 00-15cm es de textura media presenta raíces y tiene una estructura moderada. El horizonte AC 15-35cm presenta dos colores sin manchas su estructura es débil y contiene fragmentos rocosos, 2C 35-55 sin estructura, su textura es media presenta fragmentos rocosos y carbonatos que reaccionan al HCL, el horizonte 2B/C 55-85 cm presenta dos colores, su estructura es débil, contiene muchos poros, el ultimo horizonte 2BC 85-110 cm no presenta manchas de estructura grado débil y presenta muchos poros.

### DESCRIPCIÓN GENERAL DE LOS HORIZONTES 002.

AP 00-15cm	Color pardo oscuro (10yr 3/3) en húmedo, no presenta manchas. Si estructura es de grado moderado con bloques subangulares de tamaño fino-medio. Con una textura arcillo limoso al tacto. Es adherente, plástico con una cohesión firme, contiene muchos poros con un diámetro finos y medios. Las raíces son de tamaño finas y medias, cantidad comunes. El límite de ancho del horizonte es brusco con una topografía ondulada.
AC 15-35 cm	Este horizonte se compone en un 50% de color marrón amarillento oscuro (10yr 5/4) y el otro 50% de color marrón oscuro (10yr 3/4) en húmedo, no presenta manchas de color, su estructura es de grado débil, tipo de bloques subangulares y de

tamaño fino y medios, con una textura franco arcillosa arenoso al tacto. Es adherente, plástico y su cohesión es friable, contiene muchos poros con diámetro fino y medio. Contiene fragmentos rocosos abundancia 1% grava, tamaño 1cm y su forma es angular. Las raíces que presenta son comunes con una cantidad de finas y medias. El límite de ancho del horizonte es brusco con su topografía ondulado.

2C 35-55 cm Color marrón amarillento (10yr 5/4) en húmedo, sin estructura, con una textura franco arenoso al tacto. Es ligeramente adhesivo, ligeramente plástico y una cohesión muy friable, con una cantidad de poros muchas y su diámetro de finos y medios. Presenta fragmentos rocosos muy pocas con un tamaño de 3cm y su forma angular. Presencia de carbonatos forma de nódulos reacción al HCl. Las raíces que presenta son comunes de tamaño finos y medios. El límite de ancho del horizonte es plano con su topografía neto.

2B/C 55-85 cm Este horizonte se compone en un 50% de color café (10yr 4/3) y el otro 50% de color marrón amarillento (10yr 5/4) en húmedo, no presenta manchas de color, su estructura es de grado débil, tipo de bloques subangulares y de tamaño fino y medios, con una textura arcillosa limosa al tacto. Es adherente y plástico, contiene muchos poros con diámetro fino y medio.

2 BC 85-110 cm Color pardo oscuro (10yr 3/3) en húmedo, no presenta manchas de color, su estructura es de grado débil desarrollado a masivo con una textura arcillo limosos al tacto. Es muy adherente y plástico, contiene muchos poros con diámetro fino y medios.

## **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

### **AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.**

**“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja”**

#### **FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS.**

**Código:** 003, **Fecha:** 07-11-2022, **autor:** Karen Cárdenas, **sitio:** La palmira

**Altitud (m.s.n.m.):** 1578.88 **coordenadas:** 696036.22 E 9521014.06 N

**Paisaje:** planicie, **tipo de relieve:** vertiente cresta, **forma del terreno:** ondulado.

**Pendiente:** 4-8%

**Uso actual:** caña

**Condiciones de humedad:** seco, **pedregosidad:** 0%, **tamaño** cm

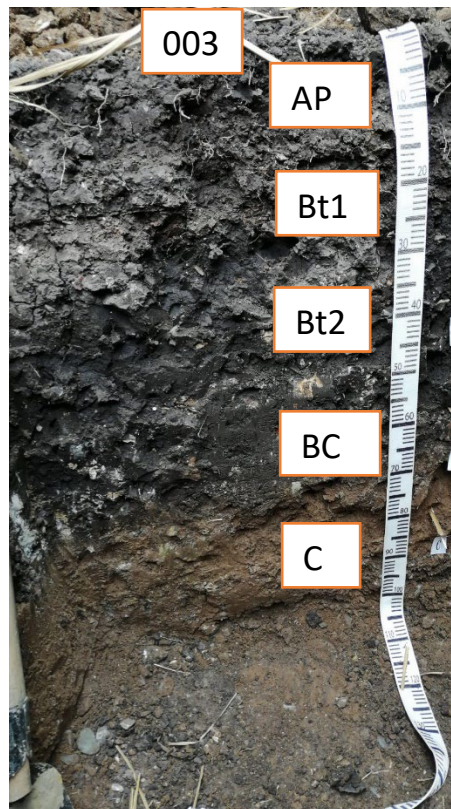
**Afloramientos rocosos:** , **tipo material paretal:** aluvial

**Profundidad de la capa freática:** no, **fluctuación:** no cm

**Presencias de sales o álcalis:** no

**Drenaje:** moderado

**Erosión:** moderado hídrica.



### DESCRIPCION GENERAL DEL PERFIL

Perfil con una profundidad efectiva de 65 cm, presenta drenaje moderado y una erosión hídrica laminar ligera. Compuesto de cinco capas con disposición de un horizonte Ap, Bt1, Bt2, BC, C. El Horizonte Ap de 0-20 cm con estructura de media a gruesa con textura arcillosa y raíces gruesas a medias y mínima presencia de gravas; el horizonte Bt1 de 20-40 cm presencia reducida de gravas; el horizonte Bt2 de 40- 60 cm con frecuentes raíces, el horizonte BC de 60-90 cm sin presencia de fragmentos rocosos y un horizonte C de 10 cm con estructura masiva.

## DESCRIPCION DE LOS HORIZONTES

- AP 00-20 cm** Color **pardo grisáceo oscuro** en húmedo (10 YR 3/2); Arcilloso al tacto; bloques subangulares medios a gruesos, fuertemente desarrollados; ligeramente adherente en mojado, muy plástico y muy firme en húmedos y extremadamente duro en seco; cutanes, continuos y delgados; poros muchos y frecuentes; restos de actividad humana, ladrillo, teja; fragmentos rocosos, pocos 0,2 a 7,5 cm angulares; sin reacción al HCl diluido; raíces, medias a gruesas, comunes; límite neto y plano
- Bt 20-40cm** Marrón Rojizo en húmedo (10YR 3/3); Arcilloso al tacto; Bloques subangulares medios a gruesos; muy adherente, muy plástico y muy firme en mojado, y extremadamente duro en seco; cutanes, continuos y delgados; poros muchos, finos y muy finos; fragmentos rocosos, angulares pocos de 0,2 a 7,5 cm; sin reacción al HCl; raíces, finas, pocas; límite neto y plano.
- Bt2 40-60cm** Negro Rojizo (10YR 2/1), Franco Arcilloso al tacto, Bloques subangulares medios a gruesos; muy adherente y plástico en mojado, duro en seco y firme en húmedo; cutanes, continuos y delgados; poros frecuentes y muchos, finos a medianos; restos de actividad humana, ladrillo; fragmentos rocosos, angulares pocos de 5 a 15 %; sin reacción al HCl; no tiene presencia de raíces; límite neto y plano.
- BC 60-90cm** Naranja (10YR 6/4), Franco Arcilloso al tacto, Bloques Subangulares débiles a masivo; adherente y plástico en mojado, y firme en húmedo; no contiene cutanes; poros muchos finos y muy finos; sin presencia de fragmentos rocosos; sin reacción al HCl; raíces finas a muy finas; límite neto y plano.
- C 90-100cm** Café (7,5YR 4/4), Franco Arenoso, masivo; adherente y plástico en mojado, y poco firme en húmedo; no contiene cutanes; poros muchos medios a finos; fragmentos rocosos, frecuentes gravas de 0,2 a 7,5 cm redondas y planas; sin reacción al HCl; no tiene presencia de raíces; límite neto y plano.

UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.



**“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja”**

**FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS.**

**Código:** 004, **Fecha:** 07-11-2022, **autor:** Karen Cárdenas, **sitio:** La palmira

**Altitud (m.s.n.m.):** 1574.47 **coordenadas:** 695889.25 E 9520916.7 N

**Paisaje:** planicie, **tipo de relieve:** terraza alta, **forma del terreno:** ondulación.

**Pendiente:** 0-4%

**Uso actual:** caña

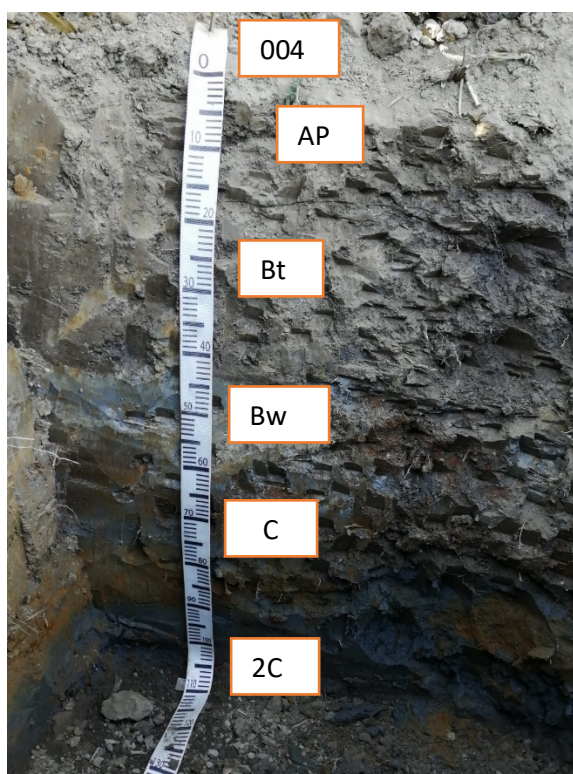
**Condiciones de humedad:** seco, **pedregosidad:** 0%, **tamaño** cm

**Afloramientos rocosos:** ----- **tipo material paretal:** aluvial

**Profundidad de la capa freática:** no, **fluctuación:** no cm

**Presencias de sales o álcalis:** no

**Drenaje:** pobre



**DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL.**

Suelo Aluvial constituido por 5 horizontes, el horizonte Ap de 15 cm, con un color pardo grisáceo de textura arcillo limoso con raíces pocas y comunes, el segundo horizonte Bt de 15 cm, color marrón oliva de textura franco limosa con pocas raíces finas y muy finas, tercer

horizonte Bw de 15cm con un color marrón de textura franco arcillosa con raíces comunes medias finas y muy finas, cuarto horizonte C de 40 cm, color Gris de textura franco arcillo limoso con pocas raíces y finas, quinto horizonte 2C de 25 cm con un color gris oscuro de textura franco arcillo limosa con muy pocas raíces y finas.

