



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS  
ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL  
CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* W.) EN TUNSHI.**

**Trabajo de Integración Curricular**

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

**INGENIERA AGRÓNOMA**

**AUTORA:** DIANA STEFANIA CANDO CARRILLO

**DIRECTOR:** ING. ROQUE ORLANDO GARCÍA ZANABRIA, PhD.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Diana Stefania Cando Carrillo

Se autoriza la reproducción total o parcial, con fines académicos, por cualquier medio o procedimiento, incluyendo la cita bibliográfica del documento, siempre y cuando se reconozca el Derecho de Autor.

Yo, Diana Stefania Cando Carrillo, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

Como autora asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 16 de mayo de 2024



**Diana Stefania Cando Carrillo**

**060581430-0**

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**FACULTAD DE RECURSOS NATURALES**  
**CARRERA AGRONOMÍA**

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE QUINUA (*Chenopodium quinoa* W.) EN TUNSHI**, realizado por la señorita: **DIANA STEFANIA CANDO CARRILLO**, ha sido minuciosamente revisado por los Miembros del Tribunal del Trabajo de Integración Curricular, el mismo que cumple con los requisitos científicos, técnicos, legales, en tal virtud el Tribunal Autoriza su presentación.

	<b>FIRMA</b>	<b>FECHA</b>
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova, PhD. <b>PRESIDENTE DEL TRIBUNAL</b>		2024-05-16
Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD. <b>DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-16
Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla, MSc.º. <b>ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR</b>		2024-05-16

## **DEDICATORIA**

Dedico esta tesis con profundo agradecimiento a mis padres, María Carrillo y Cesar Cando a pesar de que ya no se encuentra a mi lado, el siempre esta está conmigo acompañándome durante todo este proceso; a mis hermanos, por su constante ánimo, comprensión y paciencia a lo largo de este arduo viaje académico.

Diana

## **AGRADECIMIENTO**

Agradezco a Dios por bendecir mi camino, y ser un refugio en cada momento en el cual sentía que ya no podía. Gracias a mi familia en especial a mi madre María Carrillo y mis hermanos Liliana, Janeth y Henry, por el constante apoyo tanto de manera económica como moralmente, por creer en mis capacidades y acompañarme durante todo este proceso, a mis amigas Mishell, Andrea y Sonia por escucharme y darme palabras de aliento. Agradezco a los docentes de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, de manera especial al ing. Roque García y Hernán Chamorro por haber compartido sus conocimientos a lo largo de mi preparación en esta profesión.

Diana

## ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
INTRODUCCIÓN.....	1

### CAPÍTULO I

<b>1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....</b>	<b>2</b>
<b>1.1 Planteamiento del problema.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2 Objetivos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.1 General.....</b>	<b>2</b>
<b>1.2.2 Específicos.....</b>	<b>2</b>
<b>1.3 Justificación.....</b>	<b>2</b>
<b>1.4 Hipótesis.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.1 Hipótesis nula.....</b>	<b>3</b>
<b>1.4.2 Hipótesis alternativa.....</b>	<b>3</b>

### CAPÍTULO II

<b>2. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1 Propiedades del suelo.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1 Propiedades físicas.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1.1 Textura.....</b>	<b>4</b>
<b>2.1.1.2 Estructura.....</b>	<b>5</b>
<b>2.1.1.3 Color.....</b>	<b>6</b>

2.1.1.4	<i>Humedad</i> .....	7
2.1.1.5	<i>Profundidad</i> .....	7
2.1.1.6	<i>Velocidad de infiltración</i> .....	7
2.1.1.7	<i>Resistencia del suelo al corte</i> .....	8
2.1.1.8	<i>Temperatura</i> .....	8
2.1.1.9	<i>Densidad real (Dr)</i> .....	8
2.1.1.10	<i>Densidad aparente (Dap)</i> .....	9
2.1.1.11	<i>Porosidad</i> .....	9
2.1.1.12	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i> .....	9
2.1.2	<b>Propiedades químicas</b> .....	10
2.1.2.1	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i> .....	10
2.1.2.2	<i>Materia orgánica (MO)</i> .....	10
2.1.2.3	<i>Nitrógeno (N)</i> .....	10
2.1.2.4	<i>Fósforo (P)</i> .....	11
2.1.2.5	<i>Potasio (K)</i> .....	11
2.1.2.6	<i>Calcio (Ca)</i> .....	11
2.1.2.7	<i>Magnesio (Mg)</i> .....	11
2.1.2.8	<i>Relación C/N</i> .....	12
2.1.2.9	<i>Relación Ca/Mg</i> .....	12
2.1.2.10	<i>Relación K/Mg</i> .....	12
2.1.3	<b>Propiedades biológicas</b> .....	12
2.1.3.1	<i>Lombrices</i> .....	12
2.2	<b>Índice de calidad del suelo</b> .....	13
2.3	<b>Sistemas de labranzas</b> .....	13
2.3.1	<i>Labranza convencional</i> .....	13
2.3.2	<i>Labranza reducida</i> .....	14
2.4	<b>Tecnología de Información Geográfica (TIG)</b> .....	14
2.4.1	<i>Generalidades</i> .....	14
2.4.2	<i>Georreferenciación</i> .....	14

2.4.3	<i>Geolocalización</i> .....	14
2.4.4	<i>Sistema de posicionamiento global (GPS)</i> .....	15
2.4.5	<i>Coordenadas geográficas</i> .....	15
2.5	<b>Cultivo de Quinoa</b> .....	15
2.5.1	<i>Características generales</i> .....	15
2.5.2	<i>Descripción botánica</i> .....	16
2.5.2.1	<i>Raíz</i> .....	16
2.5.2.2	<i>Tallo</i> .....	16
2.5.2.3	<i>Hojas</i> .....	16
2.5.2.4	<i>Inflorescencia</i> .....	16
2.5.2.5	<i>Flores</i> .....	17
2.5.2.6	<i>Fruto</i> .....	17
2.5.2.7	<i>Semillas</i> .....	17
2.5.3	<i>Requerimientos edafoclimáticos</i> .....	17
2.5.3.1	<i>Clima</i> .....	17
2.5.3.2	<i>Suelo</i> .....	18
2.5.3.3	<i>Precipitación</i> .....	18
2.5.3.4	<i>Temperatura</i> .....	18
2.5.3.5	<i>Requerimiento nutricional</i> .....	19

### **CAPÍTULO III**

3.	<b>MARCO METODOLÓGICO</b> .....	20
3.1	<b>Características del lugar</b> .....	20
3.1.1	<i>Localización</i> .....	20
3.1.2	<i>Ubicación geográfica</i> .....	21
3.1.3	<i>Características climatológicas</i> .....	21
3.2	<b>Materias y equipos</b> .....	21
3.2.1	<i>Materiales experimentales</i> .....	21

3.2.2	<i>Equipos y herramientas</i> .....	21
3.2.3	<i>Materiales de oficina</i> .....	22
3.3	<b>Métodos</b> .....	22
3.3.1	<i>Geolocalización</i> .....	22
3.3.2	<i>Muestreo de campo</i> .....	22
3.3.3	<i>Textura</i> .....	22
3.3.4	<i>Color</i> .....	23
3.3.5	<i>Humedad</i> .....	23
3.3.6	<i>Profundidad de la capa arable</i> .....	23
3.3.7	<i>Velocidad de infiltración</i> .....	23
3.3.8	<i>Resistencia del suelo al corte</i> .....	23
3.3.9	<i>Densidad real</i> .....	24
3.3.10	<i>Densidad aparente</i> .....	24
3.3.11	<i>Porosidad</i> .....	24
3.3.12	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	24
3.3.13	<i>pH</i> .....	24
3.3.14	<i>Materia orgánica</i> .....	25
3.3.15	<i>Nitrógeno, fósforo y potasio</i> .....	25
3.3.16	<i>Lombrices</i> .....	25
3.4	<b>Especificaciones del campo experimental</b> .....	26
3.4.1	<i>Factor de estudio</i> .....	26
3.4.2	<i>Tratamientos</i> .....	26
3.4.3	<i>Diseño experimental</i> .....	26
3.4.4	<i>Análisis estadístico</i> .....	27

## CAPÍTULO IV

4.	<b>Marco de análisis e interpretación de resultados</b> .....	28
4.1	<b>Procesamiento, análisis e interpretación de resultados</b> .....	28

4.1.1	<i>Textura</i> .....	28
4.1.2	<i>Estructura</i> .....	28
4.1.3	<i>Color</i> .....	28
4.1.4	<i>Humedad</i> .....	29
4.1.5	<i>Profundidad de la capa arable</i> .....	29
4.1.6	<i>Velocidad de infiltración</i> .....	31
4.1.7	<i>Densidad real</i> .....	31
4.1.8	<i>Densidad aparente</i> .....	32
4.1.9	<i>Porosidad</i> .....	33
4.1.10	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	33
4.1.11	<i>pH</i> .....	34
4.1.12	<i>Materia orgánica</i> .....	35
4.1.13	<i>Nitrógeno</i> .....	36
4.1.14	<i>Fósforo</i> .....	37
4.1.15	<i>Potasio</i> .....	38
4.1.16	<i>Calcio</i> .....	39
4.1.17	<i>Magnesio</i> .....	40
4.1.18	<i>Relación C/N</i> .....	40
4.1.19	<i>Relación Ca/Mg</i> .....	41
4.1.20	<i>Relación K/Mg</i> .....	41
4.1.21	<i>Lombrices</i> .....	42
4.2	<b>Índice de calidad del suelo</b> .....	43
4.2.1	<i>Indicadores del índice de calidad</i> .....	43
4.3	<b>Zonificación y geocalización de las muestras del suelo</b> .....	43
4.4	<b>Discusiones</b> .....	44
4.4.1	<i>Textura</i> .....	44
4.4.2	<i>Estructura</i> .....	45
4.4.3	<i>Profundidad</i> .....	45
4.4.4	<i>Velocidad de infiltración</i> .....	45

4.4.5	<i>Densidad aparente</i> .....	45
4.4.6	<i>Porosidad</i> .....	46
4.4.7	<i>Conductividad eléctrica</i> .....	46
4.4.8	<i>pH</i> .....	46
4.4.9	<i>Materia orgánica</i> .....	46
4.4.10	<i>Fósforo</i> .....	47
4.4.11	<i>Relación C/ N</i> .....	47

## CAPÍTULO V

5.	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES</b> .....	48
5.1	<b>Conclusiones</b> .....	48
5.2	<b>Recomendaciones</b> .....	49

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 2-1:</b> Límites de tamaño de fracciones del suelo.....	4
<b>Tabla 2-2:</b> Tipos de estructuras del suelo .....	5
<b>Tabla 2-3:</b> Profundidad del suelo .....	7
<b>Tabla 2-4:</b> Velocidad de infiltración del suelo .....	8
<b>Tabla 2-5:</b> Tamaño de los poros del suelo .....	9
<b>Tabla 2-6:</b> Tipo de salinidad.....	10
<b>Tabla 2-7:</b> Índice de calidad de suelos .....	13
<b>Tabla 3-1:</b> Tratamientos experimentales.....	26
<b>Tabla 3-2:</b> Diseño experimental .....	27
<b>Tabla 4-1:</b> Color del suelo.....	28
<b>Tabla 4-2:</b> Análisis de la Varianza para el % de humedad del suelo antes la labranza .....	29
<b>Tabla 4-3:</b> Análisis de la Varianza para profundidad de la capa arable antes la labranza .....	30
<b>Tabla 4-4:</b> Prueba DMS al 5% para profundidad de la capa arable en la altitud después de la labranza.....	30
<b>Tabla 4-5:</b> Prueba DMS al 5% para profundidad de la capa arable en sistema de labranza después de la labranza .....	30
<b>Tabla 4-6:</b> Análisis de la Varianza para la velocidad de infiltración después de la labranza ....	31
<b>Tabla 4-7:</b> Prueba DMS al 5% para velocidad de infiltración en los sistemas de labranzas después de la labranza .....	31
<b>Tabla 4-8:</b> Análisis de la Varianza para la densidad real del suelo después de la labranza.....	31
<b>Tabla 4-9:</b> Análisis de la Varianza para la densidad aparente del suelo después de la labranza .....	32
<b>Tabla 4-10:</b> Prueba DMS al 5% para la densidad aparente en los sistemas de labranzas después de la labranza.....	32
<b>Tabla 4-11:</b> Prueba DMS al 5% para densidad real en sistema de labranza después de la labranza .....	33
<b>Tabla 4-12:</b> Prueba DMS al 5% para la porosidad del suelo en sistema de labranza después de la labranza .....	33
<b>Tabla 4-13:</b> Análisis de la Varianza para la conductividad eléctrica del suelo después de la labranza .....	34
<b>Tabla 4-14:</b> Prueba DMS al 5% para la conductividad eléctrica del suelo después de la labranza .....	34
<b>Tabla 4-15:</b> Análisis de la Varianza para el pH presente en el suelo después de la labranza ....	34

<b>Tabla 4-16:</b> Prueba DMS al 5% par del suelo a el pH del suelo después de la labranza .....	35
<b>Tabla 4-17:</b> Análisis de la Varianza para el % de materia orgánica del suelo después de la labranza .....	35
<b>Tabla 4-18:</b> Prueba DMS al 5% para el % de materia orgánica presente en el suelo después de la labranza .....	36
<b>Tabla 4-19:</b> Prueba DMS al 5% para el % de materia orgánica presente en el suelo después de la labranza .....	36
<b>Tabla 4-20:</b> Análisis de la Varianza para el nitrógeno presente en el suelo después de la labranza .....	36
<b>Tabla 4-21:</b> Análisis de la Varianza para el fosforo presente en el suelo después de la labranza .....	37
<b>Tabla 4-22:</b> Prueba DMS al 5% para el fosforo presente en el suelo después de la labranza ...	37
<b>Tabla 4-23:</b> Prueba DMS al 5% para el fosforo presente en el sistema de labranza después de la labranza .....	38
<b>Tabla 4-24:</b> Prueba TUKEY al 5% para la interacción después de la labranza .....	38
<b>Tabla 4-25:</b> Análisis de la Varianza para el potasio presente en el suelo después de la labranza .....	38
<b>Tabla 4-26:</b> Prueba DMS al 5% para el potasio presente en el suelo después de la labranza ...	39
<b>Tabla 4-27:</b> Análisis de la Varianza para el calcio presente en el suelo después de la labranza	39
<b>Tabla 4-28:</b> Análisis de la Varianza para el magnesio presente en el suelo después de la labranza .....	40
<b>Tabla 4-29:</b> Análisis de la Varianza para la relación C/N después de la labranza .....	40
<b>Tabla 4-30:</b> Prueba DMS al 5% para la relación C/N después de la labranza .....	41
<b>Tabla 4-31:</b> Análisis de la Varianza para la relación Ca/Mg después de la labranza .....	41
<b>Tabla 4-32:</b> Análisis de la Varianza para la relación K/Mg después de la labranza.....	41
<b>Tabla 4-33:</b> Prueba DMS al 5% para la relación K/Mg después de la labranza.....	42
<b>Tabla 4-34:</b> Análisis de la Varianza para la presencia de lombrices después de la labranza....	42
<b>Tabla 4-35:</b> Prueba DMS al 5% para el numero de lombrices presentes en el suelo .....	43
<b>Tabla 4- 36:</b> Índice de calidad del suelo .....	43

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

<b>Ilustración 2-1:</b> Triangulo de textura .....	5
<b>Ilustración 2-2:</b> Tabla de color de Munsell .....	6
<b>Ilustración 3-1:</b> Mapa de ubicación de la zona de estudio .....	20
<b>Ilustración 4-1:</b> Mapa de ubicación de las muestras de suelo de Tunshi .....	44

## **ÍNDICE DE ANEXOS**

**ANEXO A:** MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.

**ANEXO B:** APLICACIÓN DE INSTRUMENTO PARA LABRANZA CONVENCIONAL.

**ANEXO C:** APLICACIÓN DE INSTRUMENTO PARA LABRANZA REDUCIDA.

**ANEXO D:** ELABORACIÓN DE CALICATAS.

**ANEXO E:** PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR DENSIDAD REAL DEL SUELO.

**ANEXO F:** PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA TEXTURA DEL SUELO.

**ANEXO G:** MUESTRAS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL SUELO.

**ANEXO H:** ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MUESTRAS DEL SUELO.

**ANEXO I:** ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DEL SUELO.

## RESUMEN

La estación experimental Tunshi no cuenta con información de calidad del suelo para el cultivo de quinua, por ello es necesario investigar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, determinando el índice de calidad para este cultivo. El objetivo de la investigación fue determinar el índice de calidad de suelo a dos altitudes en dos sistemas de labranza para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.). Se llevo a cabo en la provincia de Chimborazo, cantón Riobamba, parroquia Licto, siendo los factores de estudio la altitud y sistema de labranza; el diseño fue de bloques completamente al azar en arreglo de parcela dividida con 4 repeticiones, se aplicó la metodología del USDA para determinar las propiedades del suelo, se utilizó las Tecnologías de Información Geográfica (TIG) y la metodología de Cantú para calidad de suelo. El suelo presenta textura franco-arenosa, humedad 10.48%, profundidad de capa arable de 49.88 cm, velocidad de infiltración 11.19 mm/h, densidad real de 2.53 gr/cm<sup>3</sup>, densidad aparente 1.35 gr/cm<sup>3</sup>, % de porosidad 52.91, conductividad eléctrica 256,76 uS/cm, pH 7.38, % de materia orgánica 1.73, nitrógeno 4.72 mg/L, fósforo 28.97 mg/L, potasio 2.08 Meq/100g, calcio 7.46 Meq/100g, magnesio 0.14 Meq/100g, relación C/N 1.26, Ca/Mg 52.39, K/Mg 52.39 y 3 lombrices presentes en el suelo. Con estas propiedades se determinó el índice de calidad de 0.56, Se cuenta con el mapa base georreferenciado. Se concluye que el sistema de labranza mínima ayuda en la conservación de las propiedades del suelo, de acuerdo con el índice de calidad este pertenece a la categoría moderada.

