



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD RECURSOS NATURALES
CARRERA AGRONOMÍA

**DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS
ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL
CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays* L.) EN TUNSHI.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR:

EDWIN PAÚL JARA GUAMÁN

Riobamba – Ecuador

2024



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 MAIZ (*Zea mays* L.) EN TUNSHI.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERO AGRÓNOMO

AUTOR: EDWIN PAÚL JARA GUAMÁN

DIRECTOR: ING. ROQUE ORLANDO GARCÍA ZANABRIA. PhD

Riobamba – Ecuador

2024

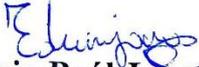
© 2024, Edwin Paúl Jara Guamán

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, Edwin Paúl Jara Guamán, 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.

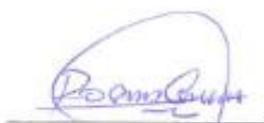
Como autor asumo la responsabilidad legal y académica de los contenidos de este Trabajo de Integración Curricular; el patrimonio intelectual pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Riobamba, 30 de mayo de 2024


Edwin Paúl Jara Guamán
020244766-0

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 titulado, **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE MAIZ (*Zea mays* L.) EN TUNSHI**, realizado por el señor: **EDWIN PAÚL JARA GUAMÁN**, 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.

	FIRMA	FECHA
Ing. Víctor Alberto Lindao Córdova. PhD PRESIDENTE DEL TRIBUNAL		2024-mayo-30
Recorte rectangular		
Ing. Roque Orlando García Zanabria. PhD DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-mayo-30
Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla. Mgs ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-mayo-30

DEDICATORIA

Dedico este trabajo de investigación a mi madre Delfa Jara, su gran ejemplo de trabajo y dedicación han sido mi fuente de inspiración.

Edwin Jara

AGRADECIMIENTO

A mi director de tesis el Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD, gracias a su amplio conocimiento supo dirigir exitosamente mi trabajo de investigación.

Al Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla Mgs, quien con su paciencia y experticia me supo brindar acertadamente su asesoría para culminar la presente investigación.

De manera muy especial a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Agronomía, por haberme formado como profesional.

Edwin Jara

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xiv
ÍNDICE DE ANEXOS	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY / ABSTRACT.....	xvii
INTRODUCCIÓN	1

CAPÍTULO I

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

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO	4
2.1 Propiedades físicas del suelo	4
2.1.1 <i>Textura</i>	4
2.1.2 <i>Estructura</i>	4
2.1.3 <i>Color</i>	4
2.1.4 <i>Humedad</i>	5
2.1.5 <i>Profundidad</i>	5

2.1.6	<i>Velocidad de Infiltración</i>	6
2.1.7	<i>Resistencia del suelo a la penetración</i>	7
2.1.8	<i>Temperatura</i>	7
2.1.9	<i>Densidad Real</i>	7
2.1.10	<i>Densidad aparente</i>	8
2.1.11	<i>Porosidad</i>	8
2.2	Propiedades Químicas del suelo	8
2.2.1	<i>Potencial de Hidrógeno (pH)</i>	8
2.2.2	<i>Conductividad Eléctrica (CE)</i>	9
2.2.3	<i>Contenido de materia orgánica (MO)</i>	10
2.2.4	<i>Nitrógeno (N)</i>	10
2.2.5	<i>Fósforo (P)</i>	11
2.2.6	<i>Potasio (K)</i>	11
2.2.7	<i>Calcio (Ca)</i>	11
2.2.8	<i>Magnesio (Mg)</i>	11
2.2.9	<i>Relación Carbono/nitrógeno (C/N)</i>	12
2.2.10	<i>Relación Calcio/Magnesio (Ca/Mg)</i>	12
2.2.11	<i>Relación Potasio/ Magnesio (K/Mg)</i>	12
2.3	Propiedades Biológicas del Suelo	13
2.3.1	<i>Presencia de lombrices</i>	13
2.4	Índice de Calidad del Suelo	13
2.4.1	<i>Calidad del suelo</i>	13
2.5	Sistemas de labranza	14
2.5.1	<i>Labranza convencional</i>	14
2.5.2	<i>Labranza reducida</i>	14
2.6	Tecnologías de Información Geográficas (TIGs)	15
2.6.1	<i>Generalidades</i>	15
2.6.2	<i>Sistemas de Posicionamiento Global (de las siglas en inglés, GPS)</i>	15
2.6.3	<i>Coordenadas geográficas</i>	16

2.6.4	<i>Cartografía</i>	16
2.7	Cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	16
2.7.1	<i>Generalidades</i>	16
2.7.2	<i>Requerimientos Nutricionales</i>	16
2.7.3	<i>Requerimientos edafoclimáticos</i>	17

CÁPITULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	19
3.1	Características del lugar	19
3.1.1	<i>Localización</i>	19
3.1.2	<i>Ubicación Geográfica</i>	19
3.1.3	<i>Características Climáticas</i>	20
3.2	Materiales	20
3.2.1	<i>Materiales de Campo</i>	20
3.2.2	<i>Materiales de Laboratorio</i>	20
3.2.3	<i>Materiales de oficina</i>	20
3.3	Equipos	20
3.3.1	<i>Equipos de campo</i>	20
3.3.2	<i>Equipos de Laboratorio</i>	20
3.4	Métodos	20
3.4.1	<i>Muestreo de los lotes</i>	21
3.4.2	<i>Caracterización de la Textura</i>	21
3.4.3	<i>Estructura</i>	21
3.4.4	<i>Velocidad de Infiltración</i>	21
3.4.5	<i>Color</i>	22
3.4.6	<i>Humedad</i>	22
3.4.7	<i>Profundidad</i>	22
3.4.8	<i>Resistencia del suelo al corte</i>	22

3.4.9	<i>Densidad aparente (Dap)</i>	22
3.4.10	<i>Densidad real (Dr)</i>	23
3.4.11	<i>Porosidad</i>	23
3.4.12	<i>Conductividad eléctrica (CE) y Potencial de hidrogeno (pH)</i>	24
3.4.13	<i>Contenido de materia orgánica (MO)</i>	24
3.4.14	<i>Contenido de NH⁴</i>	24
3.4.15	<i>Contenido de P</i>	24
3.4.16	<i>Contenido de K, Ca y Mg</i>	25
3.4.17	<i>Relación C/N</i>	25
3.5	Relación Ca/Mg y relación K/Mg	25
3.5.1	<i>Presencia de lombrices</i>	25
3.6	Diseño de la investigación	27
3.6.1	<i>Diseño Experimental</i>	27
3.6.2	<i>Factor A</i>	27
3.6.3	<i>Factor B</i>	27
3.6.4	<i>Tratamientos en estudio</i>	27
3.6.5	<i>Especificaciones del lugar del ensayo</i>	28
3.6.6	<i>Análisis funcional</i>	28

CAPITULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
4.1	Propiedades Físicas del suelo	29
4.1.1	<i>Textura y estructura</i>	29
4.1.2	<i>Color</i>	29
4.1.3	<i>Humedad</i>	29
4.1.4	<i>Profundidad de la capa arable</i>	31
4.1.5	<i>Velocidad de Infiltración</i>	32
4.1.6	<i>Resistencia del suelo al corte</i>	33