### **DESCRIPCION GENERAL DE LOS HORIZONTES 003**

- AP 00-15cm** Pardo grisáceo (2,5 Y 5/2) en húmedo, marrón oliva (2,5 Y 4/3) en seco; Arcillo Limoso al tacto; con pocas manchas de color pequeñas indistintas y difusas; bloques subangulares gruesos y continuos débilmente desarrollados; adherente, firme, plástico en mojado y duro en seco; poros frecuentes y finos de 1-2 mm; sin reacción al HCL diluido; raíces finas pocas y comunes.
- Bt 15-30 cm** Marrón oliva (2,5 Y 4/3) en húmedo, marrón fuerte (7,5 YR 5/6) en seco; Franco limoso al tacto; con pocas machas de color pequeñas indistintas y netas; bloques subangulares finos a medios moderadamente desarrollados; adherente, plástico en mojado y firme en seco; cuantiles continuos y delgados; poros muchos y finos; sin reacción al HCL diluido; con pocas raíces finas y muy finas.
- Bw 30-45 cm** Marrón (2,5 Y 4/4) en húmedo, blanco (Gley 1 8/N) en seco; Franco arcilloso al tacto; con pocas manchas de color pequeñas destacadas y netas; bloques subangulares finos a gruesos moderadamente desarrollados; adherente, plástico en mojado y suelto y friable en seco; poros muchos finos y medios; sin reacción al HCL diluido; raíces medias muy finas y comunes; con un límite de horizonte neto y plano.
- C 45-85 cm** Gris (2,5 Y 4/4) en húmedo, rojo amarillento (5 YR 5/8) en seco; Franco arcillo limoso al tacto; con muchas manchas de color medias a grandes, destacadas y bruscas; masivo; adherente, plástico en mojado y firme en seco; poros muchos finos y medios; sin reacción al HCL diluido; raíces finas y muy pocas.
- 2C 85-110 cm** Gris oscuro (Gley 1 4/N) en húmedo, marrón amarillento en seco; Franco arcillo limoso al tacto; ligeramente adherente, ligeramente plástico en mojado y firme en seco; poros muchos y finos; pocas

fragmentos rocosos con gravas y planas; sin reacción al HCL diluido; con raíces muy finas y muy pocas.

## UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

### AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja”

#### FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS.

**Código:** 005, **Fecha:** 07-11-2022, **autor:** Karen Cárdenas, **sitio:** La palmira

**Altitud (m.s.n.m.):** 1590.71 **coordenadas:** 696405.96 E 9520562.71 N

**Paisaje:** planicie, **tipo de relieve:** terraza aluvial, **forma del terreno:** terraza.

**Pendiente:** 4-8%

**Uso actual:** pastos

**Condiciones de humedad:** seco, **pedregosidad:** 0%, **tamaño** cm

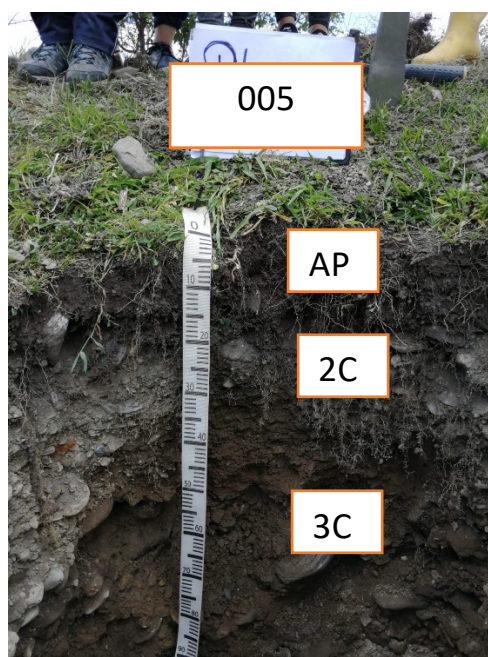
**Afloramientos rocosos:** , **tipo material paretal:** aluvial

**Profundidad de la capa freática:** no, **fluctuación:** no cm

**Presencias de sales o álcalis:** no

**Drenaje:** bueno

**Erosión:** ligera hídrica.



## DESCRIPCION GENERAL DEL PERFIL 005

Suelo aluvial constituido por tres capas, la capa Ap de 15 cm, de textura media a gruesa y abundantes raíces, la segunda 2C textura gruesa con gran cantidad de material mineral redondeado, angular y plano de 0,2 a 25 cm de diámetro. La tercera capa 3C de textura gruesa (arena suelta) mezclada con grava. Presencia de un 30% de piedra de 7.5 a 25 cm a partir del segundo horizonte. Con el mismo material mineral que el anterior horizonte.

### DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES

- AP 00-15 cm** Marrón oscuro en húmedo (10 YR 3/4); Arenoso Franco al tacto; bloques subangulares finos y medios, débilmente desarrollados; no adherente y no plástico en mojado, friable en húmedo, suelto en seco; poros muchos, finos y medios; fragmentos rocosos, muy pocos 0.2 a 7,5 cm redondos, angulares y planos; raíces, finas y medias, abundantes, limite neto y plano.
- 2C 15-40cm** Sombra oscuro media de marrón en húmedo (10YR 4/4); Arenoso, sin estructura; no adherente y no plástico en mojado, y suelto en húmedo; poros muchos, medios y gruesos; fragmento rocosos, redondos, angulares y planos frecuentes de 0,2 a 25 cm; raíces, muchas, finas y muy finas; limite gradual y plano
- 3C 40-80cm** Sombra oscuro media de marrón en húmedo (10YR 4/4); Arena gruesa, sin estructura; no adherente y no plástico en mojado, y suelto en húmedo; poros muchos, finos y muy finos; fragmentos rocosos, redondos, angulares y planos frecuentes de 0,5 a >25 cm; raíces, muy pocas, muy finas.

## UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA

### AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.

**“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja”**

### FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS.

**Código:** 006, **Fecha:** 07-11-2022, **autor:** Karen Cárdenas, **sitio:** La palmira

**Altitud (m.s.n.m.):**1593.53 **coordenadas:** 696668.14 E 9519675.47 N

**Paisaje:** valle, **tipo de relieve:** terraza aluvial, **forma del terreno:** ondulado.

**Pendiente:** 0-4%

**Uso actual:** caña

**Condiciones de humedad:** seco, **pedregosidad:** 0%, **tamaño** cm

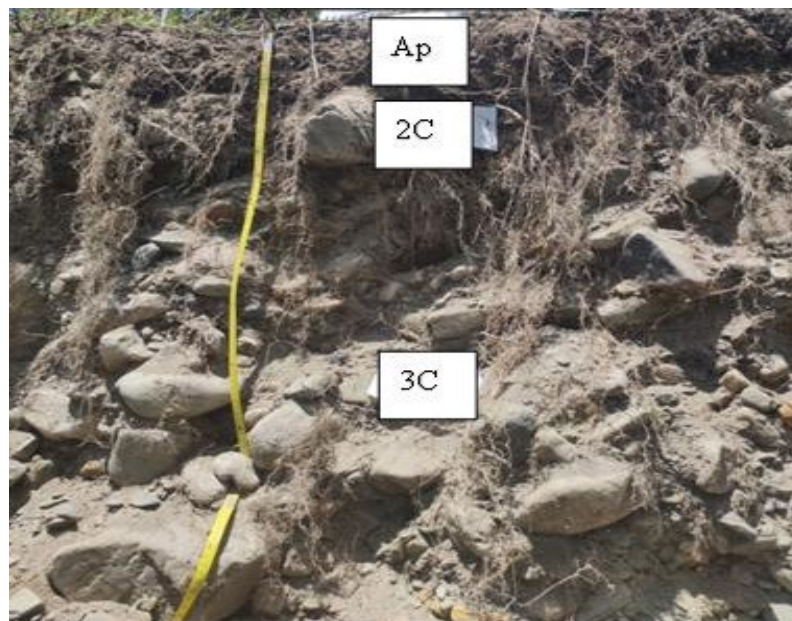
**Afloramientos rocosos:** , **tipo material paretal:** fluvial

**Profundidad de la capa freática:** no, **fluctuación:** no cm

**Presencias de sales o álcalis:** no

**Drenaje:** excesivo

**Erosión:** ligera hídrica



### **DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PERFIL 006**

Suelo fluvial constituido por tres capas, la capa Ap de 20 cm, color gris pardusco claro, de textura arenoso franco con abundantes raíces finas y muy finas, la segunda 2C de 10 cm, color pardo grisáceo oscuro, textura gruesa (Ar). La tercera capa 3C de textura gruesa (arena suelta) de color gris pardusco claro. Presencia de un 25 % de piedra de 7.5 a 25 cm a partir del segundo horizonte. Presencia de piedra (7,5-25 cm diámetro) superficial 15%.

### **DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES 006**

- AP 0-20cm** Pardo oscuro en húmedo (10 YR 3/3) y gris pardusco claro en seco (10YR 5/2); Arenoso Franco al tacto; tipo migajosa fino, débilmente desarrollados; muy friable en seco y blando en húmedo no presenta propiedades de adhesividad ni plasticidad; poros muchos, finos y muy finos; fragmentos rocosos, frecuentes > 15 % tamaño grava de (0.2 a 7,5) cm redondos; raíces abundantes, finas y muy finas, límite ancho; neto (2,5 cm) y topografía ondulada.
- 2C 20-30cm** Pardo grisáceo oscuro en húmedo (10YR 4/2) y gris pardo oscuro en seco (10YR 5/2); Arenoso; no adherente y no plástico consistencia suave en húmedo y suelto en seco; poros muchos, finos y medios; fragmento rocoso gravas y piedras frecuentes (50-90%) redondos; raíces abundantes finas y muy finas; límite gradual y plano.
- 3C 20-100cm** Gris pardo oscuro en húmedo(10YR5/2), gris pardusco claro en seco (10YR 6/2) Arenoso suelto; sin consistencia; poros muchos, finos, medios y gruesos; fragmentos rocosos piedra y pedregones redondeados frecuentes; raíces pocas finas y muy finas