**Palabras clave:** <PROPIEDADES DEL SUELO>, <INDICE DE CALIDAD>, <QUINUA (*Chenopodium Quinoa* W.)>, <LABRANZA MÍNIMA>, <INDICE DE CALIDAD>, <METODOLOGÍA DE CANTÚ >, <TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA>.

0721-DBRA-UPT-2024

11-06-2024



## ABSTRACT

The Tunshi experimental station does not have information on soil quality for quinoa cultivation, so it is necessary to investigate the physical, chemical and biological properties of the soil, determining the soil quality index for this crop. The aim of the research was to determine the soil quality index at two altitudes in two tillage systems for the cultivation of quinoa (*Chenopodium quinoa* W.). It was carried out in the province of Chimborazo, Riobamba canton, Licto parish, being the study factors altitude and tillage system; the design was a completely randomized block design in a divided plot arrangement with 4 replications, the USDA methodology was applied to determine soil properties, Geographic Information Technologies (GIT) and Cantú's methodology for soil quality were used. The soil presents sandy loam texture, humidity 10.48%, depth of arable layer 49.88 cm, infiltration rate 11.19 mm/h, real density 2.53 gr/cm<sup>3</sup>, apparent density 1.35 gr/cm<sup>3</sup>, % porosity 52.91, electrical conductivity 256.76 uS/cm, pH 7.38, % organic matter 1.73, nitrogen 4.72 mg/L, phosphorus 28.97 mg/L, potassium 2.08 Meq/100g, calcium 7.46 Meq/100g, magnesium 0.14 Meq/100g, C/N ratio 1.26, Ca/Mg 52.39, K/Mg 52.39 and 3 earthworms present in the soil. With these properties, a quality index of 0.56 was determined, and a georeferenced base map is available. It is concluded that the minimum tillage system helps in the conservation of soil properties, according to the quality index this belongs to the moderate category.

**Key words:** <SOIL PROPERTIES>, <QUALITY INDEX>, <QUINUA (*Trabjo Quinoa* W.)>, <MINIMUM TILLAGE>, <QUALITY INDEX>, <CANTÚ METHODOLOGY>, <GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES>.

0721-DBRA-UPT-2024

11-06-2024



Lcda. Elsa A. Basantes A. Mgs.

C.C:0603594409

## INTRODUCCIÓN

El índice de calidad del suelo (ICS) es una herramienta que se utiliza para evaluar y medir la calidad y salud de un suelo, su objetivo principal es determinar la capacidad del suelo para mantener la productividad agrícola, su función ecológica y su sostenibilidad a largo plazo, se expresa en valores numéricos que se derivan de una serie de indicadores, los cuales abarcan aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo, estos indicadores permiten evaluar la calidad del suelo de manera precisa y confiable (Sarmiento et al., 2018, págs.130-139).

La quinua (*Chenopodium quinoa* W.) es un cultivo originario de los Andes y ha sido cultivado por miles de años por las antiguas culturas de la Región Andina en Sudamérica, existen evidencias que sugieren que la quinua fue un alimento fundamental para las poblaciones prehispánicas hasta la época de la conquista. Sin embargo, con la introducción y expansión de otros cultivos como el trigo, la cebada, la avena, las habas y las arvejas, principalmente, la quinua fue desplazada a zonas marginales de la sierra (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

En el presente estudio, se abordará la evaluación de la calidad del suelo a dos altitudes diferentes y bajo dos sistemas de labranza distintos en el contexto de la producción de quinua, en donde se proporcionará una comprensión más profunda de cómo la calidad del suelo puede variar en función de la altitud y las prácticas de labranza, lo que contribuirá a una toma de decisiones más informada y sostenible en la agricultura de Tunshi.

## CAPÍTULO I

### 1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Planteamiento del problema

En la estación experimental Tunshi no se cuenta con información de calidad del suelo para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.), por ello es necesario investigar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo a nivel de campo y laboratorio, determinando el índice de calidad para este cultivo. Teniendo en cuenta factores como la altitud; además, para orientar y optimizar nuestro proceso de muestreo de manera precisa y efectiva se empleará la Tecnología de Información Geográfica (TIG).

#### 1.2 Objetivos

##### 1.2.1 General

Determinar el índice de calidad de suelo a dos altitudes en dos sistemas de labranza para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en Tunshi.

##### 1.2.2 Específicos

- Determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas en cuatro lotes de suelo en Tunshi.
- Establecer el índice de calidad del suelo para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.).
- Zonificar y geolocalizar las parcelas en el estudio.

#### 1.3 Justificación

La ausencia de información de calidad del suelo específicamente destinada al cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.) en la estación experimental Tunshi, dada la importancia de comprender las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo para un cultivo exitoso, es imperativo llevar a cabo una investigación a nivel de campo y laboratorio. La determinación del

índice de calidad del suelo para la quinua es esencial para optimizar las prácticas agrícolas y garantizar un entorno propicio para su crecimiento.

La consideración de factores como la altitud, que puede influir significativamente en las condiciones del suelo, añade una capa de complejidad a la situación, la incorporación de la Tecnología de Información Geográfica (TIG) se justifica como una herramienta clave para un muestreo preciso y efectivo, permitiendo una recopilación de datos espacialmente informada y orientada hacia la mejora de las prácticas de cultivo de quinua en la estación experimental Tunshi.

## **1.4 Hipótesis**

### ***1.4.1 Hipótesis nula***

Los dos sistemas de labranza y altitud del suelo no influyen en el índice de calidad de suelo para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.).

### ***1.4.2 Hipótesis alternativa***

Los dos sistemas de labranza y altitud del suelo influyen en el índice de calidad de suelo para el cultivo de quinua (*Chenopodium quinoa* W.).

## CAPÍTULO II

### 2. MARCO TEÓRICO

#### 2.1 Propiedades del suelo

##### 2.1.1 Propiedades físicas

###### 2.1.1.1 Textura

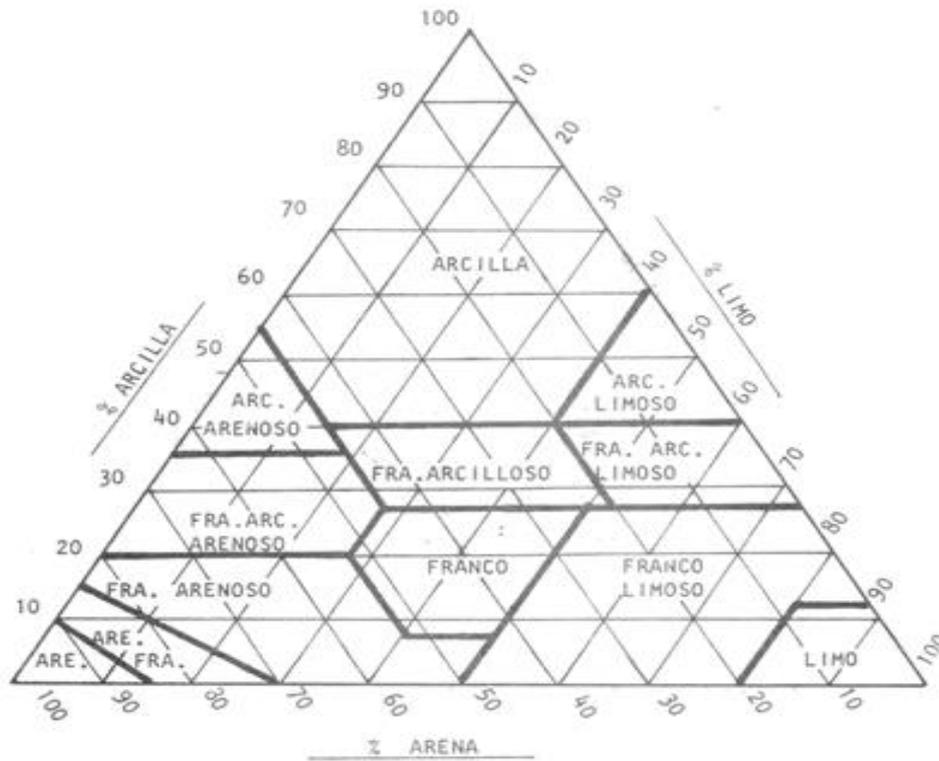
La textura del suelo se refiere a las proporciones relativas de partículas de arena, limo y arcilla (Tabla 2-1), constituye un componente esencial en los estudios de suelos para estimar las potencialidades y limitaciones del uso y manejo de la tierra, este factor influye en aspectos como la retención de agua, el drenaje, la aireación y la disponibilidad de nutrientes, la textura ideal del suelo para el crecimiento de las plantas depende de las necesidades específicas de las plantas cultivadas. (Qing et al., 2020, pág. 1)

**Tabla 2-1:** Límites de tamaño de fracciones del suelo

Fracción	Apartado del suelo	Tamaño, mm
Arena	Arena muy gruesa	2.0 - 1
	Arena gruesa	1.0 - 0.5
	Arena media	0.5 - 0.25
	Arena fina	0.25 - 0.10
	Arena muy fina	0.10 - 0.05
Limo	Limo	0.05 - 0.002
Arcilla	Arcilla	Menos de 0,002

**Fuente:** Thompson y Troeh, 2021, pág. 54.

La clase textural es la clasificación específica de un suelo en función de la proporción de partículas minerales de arena, limo y arcilla presentes en una muestra de suelo, esta clasificación se utiliza para determinar la textura del suelo y suele expresarse en forma de un triángulo, sobre el cual se observa la cantidad del elemento que representa cada clase; en general un lado del triángulo corresponde a la arcilla, el otro al limo y el tercero a la arena, como se observa en la Ilustración 2-1. (Qing et al., 2020, pág. 3)



**Ilustración 2-1:** Triángulo de textura

Fuente: Rucks et al., 2004, pág. 9

### 2.1.1.2 Estructura

La estructura del suelo va más allá de simplemente "la forma, el tamaño y la descripción espacial de las partículas y agregados primarios del suelo", se entiende como "la combinación de diferentes tipos de poros", donde se considera que las partículas del suelo actúan como las paredes que delimitan estos espacios porosos (Tabla 2-2). Se define en función de la interacción y disposición de los poros, reconociendo las propiedades espaciales y de conectividad de estos. (Rabot et al., 2018, pág. 1)

**Tabla 2-2:** Tipos de estructuras del suelo

Tipo	Descripción
Laminar	Está formado por partículas de suelo que se agrupan en delgadas láminas u horizontes que se cubren de manera horizontal.
Prismática	Esto se debe a la presencia de grietas verticales que surgen en suelos con una alta concentración de arcilla.
Columnar	Estructuras en forma de prismas con una cúpula en la parte superior, características de suelos alcalinos.

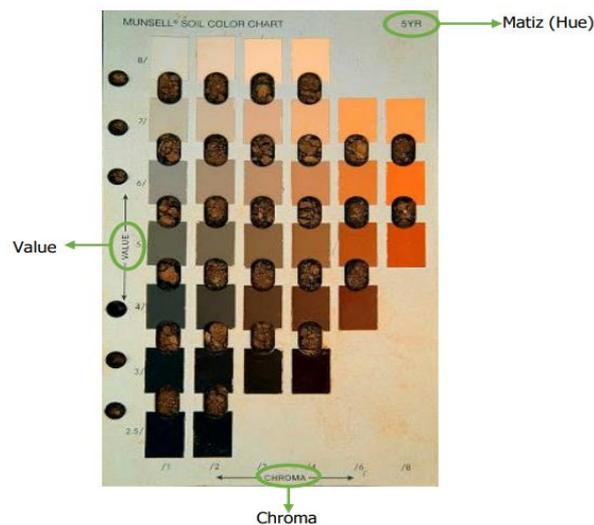
Bloques angulares	Bordes lineales y superficies rectangulares con cruces curvadas.
Bloques subangulares	Bordes afilados y superficies curvas, características comunes en áreas semiáridas y áridas con escasez de materia orgánica
Granular compuesta	Estructura que se considera beneficiosa debido a su solidez y al tamaño de los espacios que permite un flujo eficiente de agua y aire.
Migajosa	Una estructura granular altamente porosa.

Fuente: Porta et al., 2019, págs. 150-180.

La estructura del suelo se reconoce como un elemento clave en múltiples procesos dentro de los suelos, regula aspectos como la retención e infiltración de agua, los intercambios de gases, además, funciona materia orgánica y los nutrientes, la penetración de raíces y la vulnerabilidad a la erosión. como el entorno para diversos organismos del suelo, lo que impacta en la diversidad de estos y regula sus niveles de actividad. (Rabot et al., 2018, pág. 1)

### 2.1.1.3 Color

El color del suelo es un indicador clave de los procesos de formación del suelo, como la melanización y la rubefacción, está influenciado por la composición mineral del suelo, que a su vez está vinculada al material parental. Para evaluar el color del suelo, se debe tomar una muestra húmeda de cada horizonte y utilizar la tabla de colores Munsell, los colores se describen en función del tono, la intensidad de la luz y la saturación del color. (Vargas et al., 2020, págs.14-15)



**Ilustración 2-2:** Tabla de color de Munsell

Fuente: Domínguez et al, 2012, pág. 6.

#### 2.1.1.4 *Humedad*

La humedad del suelo es la cantidad de agua presente en el suelo, medida como porcentaje de la masa del suelo, este parámetro es esencial para el desarrollo de las plantas, ya que influye en la disponibilidad de agua para las raíces y, por lo tanto, en la salud y productividad de los cultivos. Además, la humedad del suelo también desempeña un papel crucial en procesos hidrológicos, como la infiltración, escorrentía y evaporación, afectando así el ciclo del agua en el ecosistema terrestre. (Wang et al., 2020, pág. 273)

#### 2.1.1.5 *Profundidad*

Se refiere al espesor del suelo, el cual es medido en centímetros (Tabla 2-3), desde la capa superficial del suelo hasta la capa de roca, en algunos casos o hasta una capa compactada o estrato endurecido en otros, este factor es de gran importancia para el crecimiento y la productividad de los cultivos, ya que influye en el desarrollo de las raíces de las plantas y en la cantidad de agua disponible en el suelo, considerándola un elemento clave para la determinación de la capacidad del suelo a mantener un cultivo de manera efectiva (Porta et al., 2019, págs.150-180).