4.1.7	<i>Densidad Aparente</i>	34
4.1.8	<i>Densidad Real</i>	35
4.1.9	<i>Porosidad</i>	37
4.2	Propiedades químicas del suelo	38
4.2.1	<i>Conductividad Eléctrica</i>	38
4.3	Propiedades Biológicas del suelo	39
4.3.1	<i>Número de lombrices</i>	39
4.4	Índice de calidad del suelo	40
4.5	Localización de las muestras	42
4.6	Discusión de los Resultados	42
4.6.1	<i>Textura</i>	42
4.6.2	<i>Estructura</i>	43
4.6.3	<i>Humedad</i>	43
4.6.4	<i>Profundidad de la capa arable</i>	44
4.6.5	<i>Velocidad de Infiltración</i>	45
4.6.6	<i>Resistencia del suelo al corte</i>	45
4.6.7	<i>Densidad Aparente</i>	46
4.6.8	<i>Densidad Real</i>	46
4.6.9	<i>Porosidad</i>	46
4.6.10	<i>Propiedades químicas del suelo</i>	47
4.6.11	<i>Conductividad Eléctrica</i>	47
4.6.12	<i>Número de lombrices</i>	48
	CONCLUSIONES	49
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	
	ANEXOS	

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1:	Escala de calificación de la profundidad de un suelo.....	6
Tabla 2-2:	Relación entre la textura del suelo y la velocidad de infiltración.....	6
Tabla 2-3:	Temperatura y clima según la altitud	7
Tabla 2-4:	Interpretación de la porosidad del suelo.....	8
Tabla 2-5:	Clasificación del pH del suelo.....	9
Tabla 2-6:	Valores para interpretar la CE.....	9
Tabla 2-7:	Interpretación de contenido de materia orgánica en los suelos del Ecuador	10
Tabla 2-8:	Rangos de la relación Ca/Mg.	12
Tabla 3-1:	Descripción de los tratamientos.....	28
Tabla 3-2:	Especificaciones del lugar de estudio.....	28
Tabla 3-3:	Estructura del diseño.	28
Tabla 4-1:	Análisis de varianza de la humedad antes del laboreo.	29
Tabla 4-2:	Análisis de varianza de la humedad del suelo después de la labranza.	30
Tabla 4-3:	Prueba DMS 5% de la humedad para el Factor B (Labranza).....	30
Tabla 4-4:	Análisis de varianza de la profundidad de capa arable después del laboreo.	31
Tabla 4-5:	Prueba DMS al 5% de la profundidad de la capa arable para el factor B (labranza)	31
Tabla 4-6:	Análisis de varianza de la velocidad de infiltración después de la labranza.	32
Tabla 4-7:	Prueba DMS 5% de la velocidad de Infiltración para el Factor B (Sistemas de labranza).....	32
Tabla 4-8:	Análisis de varianza de la resistencia del suelo al corte después de la labranza. .	33
Tabla 4-9:	Prueba DMS de la resistencia del suelo al corte para el sistema de labranza.....	33
Tabla 4-10:	Análisis de varianza antes del laboreo para la densidad aparente del suelo.	34
Tabla 4-11:	Análisis de varianza de la densidad aparente del suelo después del laboreo.....	34
Tabla 4-12:	Prueba DMS al 5% de la densidad aparente del suelo para el Factor B (Sistemas de Labranza).	35
Tabla 4-13:	Análisis de varianza de la densidad real del suelo antes del laboreo.....	35
Tabla 4-14:	Análisis de varianza de la densidad real después del laboreo.	36
Tabla 4-15:	Prueba de Tukey al 5% de la densidad real para sistemas de labranza.	37
Tabla 4-16:	Análisis de varianza de la porosidad del suelo después del laboreo.....	37
Tabla 4-17:	Prueba de Tukey al 5% de confianza de la porosidad para el Factor B (Labranza).	38
Tabla 4-18:	Análisis de varianza de las propiedades químicas del suelo.....	38
Tabla 4-19:	Análisis de varianza de la conductividad eléctrica del suelo.....	39

Tabla 4-20: Prueba DMS al 5% de la CE para el factor A (Altitud).....	39
Tabla 4-21: Análisis de varianza del número de lombrices en el suelo.	40
Tabla 4-22: Prueba de Tukey al 5% del número de lombrices para el Factor B (Labranza). ..	40
Tabla 4-23: Requerimientos máximos y mínimos para el cultivo de maíz y el valor medio obtenido en el análisis de laboratorio.....	41
Tabla 4-24: Índice de calidad del suelo.	41

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Sección de la tabla Munsell.	5
Ilustración 3-1: Mapa de la Ubicación	19
Ilustración 3-2: Distribución de las parcelas.	27
Ilustración 4-1: Mapa de la ubicación de los sitios de muestreo.	42

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: MÉTODO DE BOUYUCOS PARA DETERMINAR LA TEXTURA DEL SUELO.

ANEXO B: MÉTODO DEL CILINDRO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO.

ANEXO C: MÉTODO DEL PICNÓMETRO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DEL SUELO.

ANEXO D: MÉTODO DE CALCINACIÓN PARA LA DETERMINACIÓN DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO

ANEXO E: FOTOGRAFIAS

ANEXO F: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO.

RESUMEN

El objetivo fue determinar el índice de calidad de suelo a dos altitudes en dos sistemas de labranza para el cultivo de maíz (*Zea mays L.*) en Tunshi. Las parcelas en estudio se acondicionaron aleatoriamente bajo labranza convencional y labranza reducida, la determinación de la resistencia del suelo al corte, velocidad de infiltración, profundidad de la capa arable y el número de lombrices se midió directamente en campo, mientras que la determinación de la textura, estructura, color, humedad densidad aparente, densidad real, porosidad, conductividad eléctrica, pH, materia orgánica, Nitrógeno, Fosforo, Potasio, Calcio y Magnesio, se determinó en el laboratorio, para lo cual se tomó 16 muestras compuestas de suelo a 30 cm de profundidad, para la elaboración de los mapas en ArcGis Pro, se tomó puntos de las parcelas y de los sitios de muestreo con el GPS Spectra Precision. Los resultados obtenidos indican que la labranza convencional afectó negativamente la humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad, profundidad de la capa arable, velocidad de infiltración, resistencia del suelo al corte y la presencia de lombrices, obteniendo un suelo moderadamente apto para el establecimiento del cultivo de maíz. Se concluyó que, las propiedades del suelo resultan afectadas en relación al sistema de labranza aplicado y que la utilización de las TIGs constituye una herramienta fundamental para la elaboración de mapas de suelos que permiten conocer el estado actual y darle seguimiento en el futuro de los cambios que puedan darse en el tiempo.

Palabras clave: < MAÍZ (*Zea mays. L*) >, < CALIDAD DEL SUELO >, < TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA (TIGs) >, < PROPIEDADES DEL SUELO >, < SISTEMAS DE LABRANZA >.

0679-DBRA-UPT-2024



SUMMARY / ABSTRACT

This investigation aimed to determine the soil quality index at two altitudes in two tillage systems for corn (*Zea mays* L.) cultivation in *Tunshi*. The study plots were randomly arranged under conventional tillage and reduced tillage. The determination of soil shear strength, infiltration rate, topsoil depth and earthworm count were measured directly in the field, while the determination of soil texture, structure, colour, moisture, bulk density, real density, porosity, electrical conductivity, pH, organic matter, Nitrogen, Phosphorus, Potassium, Calcium and Magnesium, were determined in the laboratory, for which 16 composite soil samples were taken at 30 cm depth, for the elaboration of the maps in ArcGis Pro. Points were taken from the plots and sampling sites with the GPS Spectra Precision. The results indicate that conventional tillage negatively affected moisture, bulk density, real density, porosity, depth of the arable layer, infiltration rate, soil resistance to shearing and the presence of earthworms, getting a soil moderately suitable for the establishment of the corn crop. It was concluded that soil properties are affected in relation to the tillage system applied and that the use of GITs constitutes a fundamental tool for the elaboration of soil maps which let know the current state and follow up in the future to the changes that may occur over time.