## **UNIVERSIDAD NACIONAL DE LOJA**

### **AREA AGROPECUARIA Y DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES.**

**“Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja”**

#### **FICHA DE DESCRIPCION DE PERFILES DE SUELOS.**

**Código:** 006, **Fecha:** 07-11-2022, **autor:** Karen Cárdenas, **sitio:** Sahuayco

**Altitud (m.s.n.m.):** 1616.49 **coordenadas:** 696680.12 E 9518494.42 N

**Paisaje:** valle, **tipo de relieve:** terraza, **forma del terreno:** ondulado.

**Pendiente:** 8-12%

**Uso actual:** maíz.

**Condiciones de humedad:** húmedo, **pedregosidad:** 0%, **tamaño** cm

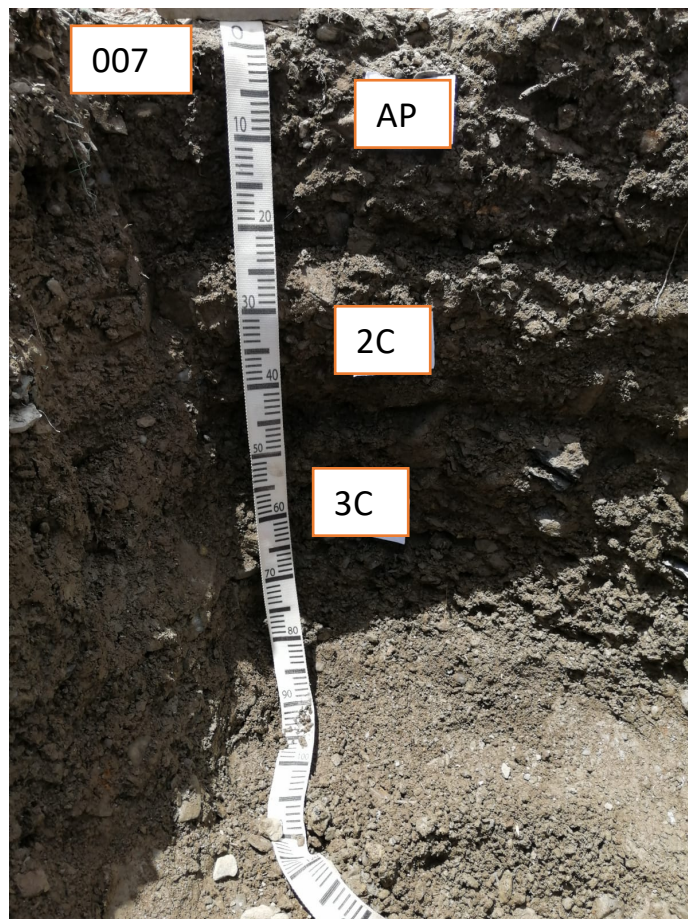
**Afloramientos rocosos:** , **tipo material parental:** fluvial

**Profundidad de la capa freática:** no, **fluctuación:** no cm

**Presencias de sales o álcalis:** no

**Drenaje:** bueno

**Erosión:** ligera



### DESCRIPCION GENERAL DEL PERFIL 007

Suelo joven de origen fluvial con la disposición de 3 horizontes Ap, 2C, 3C, con contenido de grava que van desde 0.2 a 7.5cm que abarca un 60-70%, con la profundidad efectiva que llega a los 20cm de profundidad.

## DESCRIPCIÓN DE LOS HORIZONTES 007

- AP 00-20cm** Color pardo grisáceo oscuro (2.5y 4/2) en húmedo, sin machas de color, con una estructura débil, bloques subangulares de tamaño fino, de textura franco arenosa al tacto. Es adhesivo, ligeramente plástico con una cohesión friable, su cantidad de poros muchas con diámetro finos y medios. Presenta fragmentos rocosos en un 30% tamaño 0.2-7.5 cm forma planos y angulares. Presenta restos de actividad humana, pocas raíces y finas. Límite de horizonte neto y topografía plano.
- 2C 20-50cm** Color pardo grisáceo oscuro (2.5y 4/2) en húmedo, sin machas de color, con una estructura suelta, con una textura arenosa al tacto. No adhesivo, no plástico con una cohesión suelta, su cantidad de poros muchas con diámetro finos y medios. Presenta fragmentos rocosos en un 60% tamaño 0.2-7.5 cm forma planos y angulares. Sin presencia de raíces, topografía plana.
- 3C 50-110cm** Color pardo grisáceo oscuro (2.5y 4/2) en húmedo, sin machas de color, con una estructura gravillas y suelta, con una textura de grava al tacto, con una cohesión suelta, su cantidad de poros muchas con diámetro medios y grandes. Presenta fragmentos rocosos en un 70% tamaño 0.2-7.5 cm forma angulares y redondos. Sin presencia de raíces.



## Anexo 7.

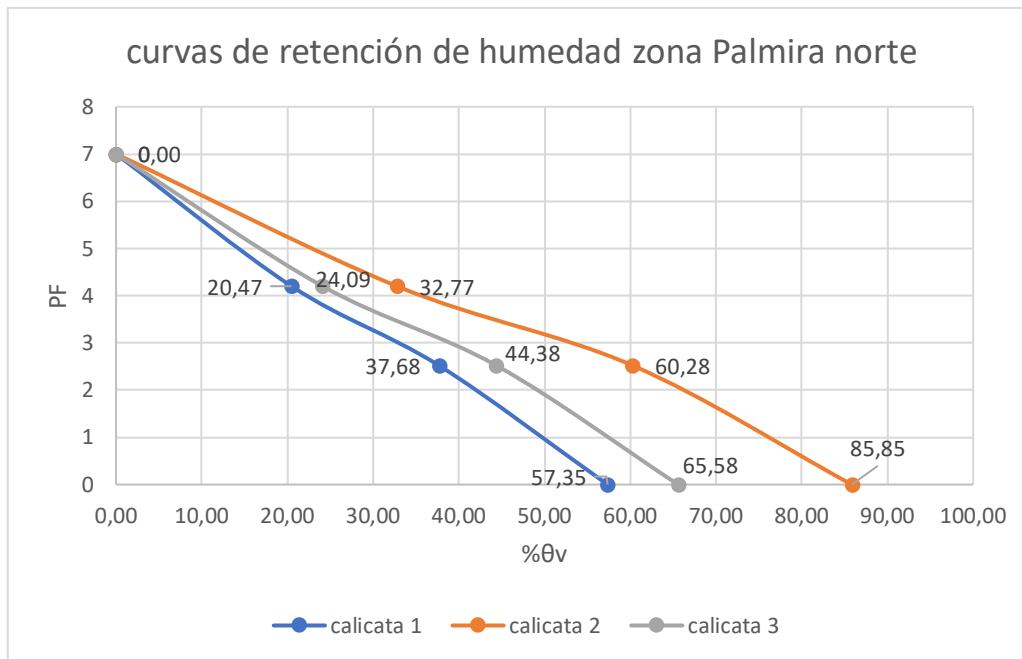
Base de datos de las barrenaciones.

calicata	barrenación	X	Y	Elevación	Textura	matriz	Color	pH	Mo	Profun.
1	1	69552 2.21	952159 5.43	1572. 75	franco arenoso	10YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro	6	Me dio	Poco profundo
	2	69577 5.15	952147 1.60	1568. 74	franco arcilloso	10YR 4/3	Café	6	me dio	Poco profundo
	3	69577 6.00	952163 5.00	1564. 96	franco arenoso	10YR 4/3	Café	6	baj a	Poco profundo
	4	69557 4.92	952180 2.22	1562. 95	franco arenoso	10YR 4/3	Café	6	baj a	Poco profundo
2	5	69534 4.10	952152 5.43	1601. 45	arcillo arenoso	2.5Y 5/2	Pardo grisáceo	6	me dio	Poco profundo
	6	69526 5.00	952131 9.00	1609. 41	areno arcilloso	2.5Y 7/3	Marrón rojizo claro	6	baj a	Poco profundo
	7	69543 6.00	952132 2.00	1595. 88	arcilloso	10YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro	6	Alto	Poco profundo
	8	69581 4.96	952109 2.11	1578. 92	arcillo limoso	10YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro	6	baj a	Poco profundo
3	9	69569 5.49	952081 0.43	1592. 00	franco arcilloso	5YR 3/1	Rojizo oscuro	6	me dia	Poco profundo
	10	69592 4.09	952069 0.84	1589. 94	franco arcilloso	10YR 4/1	Gris oscuro	6	me dia	Poco profundo
4	11	69621 0.88	952117 9.52	1572. 26	franco arcilloso	10YR 5/3	Café	6	Alto	Poco profundo
	12	69602 9.80	952127 9.44	1570. 08	franco arcilloso	2.5YR 4/3	Marrón rojizo	6	baj a	Poco profundo
5	13	69625 2.18	952077 0.22	1580. 60	franco arcilloso	10YR 4/4	Café amarillento oscuro	6	me dia	Poco profundo
	14	69651 8.75	952062 5.53	1585. 18	arcillo arenoso	10YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro	6	me dio	Poco profundo
	15	69644 5.29	952043 0.33	1596. 80	franco arenoso	10YR 4/4	Café amarillento oscuro	6	me dio	Poco profundo
	16	69623 4.18	952053 6.32	1588. 60	franco arcilloso	10YR 5/3	Café	6	me dia	Poco profundo
6	17	69670 4.37	951985 9.03	1591. 79	franco arcilloso	10YR 4/6	Café amarillento oscuro	6	me dio	Poco profundo
	18	69669 8.02	951952 2.47	1594. 94	franco arcilloso	10YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro	6	me dio	Poco profundo
	19	69660 0.90	951962 3.30	1594. 89	franco arenoso	10YR 4/3	Café	6	Alta	Poco profundo

7	20	69668 6.60	951862 4.60	1624. 76	arenoso	10YR 2/2	Café muy oscuro	6	Me dio	Poco profundo
	21	69680 5.24	951853 8.69	1607. 30	arcilloso arenoso	10YR 5/3	Café	7	Me dio	Poco profundo
	22	69671 7.40	951840 6.40	1613. 13	arcilloso arenoso	10YR 3/2	Café grisáceo muy oscuro	7	Me dio	Poco profundo

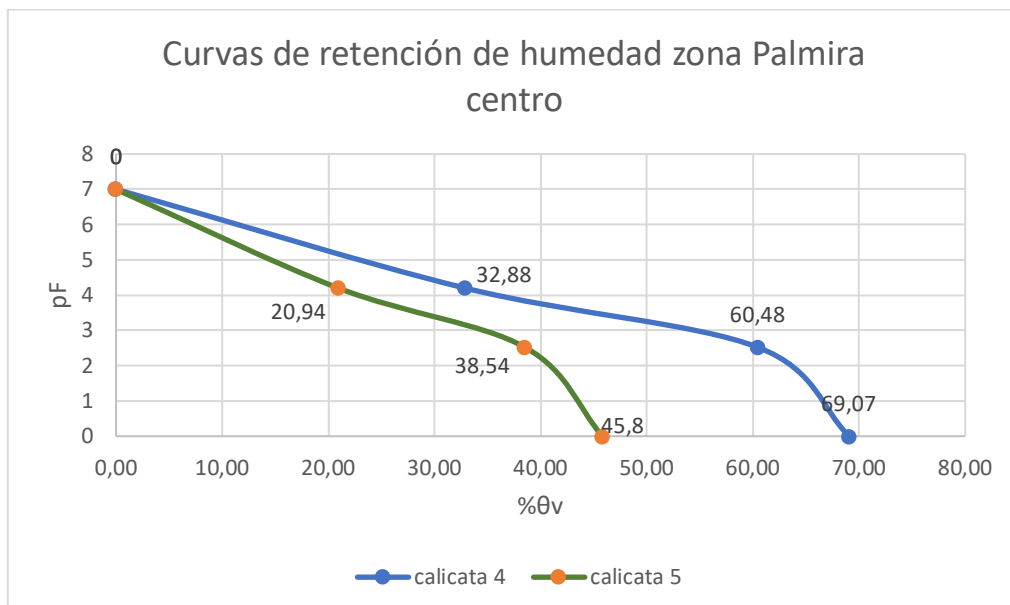
### Anexo 8.