**Tabla 2-3:** Profundidad del suelo

<b>Profundidad</b>	<b>Clasificación</b>
< 20 cm	Muy someros
20-50 cm	Someros
50-90 cm	Moderadamente profundos
>90 cm	Profundos

**Fuente:** Thompson y Troeh, 2021, págs. 54-56

#### 2.1.1.6 *Velocidad de infiltración*

Es la velocidad a la que el agua penetra desde la superficie hacia el interior del suelo, puede variar debido a múltiples factores, incluyendo la textura del suelo (Tabla 2-4), su porosidad, la cantidad de materia orgánica presente, la humedad inicial, la compactación, la profundidad del nivel freático y el uso del suelo (Ávila, et al., 2019, pág.2). De acuerdo con (Tapia, et al., 2020, pág.2) la vegetación desempeña un papel importante en la modificación de la infiltración, ya que, por un lado, la cobertura vegetal detiene parte de la lluvia, disminuye su velocidad y aumenta la cantidad de agua que penetra en el suelo en lugar de escurrir.

**Tabla 2-4:** Velocidad de infiltración del suelo

<b>Textura del suelo</b>	<b>Velocidad de infiltración (mm/h)</b>
Suelo arenoso	>30
Suelo franco arenoso	20-30
Suelo franco	10 a 20
Suelo franco arcilloso	5 a 10
Suelo arcilloso	1-5

**Fuente:** Delgadillo y Pérez, 2016, pág. 6

#### *2.1.1.7 Resistencia del suelo al corte*

Los suelos pueden comportarse de manera similar a los materiales elásticos cuando están sometidos a cargas, aunque en ocasiones pueden experimentar deformaciones mayores de lo que sería considerado normal. Cuando una muestra de suelo se somete a un esfuerzo de corte, las partículas tienden a desplazarse entre sí o a moverse una parte de la masa del suelo con respecto al resto, esto es una característica importante en el comportamiento de los suelos bajo presión, conocido como deformación del suelo por corte. (Armas et al., 2022, págs. 2-3)

#### *2.1.1.8 Temperatura*

La temperatura del suelo juega un papel crucial, especialmente en sectores como la agricultura y el manejo de residuos orgánicos en el suelo, ya que afecta el desarrollo de sistemas biológico, tiene un impacto significativo en los procesos físicos, químicos y microbiológicos que ocurren en él. En la capa superficial del suelo varía a lo largo del año según las condiciones de la superficie, la temperatura debajo de los primeros metros del subsuelo tiende a mantenerse relativamente constante durante todo el año. (Pepper et al., 2019, págs. 9-22)

#### *2.1.1.9 Densidad real ( $D_r$ )*

La densidad real de un suelo se refiere a la masa de los sólidos presentes en el suelo por unidad de volumen, sin considerar el espacio que es ocupado por los poros, esta medida es un indicador importante de la composición mineralógica del suelo y de la cantidad de material orgánico presente en él, a medida que se aumenta el contenido de material orgánico en el suelo, su densidad real tiende a disminuir, esto quiere decir que los suelos con materia orgánica abundante suelen tener una densidad real más baja. (Espinoza et al., 2018, págs. 177-187)

#### 2.1.1.10 Densidad aparente (*Dap*)

La densidad aparente es una medida clave para evaluar la compactación del suelo en respuesta al uso de la tierra y las prácticas de manejo del suelo, representa la masa o peso de un determinado volumen de suelo y afecta múltiples aspectos, incluyendo la infiltración, la capacidad de retención de agua, y la disponibilidad de nutrientes, un aumento en la densidad aparente indica una reducción de los macroporos y un aumento de los meso y microporos, impactando en la conductividad hidráulica. (Kumar et al., 2020, págs. 473-508)

#### 2.1.1.11 Porosidad

La transformación de la roca en suelo involucra la eliminación y descomposición del material sólido, así como la creación de espacios internos en la masa rocosa, estos contienen aire y agua (Tabla 2-5). La presencia de estos poros es esencial, ya que proporciona el espacio necesario para que las raíces de las plantas y los organismos del suelo crezcan y realicen sus actividades, los suelos que poseen una porosidad adecuada suelen ser más fértiles y propicios para el crecimiento de plantas saludables (Hernández, 2019, págs. 55-56).

**Tabla 2-5:** Tamaño de los poros del suelo

<b>Diámetro</b>	<b>Tipo</b>
>30 $\mu\text{m}$	Macroporos
30-10 $\mu\text{m}$	Mesoporos
10-0.2 $\mu\text{m}$	Microporos

**Fuente:** Delgadillo y Pérez, 2016, págs.3-4.

#### 2.1.1.12 Conductividad eléctrica (*CE*)

La conductividad eléctrica del suelo es una medida de la concentración de sales presentes en el suelo (Tabla 2-6), los suelos naturalmente contienen sales disueltas, por lo que la conductividad eléctrica puede ser baja pero nunca nula. Estas sales pueden ser beneficiosas para los organismos que las utilizan disueltas en el agua, sin embargo, un exceso de sales puede tener efectos negativos tanto en el crecimiento de las plantas como en la actividad de los microorganismos que se hallan en el suelo. (Cremona et al., 2020, págs. 6-7)

**Tabla 2-6:** Tipo de salinidad

<b>CE (dS/m a 25 °C)</b>	<b>Clase de salinidad</b>
0-0.98	No salino
0.98-1.71	Muy ligeramente salino
1.71-3.16	Ligeramente salino
3.16-6-07	Moderadamente salino
>6.07	Fuertemente salino

**Fuente:** López y Estrada, 2015, págs. 3-11.

## **2.1.2 Propiedades químicas**

### **2.1.2.1 Potencial de hidrógeno (pH)**

Según (Neina, 2019, pág. 2) el pH del suelo es considerado como la clave principal que afecta una gran variedad de propiedades y procesos biológicos, químicos y físicos del suelo, dichas propiedades son cruciales para el crecimiento de las plantas y la producción de biomasa. (Neina, 2019, pág. 2) compara el pH del suelo con la temperatura de un paciente durante un diagnóstico médico, resultando ser una forma útil de entender su importancia, ya que proporciona información valiosa sobre el estado en el que se encuentra el suelo.

### **2.1.2.2 Materia orgánica (MO)**

Se origina a partir de la descomposición química de desechos orgánicos de origen animal y vegetal, así como de microorganismos en diversas etapas de descomposición de dichos desechos, estos componentes se acumulan tanto en la superficie como en las capas más profundas del suelo, por lo tanto, es importante destacar el papel de la macro y micro fauna ya que desempeñan un papel activo en la descomposición y transformación de los desechos orgánicos, lo que contribuye a la dinámica del suelo. (Guamán, 2018, págs.. 20-30)

### **2.1.2.3 Nitrógeno (N)**

Desempeña un papel de vital importancia en la nutrición de las plantas, y su suministro puede ser controlado por la acción humana, en el suelo, el nitrógeno se presenta en formas tanto orgánicas como inorgánicas. Las formas inorgánicas incluyen el ion amonio ( $\text{NH}_4^+$ ), el ion nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ), el ion nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), el óxido de nitrógeno (NO), y la molécula de nitrógeno ( $\text{N}_2$ ), Las dos primeras formas del nitrógeno son más importantes en cuanto a la fertilización, mientras que  $\text{N}_2$  permanece inerte en el suelo (Palma, 2021, págs. 12-20).

#### 2.1.2.4 *Fósforo (P)*

En el suelo, el fósforo se encuentra en cantidades inferiores en comparación con el nitrógeno y el potasio, esto se debe a la baja presencia de este elemento en el suelo y a su capacidad de reaccionar con otros componentes formando compuestos insolubles, por lo tanto, son inalcanzables para las plantas. El fósforo disponible se refiere a la cantidad de este elemento, que se halla en el suelo, el cual es absorbido por las plantas, desempeñando un papel crucial en el crecimiento y desarrollo de ellas. (Palma, 2021, págs. 12-20)

#### 2.1.2.5 *Potasio (K)*

La concentración de potasio en el suelo va 0.04% y un 3%, aunque en circunstancias excepcionales, como en suelos alcalinos, podría alcanzar hasta un 8%, la mayor parte del potasio presente en el suelo es del tipo estructural, lo que quiere decir que no está directamente disponible para las plantas, sin embargo, desempeña un papel en los procesos dinámicos que ocurren con lentitud. La fracción de potasio que se encuentra en el suelo es mínima en comparación con el total (Palma, 2021, págs. 12-20).

#### 2.1.2.6 *Calcio (Ca)*

El calcio es un elemento fundamental en el crecimiento de las plantas, ya que cumple con dos papeles importantes, por un lado es un nutriente esencial que las plantas absorben para tener un buen desarrollo, mientras que por otro lado el calcio tiene una gran importancia, en cuanto a su influencia en el suelo mismo, ya que en el encalado se realiza la aplicación de cierta cantidad de calcio al terreno con el objetivo de reducir la acidez que se presente en el mismo y permite la incrementación de la disponibilidad de nutrientes (Palma, 2021, págs. 12-20).

#### 2.1.2.7 *Magnesio (Mg)*

La disponibilidad de magnesio en el suelo puede variar según el tipo de suelo y las condiciones locales, se debe realizar un análisis de suelo para determinar la cantidad presente de este elemento, el magnesio es un elemento necesario para el crecimiento de las plantas, ya que desempeña un papel esencial en diversas funciones vegetales, destacando uno de sus roles más importantes su presencia en la fotosíntesis, donde actúa como componente fundamental de la clorofila, la molécula responsable del color verde en las plantas (Liu et al., 2021, pág. 2).

#### *2.1.2.8 Relación C/N*

La relación carbono-nitrógeno en el suelo se refiere a la proporción entre la cantidad de carbono y la cantidad de nitrógeno presentes en el suelo, esta relación puede tener un impacto significativo en el funcionamiento del suelo, en particular en procesos como la descomposición de los restos de cultivos, especialmente la descomposición de los residuos vegetales en el suelo, y en el ciclo de los nutrientes de los cultivos, que en su mayoría involucra al nitrógeno (N) (Wakelin, et al., 2021, págs. 2-5).

#### *2.1.2.9 Relación Ca/Mg*

El calcio y el magnesio son nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, el calcio parece tener un papel en mejorar la agregación del suelo, ya que interactúa con materia orgánica y partículas de arcilla la cuales están cargadas negativamente, lo que se cree que estas arcillas son importantes para la estabilización del carbono orgánico en el suelo. Sin embargo, el magnesio promueve o reduce la agregación del suelo y la capacidad de infiltración de agua (Leiva, 2022, págs.1-2).

#### *2.1.2.10 Relación K/Mg*

Es una medida que indica la proporción relativa de estos dos elementos en el suelo, siendo importante en la disponibilidad de estos nutrientes para las plantas y, por lo tanto, en el crecimiento de los cultivos. Cuando hay una cantidad excesiva de potasio (K) en el suelo, las raíces de las plantas pueden presentar dificultades para absorber el magnesio ( $Mg^{2+}$ ) que se halle en él, al mismo tiempo se presentan problemas al momento de transportar el magnesio desde las raíces hasta otras partes de la planta, como lo son los brotes (Tränkner, 2018, págs. 414-431).

### ***2.1.3 Propiedades biológicas***

#### *2.1.3.1 Lombrices*

Las lombrices de tierra, después de ingerir materiales orgánicos, los expulsan en forma de heces que están bien estructuradas y enriquecidas con microorganismos, además, su actividad de excavación crea numerosas galerías en el suelo, lo que tiene varios beneficios, como mejorar la aireación del suelo, promover el movimiento del agua y facilitar el crecimiento de las raíces de las plantas. Dependiendo de las condiciones ecológicas, habrá un predominio de unos organismos u otros en el suelo, las lombrices de tierra requieren medios neutros o básicos, no toleran la acidez

de manera que por debajo de pH 5 son muy escasas, mientras que en medios neutros o básicos son muy eficaces (Porta et al., 2019, pág. 150-180).

## 2.2 Índice de calidad del suelo

El índice de calidad del suelo (ICS) es una herramienta que se utiliza para evaluar y medir la calidad y salud de un suelo, su objetivo principal es determinar la capacidad del suelo para mantener la productividad agrícola, su función ecológica y su sostenibilidad a largo plazo, se expresa en valores numéricos que se derivan de una serie de indicadores, los cuales abarcan aspectos físicos, químicos y biológicos del suelo, estos indicadores permiten evaluar la calidad del suelo de manera precisa y confiable, empleando métodos estadísticos, como el conjunto mínimo de datos (MDS) y el análisis de los componentes principales, para calcular el índice (Sarmiento, 2018, págs. 130-139).

**Tabla 2-7:** Índice de calidad de suelos

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

**Fuente:** Cantú et al., 2007, pág. 176.

## 2.3 Sistemas de labranzas

### 2.3.1 Labranza convencional

La labranza convencional es un proceso previo a la siembra que involucra el uso de maquinaria, como arados, para cortar y voltear total o parcialmente la capa superior del suelo, generalmente hasta una profundidad de unos 15 centímetros. Esta acción tiene varios efectos beneficiosos, como aflojar y airear el suelo, lo que facilita la absorción de agua, promueve la liberación de nutrientes y reduce la presencia de plagas tanto animales como vegetales en la superficie del suelo (López, 2020, págs. 5-8).

### **2.3.2 *Labranza reducida***

Reduce la cantidad de herramientas utilizadas en la preparación del suelo, buscando minimizar la labranza mediante la utilización de implementos como el cincel vibratorio o rígido, o combinaciones de herramientas como discos y cinceles, en particular, la labranza con cinceles rígidos o vibratorios es más preferida, ya que permite romper el suelo a profundidades adecuadas sin invertir las capas del suelo, a diferencia de lo que ocurre con los implementos de disco (García et al., 2018, págs. 16-25).

## **2.4 Tecnología de Información Geográfica (TIG)**

### **2.4.1 *Generalidades***

Es un sistema informático que permite reunir, gestionar y analizar diversos tipos de datos que se centra en la ubicación espacial, la organización de capas de información y utiliza mapas y escenas 3D para visualizar datos, además, revela conocimientos profundos, como patrones y relaciones, ocultos en los datos, lo que ayuda a los usuarios a tomar decisiones más informadas y estratégicas (Gallardo et al., 2018, págs. 15-25).

### **2.4.2 *Georreferenciación***

La georreferenciación es el proceso de asignar coordenadas geográficas a un elemento, ya sea un objeto, imagen, documento u otro, de manera que pueda ser localizado en un sistema de coordenadas y proyectado en un mapa. Este proceso permite vincular la información de un elemento con su ubicación espacial precisa en la superficie terrestre, lo que resulta fundamental para diversos campos como la cartografía, la planificación territorial, el monitoreo ambiental y la toma de decisiones basada en información geográfica (Sou et al., 2022, pág. 2441).

### **2.4.3 *Geolocalización***

La geolocalización se refiere al proceso de determinar la ubicación geográfica de un objeto o persona en el mundo real. Esto se logra mediante el uso de tecnologías como el Sistema de Posicionamiento Global (GPS), redes de telefonía móvil o señales de Wi-Fi, que permiten triangular la posición de un dispositivo o usuario (Andrade et al., 2020a, pág. 13).