Keywords: < CORN (*Zea mays*. L) >, < SOIL QUALITY >, < GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES (GITs) >, < SOIL PROPERTIES >, < TILLAGE SYSTEMS >.



Esthela Isabel Colcha Guashpa
060302067-8

INTRODUCCIÓN

El cultivo de maíz (*Zea mays*. L) suave en la sierra ecuatoriana forma parte importante de la soberanía alimentaria de miles de familias que se dedican a la producción de esta gramínea, encontrándose la mayor superficie cultivada en las provincias: Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo, Azuay e Imbabura, donde los rendimientos que se alcanzan en grano seco son de 1,63 ton/ha y en choclo se produce 3,68 ton/ha. (Zambrano et al., 2021 pág.6).

En la producción agrícola, el suelo es el principal sustrato sobre el que crecen y se desarrollan las plantas, el mismo que debe tener una buena calidad basada en las propiedades físicas, químicas y biológicas. Cuando las labores de mecanización destinadas a acondicionar el suelo antes y durante el cultivo no se realizan adecuadamente, la calidad del suelo empieza a afectarse.

Según (Cantú et al., 2007 págs. 173-178) menciona que, para la determinación de la calidad del suelo los indicadores que se empleen deben estar relacionados con las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo que aporten información medible de los cambios que puedan presentarse a través del tiempo. Doran & Zeiss, (2000) citado en (Barrera J et al., 2020 págs. 182-190) añade que, estos indicadores deben estar relacionados con la capacidad del suelo para sostener la producción de un cultivo específico.

El presente trabajo de investigación está orientado a determinar la calidad del suelo, para el cultivo de maíz suave (*Zea mays*. L) en la Estación Experimental Tunshi, considerando como indicadores a los componentes del suelo. Además, las muestras tomadas para determinar la calidad de suelo se analizaron a nivel de campo y de laboratorio mientras que para el mapeo y muestreo se utilizó las Tecnologías de Información Geográfica (TIG).

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la Estación Experimental Tunshi, no existe información exacta acerca de la calidad de suelo para el establecimiento del cultivo de maíz suave (*Zea mays* L), lo cual genera limitaciones como escaso desarrollo y baja productividad, debido a las malas prácticas de labranza que se viene realizando en las parcelas, lo que ocasiona pérdida de calidad del suelo. Siendo necesario contar con información actualizada de la calidad del suelo.

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 maíz (*Zea mays* L.) en Tunshi.

1.2.2 Específicos

- a) Determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en estudio de la estación experimental Tunshi, para el cultivo de maíz.
- b) Establecer el índice de calidad del suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).
- c) Zonificar las parcelas y geolocalizar las muestras de suelo.

1.3 Justificación

La utilización de maquinaria facilita las labores agrícolas, permitiendo ampliar las áreas de producción, sin embargo, el sobrelaboreo o las malas prácticas de mecanización han provocado que ciertas propiedades del suelo, principalmente las físicas, se vean modificadas y con el paso del tiempo afecten el rendimiento de los cultivos, al no tener las condiciones de calidad para un buen desarrollo del sistema radicular que permita la adecuada absorción de agua y nutrientes.

Al no disponer de un estudio de calidad de los suelos en la estación experimental Tunshi, para el establecimiento de diversos cultivos y en este caso particular para el cultivo de maíz suave, fue

necesario realizar la investigación de determinación del índice de calidad de suelo a dos altitudes en dos sistemas de labranza para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

Al concluir este trabajo de investigación, se dispone de la información actualizada de la calidad del suelo de los lotes en estudio, en un mapa construido utilizando Tecnologías de Información Geográfica (TIGs), la misma que servirá para la toma de decisiones a futuro.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Nula

En el índice de calidad de suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), no influye la altitud ni los sistemas de labranza.

1.4.2 Alterna

En el índice de calidad de suelo para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), si influye la altitud y al menos un sistema de labranza.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Propiedades físicas del suelo

2.1.1 *Textura*

La textura del suelo está formada por la combinación de arena, limo y arcilla, la proporción que predomine es la que determina la clase textural a la que ese suelo pertenece. Tiene relación directa con la fertilidad, el paso de agua por el perfil, el intercambio gaseoso entre las raíces con la superficie y el contenido de materia orgánica dispuesta en él (FAO, 2016: citado en Novillo et al., 2018, pág. 178).

2.1.2 *Estructura*

Según (Rabot et al., 2018 pág. 171) se le llama estructura del suelo a la forma de los agregados y el espacio que queda entre ellos, los agregados están formados por partículas de arena, limo y arcilla. La importancia de los macros y microagregados afirma (Totsche et al., 2018 págs.104-136) es que estos permiten la existencia de una enorme cantidad de espacios llamados nichos fisicoquímicos, que facilitan la interacción de la actividad microbiana que hacen simbiosis con las raíces de las plantas.

2.1.3 *Color*

El color del suelo según (Maniyath et al., 2018 págs. 52-55) indica los minerales presentes, (por ejemplo, los suelos rojizos indican presencia de óxidos de hierro), el grado de evolución, el estado de la materia orgánica, principalmente humificación. Esta propiedad del suelo es a menudo usada para determinar el tipo de cultivo que podría prosperar en él. En la tabla Munsell (Ilustración 2-1), el color, está conformado por tres elementos importantes el valor, tono y croma. El tono hace referencia a la longitud de onda predominante reflejada por el suelo, el valor indica la oscuridad o claridad del color y el croma indica el brillo o la intensidad del color.

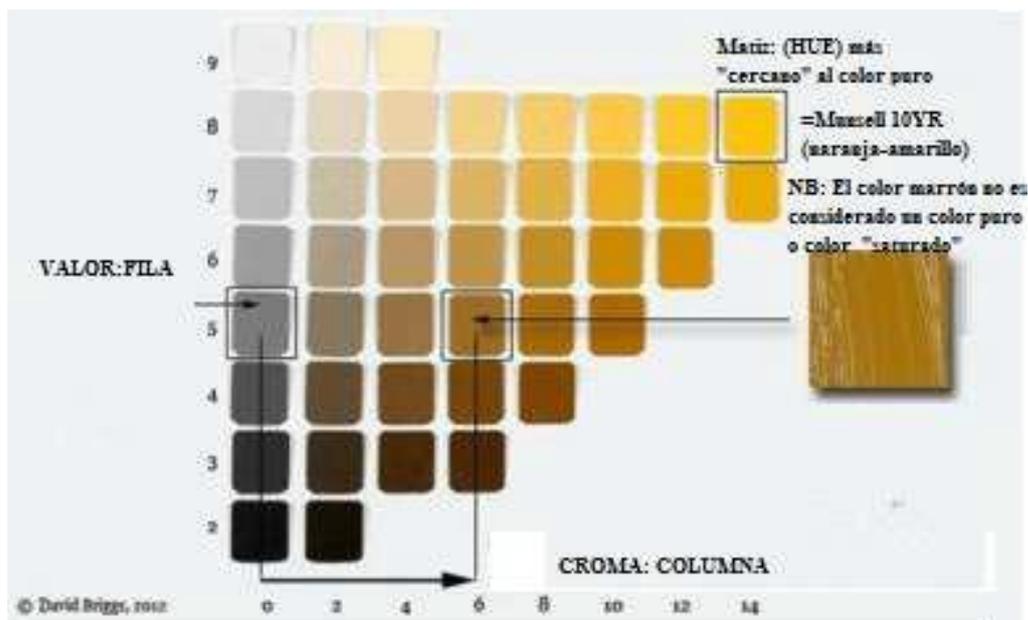


Ilustración 2-1: Sección de la tabla Munsell.