Curvas de retención de humedad zona Palmira norte

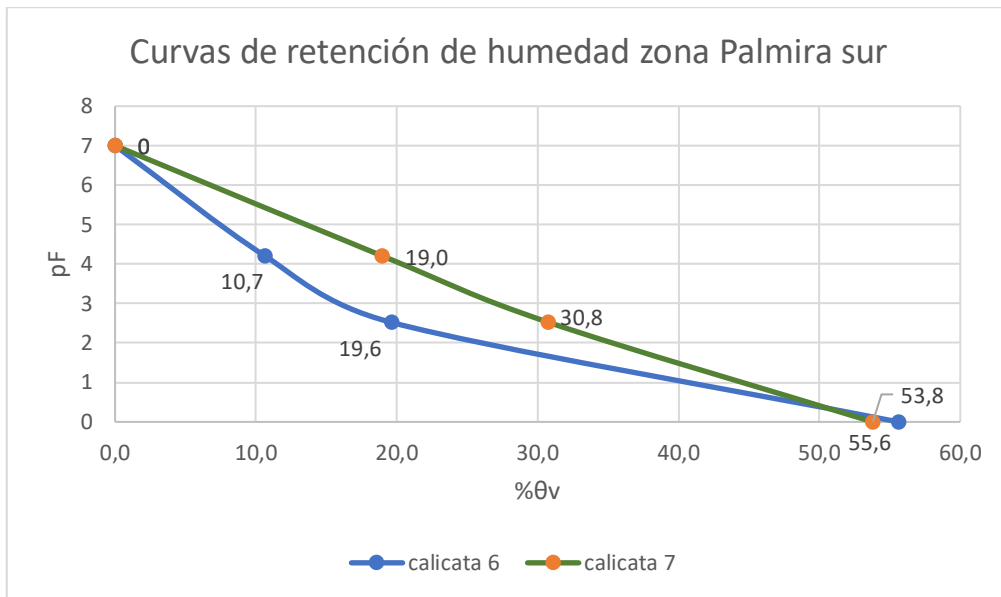


### Anexo 9.

Curva de retención de humedad zona Palmira centro

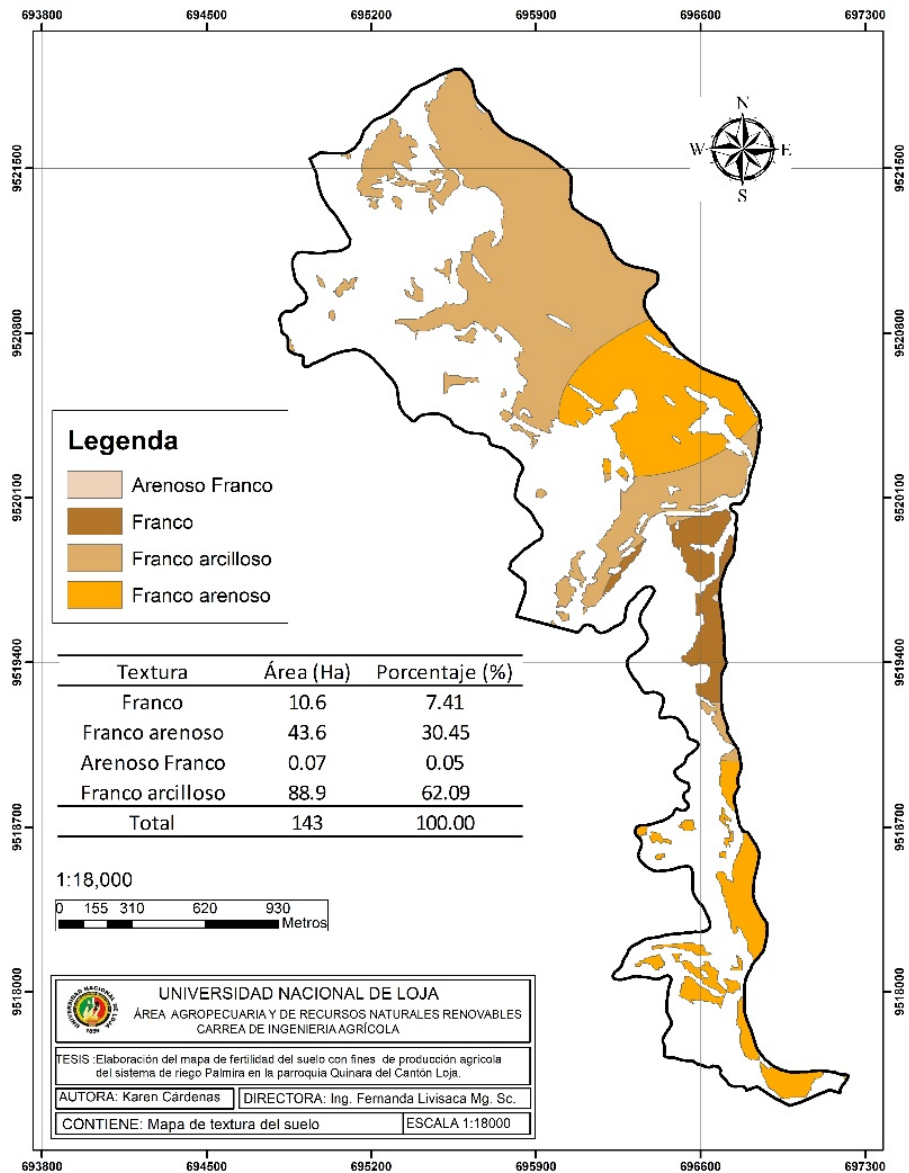


**Anexo 10.** Curvas de retención de humedad zona Palmira sur.



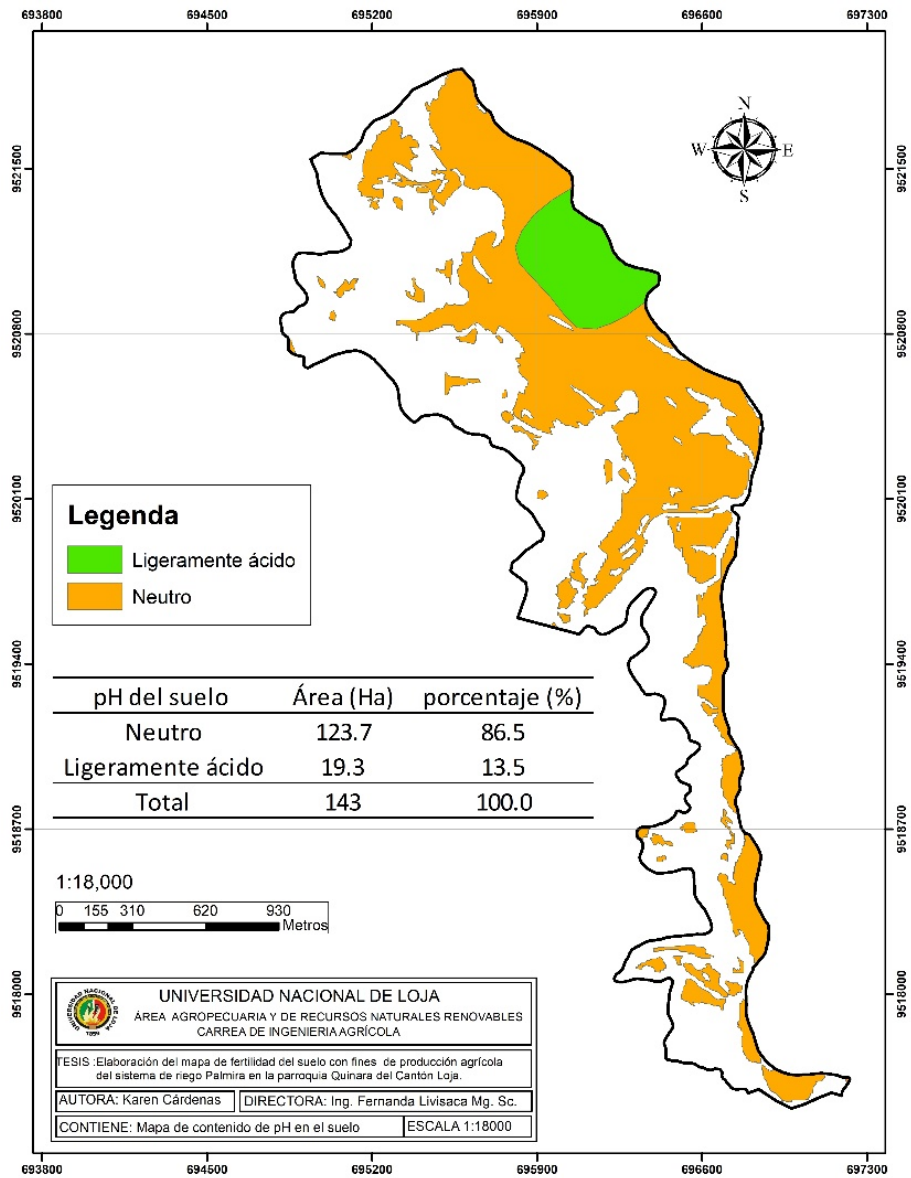
## Anexo 11.

Mapa de la distribución de las texturas del suelo.