#### **2.4.4 Sistema de posicionamiento global (GPS)**

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS, por sus siglas en inglés, Global Positioning System) es un sistema de navegación satelital que permite a los usuarios conocer con precisión cuál es su ubicación en cualquier punto de la Tierra. Aunque fue desarrollado y es gestionado por el Departamento de Defensa de los Estados Unidos, su uso está disponible tanto para aplicaciones civiles como: la navegación en automóviles y dispositivos móviles hasta la cartografía, la geolocalización de actividades al aire libre, la navegación marítima y aérea, la agricultura de precisión, la gestión de flotas y muchas otras áreas (Capdevilla, 2018, págs. 2-8).

Los sistemas de navegación por satélite se componen de tres partes o segmentos, cada uno con sus propias funciones y responsabilidades, el espacial, que está conformado por los satélites, el de control, que actúa como el cerebro del sistema y se encarga de monitorear y controlar los satélites, calcular sus datos de movimiento y transmitir esa información a los usuarios a través de los propios satélite y por último, el de usuarios, que consiste en los receptores utilizados por las personas para recibir y utilizar los datos de navegación proporcionados por los satélites (Olaya, 2020, págs. 3-5).

#### **2.4.5 Coordenadas geográficas**

Ofrecen la capacidad de determinar con exactitud la ubicación de cualquier punto en la superficie de la Tierra, estas coordenadas se representan mediante dos valores numéricos: uno se refiere a la latitud y el otro a la longitud. La latitud representa la distancia angular entre un punto dado y el Ecuador, calculada a lo largo del meridiano que atraviesa ese punto específico, por otro lado, la longitud corresponde a la distancia angular entre un punto cualquiera y el meridiano de Greenwich, calculada a lo largo del paralelo que pasa por dicho punto (Castillo et al., 2019, pág.196).

### **2.5 Cultivo de Quinoa**

#### **2.5.1 Características generales**

La quinoa (*Chenopodium quinoa* W.) es un cultivo originario de los Andes y ha sido cultivado por miles de años por las antiguas culturas de la Región Andina en Sudamérica, existen evidencias que sugieren que la quinoa fue un alimento fundamental para las poblaciones prehispánicas hasta la época de la conquista. Sin embargo, con la introducción y expansión de otros cultivos como el trigo, la cebada, la avena, las habas y las arvejas, la quinoa fue desplazada a zonas marginales de la sierra (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

## **2.5.2 Descripción botánica**

### **2.5.2.1 Raíz**

La raíz de la quinua es del tipo pivotante y se compone de una raíz principal a partir de la cual se extienden numerosas raíces laterales altamente ramificadas. La longitud de estas raíces puede variar significativamente, generalmente oscilando entre 0.8 y 1.5 metros, el desarrollo y crecimiento de las raíces de la quinua están influenciados por varios factores, como el genotipo de la planta, el tipo de suelo en el que se cultiva, la disponibilidad de nutrientes y la humedad del suelo, entre otros (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

### **2.5.2.2 Tallo**

El tallo de la quinua muestra una característica morfología en su unión con el cuello de la raíz, en esta zona, el tallo es cilíndrico y a medida que se aleja del suelo, se vuelve anguloso en las áreas donde nacen las hojas y las ramas, la corteza del tallo es firme y compacta, compuesta por tejidos fuertes y lignificados. Durante la etapa de crecimiento temprano, la médula del tallo es suave, pero a medida que los tallos maduran, la médula se vuelve esponjosa y seca (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

### **2.5.2.3 Hojas**

Las hojas constan de dos partes distintivas: el peciolo y la lámina, el peciolo de las hojas es largo y acanalado, y su longitud puede variar según su origen; generalmente, los peciolos que se originan directamente del tallo son más largos que aquellos que provienen de las ramas. Además, el color del peciolo puede presentar una variedad de tonalidades, incluyendo verde, rosado, rojo y púrpura. Esta diversidad en el color y la longitud de los peciolos es una característica distintiva de la quinua (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

### **2.5.2.4 Inflorescencia**

La panoja de la quinua es una estructura floral que puede tener una longitud que varía entre 15 y 70 centímetros, se encuentra en la parte superior de la planta y en el ápice de sus ramas, esta estructura floral consta de un eje principal, ejes secundarios y ejes terciarios. La clasificación de las panojas se basa en la forma y la posición de los glomérulos, que son grupos de flores, se la puede clasificar en tres categorías principales: amarantiformes, glomerulatas e intermedias, según la disposición (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

#### 2.5.2.5 Flores

Las flores de la quinua pueden ser sésiles (sin pedúnculo) o pediceladas (con pedúnculo) y se agrupan en glomérulos, la posición del glomérulo en la inflorescencia y la disposición de las flores dentro de ese glomérulo son factores que determinan el tamaño y el número de los granos o frutos que se desarrollan. Esta organización de las flores en glomérulos influye en la estructura de la quinua y su capacidad para producir semillas, lo que es fundamental para la cosecha y la producción del cultivo (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

#### 2.5.2.6 Fruto

El grano de quinua es un aquenio que tiene una forma lenticular (similar a una lenteja), elipsoidal, cónica o esferoidal, el cual está cubierto por las envolturas florales que rodean el fruto, estas envolturas florales se desprenden con facilidad cuando el grano madura; sin embargo, en algunos casos, pueden permanecer adheridas al grano incluso después de la trilla. Esto puede dificultar la cosecha y el procesamiento industrial de los granos de quinua (Pando y Aguilar, 2016 págs.7-18).

#### 2.5.2.7 Semillas

Presenta tres partes bien definidas que son: epispermo, embrión y polispermo, el epispermo, es la capa que cubre la semilla y está adherida al pericarpio, el embrión, está formado por dos cotiledones y la radícula y constituye, aproximadamente, el 30% del volumen total de la semilla y la envuelve al perispermo como un anillo, con una curvatura de 320 °, la raticula, muestra una pigmentación de color castaño, el perispermo es el principal tejido de almacenamiento; ya que reemplaza al endospermo (Pando et al., 2016, págs. 7-18).

### 2.5.3 *Requerimientos edafoclimáticos*

#### 2.5.3.1 *Clima*

Debido a su amplia variabilidad genética, se adapta a diferentes climas desde el desértico, caluroso y seco en la costa hasta el frío y seco de las grandes altiplanicies, pasando por los valles interandinos templados y lluviosos, llegando hasta las cabeceras de la ceja de selva con mayor humedad relativa y a la puna y zonas cordilleranas de grandes altitudes, por ello es necesario conocer que genotipos son adecuados para cada una de las condiciones climáticas (Chuquimarca, 2019, pág. 9).

### 2.5.3.2 *Suelo*

La quinua tiene la capacidad de crecer en una amplia variedad de tipos de suelos, pero muestra un mejor rendimiento en suelos que son de textura franca arenosa o franco arcilloso. Estos suelos deben ser semiprofundos y contener una cantidad significativa de materia orgánica. También es importante que los suelos tengan una pendiente moderada y un buen sistema de drenaje, ya que la quinua es altamente susceptible al exceso de humedad, especialmente durante sus primeras etapas de crecimiento (Cadena, 2021, págs. 59-62).

Se debe evitar el cultivo de quinua en suelos que tienen problemas de inundaciones, ya que esto puede dificultar el establecimiento inicial de la planta y, a lo largo del ciclo de crecimiento puede aumentar el riesgo de presencia de enfermedades de las raíces debido al exceso de humedad, el pH del suelo debe ser neutro o ligeramente alcalino al momento de realizar la siembra, aunque existen algunas variedades, pueden soportar hasta pH 8, demostrando su carácter halófito como (Chuquimarca, 2019, pág. 9).

### 2.5.3.3 *Precipitación*

En los Andes ecuatorianos la cantidad total de lluvia anual varía generalmente entre 600 y 800 milímetros, ya que es un cultivo que puede adaptarse a un rango bastante amplio de precipitación, que va desde los 300 milímetros hasta los 1000 milímetros. Aunque se considera que la cantidad de lluvia óptima para el cultivo de quinua durante su ciclo de crecimiento se encuentra en el rango de 500 a 1000 milímetros, en general, la quinua puede crecer adecuadamente en diferentes niveles de precipitación. (Cadena, 2021, págs. 59-62).

### 2.5.3.4 *Temperatura*

Debido a su diversidad y flexibilidad genética, la quinua puede adaptarse a una amplia gama de condiciones climáticas, incluyendo climas cálidos y secos, como de las regiones costeras desérticas, hasta climas templados ya sea húmedos o secos en los valles interandinos, así como climas fríos, ya sean lluviosos o secos, en las zonas de alta montaña de la sierra y el altiplano. Las temperaturas ideales para su crecimiento y desarrollo varían según la variedad, se encuentran en un rango de 7 a 20 °C (Cadena, 2021, págs. 59-62).

#### 2.5.3.5 *Requerimiento nutricional*

Previo a la siembra es importante realizar un análisis de laboratorio para conocer las condiciones iniciales del suelo en cuanto a nutrientes disponibles, este conocimiento permitirá proporcionar la nutrición adecuada para lograr altos rendimientos y calidad, para un buen crecimiento y rendimiento, la quinua, requiere varios nutrientes, sobre todo macro elementos como: el oxígeno, carbono, hidrógeno, calcio, magnesio, azufre, nitrógeno, fósforo y potasio, estos tres últimos son los más esenciales (Cadena, 2021, págs. 59-62).

## CAPÍTULO III

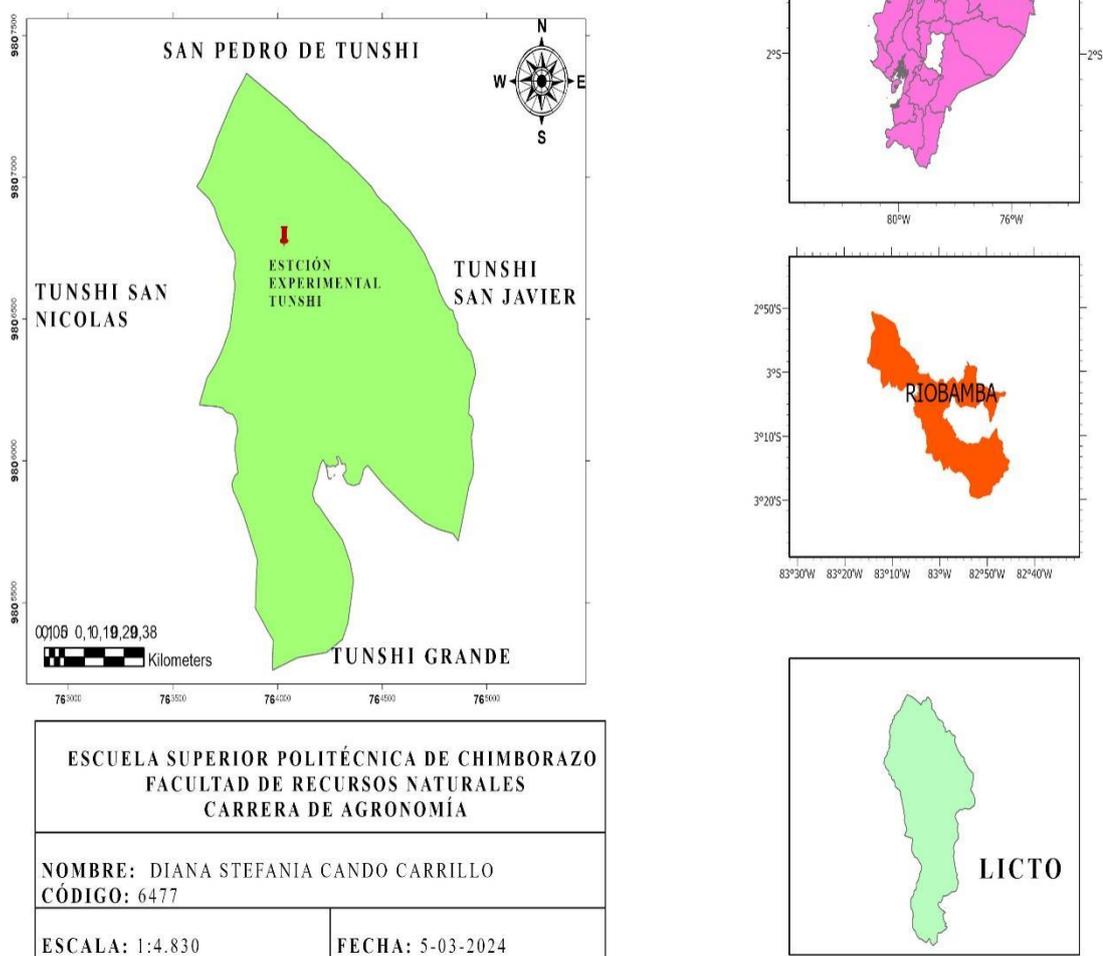
### 3. MARCO METODOLÓGICO

#### 3.1 Características del lugar

##### 3.1.1 Localización

Las labores presentadas a continuación se llevaron cabo en la Estación Experimental Tunshi, la cual limita al norte con Tunshi Grande, al sur Tunshi San nicolas, al este Tunshi San Javier y al oeste con Tunshi San Nicolas, ubicada en la parroquia Licto, cantón Riobamba, provincia de CimboraZO como se muestra en la Ilustración 3-1.

MAPA DE UBICACIÓN EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI



**Ilustración 3-1:** Mapa de ubicación de la zona de estudio

Realizado por: Cando D, 2024.

### **3.1.2 *Ubicación geográfica***

**Latitud:** 1°44'54" S

**Longitud:** 78°37'42" W

**Altitud:** 2838 msnm

### **3.1.3 *Características climatológicas***

**Temperatura promedio anual:** 12 y 18 °C

**Humedad relativa:** 60 -70%

**Precipitaciones:** 250 – 500 mm.

## **3.2 *Materias y equipos***

### **3.2.1 *Materiales experimentales***

- Bolsas plásticas para la recolección de muestras
- Etiquetas adhesivas
- Esferos
- Libreta
- Recipientes plásticos
- Pinzas
- Balanza
- Estufa
- Mufla
- Capsula
- Cilindro

### **3.2.2 *Equipos y herramientas***

- GPS
- Cámara fotográfica
- Cooler para transportar muestras
- Barreno
- Infiltrómetro de doble anillo.
- Geotermómetro.

- Conductímetro
- Hidrómetro
- Penetrómetro
- Potenciómetro

### **3.2.3 *Materiales de oficina***

- Penetrómetro
- Potenciómetro
- Computadora
- Hojas
- Impresora

## **3.3 Métodos**

### **3.3.1 *Geolocalización***

El centro experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, se encuentra ubicado en la parroquia Licto, cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo.

### **3.3.2 *Muestreo de campo***

Se utilizó el Gps Spectra el cual permitió obtener coordenadas para cada ubicación muestreada como se muestra en la ilustración 3-2 para ello las muestras de suelo fueron recolectadas a una profundidad de 30 cm utilizando una pala para extraer 9 submuestras de cada parcela, posteriormente combinar y formar la muestra compuesta representativa. Cada una de estas muestras se colocaron en una funda ziplox y se etiquetó con el número correspondiente para su fácil identificación, las muestras fueron almacenadas en un cooler y transportadas al laboratorio.

### **3.3.3 *Textura***

Para determinar la textura del suelo según el método de Bouyoucos, se pesaron 100 gramos de suelo y se colocaron en frascos de plástico de boca ancha añadiéndose 10 ml del agente dispersante (Hexametáfosfato de sodio) y 200 ml de agua a la mezcla, después de mezclar durante 15 minutos la mezcla se vertió en una probeta de plástico y se completó el volumen a 1000 ml con el hidrómetro sumergido. Se agitó durante 1 minuto y se tomó la primera lectura a los 40

segundos, después de dejar reposar durante 24 horas, se tomó la segunda lectura a los 40 segundos para calcular los porcentajes de arena, limo y arcilla.

#### **3.3.4 Color**

Se determinó el color de las 16 muestras de suelo comparando con los colores establecidos en la tabla munsell como se muestra en la ilustración 2-2 la cual muestra el valor que le corresponde en estado seco. Se tomó una cantidad de suelo y se colocó en el recipiente en donde se comparó con la tabla y se determinó el valor YR 3/3 que corresponde al color pardo grisáceo.