Fuente: FAO, 2016

2.1.4 *Humedad*

La humedad que generalmente se expresa en porcentaje (%) con relación al peso del mismo, indica la cantidad de agua que se encuentra en el suelo, la retención de esta se encuentra determinada por varios factores, entre los cuales se puede mencionar, la textura y el contenido de materia orgánica, su determinación es crucial al momento de realizar la planificación del riego, participa fuertemente sobre la relación suelo planta atmósfera, esta se gana por infiltración, se pierde por evaporación y transpiración de la planta (Zhang et al., 2019 págs., 903-914).

2.1.5 *Profundidad*

Según (de Moraes et al., 2019 pág. 10) mencionan que la profundidad del suelo está determinada por el espacio medido desde la superficie hasta donde se encuentre con limitaciones (compactación), estas limitaciones pueden ser de origen natural, como es el caso de la cangagua y las afloraciones rocosas, o por el piso de arado que es provocado por el excesivo laboreo con maquinaria agrícola. Por otro lado (Balesdent et al., 2018 págs. 599-602) lo llama capa arable y sostiene que en este espacio es donde se encuentran la mayor cantidad de raíces de las plantas extrayendo agua y nutrientes.

En la (Tabla 2-1) se presenta la interpretación para la profundidad del suelo medida en cm.

Tabla 2-1: Escala de calificación de la profundidad de un suelo.

Profundidad del suelo	Rango (cm)
Extremadamente superficial	<10
Muy superficial	10 - 25
Superficial	25 - 50
Moderadamente profundo	50 - 100
Profundo	100 - 150
Muy profundo	>150

Fuente: Martínez, 2006 citado en (León Ramiro et al., 2018 pág. 22-662)

Realizado por: Jara E., 2024.

2.1.6 Velocidad de Infiltración

La velocidad de infiltración según (Patle et al., 2019 págs. 1-13), es la cantidad de agua que atraviesa verticalmente un suelo en una unidad de tiempo, generalmente se encuentra expresada en mm/h, es usada para determinar el tiempo de riego cuando se requiere alcanzar una profundidad conocida con una lámina de riego determinada. Por otro lado (Haruma et al., 2018 págs.164-172) menciona que, la velocidad de infiltración puede verse afectada por varias propiedades del suelo, incluida la estructura, la textura, la materia orgánica, la cobertura, el contenido de agua anterior y la posición del paisaje.

En la (Tabla 2-2) se muestra la relación entre la textura y la velocidad de infiltración, en ella se puede observar que entre más fina sea la textura, más lenta será la velocidad de infiltración.

Tabla 2-2: Relación entre la textura del suelo y la velocidad de infiltración.

Textura del suelo	Velocidad de Infiltración (mm/h)
Arenoso	25-255
Franco Arenoso	13-76
Franco	80-200
Franco Arcilloso	25-15
Arcillo Arenoso	3-50
Arcilloso	1-10

Fuente: Coras Merino, 2000 citado en (Mencias Daniela, 2015, págs. 90-91).

Realizado por: Jara E., 2024.

2.1.7 Resistencia del suelo a la penetración

(Benevenuto et al., 2020 pág. 117) afirma que, la resistencia del suelo a la penetración es la fuerza que se debe ejercer para que un objeto penetre en el suelo hasta una determinada profundidad, se mide directamente en campo con el uso de un instrumento llamado penetrómetro, la determinación de esta propiedad es usada para determinar si existe compactación, un suelo compactado dificulta el paso del agua, impidiendo el correcto desarrollo radicular, aumenta la densidad aparente y disminuye la porosidad.

2.1.8 Temperatura

Según (Wild et al., 2019 págs.40-47) señala que, la temperatura del suelo determina la velocidad de las reacciones que ocurren en él, entre ellas se encuentran la mineralización y humificación de la materia orgánica, la evaporación, la germinación de las semillas y la absorción de nutrientes por parte de las plantas. En la (Tabla 2-3), se muestra como la altitud influye en la temperatura y el clima.

Tabla 2-3: Temperatura y clima según la altitud

Altitud sobre el nivel del mar	Temperatura	Clima
0-600 msnm.	28°-24° C	Clima tropical o megatérmico.
600-2 000 msnm (estribaciones de la cordillera).	24,4°-16° C.	Clima subtropical, medio o, mesotérmico.
700-2 400 msnm (región interandina).		
2 500-2 900 msnm.	13°-11,2° C.	Clima templado o, temperado-frío.
3 000-4 000 msnm.	11°- 6°C.	Clima ecuatorial de alta montaña, páramo andino o microtérmico

Fuente: (Bonifaz et al., 2018 pág. 66)

Realizado por: Jara E, 2024.

2.1.9 Densidad Real

En general, la densidad de un objeto se refiere al peso, por unidad de volumen ocupado, en el caso específico del suelo (Jaramillo, 2002 pág. 1-619) afirma que, cuando se habla de densidad real,

solo se considera el peso de las partículas sólidas, dejando de lado los espacios ocupados por el aire (poros), y la forma como se encuentran organizados, la densidad real brinda una perspectiva más efectiva de la concentración de masa presente en el suelo.

2.1.10 Densidad aparente

La densidad aparente se encuentra determinada por la relación directa entre la masa seca de suelo y el volumen total ocupado por este, es una medida relacionada con otras propiedades físicas, como la textura, estructura y porosidad, el valor de la densidad aparente se lo puede relacionar con la resistencia a la penetración, puesto que está vinculada con la compactación del suelo. La densidad aparente se puede utilizar para estimar la productividad, la calidad y el almacenamiento de Carbono (Al-Shammary et al., 2018 págs. 581-596).

2.1.11 Porosidad

La porosidad del suelo según (Al-Shammary et al., 2018 pág. 581-596) es el porcentaje de volumen no ocupado por los sólidos, es decir, es el espacio que queda entre las partículas de suelo que son ocupados por el aire, este espacio es el que permite el paso del agua de la superficie del suelo hacia las raíces de las plantas, si un suelo presenta una baja porosidad (Entre 40 y 50% de porosidad ver (Tabla 2-4) el cultivo establecido, no se podrá desarrollar correctamente.

Tabla 2-4: Interpretación de la porosidad del suelo.

Porosidad total (%)	Calificación
>70	Excesiva
55 – 70	Excelente
50 – 55	Satisfactoria
40 – 50	Baja
< 40	Muy baja

Fuente: Jaramillo, 2002

Realizado por: Jara E., 2024

2.2 Propiedades Químicas del suelo

2.2.1 Potencial de Hidrógeno (pH)

Para (Neina Dora, 2019 págs. 1-9) el pH es considerado como la variable maestra del suelo,

influye en la mayoría de los procesos físicos, químicos y biológicos que determinan el rendimiento de los cultivos, participa en procesos biogeoquímicos del suelo como la biodegradación, pues los microorganismos degradan las sustancias tóxicas. Por otro lado, menciona que, el pH está relacionado con la disponibilidad de los nutrientes.