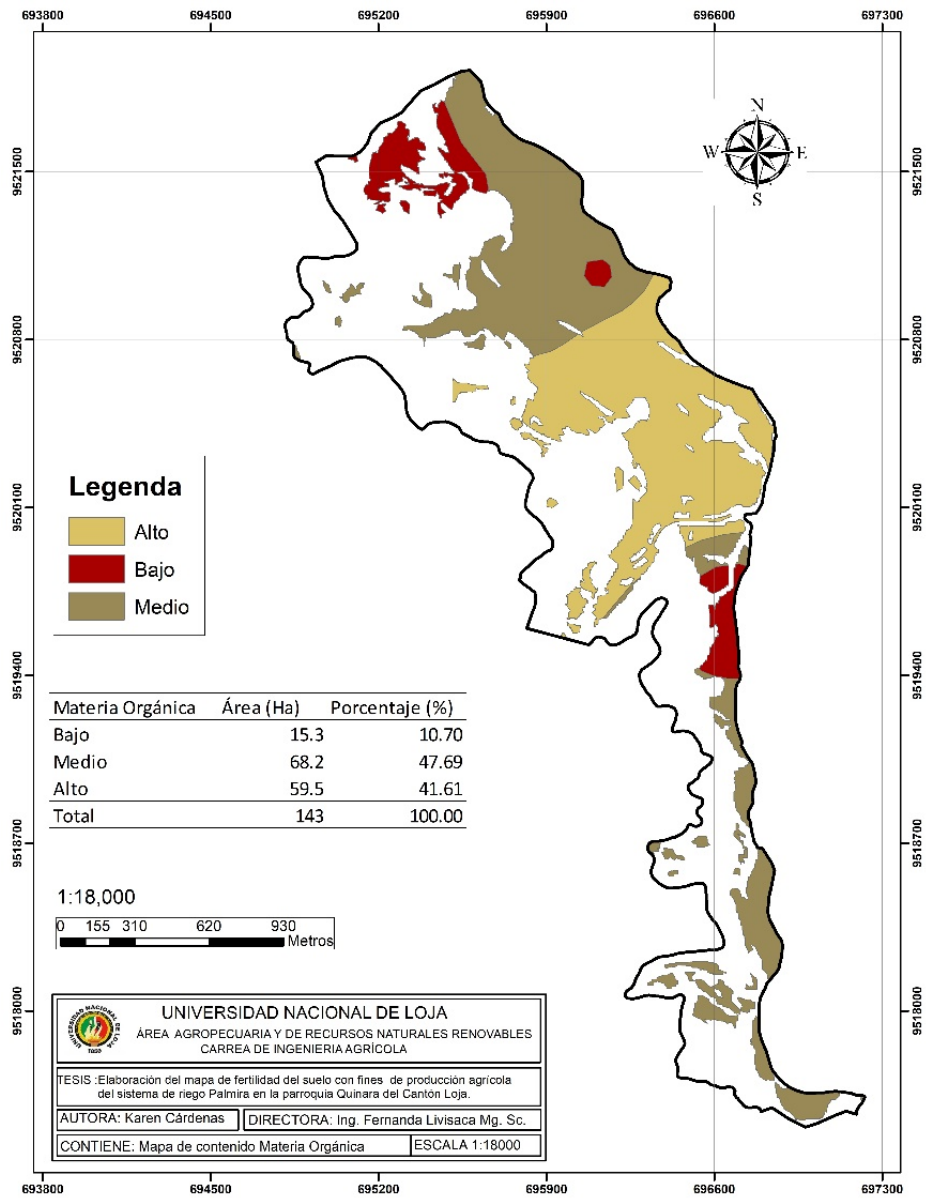
## Anexo 12.

Mapa de distribución del pH en el suelo.



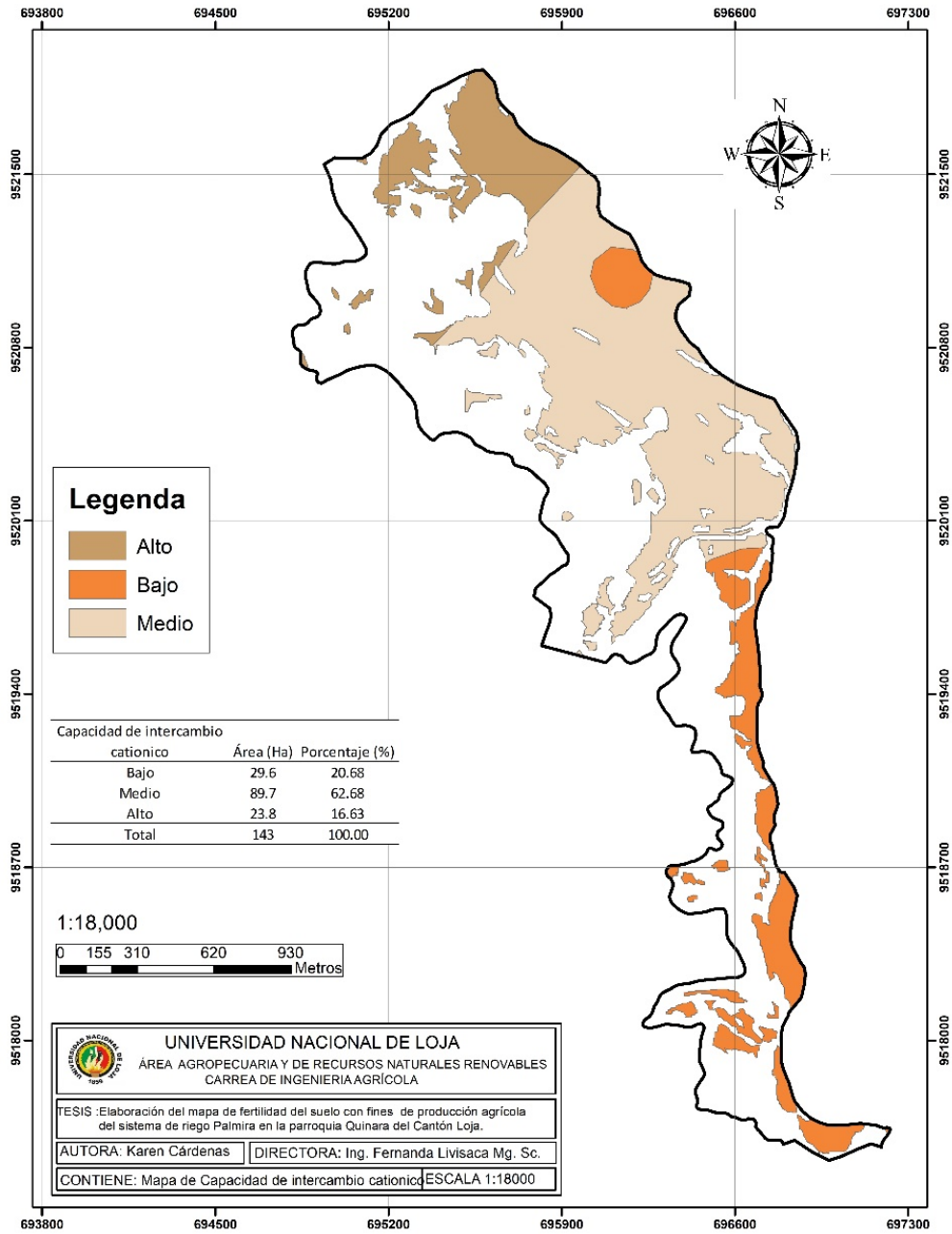
### Anexo 13.

Mapa de distribución de la materia orgánica en el suelo.



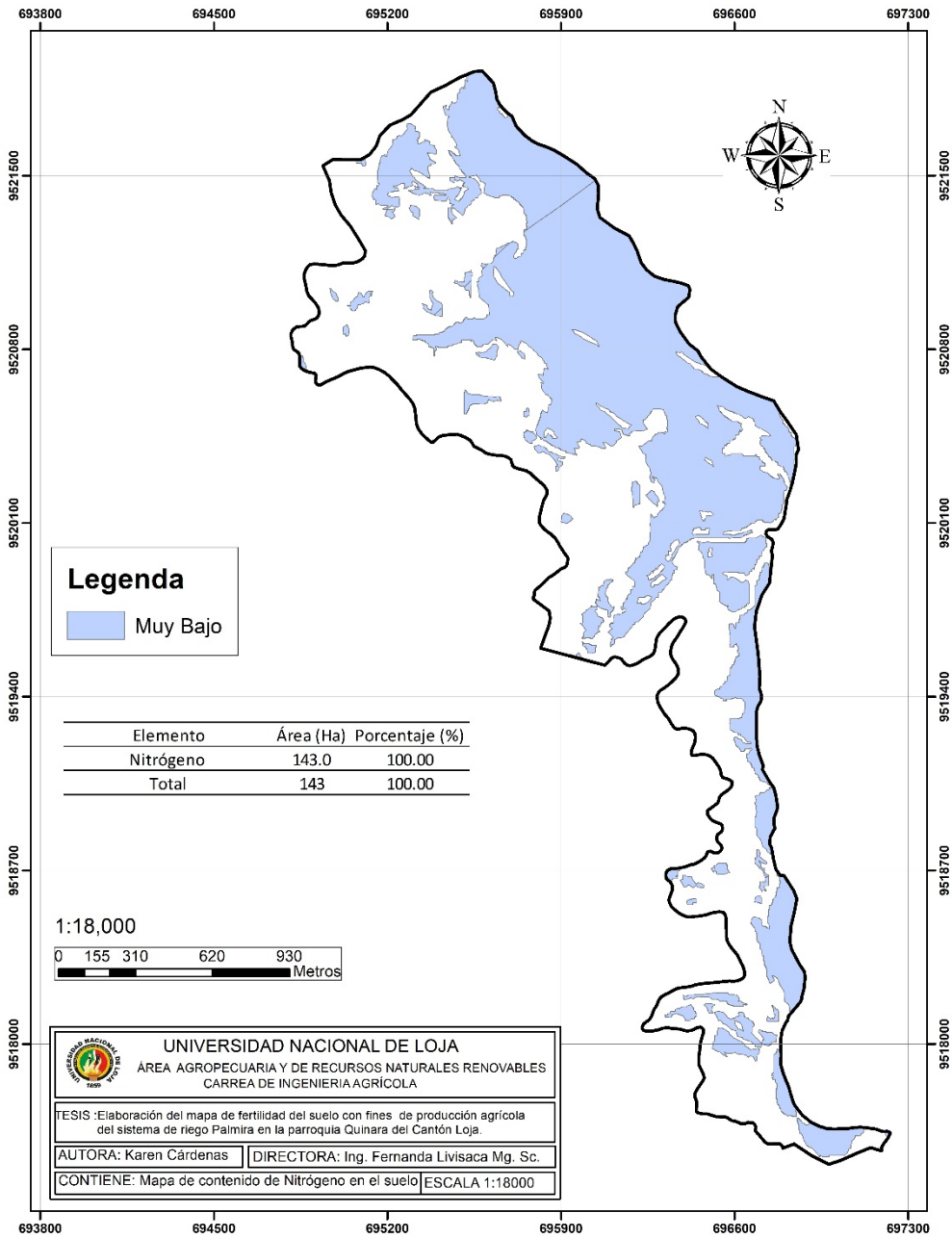
**Anexo 14.**

Mapa de distribución de intercambio catiónica en el suelo.