#### **3.3.5 Humedad**

Se excavó una calicata de 30 cm de profundidad, en donde se colocó un cilindro presionándolo contra la pared hasta obtener las muestras correspondientes. Estos cilindros fueron llevados al laboratorio, donde se pesaron con la muestra húmeda, luego fueron colocados en la estufa a 105°C durante 24 horas, después de retirar las muestras de la estufa, se dejó enfriar y se pesó nuevamente, obteniendo un porcentaje de humedad de 10,48%.

#### **3.3.6 Profundidad de la capa arable**

Para determinar la profundidad de la capa arable del suelo, se excavó una calicata de 60 cm con la ayuda de una pala y se utilizó una cinta métrica en donde se midió desde la superficie del suelo hasta la capa arable, clasificando los resultados obtenidos según los parámetros presentes en la tabla 2-3.

#### **3.3.7 Velocidad de infiltración**

Para determinar la velocidad de infiltración según el método de doble anillo, se colocaron dos anillos concéntricos sobre la superficie del suelo y se añadió agua en el espacio entre ellos, mediante el uso de un cronómetro se registró el tiempo que tardó el agua en infiltrarse y al mismo tiempo se midió la cantidad de agua aplicada durante el proceso.

#### **3.3.8 Resistencia del suelo al corte**

Se introdujo el penetrómetro en el suelo hasta una profundidad específica en donde se ejerció una fuerza constante sobre él y se registró la resistencia que ofreció el suelo al ser cortado, este proceso

se repitió en diferentes ubicaciones para obtener datos que ayudaron a determinar la resistencia al corte en el área de interés.

### ***3.3.9 Densidad real***

Para determinar la densidad real según el método del picnómetro se pesó el matraz o picnómetro vacío el cual fue aforado con agua destilada y pesado nuevamente, se vació el agua del picnómetro dejando aproximadamente 1/3 de su volumen en donde se agregó 5 gramos de suelo y se volvió a aforar con agua destilada asegurando que no quedaran burbujas de aire, finalmente se llevó a cabo una segunda medición del peso del picnómetro conteniendo tanto el suelo como el agua.

### ***3.3.10 Densidad aparente***

Para determinar la densidad aparente se utilizó el método volumétrico, se pesó el cilindro vacío para establecer una medida de referencia, se colocó el cilindro con la muestra del suelo húmedo en la estufa a 60°C durante 24 horas para eliminar toda la humedad, la muestra se retiró de la estufa dejándola que se enfriara durante 10 minutos antes de proceder a pesarla nuevamente.

### ***3.3.11 Porosidad***

Para determinar la porosidad del suelo se utilizó el método del USDA, se tomaron encuentra los datos de la densidad real y la densidad aparente, los cuales ayudaron al respectivo calculo. Luego, utilizando los resultados obtenidos se clasificó el tipo de porosidad que posee el suelo de acuerdo con la tabla 2-5, obteniendo un porcentaje de porosidad de 52,91%.

### ***3.3.12 Conductividad eléctrica***

Para determinar la conductividad eléctrica, se pesaron 100 gramos de suelo en un vaso amarillo en el cual se agregó agua destilada gradualmente hasta alcanzar una solución semisaturada, durante 15 minutos se mezcló la solución para asegurar una distribución uniforme. Luego, se registraron las lecturas utilizando el conductímetro y los datos obtenidos fueron clasificados de acuerdo con la Tabla 2-6, obteniendo una una conductividad eléctrica de 256,76 uS/cm.

### ***3.3.13 pH***

Para la determinación del pH se pesaron 20 gramos de suelo y se colocaron en un vaso de plástico de boca ancha al cual se añadió 50 ml de agua destilada, durante 10 minutos se mezcló la solución para asegurar una distribución uniforme. Luego, las lecturas se registraron utilizando el potenciómetro y se clasificaron según la ilustración 2-3 determinado que el suelo es ligeramente alcalino

#### **3.3.14 *Materia orgánica***

Se pesó la cápsula de porcelana vacía en donde se agregó 5 gramos de suelo y se colocó en una estufa a 105°C durante 24 horas para eliminar toda la humedad, la cápsula fue retirada de la estufa y se transfirió a una mufla, donde se mantuvo a una temperatura de 450°C durante 20 minutos para eliminar completamente cualquier residuo de humedad restante. Después de enfriar la cápsula, se pesó nuevamente para determinar el contenido de humedad del suelo con precisión.

#### **3.3.15 *Nitrógeno, fósforo y potasio***

Para la determinación de nitrógeno presente en el suelo, se tomó una alícuota de 1 ml de la muestra y se colocó en un vaso de boca ancha, añadiéndose 9 ml de Fenol Básico al vaso y 10ml de clorox, se mezcló suavemente y se dejó reposar durante 20 min, finalmente se tomó la lectura con la ayuda del colorímetro.

Para la determinación del contenido de fosforo presente en el suelo, se tomó una alícuota de 0.5 ml de la muestra y se colocó en un vaso de boca ancha. Se añadió 9.5 ml de agua destilada al vaso para diluir la muestra, posteriormente, se agregaron 10 ml del reactivo B al vaso, el cual es necesario para la reacción química que se va a medir, se dejó reposar por 20 minutos y se tomó las lecturas.

Para determinar el contenido de potasio en el suelo, se pesaron 2.5 g de suelo y se colocaron en un frasco de plástico adecuado al cual se añadió 25 ml de la solución extractante OLSEN y se cerró herméticamente. Luego, se colocó la mezcla en un agitador eléctrico y se agitó durante 30 minutos para asegurar una extracción adecuada de los componentes del suelo.

#### **3.3.16 *Lombrices***

La determinación de la población de lombrices en el suelo se realizó mediante la técnica de monitoreo directo en diversas parcelas, para ello se excavaron calicatas de 20 cm de profundidad

en donde se visualizó la presencia de lombrices, las lombrices fueron recolectadas y se contó la cantidad presente en cada parcela.

### 3.4 Especificaciones del campo experimental

- Número de tratamientos: 4
- Número de repeticiones: 4

#### 3.4.1 Factor de estudio

**Factor A:** Altitud

**A1:** menos de 2750 msnm

**A2:** más de 2750 msnm

**Factor B:** Sistema de labranza

**B1:** Labranza convencional

**B2:** Labranza reducida

#### 3.4.2 Tratamientos

**Tabla 3-1:** Tratamientos experimentales

Tratamiento	Código	Descripción
T1	A11L1	Altitud 2746 msnm labranza convencional
T2	A11L2	Altitud 2746 msnm labranza reducida
T3	A12L1	Altitud 2739 msnm labranza convencional
T4	A12L2	Altitud 2739 msnm labranza reducida

Realizado por: Cando D, 2024.

#### 3.4.3 Diseño experimental

El diseño para utilizar es diseño de bloques completos al azar (DBCA), en arreglo de parcela dividida con cuatro repeticiones.

**Tabla 3- 2:** Diseño experimental

Repetición 1		Repetición 2		Repetición 3		Repetición 4	
A11L1	A11L2	A11L1	A11L2	A11L1	A11L2	A11L1	A11L2
A12L1	A12L2	A12L1	A12L2	A12L1	A12L2	A12L1	A12L2

Realizado por: Cando D, 2024

#### 3.4.4 *Análisis estadístico*

- Para el análisis de varianza (ANOVA), se comprobarán los supuestos de homogeneidad de varianza, en la prueba de tukey se realizará la comparación entre tratamientos, repeticiones y se analizará el nivel de significancia.
- Cuando los datos no tengan distribución normal o no tengan homogeneidad de varianza se utilizará pruebas no paramétricas como Kruskal-Wallis.i9

## CAPÍTULO IV

### 4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

#### 4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

##### 4.1.1 *Textura*

La textura que presenta es de tipo franco arenosa, lo que indica una elevada cantidad de partículas de arena (48-51%) implicando una mala retención del agua, así como de los nutrientes es decir que el suelo tiende a secarse de manera rápida.

##### 4.1.2 *Estructura*

La estructura que se presenta es suelta, la cual favorece a un mejor flujo del aire, agua y nutrientes, viéndose afectada al usar los diferentes implementos de los sistemas de labranza los cuales influyeron en la estructura de este.

##### 4.1.3 *Color*

**Tabla 4-1:** Color del suelo

# de muestra	Lectura	Interpretación
1	10 YR 3/3	Pardo oscuro
2	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
3	10 YR 3/3	Pardo oscuro
4	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
5	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
6	10 YR 3/3	Pardo oscuro
7	10 YR 4/3	Pardo oscuro
8	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
9	10 YR 4/3	Pardo oscuro
10	10 YR 3/3	Pardo oscuro
11	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
12	10 YR 3/3	Pardo oscuro
13	10 YR 4/3	Pardo oscuro
14	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro

15	10 YR 3/3	Pardo oscuro
16	10 YR 4/3	Pardo oscuro

**Realizado por:** Cando D, 2024

El color es un indicador clave de los procesos de formación del suelo debido a que está influenciado por la composición mineral (Vargas et al., 2020, págs.14-15), el color de las muestras obtenidas en el área de estudio (Tabla 4-1) va de pardo oscuro a pardo grisáceo oscuro debido a la profundidad en la cual fue tomada las muestras, ya que a mayor profundidad disminuye el contenido de materia orgánica al mismo tiempo el sistema de labranza tiene efecto en la humedad influyendo de manera directa en el color .

#### 4.1.4 Humedad

El análisis de varianza para el contenido de humedad del suelo (Tabla 4-2), no se hallan diferencias significativas, con un CV de 16,59 % y un promedio de 10,48%.

**Tabla 4-2:** Análisis de la Varianza para el % de humedad del suelo antes la labranza

F.V.	SC	GI	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	9,15	3	3,05	1,01	0,4515	ns
Altitud	0,28	1	0,28	0,09	0,7729	ns
Repeticiones*Altitud	7,36	3	2,45	0,81	0,5325	
Sistema de labranza	1,89	1	1,89	0,63	0,4592	ns
Altitud*Sistema de labranza	5,18	1	5,18	1,71	0,2386	ns
Error	18,14	6	3,02			
Total	41,98	15				
C.V.	16,59					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024

#### 4.1.5 Profundidad de la capa arable

El análisis de varianza para la profundidad del suelo (Tabla 4-3), se hallan diferencias altamente significativas en el sistema de labranza y diferencias significativas en la altitud, con un CV de 2,17% y un promedio de 49,88 cm.

**Tabla 4-3:** Análisis de la Varianza para profundidad de la capa arable antes la labranza

<b>F.V.</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>	<b>Significancia</b>
Repeticiones	7,25	3	2,42	3,05	0,1136	ns
Altitud	9	1	9	11,37	0,015	*
Repeticiones*Altitud	6,5	3	2,17	2,74	0,1359	
Sistema de labranza	42,25	1	42,25	53,37	0,0003	**
Altitud*Sistema de labranza	0	1	0	0	>0,9999	ns
Error	4,75	6	0,79			
Total	69,75	15				
C.V.	1,78					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024

**Tabla 4-4:** Prueba DMS al 5% para profundidad de la capa arable en la altitud después de la labranza

<b>Altitud</b>	<b>Medias</b>	
2743 msnm	49,13	A
2734 msnm	50,63	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% (Tabla 4-4) se observa que a una altitud 2743 msnm la profundidad es mayor y alcanza los 50,53cm, por otro lado, a una altitud 2734 msnm se registra una profundidad menor de 49,13 cm.

**Tabla 4-5:** Prueba DMS al 5% para profundidad de la capa arable en sistema de labranza después de la labranza

<b>Sistema de labranza</b>	<b>Medias (cm)</b>	<b>Grupo</b>
Labranza Reducida	53,38	A
Labranza Convencional	48,13	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% (Tabla 4-5) el sistema de labranza convencional presenta una profundidad mayor de 51,5 cm, mientras que el sistema de labranza reducida obtuvo una profundidad menor de 48.25 cm.

#### 4.1.6 Velocidad de infiltración

El análisis de varianza para la profundidad del suelo (Tabla 4-6), se hallan diferencias significativas en el sistema de labranza, con un CV de 17,69% y un promedio de 11,19 mm/h.

**Tabla 4-6:** Análisis de la Varianza para la velocidad de infiltración después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	17,81	3	5,94	1,52	0,3035	ns
Altitud	3,06	1	3,06	0,78	0,4106	ns
Repeticiones*Altitud	7,81	3	2,6	0,66	0,6035	
Sistema de labranza	49	1	49	12,51	0,0123	*
Altitud*Sistema de labranza	2,25	1	2,25	0,57	0,4772	ns
Error	23,5	6	3,92			
Total	103,44	15				
CV	17,69					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-7:** Prueba DMS al 5% para velocidad de infiltración en los sistemas de labranzas después de la labranza

Sistema de labranza	Medias
Labranza Convencional	9,44 A
Labranza Reducida	12,94 B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% (Tabla 4-7) se determinó que el sistema de labranza reducida presenta una mayor velocidad de infiltración de 12,94 mm/h, mientras que el sistema de labranza convencional posee una velocidad de infiltración menor de 9,44 mm/h.

#### 4.1.7 Densidad real

El análisis de varianza para densidad real del suelo (Tabla 4-8), no se hallan diferencias significativas, con un CV de 1,08 % y un promedio de 2,53 gr/cm<sup>3</sup>

**Tabla 4-8:** Análisis de la Varianza para la densidad real del suelo después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
------	----	----	----	---	---------	---------------

Repeticiones	2,80E-03	3	9,20E-04	1,25	0,3725	ns
Altitud	5,60E-05	1	5,60E-05	0,08	0,792	ns
Repeticiones*Altitud	1,40E-03	3	4,60E-04	0,62	0,629	
Sistema de labranza	5,10E-04	1	5,10E-04	0,68	0,4397	ns
Altitud*Sistema de labranza	3,10E-04	1	3,10E-04	0,41	0,5437	ns
Error	4,40E-03	6	7,40E-04			
Total	0,01	15				
C.V.	1,08					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

#### 4.1.8 Densidad aparente

El análisis de varianza para la densidad aparente del suelo (Tabla 4-9), se hallan diferencias significativas en el sistema de labranza, con un CV de 2,62% y un promedio de 1,35 gr/cm<sup>3</sup>.

**Tabla 4-9:** Análisis de la Varianza para la densidad aparente del suelo después de la labranza

	F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones		0,02	3	5,00E-03	4	0,0701	ns
Altitud		2,50E-03	1	2,50E-03	2	0,207	ns
Repeticiones*Altitud		2,50E-03	3	8,30E-04	0,67	0,6025	
Sistema de labranza		0,01	1	0,01	8	0,03	*
Altitud*Sistema de labranza		2,50E-03	1	2,50E-03	2	0,207	ns
Error		0,01	6	1,30E-03			
Total		0,04	15				
C.V.		2,62					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-10:** Prueba DMS al 5% para la densidad aparente en los sistemas de labranzas después de la labranza

Sistema de labranza	Medias	
Labranza Reducida	1,33	A
Labranza Convencional	1,38	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% (Tabla 4-10) se determinó que el sistema de labranza reducida tiene una densidad aparente mayor de 1,38 gr/cm<sup>3</sup>, mientras que el sistema de labranza convencional posee una densidad aparente menor de 1.33 gr/cm<sup>3</sup>.

#### 4.1.9 Porosidad

El análisis de varianza para la densidad aparente del suelo (Tabla 4-11), se hallan diferencias significativas en el sistema de labranza, con un CV de 2,69% y un promedio de 52,91%.