En la (Tabla 2-5) se muestra los rangos del pH y su interpretación

Tabla 2-5: Clasificación del pH del suelo.

Interpretación	Valores de pH
Muy ácido	<5,4
Ácido	5,5 – 6,1
Ligeramente ácido	6,2 – 6,9
Neutro	7,0
Ligeramente alcalino	7,1 – 7,4
Alcalino	7,5 - 8,4
Muy alcalino	>8,5

Fuente: Espinosa, Sosa, & Rivera, 2015 citado en (Bonifaz et al., 2018 pág. 83)

Realizado por: Jara E., 2024.

2.2.2 Conductividad Eléctrica (CE)

Según (Corwin Yemoto, 2020 págs.1442-1461) la conductividad eléctrica está determinada por la presencia de sales en la solución del suelo, entre más sal contenga la solución, mayor será el valor de la CE, además menciona que, la presencia de sales en el suelo proviene de dos fuentes, la erosión geoquímica de las rocas en la superficie de la tierra y la adición constante de fertilizantes con altos contenidos de sales, la acumulación de sales en la zona radicular tiene impactos negativos para la agricultura.

En la tabla (2-6) se muestra los valores de la CE y su interpretación.

Tabla 2-6: Valores para interpretar la CE.

Parámetro	Nivel de interpretación			
	No salino	Ligeramente salino	Salino	Muy salino
CE (dS/m)	< 2	2 - 4	4 - 8	>8

Fuente: (Calvache Marcelo, 2019, pág. 45-46)

Realizado por: Jara E., 2024

2.2.3 Contenido de materia orgánica (MO)

La materia orgánica del suelo según (Suquilanda Manuel, 2017, pág. 38) se encuentra constituida por residuos vegetales y estiércoles de animales, estos pasan inicialmente por un proceso mediado por temperatura, humedad, pH y con la ayuda de microorganismos se convierte en humus, luego pasa un segundo proceso llamado mineralización donde se liberan los nutrientes contenidos en estos materiales, la función de la materia orgánica es mejorar las propiedades físicas del suelo, a la vez que aportan nutrientes para el crecimiento y desarrollo de las plantas.

En la (Tabla 2-7) se presentan los valores de la materia orgánica y su interpretación.

Tabla 2-7: Interpretación de contenido de materia orgánica en los suelos del Ecuador

Nivel	Contenido de MO (%)
Muy bajo	<1,0
Bajo	1,1 a 2,0
Medio	2,1 a 3,0
Alto	>3,0

Fuente: Espinosa Marroquín, Sosa Cobo, & Rivera Montesdeoca, 2015 Citado en (Bonifaz et al., 2018 pág. 279)

Realizado por: Jara E., 2024.

2.2.4 Nitrógeno (N)

Según (Mu Xiaohuan y Yanling Chen, 2021 págs. 76-82), mencionan que el nitrógeno es un elemento importante en la producción de cultivos, es el principal constituyente de los aminoácidos y de los ácidos nucleicos, por lo que la deficiencia de este elemento disminuye el crecimiento y desarrollo, reduce el área foliar y la tasa fotosintética, acelera el proceso de senescencia, dejando como consecuencia bajos rendimientos.

Según (Chen et al., 2014 págs. 429-442) afirma que, el nitrógeno puede ser absorbido por las plantas en forma de NO^{-3} o como NH^4 , además sostienen que este macroelemento en el suelo debe pasar cuatro procesos importantes antes de poder ser aprovechado por las plantas, estos procesos involucran:

Inmovilización-remineralización biótica.

Inmovilización abiótica.

Mineralización de nitrógeno orgánico del suelo.

Mineralización de nitrógeno orgánico de residuos vegetales.

2.2.5 Fósforo (P)

Según (Hou et al., 2018 págs. 3344-3356) mencionan que, del fósforo presente en el suelo, solo un porcentaje se encuentra disponible para las plantas, para que esto suceda debe pasar por procesos biológicos como la inmovilización/mineralización y procesos geoquímicos donde el clima tiene una influencia en la disponibilidad, la precipitación provoca que el P sea lavado del suelo, mientras que la temperatura influye en la movilidad en la planta.

2.2.6 Potasio (K)

Según (Hasanuzzaman et al., 2018 pág. 31) agregan que, el potasio en las plantas cumple múltiples funciones, participa desde la germinación hasta la producción de semillas, en procesos bioquímicos y fisiológicos como la síntesis de proteínas, el metabolismo de carbohidratos, la osmorregulación, el movimiento del agua, cuando una planta tiene carencia de este elemento, presentan crecimiento atrofiado, márgenes de las hojas amarillentas y susceptibilidad ante el ataque de enfermedades.

2.2.7 Calcio (Ca)

Según (Thor Kathrin, 2019. pág. 140), el calcio desempeña múltiples funciones en la planta, entre ellas es la de proporcionar estructura rígida a las células, el crecimiento de la raíz y del tubo polínico, estas funciones tienen lugar si la concentración del Ca es adecuada, por lo que la deficiencia de este elemento provoca crecimiento atrofiado de los brotes nuevos, la caída prematura de las flores y bajos rendimientos.

2.2.8 Magnesio (Mg)

Según (Wang et al., 2020 pág. 1727) mencionan que, la función principal del magnesio está relacionada con la fotosíntesis, la disponibilidad de este elemento suele verse afectado principalmente por la textura de suelo, la capacidad de intercambio catiónico, y el manejo agronómico de cultivo, pese a la esencialidad de este elemento, no se le da la debida importancia como a los nutrientes descritos anteriormente, es por ello que, en zonas de cultivos intensivos este se encuentra en bajas cantidades al no ser devuelto al suelo después de haber sido removido por la cosecha.

2.2.9 Relación Carbono/nitrógeno (C/N)

Esta relación es valorada al momento de incorporar residuos orgánicos al suelo, para que estos sean degradados dependen de los microorganismos, la relación ideal se encuentra entre 25:1 y 30:1, por debajo de este rango la velocidad de la descomposición aumenta y por encima del rango se vuelve más lenta, así una relación de 30:1, indica que, por cada 30 Kilogramos de Carbono orgánico en el suelo, habrá un Kilogramo de Nitrógeno disponible (Suquilanda Manuel, 2017, pág. 66).

2.2.10 Relación Calcio/Magnesio (Ca/Mg)

Para (Moro, 2015) la relación Calcio/Magnesio indica la cantidad existente de calcio por encima del contenido de magnesio en el suelo, la determinación de esta relación es importante porque estos dos elementos son antagonistas, eso significa que compiten entre ellos por ingresar a la planta, por lo que si la relación de estos dos cationes no se encuentran dentro del rango ideal, el cultivo puede presentar deficiencias de uno de estos dos elementos, el rango de esta relación se encuentra detallada en la (Tabla 2-8).

Tabla 2-8:Rangos de la relación Ca/Mg.

Relación Ca/Mg	Valoración
<1	Deficiencia de calcio
Entre 1 y 2	Bajo nivel de calcio respecto al magnesio
Entre 2 y 5	Ideal
>5	Deficiencia de magnesio

Fuente: Moro, 2015.

Realizado por: Jara E., 2024.

2.2.11 Relación Potasio/ Magnesio (K/Mg)

Según (Xie et al., 2021, págs. 149-156), explican que la importancia de estudiar esta relación radica, en que estos dos elementos utilizan la misma vía para ingresar a la planta, así la presencia alta de uno de ellos interrumpe la absorción del otro. La competencia entre estos dos nutrientes es unidireccional en la que domina el K por sobre el Mg, en la misma investigación los autores describen que la causa principal de deficiencia de Mg es causada por este antagonismo, sobre todo en suelos ácidos y en cultivos exigentes en K, donde se agregan grandes cantidades de este elemento.