**Anexo 15.**

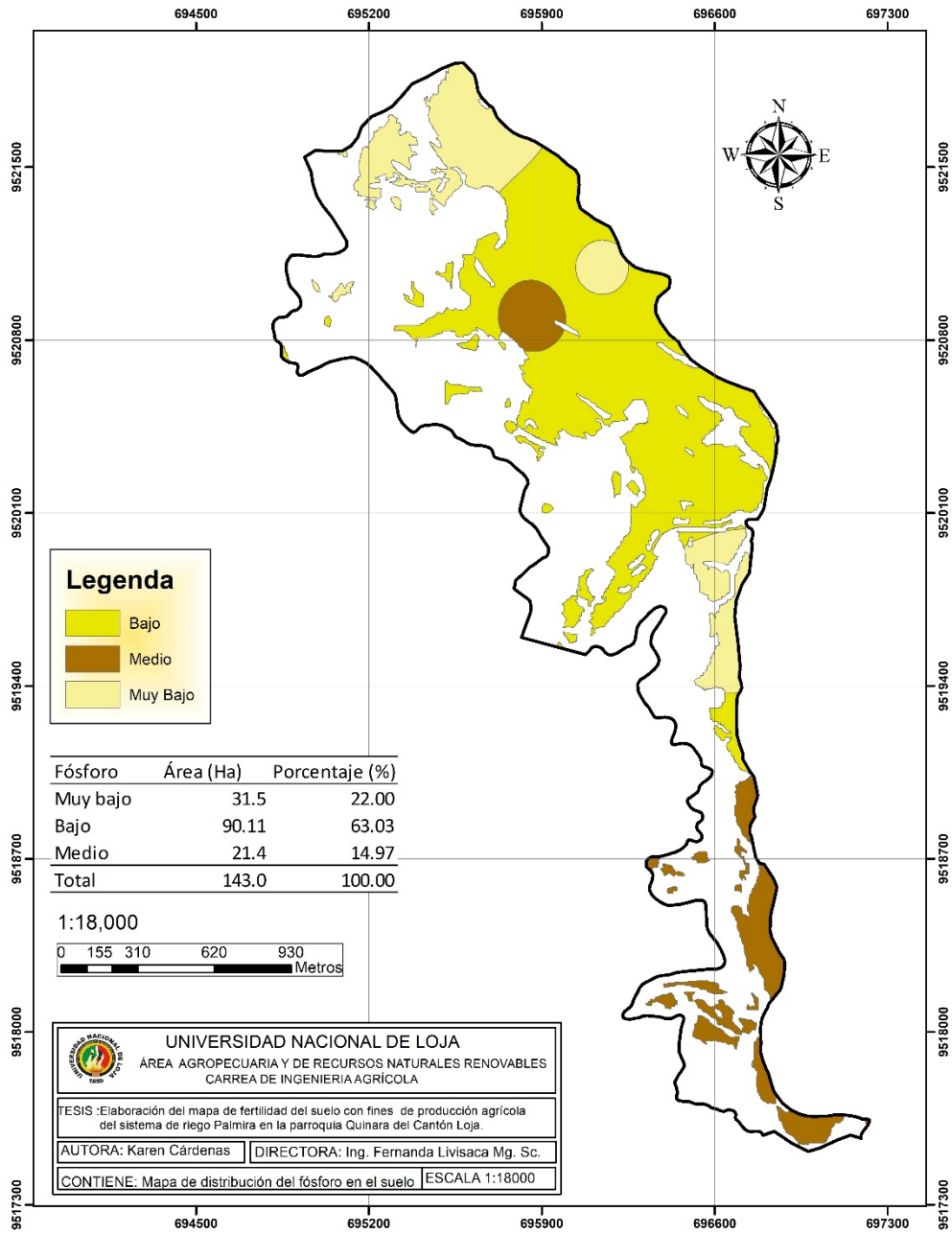
**Mapa de distribución del nitrógeno**





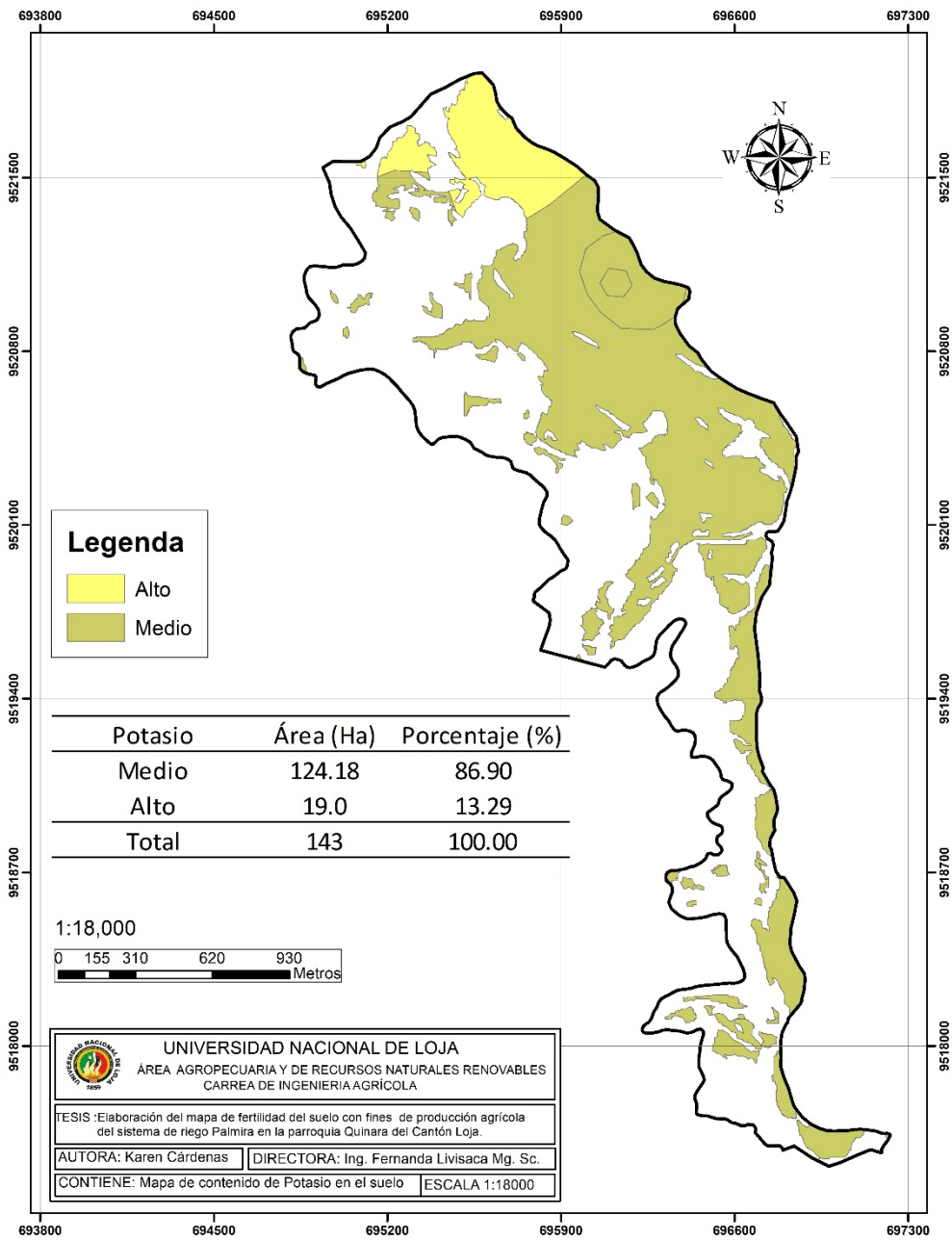
**Anexo 16.**

**Mapa de distribución del fósforo**



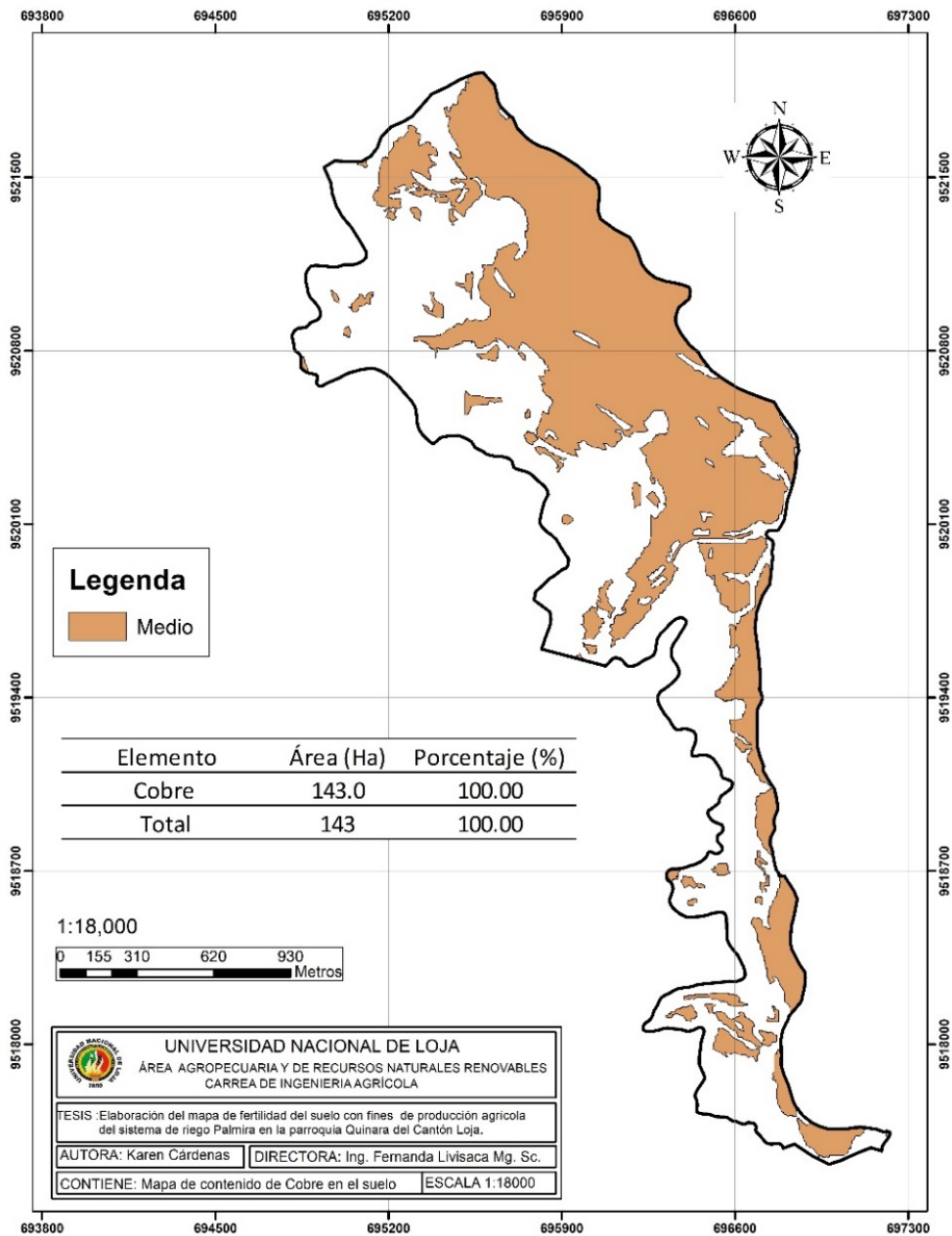
**Anexo 17.**

Mapa de distribución del potasio.