**Tabla 4-11:** Prueba DMS al 5% para densidad real en sistema de labranza después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	39,88	3	13,29	6,55	0,0254	ns
Altitud	7,55	1	7,55	3,72	0,1021	ns
Repeticiones*Altitud	5,72	3	1,91	0,94	0,4783	
Sistema de labranza	18,99	1	18,99	9,35	0,0223	*
Altitud*Sistema de labranza	1,37	1	1,37	0,68	0,442	ns
Error	12,18	6	2,03			
Total	85,69	15				
C.V.	2,69					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-12:** Prueba DMS al 5% para la porosidad del suelo en sistema de labranza después de la labranza

Sistema de labranza	Medias	
Labranza Reducida	51,82	A
Labranza Convencional	54	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

Al realizar la prueba DMS al 5% (Tabla 4-12) se determinó que el sistema de labranza convencional tiene un alto porcentaje de porosidad de 54%, mientras que el sistema de labranza reducida posee un porcentaje bajo de 51,82 %.

#### 4.1.10 Conductividad eléctrica

El análisis de varianza para la conductividad eléctrica del suelo (Tabla 4-13), se hallan diferencias altamente significativas en la altitud, con un CV de 10,5% y un promedio de 256,76 uS/cm.

**Tabla 4-13:** Análisis de la Varianza para la conductividad eléctrica del suelo después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	120,03	3	40,01	0,06	0,9814	ns
Altitud	138719	1	138719	190,83	<0,0001	**
Repeticiones*Altitud	544,83	3	181,61	0,25	0,8588	ns
Sistema de labranza	772,84	1	772,84	1,06	0,3423	ns
Altitud*Sistema de labranza	1738,89	1	1738,89	2,39	0,1729	ns
Error	4361,62	6	726,94			
Total	146257,22	15				
CV	10,5					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-14:** Prueba DMS al 5% para la conductividad eléctrica del suelo después de la labranza

Altitud	Medias	
2734 msnm	163,65	A
2743 msnm	349,88	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-14) se observa que a una altitud 2743 msnm la conductividad eléctrica es mayor y alcanza los 349,88 uS/cm, mientras que a una altitud 2734 msnm se registra una conductividad eléctrica menor de 163,65 uS/cm.

#### 4.1.11 pH

El análisis de varianza para el pH del suelo (Tabla 4-15), se hallan diferencias significativas en la altitud, con un CV de 3,65 % y un promedio de 7,38.

**Tabla 4-15:** Análisis de la Varianza para el pH presente en el suelo después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,09	3	0,03	0,42	0,7457	ns
Altitud	0,61	1	0,61	8,44	0,0272	*

Repeticiones*Altitud	0,17	3	0,06	0,77	0,5521	ns
Sistema de labranza	2,80E-03	1	2,80E-03	0,04	0,8519	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,08	1	0,08	1,1	0,3348	ns
Error	0,44	6	0,07			
Total	1,39	15				
C.V.	3,65					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-16:** Prueba DMS al 5% par del suelo a el pH del suelo después de la labranza

Altitud	Medias	
2743 msnm	7,18	A
2734 msnm	7,58	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-16) se observa que a una altitud 2734 msnm el pH es mayor y alcanza los 7,58, mientras que a una altitud 2743 msnm se registra un pH menor de 7,18.

#### 4.1.12 Materia orgánica

El análisis de varianza para la materia orgánica del suelo (Tabla 4-17), se hallan diferencias significativas en las repeticiones, altitud y sistema de labranza, con un CV de 9,44% y un promedio de 1,73%.

**Tabla 4-17:** Análisis de la Varianza para el % de materia orgánica del suelo después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,39	3	0,13	4,85	0,0481	*
Altitud	0,55	1	0,55	20,57	0,004	**
Repeticiones*Altitud	1,31	3	0,44	16,24	0,0028	
Sistema de labranza	0,19	1	0,19	6,98	0,0384	*
Altitud*Sistema de labranza	0,01	1	0,01	0,35	0,5732	ns
Error	0,16	6	0,03			
Total	2,6	15				
C.V.	9,44					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-18:** Prueba DMS al 5% para el % de materia orgánica presente en el suelo después de la labranza

Altitud	Medias	
2743 msnm	1,55	A
2734 msnm	1,92	B

Realizado por: Cando D, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% (Tabla 4-18) se observa que a una altitud 2734 msnm el contenido de materia orgánica es mayor y alcanza el 1,98%, mientras que a una altitud de 2743 msnm se registra un contenido menor de 1,55%.

**Tabla 4-19:** Prueba DMS al 5% para el % de materia orgánica presente en el suelo después de la labranza

Sistema de labranza	Medias	
Labranza Convencional	1,63	A
Labranza Reducida	1,84	B

Realizado por: Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-19) se determinó que el sistema de labranza reducida él tiene un mayor porcentaje de materia orgánica de 1,84, mientras que la labranza convencional posee un porcentaje menor de 1,63.

#### 4.1.13 Nitrógeno

El análisis de varianza para el contenido de Nitrógeno en el suelo (Tabla 4-20), no se hallan diferencias significativas, con un CV de 4,68 % y un promedio de 4,72 mg/L.

**Tabla 4-20:** Análisis de la Varianza para el nitrógeno presente en el suelo después de la labranza

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,06	3	0,02	0,45	0,7283	ns
Altitud	0,02	1	0,02	0,43	0,5345	ns
Repeticiones*Altitud	0,66	3	0,22	4,68	0,0516	
Sistema de labranza	0,25	1	0,25	5,4	0,0592	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,06	1	0,06	1,21	0,3143	ns

Error	0,28	6	0,05
Total	1,33	15	
C.V.	4,58		

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

#### 4.1.14 Fósforo

El análisis de varianza para el contenido de fósforo en el suelo (Tabla 4-21), se hallan diferencias significativas en las repeticiones, altitud, sistema de labranza e interacción, con un CV de 9,31% y un promedio de 28,97 mg/L.

**Tabla 4-21:** Análisis de la Varianza para el fósforo presente en el suelo después de la labranza

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	112,66	3	37,55	5,16	0,0424	*
Altitud	942,34	1	942,34	129,5	<0,0001	**
Repeticiones*Altitud	180,76	3	60,25	8,28	0,0149	
Sistema de labranza	86,54	1	86,54	11,89	0,0137	*
Altitud*Sistema de labranza	104,81	1	104,81	14,4	0,009	**
Error	43,66	6	7,28			
Total	1470,76	15				
C.V.	9,31					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-22:** Prueba DMS al 5% para el fósforo presente en el suelo después de la labranza

Altitud	Medias	
2734 msnm	21,3	A
2743 msnm	36,65	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-22) se observa que a una altitud 2743 msnm el contenido de fósforo es mayor y alcanza 63,65 mg/L, mientras que a una altitud de 2734 msnm se registra un contenido menor de 21,3 mg/L.

**Tabla 4-23:** Prueba DMS al 5% para el fósforo presente en el sistema de labranza después de la labranza

Sistema de labranza	Medias	
Labranza Reducida	26,65	A
Labranza Convencional	31,3	B

Realizado por: Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-23) se determinó que el sistema de labranza convencional tiene un mayor contenido de fósforo de 31,3 mg/L, mientras que la labranza reducida posee un contenido menor de 26,65 mg/L.

**Tabla 4-24:** Prueba TUKEY al 5% para la interacción después de la labranza

Altitud	Sistema de labranza	Medias	
2734 msnm	Labranza Convencional	21,07	A
2734 msnm	Labranza Reducida	21,53	A
2743 msnm	Labranza Reducida	31,76	B
2743 msnm	Labranza Convencional	41,53	C

Realizado por: Cando D, 2024.

De acuerdo con la prueba de TUKEY al 5% (Tabla 4-24) se observa que a una altitud de 2734 msnm no existe diferencias en el contenido de fósforo en los sistemas de labranza, mientras que a una altitud de 243 msnm la labranza convencional tiene un mayor contenido de fósforo de 41,53 mg/L por otro lado la labranza reducida posee un contenido menor de 31,76 mg/L.

#### 4.1.15 Potasio

El análisis de varianza para el contenido de potasio en el suelo (Tabla 4-25), se hallan diferencias significativas en la altitud, con un CV de 20,66 % y un promedio de 2,08 Meq/100g.

**Tabla 4-25:** Análisis de la Varianza para el potasio presente en el suelo después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	1,12	3	0,37	2,01	0,2139	Ns
Altitud	2,22	1	2,22	12,01	0,0134	*
Repeticiones*Altitud	1,98	3	0,66	3,57	0,0865	
Sistema de labranza	0,23	1	0,23	1,22	0,3115	Ns
Altitud*Sistema de labranza	0,07	1	0,07	0,37	0,5675	Ns

Error	1,11	6	0,18
Total	6,72	15	
C.V.	20,66		

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-26:** Prueba DMS al 5% para el potasio presente en el suelo después de la labranza

Altitud	Medias	
2734 msnm	1,71	A
2743 msnm	2,45	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-26) se observa que a una altitud de 2743 msnm el contenido de potasio es mayor y alcanza los 2,45 Meq/100g, mientras que a una altitud de 2734 msnm posee un contenido menor de 1,71 Meq/1000g.

#### 4.1.16 Calcio

El análisis de varianza para el contenido de calcio en el suelo (Tabla 4-27), no se hallan diferencias, con un CV de 5,88 % y un promedio de 7,46 Meq/100g.

**Tabla 4-27:** Análisis de la Varianza para el calcio presente en el suelo después de la labranza

F.V.	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	2,66	3	0,89	4,61	0,0532	ns
Altitud	1,09	1	1,09	5,68	0,0545	ns
Repeticiones*Altitud	3,52	3	1,17	6,1	0,0297	
Sistema de labranza	0,13	1	0,13	0,66	0,449	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,1	1	0,1	0,53	0,4929	ns
Error	1,15	6	0,19			
Total	8,65	15				
C.V.	5,88					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

#### 4.1.17 Magnesio

El análisis de varianza para el contenido de magnesio en el suelo (Tabla 4-28), no se hallan diferencias significativas, con un CV de 4,05 % y un promedio de 0,14 Meq/100g.

**Tabla 4-28:** Análisis de la Varianza para el magnesio presente en el suelo después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	5,00E-05	3	1,70E-05	0,5	0,6959	ns
Altitud	1,00E-04	1	1,00E-04	3	0,134	ns
Repeticiones*Altitud	1,50E-04	3	5,00E-05	1,5	0,3072	
Sistema de labranza	0	1	0	0	>0,9999	ns
Altitud*Sistema de labranza	0	1	0	0	>0,9999	ns
Error	2,00E-04	6	3,30E-05			
Total	5,00E-04	15				
C.V.	4,05					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

#### 4.1.18 Relación C/N

El análisis de varianza para la relación C/N del suelo (Tabla 4-29), se hallan diferencias significativas en la altitud, con un CV de 5,3% y un promedio de 1,26.

**Tabla 4-29:** Análisis de la Varianza para la relación C/N después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,05	3	0,02	3,96	0,0715	ns
Altitud	0,25	1	0,25	55,75	0,0003	**
Repeticiones*Altitud	0,24	3	0,08	18,06	0,0021	
Sistema de labranza	0,02	1	0,02	5,59	0,056	ns
Altitud*Sistema de labranza	3,30E-03	1	3,30E-03	0,74	0,4213	ns
Error	0,03	6	4,40E-03			
Total	0,6	15				
C.V.	5,3					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-30:** Prueba DMS al 5% para la relación C/N después de la labranza

Altitud	Medias	Grupo
2734 msnm	1.13	A
2743 msnm	1.38	B

Realizado por: Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-30) se observa que a una altitud de 2743 msnm la relación C/N es mayor y alcanza a 1,38, mientras que a una altitud de 2734 msnm tiene una relación menor de 1,13.

#### 4.1.19 Relación Ca/Mg

El análisis de varianza para la relación Ca/Mg del suelo (Tabla 4-31), no se hallan diferencias significativas, con un CV de 5,99% y un promedio de 52,39.

**Tabla 4-31:** Análisis de la Varianza para la relación Ca/Mg después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	107,32	3	35,77	3,63	0,0839	ns
Altitud	9,03	1	9,03	0,92	0,3754	ns
Repeticiones*Altitud	142,36	3	47,45	4,82	0,0488	
Sistema de labranza	14,4	1	14,4	1,46	0,2721	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,22	1	0,22	0,02	0,8859	ns
Error	59,12	6	9,85			
Total	332,46	15				
CV	5,99					

p-valor: > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), p-valor: > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), p-valor: < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

Realizado por: Cando D, 2024.

#### 4.1.20 Relación K/Mg

El análisis de varianza para la relación K/Mg del suelo (Tabla 4-32), se hallan diferencias significativas en la altitud, con un CV de 5,99% y un promedio de 52,39.

**Tabla 4-32:** Análisis de la Varianza para la relación K/Mg después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	50,84	3	16,95	2,34	0,173	Ns

Altitud	129,56	1	129,56	17,88	0,0055	**
Repeticiones*Altitud	86,28	3	28,76	3,97	0,0712	
Sistema de labranza	11,95	1	11,95	1,65	0,2464	Ns
Altitud*Sistema de labranz..	2,46	1	2,46	0,34	0,5816	Ns
Error	43,48	6	7,25			
Total	324,57	15				
CV	18,45					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-33:** Prueba DMS al 5% para la relación K/Mg después de la labranza

Altitud	Medias	
2734 msnm	11,75	A
2743 msnm	17,44	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-33) se observa que a una altitud de 2743 msnm la relación K/Mg es mayor y alcanza los 17,44, mientras que a una altitud de 2734 msnm posee una relación menor de 11,75.

#### 4.1.21 *Lombrices*

El análisis de varianza para el número de lombrices presentes en el suelo (Tabla 4-34), se hallan diferencias significativas, con un CV de 18,18 % y un promedio de 3 lombrices.

**Tabla 4-34:** Análisis de la Varianza para la presencia de lombrices después de la labranza

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,5	3	0,17	0,67	0,6025	ns
Altitud	1	1	1	4	0,0924	ns
Repeticiones*Altitud	3,5	3	1,17	4,67	0,052	
Sistema de labranza	30,25	1	30,25	121	<0,0001	**
Altitud*Sistema de labranza	0,25	1	0,25	1	0,3559	ns
Error	1,5	6	0,25			
Total	37	15				
CV	18,18					

**p-valor:** > 0,01 y > 0,05 = no significativo (ns), **p-valor:** > 0,01 y < 0,05 = significativo (\*), **p-valor:** < 0,01 y < 0,05 = altamente significativo (\*\*)

**Realizado por:** Cando D, 2024.

**Tabla 4-35:** Prueba DMS al 5% para el numero de lombrices presentes en el suelo

<b>Sistema de labranza</b>	<b>Medias</b>	<b>Grupo</b>
Labranza Convencional	9	A
Labranza Reducida	13	B

**Realizado por:** Cando D, 2024.

Según la prueba DMS al 5% (Tabla 4-35) se determinó que el sistema de labranza reducida posee un contenido mayor de lombrices siendo un total de 13, mientras que en la labranza convencional se halló un total de 9 lombrices.

## **4.2 Índice de calidad del suelo**

### **4.2.1 Indicadores del índice de calidad**

Los indicadores físicos del índice de calidad del suelo (Tabla 4-36) con su valor mínimo y máximo requerido por el cultivo de quinua.