2.3 Propiedades Biológicas del Suelo

2.3.1 Presencia de lombrices

Para (Suquilanda, Manuel, 2017, pág. 37) encontrarse con lombrices en el suelo de cultivo es un buen indicador de calidad, esto se debe a que las lombrices mejoran las propiedades físicas, mientras se abren camino en busca de alimento, van aflojando el suelo, y sus excretas como producto del paso de los alimentos por el tracto digestivo aportan nutrientes, por otro lado también menciona que para vivir las lombrices necesitan principalmente de oxígeno, humedad y alimento, por lo que un suelo con abundante presencia de lombrices significa que contiene fuentes de carbono además de poseer buena calidad física.

2.4 Índice de Calidad del Suelo

Para determinar el índice de calidad del suelo, de acuerdo con el cultivo que se requiere implementar, existen varios indicadores propuestos por Larson (1991) y Pierci, (1994), citado en (Castillo Ximena et al.,2021 págs. 1-12) estos indicadores, son las propiedades físicas, químicas y biológicas del mismo, que permiten evaluar los cambios a través del tiempo. Los indicadores de calidad deben aportar información acerca del estado actual del terreno, para este efecto los indicadores deben cumplir ciertas condiciones:

- Describir los procesos del ecosistema.
- Integrar propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo.
- Reflejar los atributos de sostenibilidad.
- Ser sensitivos a variaciones de clima y manejo.
- Ser accesibles a muchos usuarios y aplicables a condiciones de campo.
- Ser reproducibles.
- Ser fáciles de entender.
- Ser sensitivos a los cambios de uso del suelo por acción antropogénica.
- Cuando sea posible, ser componentes de una base de datos ya existente.

2.4.1 Calidad del suelo

El concepto de calidad de suelo Doran y Zeiss (2000) citado en (Barrera et al., 2020 págs. 182-190) lo definen como la capacidad para sostener la productividad vegetal, misma que es resultado de un equilibrio entre las propiedades físicas, químicas y biológicas. Propiedades que se

encuentran relacionadas con el aporte de nutrientes, paso y retención de agua, capacidad para retener y liberar nutrientes, así como permitir y sostener un adecuado desarrollo radicular de los cultivos.

2.5 Sistemas de labranza

La labranza agrícola consiste en remover el suelo con el uso de algún implemento afectando su estructura, reduciendo la resistencia a la penetración para que las raíces puedan desarrollarse libremente, en zonas planas esta labor se realiza con maquinaria mientras que, en las zonas de ladera, donde la pendiente no permite el uso de maquinaria, se emplean animales como son los bueyes o caballos para tirar del arado (Garcia, et al, 2018, pag.16-25).

Los sistemas de labranza están en función de la intensidad de la labor y el implemento a usarse, es por ello por lo que serán descritos por separado en los siguientes párrafos.

2.5.1 Labranza convencional

Para (Zhang et al., 2018, págs. 107-117) la mecanización excesiva, sumado a la quema de los residuos del cultivo generan impactos negativos sobre las propiedades físicas químicas y biológicas del suelo, estas actividades que involucra la labranza convencional, crea un lecho con partículas finas y secas del suelo, que aceleran la erosión, generan que la capa arable reduzca su profundidad y se compacte por el pase repetido de la maquinaria, afectando así la infiltración del agua, dejando los campos inundados cuando existe abundante precipitaciones y sequía en época de verano, todo esto lleva a la reducción en los rendimientos de los cultivos.

La labranza convencional consiste en el volteo de la capa arable mediante actividades que implican el uso de arado de disco, arado de vertedera o rastra, para afectar la estructura de suelo y permitir la geminación de las semillas, la labranza convencional tiene dos fases, labranza primaria, que consiste en el volteo del suelo y la labranza secundaria que consiste en destruir los terrones y nivelar el terreno en caso de ser necesario.

2.5.2 Labranza reducida

El deterioro de los suelos a causa de las malas prácticas agrícolas con respecto a la mecanización según (Herrera et al., 2017 págs. 55-60) dio origen a que se decida emplear la labranza reducida, que consiste en mantener la cobertura del suelo, la reducción del pase de los implementos de

arado, y la sustitución de los aperos convencionales por subsoladores, topos o simplemente el uso de cincel, estos permiten la preparación del suelo sin voltearlo.

El sistema de labranza reducida ha sido acogido como una estrategia prometedora que preserva y restaura las reservas y dinámicas físicas y orgánicas del suelo, este sistema de labranza ofrece algunas ventajas como: minimizar los costos de los insumos, mejorar el almacenamiento de agua y mantener el carbono del suelo, la labranza de conservación se reconoce como una práctica sostenible a largo plazo para los ecosistemas agrícolas (Topa et al., 2021 págs.105012).

Los mismos autores agregan que las prácticas de agricultura de conservación, el sistema de labranza cero o de labranza mínima, puede sumar de manera positiva a la calidad del suelo al mejorar su estructura, intensificar la actividad biológica, mejorar el ciclo de nutrientes, incrementar la capacidad de retención de agua y las características de infiltración, mismas que son esenciales para sostener la producción de los cultivos.

En comparación con la labranza convencional, según (Komissarov et al., 2020, págs. 503-511) menciona que, la labranza reducida debido a su menor intensidad permite conservar los residuos del cultivo sobre la superficie manteniendo la humedad, mejorando la estructura y estabilidad de los agregados, disminuyendo el riesgo de la erosión, además de evitar la formación del piso de arado que se forma por el corte horizontal del suelo en la labranza convencional.

2.6 Tecnologías de Información Geográficas (TIGs)

2.6.1 Generalidades

Las Tecnologías de la Información Geográfica (TIGs) abarcan una serie de técnicas y métodos tradicionales y vanguardistas relacionados a la Cartografía, la Fotointerpretación o Teledetección y los Sistemas de Información Geográfica los cuales permiten desde la lectura e interpretación de mapas, pasando por las imágenes aéreas hasta la elaboración de mapas digitales con el uso de programas informáticos de análisis espacial (Hernández, 2018).

2.6.2 Sistemas de Posicionamiento Global (de las siglas en inglés, GPS)

El Sistema de Posicionamiento Global (GPS) es un sistema de radionavegación de los Estados Unidos de América, centrado en el espacio, el cual ofrece servicios fiables de posicionamiento, navegación, y cronometría gratuita e ininterrumpida a usuarios civiles en cualquier parte del

mundo. Todo aquel que cuente con un receptor de GPS, el sistema le proporcionará su localización y la hora exacta en cualquier condición atmosférica, de día o de noche, sin límite al número de usuarios simultáneos (GPS, 2020).

2.6.3 *Coordenadas geográficas*

Las coordenadas geográficas son un sistema de referencia basado en tres parámetros que permiten ubicar cualquier punto en la superficie terrestre. Este sistema funciona como una red de líneas imaginarias sobrepuesta a la superficie terrestre, donde dos magnitudes definen la dimensión horizontal y otra la vertical. Las dos primeras son la latitud y la longitud, mientras que la que define la dimensión vertical es la altitud. De esas líneas imaginarias hay dos que son referentes centrales, una es la línea ecuatorial o ecuador, y otra es el meridiano de Greenwich (Lifeder, 2020).