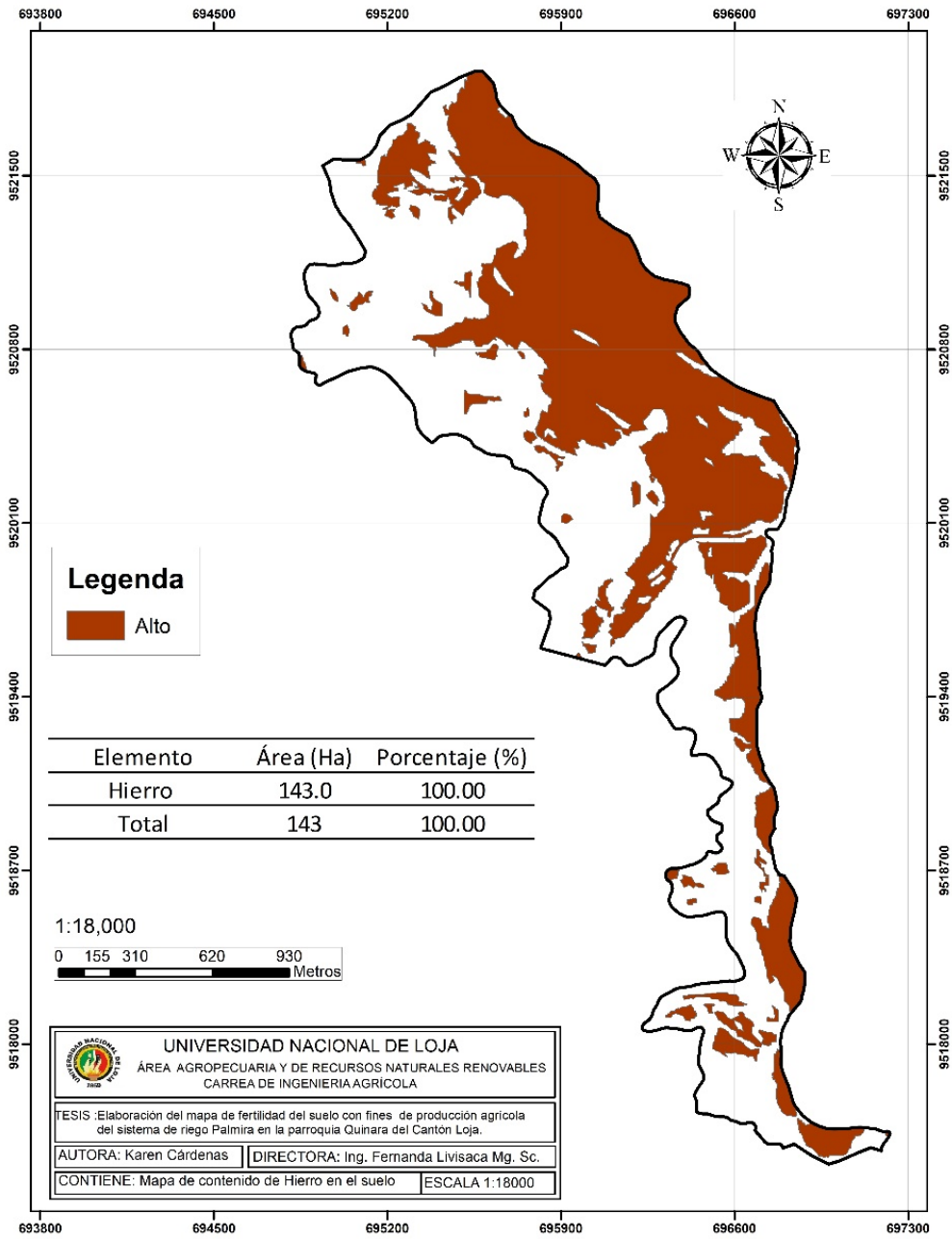
**Anexo 18.**

Mapa de distribución del cobre.



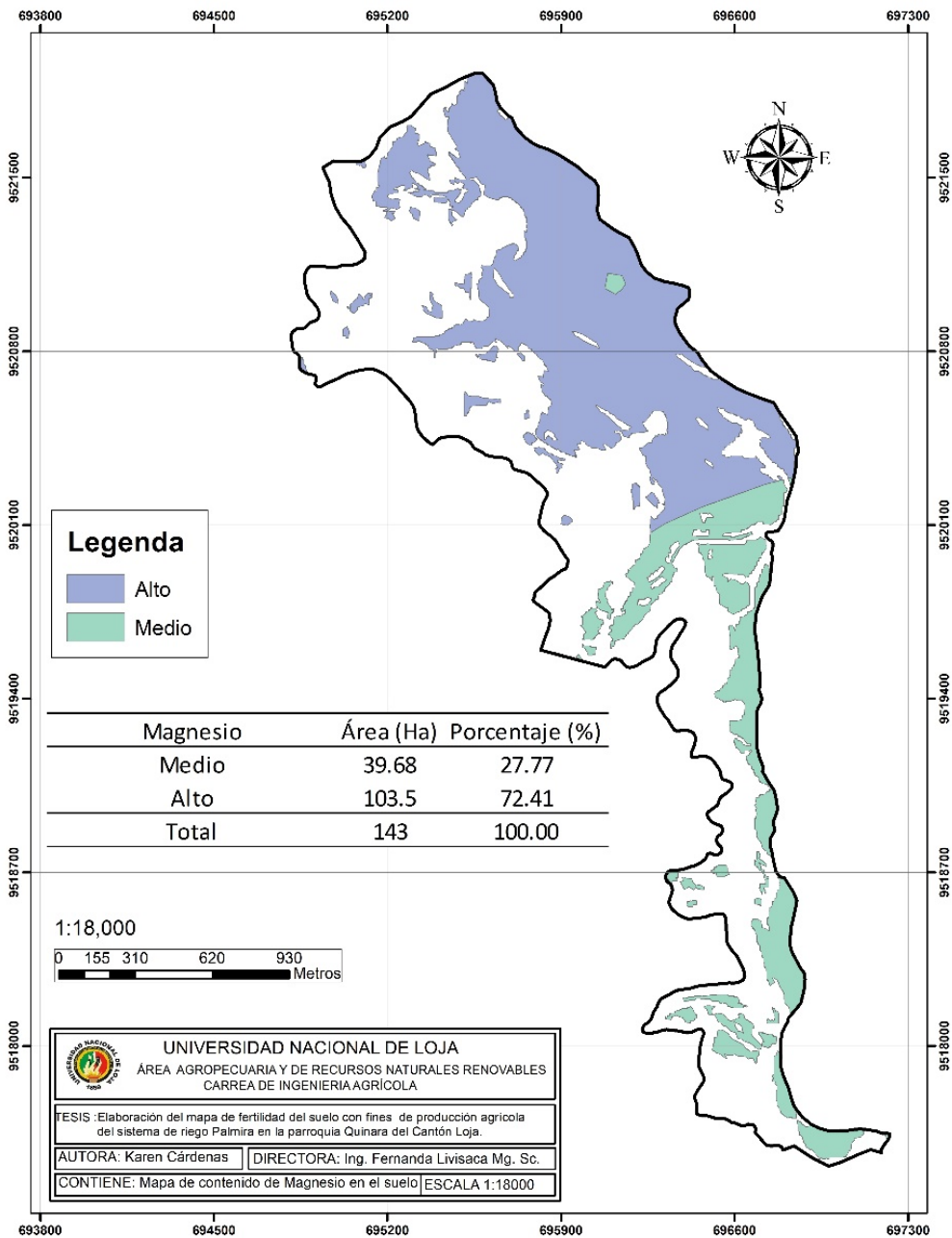
**Anexo 19.**

Mapa de distribución del hierro.



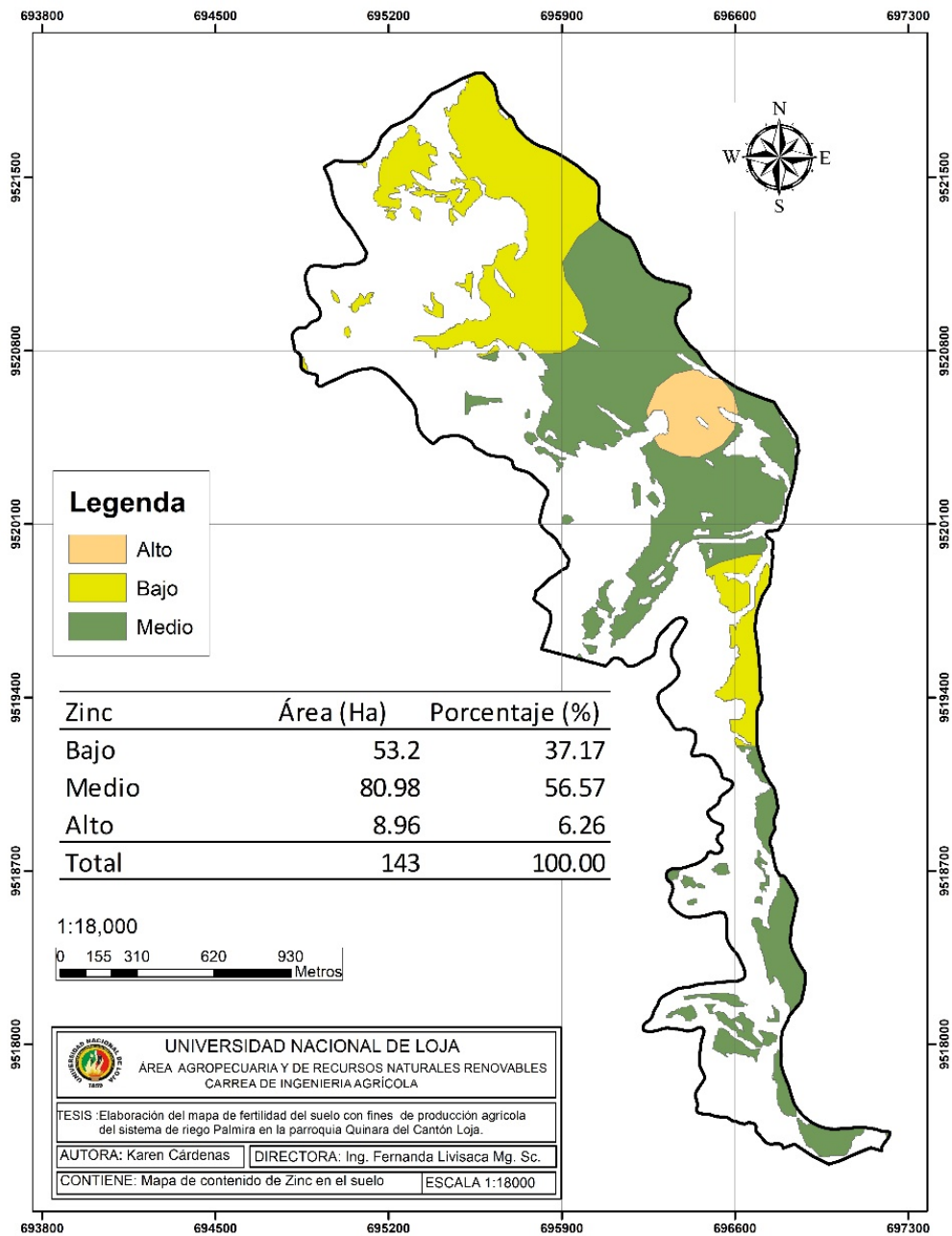
**Anexo 20.**

Mapa de distribución del magnesio.