**Tabla 4- 36:** Índice de calidad del suelo

<b>Indicador</b>	<b>Valor indicador</b>
Profundidad	0,66
Velocidad de infiltración	0,20
DA	0,88
Porosidad	0,65
Ph	0,75
MO	0,24
P	0,47
Índice de calidad del suelo	0,56

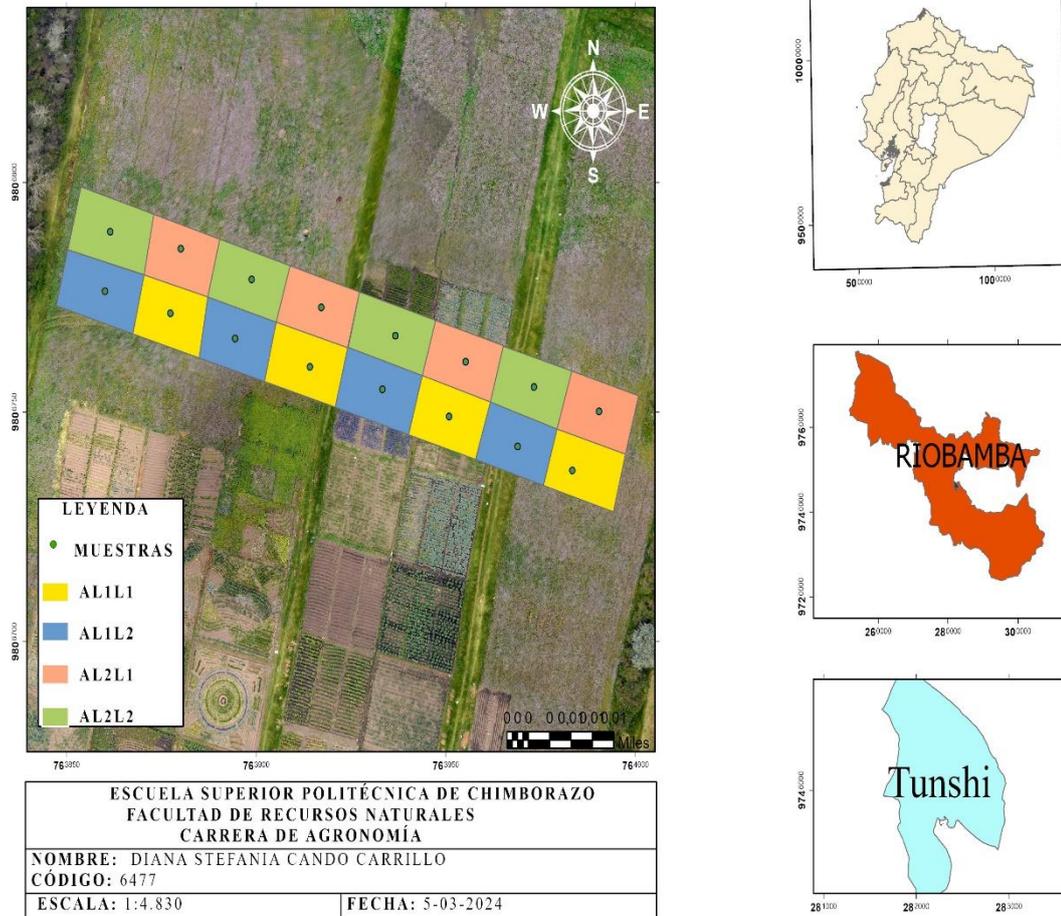
**Realizado por:** Cando D, 2024.

El índice de calidad del suelo para el cultivo de quinua (tabla 4-36) determinó que la profundidad, porosidad y fosforo se hallan de manera moderada dentro del suelo, mientras que el contenido de materia orgánica y velocidad de infiltración es bajo, sin embargo, la densidad aparente del suelo es alta en cuanto al índice de calidad.

## **4.3 Zonificación y geolocalización de las muestras del suelo**

En la ilustración 4-1 se muestra las 16 parcelas zonificadas, los cuatro tratamientos y las cuatro repeticiones. En cada lote se observa la localización de las muestras de suelo recolectadas para su análisis

MAPA UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS EN TUNSHI



**Ilustración 4-1:** Mapa de ubicación de las muestras de suelo de Tunshi

Realizado por: Cando D, 2024.

## 4.4 Discusiones

### 4.4.1 Textura

La textura constituye un componente esencial para estimar las potencialidades y limitaciones del uso y manejo de la tierra (Qing et al., 2020, pág. 1-5), mediante las muestras se obtuvo una textura franco-arenosa, lo cual concuerda con lo mencionado por (Cadena, 2021, págs. 59-62) en donde el cultivo de quinua requiere suelos de textura franco-arenosa, la labranza reducida es recomendada para el cultivo de quinua, ya que ayuda a conservar la humedad del suelo y reducir la erosión.

#### **4.4.2 Estructura**

La presencia de una estructura suelta de acuerdo con (Rabot et al., 2018, pág. 1) mejora la disponibilidad de oxígeno y la absorción de nutrientes, lo que puede contribuir al aumento del rendimiento de cultivos como la quinua, concordando con lo dicho por (Gómez, 2019, págs. 23-25) la labranza reducida puede mejorar la estructura del suelo y promover la formación de agregados estables, lo que favorece el crecimiento de las raíces y la disponibilidad de nutrientes para el cultivo de quinua.

#### **4.4.3 Profundidad**

La profundidad del suelo influye en el desarrollo de las raíces de las plantas y en la cantidad de agua disponible en el suelo (Porta et al., 2019, págs. 150-180). En este sentido, una mayor profundidad del suelo, como la obtenida bajo labranza mínima con un promedio de 51,5 cm, proporciona un ambiente más propicio para el crecimiento óptimo de la quinua, permitiendo que las raíces se extiendan más profundamente en el suelo en busca de recursos. Por otro lado, la labranza convencional, con una profundidad de suelo ligeramente menor de 48,25 cm, presenta desafíos en términos de disponibilidad de recursos para el cultivo de quinua.

#### **4.4.4 Velocidad de infiltración**

La velocidad e infiltración indica la capacidad del suelo para absorber y retener el agua (Ávila et al., 2019, pág. 2) el valor más alto se presentó en el sistema de labranza reducida con 12,94 mm/h mientras que sistema de labranza convencional obtiene un valor menor de 9mm/h, esto se debe a que el sistema de labranza reducida permite cortar el suelo a profundidades adecuadas permitiendo una mejor circulación y absorción de agua, concordando con lo dicho la labranza reducida tiende a mejorar la infiltración del agua.

El cuanto al cultivo de quinua la labranza reducida influye en la mejora de la circulación y absorción del agua, lo cual concuerda con lo mencionado por (Cadena, 2021, págs. 59-62) en donde un buen sistema de drenaje, ya que la quinua es altamente susceptible al exceso de humedad, especialmente durante sus primeras etapas de crecimiento

#### **4.4.5 Densidad aparente**

De acuerdo con (Kumar et al., 2020, págs. 473-508) la densidad aparente es la clave para evaluar la compactación del suelo, en donde el valor más alto se presentó en el sistema de labranza

convencional con 1,38 g/cm<sup>3</sup> mientras el sistema de labranza reducida obtuvo un valor bajo de 1,33 g/cm<sup>3</sup>.

#### **4.4.6 Porosidad**

La porosidad es esencial, ya que proporciona el espacio necesario para que las raíces de las plantas y los organismos del suelo crezcan y realicen sus actividades (Hernández, 2019, págs. 55-56), el valor más alto se presentó en el sistema de labranza convencional con 54% mientras que sistema de labranza reducida obtiene un valor menor de 51,82 %.

#### **4.4.7 Conductividad eléctrica**

La quinua al tener un carácter halófito puede soportar suelos salinos de acuerdo con (Chuquimarca, 2019, pág. 9), sin embargo la conductividad eléctrica obtenida fue de 0.26 dS/m, según la (tabla 2-6) estos suelos no son salinos, este se debe al uso de aperos tradicionales en el sistema de labranza mínima ya que se reduce la perturbación del suelo y se promueve la conservación de la estructura del suelo, observándose una conductividad eléctrica más baja debido a una menor redistribución de sales y nutrientes en el perfil del suelo.

#### **4.4.8 pH**

El nivel del pH obtenido es de 7,34, este valor concuerda con lo dicho por (Chuquimarca, 2019, pág. 9) donde menciona que el pH del suelo para el cultivo de quinua debe ser neutro o ligeramente alcalino, el sistema de labranza no tiene un efecto directo en el pH debido a que este suelo se halla en la neutralidad.

#### **4.4.9 Materia orgánica**

El cultivo de quinua requiere una cantidad significativa de materia orgánica según (Chuquimarca, 2019, pág. 9), al utilizar el arado de discos en la labranza convencional se produce un aumento en la descomposición de la materia orgánica, provocando la reducción de su contenido en suelo, de acuerdo con el resultado obtenido de 1,73%, (Sarmiento, 2022, págs. 104-113) menciona que la degradación o cambio en el uso del suelo disminuye la materia orgánica y con ella el carbono orgánico.

#### **4.4.10 Fósforo**

Se obtuvo un promedio de fósforo de 28,97 Meq/100g es decir que la cantidad de fósforo que se halla en el suelo es media, de acuerdo con (Cadena, 2021, págs. 59-62) el fósforo es uno de los elementos más esenciales para el crecimiento y buen desarrollo de la quinua, el sistema de labranza influye en la presencia de dicho elemento ya que al utilizar un sistema de labranza convencional aumenta la erosión del suelo y la lixiviación de nutrientes disminuyendo su disponibilidad (Villareal, 2018, págs.. 69-79).

#### **4.4.11 Relación C/N**

Se presenta una relación C/N de 1,26 es decir que es muy buena, de acuerdo con (Wakelin et al., 2021, págs. 2-5) al tener una muy buena relación de C/N se produce un impacto significativo en el funcionamiento del suelo, el sistema de labranza convencional altera la relación C/N debido a la rápida descomposición de la materia orgánica y la liberación de nitrógeno (N) en el suelo, por otro lado, bajo un sistema de labranza reducida ayuda a que se mantenga una relación C/N más estable en el suelo a lo largo del tiempo siendo beneficioso para el cultivo de la quinua.

## CAPÍTULO V

### 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

Los sistemas de labranza aplicados en el laboreo del suelo para el cultivo de quinua influyen en las propiedades físicas, químicas y biológicas de este. La labranza convencional incide negativamente en la estructura, en la densidad aparente, porosidad, velocidad de infiltración. Lo contrario ocurre con la aplicación de la labranza reducida, disminuye la pérdida de humedad, la velocidad de infiltración.

En lo relacionado al estudio de índice de calidad del suelo para el cultivo de quinua en la Estación Experimental Tunshi, en los tratamientos aplicados presenta un valor medio de 0.56 que de acuerdo con el método de Cantú corresponde a un suelo de calidad moderada.

El uso de Tecnologías de Información Geográfica (TIGs) para el mapeo y muestreo del suelo constituye una herramienta fundamental para realizar un mapa base de la calidad del suelo para el cultivo de quinua en la Estación Experimental Tunshi.

## **5.2 Recomendaciones**

Se recomienda aplicar el sistema de labranza reducida para el cultivo de quinua en la Estación Experimental Tunshi, con la finalidad de conservar las propiedades físicas, químicas, biológicas y la calidad del suelo.

Es importante realizar evaluaciones periódicas de la calidad del suelo utilizando índices o herramientas adecuadas para identificar posibles mejoras y ajustes en las prácticas de manejo.

Continuar utilizando las TIGs con el fin de generar mapas base que muestren la calidad del suelo en la Estación Experimental Tunshi y realizar un seguimiento de los cambios en la calidad del suelo a lo largo del tiempo, esto proporcionara información importante para la toma de decisiones en el manejo del suelo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. **ANDRADE, Marisol; et al.** *Enseñanza de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado en la Universidad de La Rioja Principios teóricos y ejercicios prácticos* [En línea]. Logroño-España: Universidad de La Rioja, 2020. [Consulta: 15 septiembre 2023]. Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/indo03.shtml>
2. **ARMAS, Yeimi; et al.** "Uso de estabilizadores de suelo: Una revisión del impacto al corte y asentamiento". *Universidad Libre de Colombia* [en línea], 2022, (Colombia), vol. 19 (1), págs.2-3. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 2619-6581. Disponible en: <https://www.virtualpro.co/revista/avances-vol-19-num-1/11>
3. **ÁVILA, Laura; et al.** "Análisis de la velocidad de infiltración del agua en suelos saturados mediante lisímetros de pesada". *Universidad de Zaragoza* [en línea], 2019, (España), pág.2. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://zaguan.unizar.es/record/84426/files/3370.pdf>
4. **CADENA ZUMÁRRAGA, Fernanda Mabel.** Análisis del impacto económico del cambio climático en cultivos de quinua (*Chenopodium quinua*), en la provincia de Chimborazo. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría). Universidad Andina Simón Bolívar. Quito-Ecuador. 2021. págs. 59-62. [Consulta: 2023-11-12]. Disponible en: <https://repositorio.uasb.edu.ec/bitstream/10644/8067/1/T3513-MCCNA-Cadena-Analisis.pdf>
5. **CANTÚ, Mario; et al.** "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices". *Ciencia del suelo* [En línea], 2007, (Argentina), vol. 25 (2), pág. 176. [Consulta: 25 septiembre 2023]. ISSN 1850-2057. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v25n2/v25n2a08.pdf>
6. **CAPDEVILA, Julio.** *El Sistema de Posicionamiento Global (GPS)*. Córdoba-Argentina: Universidad Nacional de Córdoba, 2018, págs. 2-8.
7. **CASTILLO, Juan; et al.** *Infraestructuras comunes de telecomunicación en viviendas y edificios*. Madrid-España: Editex, 2019, pág. 196.

8. **CHUQUIMARCA CUÑAS, José César.** Evaluación de la adaptación y rendimiento de diez líneas de quinua (*Chenopodium quinoa* W.), en la parroquia Calpi cantón Riobamba provincia de Chimborazo. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Riobamba-Ecuador. 2019. pág. 9. [Consulta: 2023-12-23]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/10731/1/13T0874.pdf>
9. **CREMONA, María; et al.** “Algunas propiedades del suelo que condicionan su comportamiento: El pH y la conductividad eléctrica”. EEA Bariloche [en línea], 2020, (Argentina), págs. 6-7. [Consulta: 28 noviembre 2023]. Disponible en: <https://core.ac.uk/download/pdf/335290789.pdf>
10. **DELGADILLO, Oscar & PÉREZ, Luís.** *Medición de la infiltración del agua en el suelo* [en línea]. Cochabamba-Bolivia: Centro Andino para la Gestión y Uso del Agua, 2016. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: [http://www.centroagua.umss.edu.bo/wpcontent/uploads/2022/04/S\\_T\\_12016\\_Medicion\\_infiltracion\\_doble\\_anilla.pdf](http://www.centroagua.umss.edu.bo/wpcontent/uploads/2022/04/S_T_12016_Medicion_infiltracion_doble_anilla.pdf)
11. **ESPINOZA, Indira; et al.** “Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos”. INIAP [en línea], 2018, (Ecuador), pág.177-187. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5297/1/iniap%201301-3437-2-PB.pdf>
12. **GALLARDO, Miguel; et al.** *Tecnologías de la Información Geográfica: perspectivas multidisciplinares en la sociedad del conocimiento*. Valencia-España: Universidad de Valencia, 2018, págs.15-25.
13. **GARCÍA, Dayra; et al.** “Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol”. *Revista de Ciencias Agrícolas*, vol. 35, n° 1, (2018), (Colombia). págs. 16-25.
14. **GÓMEZ TORRES, Edgar.** Propuesta de un sistema de labranza reducida (LR) en las Haciendas Avelina y Buchitolo del Valle del Cauca Colombia. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional Abierta y a Distancia. Palmira-Colombia. 2019. págs. 23-25. [Consulta: 2023-11-09]. Disponible en: <https://repository.unad.edu.co/bitstream/handle/10596/27949/%2009egomezt.pdf?sequence=1&isAllowed=y>

15. **GUAMÁN ARPI, Cristian Andrés.** Validación del método para determinar materia orgánica en el suelo por la técnica de Walkley And Black. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad de Cuenca. Cuenca-Ecuador. 2018. págs. 20-30. [Consulta: 2023-10-24]. Disponible en: <https://dspace.ucuenca.edu.ec/bitstream/123456789/31352/1/Trabajo%20de%20titulacion.pdf>
16. **HERNANDEZ RAMOZ, Jonathan Ossiell.** *Determinación de propiedades de suelos agrícolas a partir de mediciones eléctricas realizadas en campo y laboratorio.* (Trabajo de titulación) (Maestría). Instituto Potosino de Investigación Científica y Tecnológica. San Luis Potosí-México. 2019. págs. 55-56.
17. **KUMAR, Ashok; et al.** *Climate Change and Soil.* Ámsterdam-Países Bajos: Elsevier, 2020, págs. 473-508.
18. **LEIVA, Andrea; et al.** "Managing soil acidity vs. soil Ca: Mg ratio: What is more important for crop productivity?". *Crop, Forage & Turfgrass Management* [en línea], 2022, (United State of America), vol. 9 (1), págs. 1-2. [Consulta: 20 de diciembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1002/cft2.20210>
19. **LIU, Zhilei; et al.** "Magnesium Fertilization Affected Rice Yields in Magnesium Sufficient Soil in Heilongjiang Province, Northeast China". *Frontiers In Plant Science* [En línea], 2021, (China), vol. 12, pág. 2. [Consulta: 26 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.645806>
20. **LÓPEZ CERDA, Ingrid Gabriela.** Análisis de cuatro cultivos precolombinos en asocio, establecidos en dos métodos de labranza: camellones prehispánicos y labranza convencional. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Doctoral). Universidad Nacional Agraria. Managua-Nicaragua. 2020. Págs. 5-8. [Consulta: 2023-20-11]. Disponible en: <https://repositorio.una.edu.ni/4307/1/tnf07l864.pdf>
21. **LÓPEZ, Mariana & ESTRADA, Héctor.** "Propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo". *Bioagrocencias*, vol. 8, nº 1, (2015), (México). págs. 3-11.
22. **NEINA, Dora.** "The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation". *Applied and Environmental Soil Science*, vol.19, nº 1, (2019), (Ghana). págs. 1-9.