2.6.4 *Cartografía*

Según (Calderón Grecia, 2018) la cartografía es la ciencia que se encarga de la construcción y la interpretación de mapas de un territorio, con todos los detalles y aspectos relevantes de una región específica, a través del tiempo se ha ocupado de reunir datos históricos de la geografía de los territorios para analizar como estos han ido evolucionando, actividad que en la actualidad ha cobrado mayor importancia gracias a las TIGs.

2.7 *Cultivo de maíz (Zea mays L.)*

2.7.1 *Generalidades*

Según MAG, (2020) citado en (Zambrano, 2021, pág. 6) durante el 2020 en Ecuador se sembraron 74 018 hectáreas de este cereal, de estas, las Provincias con mayor superficie cultivada son Bolívar, Cotopaxi, Chimborazo, Azuay e Imbabura, con rendimientos en choclo de 3,68 ton/ha y en seco de 1,63 ton/ha. La importancia de este cultivo radica en que puede ser usado en la alimentación humana y además ser materia prima para la elaboración de piensos para alimentación animal.

2.7.2 *Requerimientos Nutricionales*

La nutrición mineral como uno de los factores clave para el rendimiento en los cultivos presenta

variaciones a lo largo del tiempo, con la generación de nuevos híbridos, las dosis se incrementan o se reducen, por lo que es un tema que sigue en estudio, en la (Tabla 2-5), se muestra la cantidad en Kg de macronutrientes, para el mismo efecto con los micronutrientes se muestra en gramos.

Tabla 2-5: Requerimientos nutricionales del maíz (*Zea mays* L.).

Nutriente	Requerimiento	Índice de cosecha	Remoción en grano
	(Kg)	(%)	(Kg/Ton)
Nitrógeno	120-210	54 - 67	9,1 - 13,8
Fósforo	38-86	69 - 85	2,3 - 3,7
Potasio	80-193	17 - 33	3,5 - 4,9
Calcio	38-60	5	0,1
Magnesio	10-50	29 - 45	1,4 - 1,5
Azufre	1,7 - 2,2	55 - 61	1,0 - 1,3
	g/Ton	%	g/Ton
Boro	6,9	23	1,6
Cobre	8,0 - 11,8	29 - 32	3,4 - 2,6
Hierro	114,7 - 193,4	17 - 18	20,7 - 32,0
Manganeso	45,2 - 49,6	13 - 14	6,0 - 6,8
Zinc	41,5 - 54,6	52 - 62	25,7 - 28,5

Fuente: Adaptación de Calvache 2019 y Deras Flores 2020

Realizado por: Jara E., 2024.

2.7.3 *Requerimientos edafoclimáticos*

Algunos de los requerimientos de suelo y temperatura para el cultivo de maíz según (Montoro y Ruiz, 2017, págs.36 153) y (Benítez López, 2022 págs. 83-112) se describen a continuación:

Temperatura: La temperatura para el maíz de la sierra debe encontrarse como mínimo 12°C y como máximo 24 °C, los rangos de temperatura varían de acuerdo con la etapa fenológica, esta variable influye directamente en el ciclo del cultivo, cuando la temperatura se encuentra por debajo del rango óptimo el ciclo se alarga.

Humedad: Al igual que la temperatura, esta no es lineal, sino que se encuentra en función de la fenología, al momento de la germinación, la semilla para empezar los procesos fisiológicos requiere como mínimo 80 mm y para la etapa de floración y llenado de grano, esta cantidad

alcanza a un mínimo de 220 mm, en todo el ciclo el cultivo requiere 700 mm distribuidos en todas sus etapas.

Iluminación: Es una planta de día corto, por encontrarse híbridos y variedades adaptadas a distintas localidades, estas se pueden alcanzar rendimientos aceptables en diferentes fotoperiodos.

Textura: Esta adaptado a varias clases texturales, obteniéndose buenos resultados en suelos Franco-Limoso, Franco Arcillo Limoso.

Aireación: Se da en suelos con buena aireación.

pH: De 5,5 a 7,6.

Profundidad: Se adapta a diferentes condiciones, sin embargo, se obtiene mejores resultados en suelos profundos.

Materia orgánica: Prospera muy bien en suelos que presentan un nivel medio de materia orgánica.

CÁPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Características del lugar

3.1.1 Localización

El siguiente trabajo de investigación se realizó en la Estación Experimental Tunshi del cantón Riobamba en la provincia de Chimborazo.

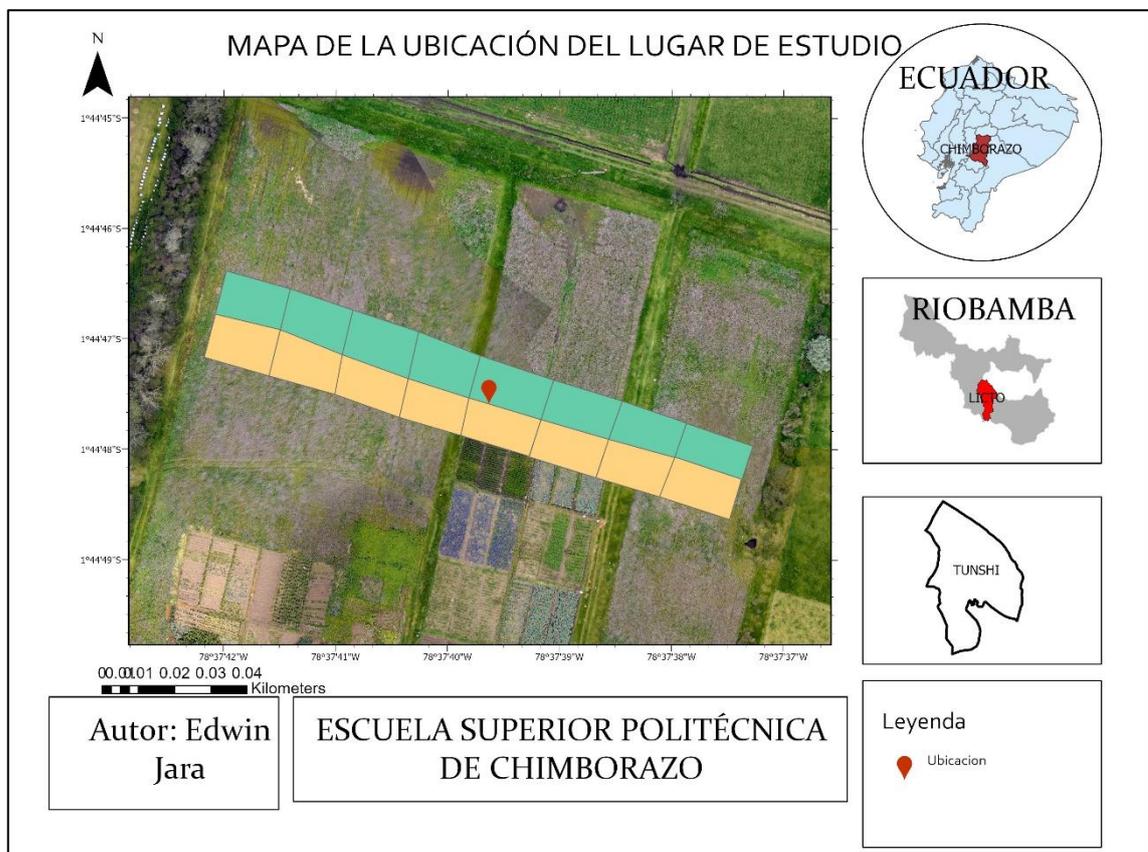
3.1.2 Ubicación Geográfica

Latitud: 01°44'47.12718''S

Longitud: 78°37'40.97210''W

Altitud: 2740 m.s.n.m.