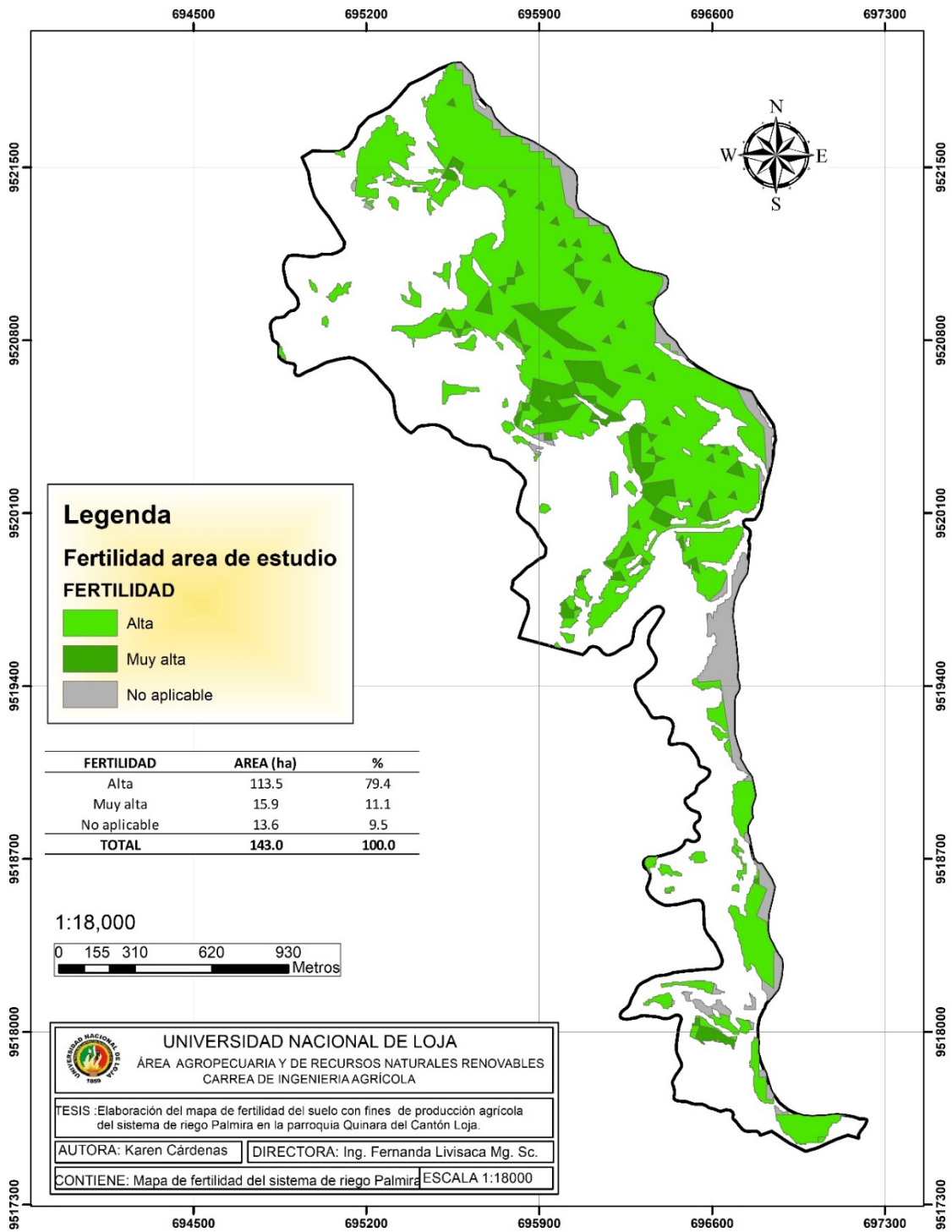
## Anexo 21.

### Mapa de distribución del Zinc



**Anexo 22.**

Mapa de fertilidad del suelo del sistema de riego Palmira.



**Elaborado:** La autora

**Fuente:** MAG, 2022

## Anexo 23.

Pruebas de infiltración y barrenaciones.



## Anexo 24.

Resultado de las pruebas químicas realizadas a los 7 perfiles del suelo.

INiAP		ESTACION EXPERIMENTAL DEL AUSTRO LABORATORIO DE MANEJO DE SUELOS Y AGUAS km 12 1/2 vía El Descenso - BULLCAY - Gualaquero www@iniap.gob.ec Azuay - Ecuador TeleFax: (07) 2171161				M									
DATOS DEL PROPIETARIO				DATOS DE LA PROPIEDAD				DATOS DE LA MUESTRA							
Nombre : KAREN CARDENAS Dirección : LOJA Ciudad : LOJA Teléfono : 0986788654 Técnico : Correo-e : N/E				Nombre : LOJA Provincia : LOJA Parroquia : LOJA Ubicación : La Palmira Latitud : Longitud :				Fecha Muestreo : 07/11/2022 Fecha Ingreso : 01/12/2022 Fecha Emisión : 14/12/2022 Cultivo Actual : N/E							
N° Laborat.	Identificación del Lote	pH	ppm				ppm				mg/100ml				
7512	001AP	6.2 LAC	N	P	K	Ca	Mg	Zn	Cu	Fe	Mn	Σ Bases	Ca/Mg	Mg/K	(Ca+Mg)/K
7513	002AP	6.5 PN	18.70 B	7.40 B	0.52 A	20.10 A	4.64 A	2.2 B	1.5 M	51.0 A	7.2 M	25.26	4.33 M	8.92 M	47.58 M
7514	AP 003	6.8 PN	16.30 B	3.00 B	0.39 M	19.20 A	6.54 A	2.4 B	1.7 M	63.0 A	6.5 M	11.91	2.98 M	12.21 A	48.03 M
7515	AP4	6.4 LAC	4.00 B	19.20 M	0.40 M	21.70 A	5.74 A	3.7 B	2.3 M	58.0 A	7.4 M	27.84	2.94 M	16.77 A	66.00 A
7516	05 La Palmira	6.1 LAC	5.30 B	10.20 M	0.30 M	16.00 A	3.34 A	9.1 A	2.6 M	129.0 A	7.9 M	19.64	4.79 M	11.13 A	64.47 A
7517	06 Horizonte AP	6.0 LAC	2.80 B	5.60 B	0.33 M	5.07 M	1.16 M	2.6 B	2.9 M	77.0 A	11.5 A	6.02	4.37 M	2.97 M	15.97 M
7518	AP 07	6.2 LAC	1.00 B	25.10 A	0.29 M	8.94 A	1.53 M	5.3 M	4.2 M	107.0 A	11.3 A	10.76	5.84 M	5.28 M	36.10 M

N, P, K, Ca, Mg, S	Interpretación	
Zn, Cu, Fe, Mn, B, Cl	pH	
B = Bajo	Md = Medio	Al = Alto
M = Medio	Ac = Acido	Alc = Alcalino
A = Alto	MdAc = Med. Acido	MdAlc = Med. Alcalino
	LAc = Lig. Acido	LAlc = Lig. Alcalino
	PN = P. Neutro	PC = P. Positivo Cat

Determinación	Metodología	Extractante
N, C	Culmenaria	Cuena
K, Ca, Mg	Absorción	Modificado
Zn, Cu, Fe, Mn	Absorción	Modificado
pH	Fotométrica	Suelto agua (1:2.5)
B	Turbidimétrica	Fosfomolida
	Culmenaria	Molibdato

Niveles medios de Referencia			
N	20 - 40	Nx10 = 3	Fe 20 - 40
P	10 - 20	S 10 - 20	Mn 5 - 10
K	62 - 84	Zn 4.0 - 8.0	B 0.5 - 1.0
Ca	4 - 8	Cu 1.0 - 10.0	Cl

N/E : No entrega.  
Se prohíbe la reproducción total o parcial de este documento, los datos deberán ser apropiadamente citados.

INiAP  
Laboratorio de SUELOS Y AGUAS  
Laboratorio de SUELOS Y AGUAS  
Fecha de Impresión: 14/12/2022

Página 1 de 2



**Anexo 25.**

Porcentaje del rendimiento de fertilizantes.

<b>Nutriente</b>	<b>Fertilización tradicional Rango (%)</b>	<b>Fertirriego Rango (%)</b>
Nitrógeno	15-50	50-80
Fósforo	5-30	30-40
Potasio	30-40	40-60
Azufre	20-50	50-80
Calcio	30-40	40-60
Magnesio	30-40	40-60
Micronutrientes	5-20	30-50

**Anexo 26.**

Composición química de los fertilizantes utilizados en el plan de fertilización.

<b>Fertilizante</b>	<b>N</b>	<b>P2O5</b>	<b>K2O</b>	<b>CaO</b>	<b>MgO</b>	<b>AZUFRE</b>
<b>GROSSO</b>	15	20	12			8
<b>DAP</b>	18	46	0			
<b>Sulpomag</b>			22		18	22
<b>Sulfato de potasio</b>			50			18
<b>YARA</b>	12	24	12			
<b>NITROS K</b>	4	48				5
<b>Kieserita</b>					27	20
<b>Nitrato de calcio</b>	15			26		
<b>UREA</b>	46					

**Anexo 27.**

Certificación de traducción abstract

Loja, 29 de abril de 2024

Yo, Elyan Miguel Torres Cabrera, con número de cédula 1150175055, Licenciado en Ciencias de la Educación con Mención en inglés.

**CERTIFICO:**

Haber realizado la traducción textual del documento adjunto, correspondiente al trabajo de titulación denominado: **Elaboración del mapa de fertilidad del suelo con fines de producción agrícola del sistema de riego Palmira en la parroquia Quinara del Cantón Loja**, elaborado por **Karen Deyanira Cárdenas Ríos**, con número de cédula **1106061136**.

Es todo lo que puedo certificar en honor a la verdad, facultando al portador el presente documento para el trámite correspondiente.

Atentamente. –



firmado electrónicamente por:

**EYAN MIGUEL TORRESCABRERA**

-----  
Lic. Elyan Torres Cabrera

C.I: 1150175055

Telf: 0984661493

Correo electrónico: [torreselian737@gmail.com](mailto:torreselian737@gmail.com)