23. **OLAYA, Víctor.** *Sistemas de Información Geográfica*. [En línea]. España: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2020. [Consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en: [http://ide.unex.es/ide\\_cume/2020\\_olaya\\_\\_sistemas\\_de\\_informacin\\_geogrfica.html](http://ide.unex.es/ide_cume/2020_olaya__sistemas_de_informacin_geogrfica.html)
24. **PALMA PINCAY, John Henry.** Efectos de la labranza convencional sobre la calidad de los suelos en la estación experimental Tunshi-Epoch. [En línea]. (Trabajo de titulación). Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Tunshi. Riobamba-Ecuador.2021. págs. 12-20. [Consulta: 2024-01-15]. Disponible en: <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/16549/1/13T00981.pdf>
25. **PANDO GÓMEZ Luis, & AGUILAR CASTELLANOS, Enrique.** *Guía de cultivo de la quinua*. Lima- Perú: Universidad Nacional Agraria La Molina, 2016, págs. 7-18.
26. **PEPPER, Ian; et al.** *Environmental and pollution science*. 3ª ed. United State of America: Academic Press, 2019, págs. 9-22.
27. **PORTA, Ray; et al.** *Edafología: uso y protección de suelos*. 3ª ed. Madrid-España: Mundi-Prensa, 2019, págs. 150-180.
28. **QING, Xia;e et al.** “Soil microbial diversity and composition: Links to soil texture and associated properties” *Soil Biology and Biochemistry*, vol.149, nº 4, (2020), (United State of America). págs. 1-5.
29. **RABOT, Eva; et al.** “Soil structure as an indicator of soil functions: A review”. *Geoderma* [en línea], 2018, (United State of America), vol. 314, pág. 122. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 0016-7061. Disponible en: <https://sci-hub.se/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
30. **RUCKS, L; et al.** “Propiedades físicas del suelo”, *Universidad de la República* [en línea], 2004, (Uruguay), vol. 1, pág. 9. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://bibliofagro.pbworks.com/f/propiedades+fisicas+del+suelo.pdf>
31. **SARMIENTO, Erika; et al.** “Índices de calidad del suelo. Una revisión sistemática”. *Ecosistemas*, vol.27, nº 3, (2018), (Colombia). págs. 130-139.
32. **SARMIENTO, Guido; et al.** “Impacto de tres sistemas de labranza en la fertilidad de un suelo entisol en zonas áridas”. *Chilean journal of agricultural*, vol.38, nº 1, (2022), (Chile). págs. 104-113.

33. **SOU, Gemma; et al.** "A New Method to Bridge New Materialism and Emotional Mapping: Spatio-Emotional Experiences in Disaster-Affected Brazilian Favelas". *The Qualitative Report* [En línea], 2022, (Brasil), vol. 27 (11), pág. 2441. [Consulta: 9 diciembre 2023]. ISSN 2432-2445. Disponible en: <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5744>
34. **TAPIA, Raul; et al.** "Velocidad de infiltración e infiltración base en dos comunidades arbustivas del desierto hiper árido de San Juan". *Ecosistemas* [en línea], 2020, (Argentina), vol. 29 (3), pág. 2. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.7818/ECOS.2036>
35. **THOMPSON, Louis & TROEH, Frederick.** *Los suelos y su fertilidad* [en línea]. 4ª ed. Barcelona-España: Reverté, 2021. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: [https://www.google.com.ec/books/edition/Los\\_suelos\\_y\\_su\\_fertilidad/VpIUEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1](https://www.google.com.ec/books/edition/Los_suelos_y_su_fertilidad/VpIUEAAAQBAJ?hl=es&gbpv=1)
36. **TRÄNKNER, Merle; et al.** "Functioning of potassium and magnesium in photosynthesis, photosynthate translocation and photoprotection". *Physiologia plantarum* [en línea], 2018, (United State of America), Vol. 163 (3), págs. 414-431. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ppl.12747>
37. **VARGAS, D; et al.** *Manual de evaluación de suelos* [en línea]. Ciudad de México-México: Grupo de trabajo del Concurso Mexicano de Evaluación de Suelos & Comisión de Acción Juvenil de la Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, 2020. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.smcsmx.org/files/concurso/2020/Manual3CMES2020.pdf>
38. **VILLAREAL LOZANO, Rafael Germán.** Variación temporal de las propiedades físicas del suelo y su impacto en la dinámica del glifosato en suelos bajo siembra directa y labranza convencional. [En línea]. (Trabajo de titulación). Universidad Nacional de la Plata. Buenos Aires-Argentina. 2018. págs. 69-79. [Consulta: 2023-11-03]. Disponible en: [https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/72021/Documento\\_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y](https://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/72021/Documento_completo.pdf-PDFA.pdf?sequence=1&isAllowed=y)
39. **WAKELIN, Steve; et al.** "High Maintenance of Rhizosphere Soil C and N Equilibrium Regardless of Plant Species or Species Traits". *Frontiers in Soil Science*, vol. 1, (2021), (New Zealand). págs. 2-5.

40. **WANG, Ju; et al.** “Soil moisture sensing with commodity RFID systems”. *Proceedings of the 18th International Conference on Mobile Systems, Applications, and Services* [en línea], 2020, (Canada), pág. 273. [Consulta: 18 noviembre 2023]. Disponible en: <https://scihub.se/10.1145/3386901.3388940>

41. **WEIL, Ray & BRADY, Nyle.** *Elementos de la naturaleza y propiedades de los suelos*. 4ª ed. Reino Unido: Pearson, 2018, pág. 109.

## ANEXOS

### ANEXO A: MEDICIÓN DE LA VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN.



### ANEXO B: APLICACIÓN DE INSTRUMENTO PARA LABRANZA CONVENCIONAL.



### ANEXO C: APLICACIÓN DE INSTRUMENTO PARA LABRANZA REDUCIDA.



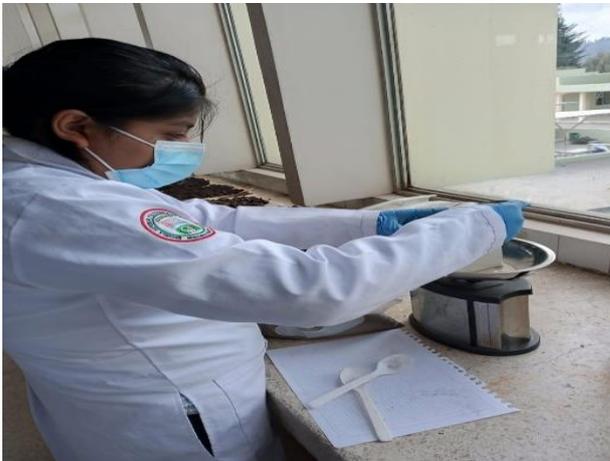
**ANEXO D: ELABORACIÓN DE CALICATAS.**



**ANEXO E: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR DENSIDAD REAL DEL SUELO.**



**ANEXO F: PROCEDIMIENTO PARA DETERMINAR LA TEXTURA DEL SUELO.**



## ANEXO G: MUESTRAS PARA DETERMINAR LA HUMEDAD DEL SUELO.



## ANEXO H: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DE LAS MUESTRAS DEL SUELO



ESCUELA SUPERIOR POLITECNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
LABORATORIO DE SUELOS



Nombre del Propietario: Srta. Diana Stefánia Cando Carrillo

Fecha de ingreso: 20/12/2023

Fecha de salida: 16/02/2024

TEMA TIC: " DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE QUINUA ( *Chenopodium quinoa* W) EN TUNSHI"

CARRERA: INGENIERÍA AGRONÓMICA

SEMESTRE: NOVENO

Ubicación: Estación experimental Tunshi  
Nombre de la granja

Licín  
Parroquia

Riobamba  
Cantón

Chimborazo  
Provincia

### RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

Ident. Muestra	Textura	Estructura	% Poros	gr/cc		% Humedad	Color en suelo seco	
				DA	DR		Lectura	Interpretación
1	Franco arenoso	Suelta	52.00	1.3	2.50	9.6	10 YR 3/3	Pardo oscuro
2	Franco arenoso	Suelta	57.17	1.4	2.52	15.3	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
3	Franco arenoso	Suelta	54.36	1.4	2.54	10.8	10 YR 3/3	Pardo oscuro
4	Franco arenoso	Suelta	54.37	1.4	2.50	10.7	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
5	Franco arenoso	Suelta	52.60	1.3	2.56	9.1	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
6	Franco arenoso	Suelta	55.44	1.4	2.53	11.2	10 YR 3/3	Pardo oscuro
7	Franco arenoso	Suelta	50.72	1.3	2.56	10.8	10 YR 4/3	Pardo oscuro
8	Franco arenoso	Suelta	54.89	1.4	2.53	10.8	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
9	Franco arenoso	Suelta	50.58	1.3	2.57	9.7	10 YR 4/3	Pardo oscuro
10	Franco arenoso	Suelta	50.00	1.3	2.50	9.1	10 YR 3/3	Pardo oscuro
11	Franco arenoso	Suelta	54.25	1.4	2.50	8.7	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
12	Franco arenoso	Suelta	56.02	1.4	2.50	11.0	10 YR 3/3	Pardo oscuro
13	Franco arenoso	Suelta	49.54	1.3	2.53	9.9	10 YR 4/3	Pardo oscuro
14	Franco arenoso	Suelta	50.78	1.3	2.56	8.3	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
15	Franco arenoso	Suelta	50.49	1.3	2.51	12.5	10 YR 3/3	Pardo oscuro
16	Franco arenoso	Suelta	53.30	1.4	2.54	10.2	10 YR 4/3	Pardo oscuro

Ing. Víctor Lindao Ph.D.  
JEFE DE LAB. SUELOS



Ing. Elizabeth Pietacama Ch.  
TECNICO DOCENTE

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 1/4, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono 2998220 Extensión 418  
"Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con el medio ambiente y la naturaleza"

# ANEXO I: ANÁLISIS DE LAS PROPIEDADES QUÍMICAS DE LAS MUESTRAS DEL SUELO



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO  
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES  
LABORATORIO DE SUELOS



Nombre del Propietario: Sra. Diana Stefanía Cando Carrillo

Fecha de ingreso: 20/12/2023

Fecha de salida: 16/02/2024

TEMA TIC: \* DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE QUINUA ( *Chenopodium quinoa* W.) EN TUNSHIT

CARRERA: INGENIERÍA AGRONÓMICA

SEMESTRE: NOVENO

Ubicación: Estación experimental Tunshi  
Nombre de la granja

Licán  
Parroquia

Riobamba  
Cantón

Chimborazo  
Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS

ident.	pH	(ús/cm)		mg/L			Meg/100g		RELACIÓN	
		C.E.	M.O	NH4	P	K	Ca	Mg	C/N	Ca/Mg
1	7.52 L. Alc	361.0 NS	1.70 B	4.86 B	26.78 M	2.81 A	7.48 B	0.15 MB	1.28 MB	51.62 A
2	7.24 N	338.0 NS	1.68 B	5.06 B	43.59 A	2.63 A	6.34 B	0.14 MB	1.34 MB	46.67 A
3	7.25 N	304.0 NS	1.89 B	5.28 B	25.50 M	2.72 A	6.42 B	0.14 MB	1.25 MB	45.16 A
4	7.08 N	410.0 NS	1.47 B	4.57 B	30.84 A	2.87 A	6.91 B	0.14 MB	1.39 MB	50.51 A
5	7.15 N	323.0 NS	1.47 B	4.52 B	35.47 A	1.17 A	6.63 B	0.13 MB	1.38 MB	49.05 A
6	7.04 N	358.0 NS	1.25 B	4.39 B	42.66 A	1.89 A	6.56 B	0.14 MB	1.57 MB	48.07 A
7	7.15 N	342.0 NS	1.47 B	4.62 B	39.30 A	2.90 A	8.23 B	0.14 MB	1.40 MB	57.38 A
8	7.04 N	363.0 NS	1.46 B	4.73 B	49.04 A	2.64 A	9.0 B	0.14 MB	1.44 MB	64.61 A
9	7.21 N	167.2 NS	1.68 B	4.79 B	23.30 M	1.58 A	7.74 B	0.14 MB	1.27 MB	54.09 A
10	7.90 L. Alc	154.9 NS	1.47 B	4.55 B	24.46 M	2.73 A	7.76 B	0.15 MB	1.38 MB	52.90 A
11	7.29 N	159.8 NS	1.68 B	4.63 B	20.98 M	1.15 A	7.15 B	0.14 MB	1.22 MB	50.46 A
12	7.48 N	147.5 NS	1.46 B	4.10 B	21.79 M	1.78 A	7.54 B	0.14 MB	1.25 MB	52.73 A
13	7.68 L. Alc	171.2 NS	2.96 B	5.10 B	20.17 M	2.16 A	7.98 B	0.15 MB	0.77 MB	54.19 A
14	7.86 L. Alc	167.6 NS	2.33 B	4.84 B	19.47 M	1.56 A	8.32 B	0.15 MB	0.93 MB	56.07 A
15	7.89 L. Alc	170.3 NS	1.89 B	4.97 B	21.68 M	1.21 A	7.32 B	0.15 MB	1.17 MB	49.54 A
16	7.29 N	170.7 NS	1.89 B	4.50 B	18.54 M	1.50 A	7.92 B	0.14 MB	1.07 MB	55.11 A

Ing. Víctor Lindao PhD.  
JEFE DE LAB. SUELOS

CODIGO	
MB: Muy buena	A: alto
NS: No salino	M: medio
L. Alc: Lig. alcalino	B: bajo
N: Neutro	



Ing. Elizabeth Pachatama Ch.  
TECNICO DOCENTE

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 Y1, Facultad de Recursos Naturales, Tulcan 2998220 Extensión 418

\*Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza.



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO**  
**CERTIFICADO DE CUMPLIMIENTO DE LA GUÍA PARA**  
**NORMALIZACIÓN DE TRABAJOS DE FIN DE GRADO**

**Fecha de entrega:** 11/06/2024

**INFORMACIÓN DEL AUTOR**

**Nombres – Apellidos:** DIANA STEFANIA CANDO CARRILLO

**INFORMACIÓN INSTITUCIONAL**

**Facultad:** RECURSOS NATURALES

**Carrera:** AGRONOMÍA

**Título a optar:** INGENIERA AGRÓNOMA

Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD.

**Director del Trabajo de Integración Curricular**

Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla, MSc.

**Asesor del Trabajo de Integración Curricular**