Ilustración 3-1: Mapa de la Ubicación



Realizado por: Jara E., 2024.

3.1.3 Características Climáticas

Temperatura media anual: 13,5 °C

Humedad relativa: 60 – 70 %

Precipitación media anual: 400 – 500 mm. (INAMY, 2021).

3.2 Materiales

3.2.1 Materiales de Campo

Libreta para campo, mapas con la ubicación de los lotes, tablero para portar formularios, cinta métrica, fundas herméticas ziploc, pala pequeña de corte recto, balde, piola, estacas.

3.2.2 Materiales de Laboratorio

Balanza de precisión, hidrómetro, cucharas plásticas, vasos plásticos, probeta, pipeta, tamiz.

3.2.3 Materiales de oficina

Computadora con acceso a internet, libreta, esferos, calculadora.

3.3 Equipos

3.3.1 Equipos de campo

GPS, Infiltrómetro doble anillo, penetrómetro.

3.3.2 Equipos de Laboratorio

Conductímetro, potenciómetro, espectrofotómetro infrarrojo, mufla, estufa.

3.4 Métodos

Para cumplir con el primer objetivo planteado que consiste en determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en estudio de la estación experimental Tunshi, para el cultivo de maíz, para lo cual se realizó las siguientes actividades:

3.4.1 Muestreo de los lotes

Para el muestreo del suelo, se retiró la maleza y se excavo una calicata en forma de “V”, se tomó 8 submuestras de cada parcela a 30 cm de profundidad, con una pala se realizó un corte vertical, se extrajo todo el suelo contenido en la pala, se retiró el suelo de los extremos derecho e izquierdo, el suelo que quedó en el centro se le colocó en un balde, para la obtención de la muestra compuesta se mezcló las submuestras colocadas en el balde, se colocó sobre un papel periódico y se dividió en cuatro partes iguales, de estas se descartó dos, con lo restante se pesó 1 Kg y se colocó en una funda ziploc debidamente etiquetada. Todo este procedimiento se aplicó para las 16 muestras.

3.4.2 Caracterización de la Textura

Para determinar la textura se usó el método del Hidrómetro de Bouyoucos, cuyo procedimiento se encuentra descrito en (Jaramillo, 2002, págs. 1-619), ver (Anexo A)

3.4.3 Estructura

La estructura se determinó siguiendo la metodología descrita en (Jaramillo, 2002 págs. 1-619).

Se pasó el suelo a través de tamices de diferentes tamaños para separar los agregados (peds), para determinar el tipo de estructura que presenta el suelo, los agregados se expresaron en porcentaje en relación con el peso total de la muestra.

3.4.4 Velocidad de Infiltración

La velocidad de infiltración se determinó con el método del cilindro de doble anillo, se replicó el procedimiento utilizado por (Huamán José, 2016, págs. 38-39).

Se procedió a quitar la maleza de la superficie de suelo, luego de introdujo el Infiltrómetro en el suelo golpeándolo con un martillo teniendo en cuenta que quede bien asegurado, se agregó agua en el cilindro externo y se esperó a que el agua se infiltre, posteriormente se colocó en cero el cronómetro del infiltrómetro y se agregó agua en los dos anillos (externo e interno), se anotó la distancia recorrida del agua cada 5 minutos, y se calculó la velocidad de infiltración con la fórmula 4.

$$I = \frac{Dh}{t} * 600 \quad (4)$$

Donde I = Velocidad de infiltración

Dh = Diferencia de altura de agua

t = Diferencia del tiempo

3.4.5 Color

El color se determinó usando la metodología que describe (Jaramillo, 2002, págs. 1-619).

Se comparó las muestras de suelo seco con las placas de color de la tabla Munsell hasta encontrar el mismo color del suelo en la placa de la tabla, se anotó el valor, tono y croma para las muestras analizadas.

3.4.6 Humedad

La humedad se determinó mediante el método del cilindro cuyo procedimiento se encuentra descrito en (Jaramillo, 2002, págs. 1-619), ver (anexo B).

3.4.7 Profundidad

Para la determinación de la profundidad de la capa arable del suelo, se realizó una calicata hasta donde se encuentre una capa de suelo muy dura, y se midió usando un flexómetro, desde la superficie del suelo hasta la capa compactada y se anotó la profundidad en cm.

3.4.8 Resistencia del suelo al corte

Se determinó con el uso del penetrómetro, para lo cual, con el manómetro encerrado, se procedió a colocar este instrumento sobre la superficie del suelo en estudio, aplicarle fuerza hasta que ya no penetre más y se anotó el valor marcado en el manómetro.

3.4.9 Densidad aparente (Dap)

La determinación de la densidad aparente del suelo se realizó con el método del cilindro biselado, procedimiento detallado en (Jaramillo, 2002, págs. 1-619).

Se realizó una calicata a 30 cm de profundidad y se introdujo el cilindro en forma horizontal en la pared de la calicata, se retiró el cilindro y se eliminó el suelo que sobresale de la superficie del

cilindro, se etiquetó y se aseguró la tapa con cinta de embalaje para trasladarlo en un cooler al laboratorio. Se retiró la tapa y se colocó el cilindro con la muestra de suelo a secar en el horno a 105 °C durante 24 horas, transcurrido el tiempo se retiró el conjunto del horno, se dejó enfriar y se pesó la muestra con todo cilindro. Se retiró el suelo del cilindro y se pesó el cilindro vacío. Con una regla se midió el diámetro interno y la altura del cilindro para calcular el volumen con la fórmula 6.

$$Vc = \frac{\pi * d^2 * h}{4} = \pi * r^2 * h \quad (6)$$

Donde: **Vc** = Volumen del cilindro

d² = diámetro del cilindro

h = Altura del cilindro

La densidad aparente del suelo se calculó con la fórmula 7.

$$Da = \frac{Pss}{Vc} \quad (7)$$

Donde: **Pss** = Peso del suelo seco

Vc = Volumen del cilindro

3.4.10 Densidad real (*Dr*)

La densidad real se determinó usando en método del Picnómetro, descrito en (Jaramillo, 2002, págs. 1-619), que consiste en averiguar el peso del suelo por el volumen ocupado, mediante el picnómetro, el proceso detallado se encuentra en el (Anexo C).

3.4.11 Porosidad

La porosidad del suelo se determinó usando la fórmula 10 que describe (Jaramillo, 2002, págs. 1-619).

$$P = \left(1 - \frac{Da}{Dr}\right) * 100 \quad (10)$$

Donde: **P**: Porosidad total: %.

Da: Densidad aparente

Dr: Densidad real

3.4.12 Conductividad eléctrica (CE) y Potencial de hidrogeno (pH)

Para la determinación de estos dos parámetros se usó el método del Potenciómetro, el proceso se encuentra descrito en (Jaramillo, 2002, págs. 1-619).

Se pesó 20 g de suelo seco al aire, se colocó la muestra en un vaso de plástico y se le adicionó 20 ml de agua destilada se agitó la mezcla durante 15 minutos y se le dejó reposar por 20 minutos.

Para la determinación del pH se introdujo el electrodo del potenciómetro en la suspensión, mientras que para la CE se introdujo el electrodo del conductímetro y se anotó el valor de la lectura para cada muestra.

3.4.13 Contenido de materia orgánica (MO)

Para la determinación de la materia orgánica se usó el método de Calcinación (Anexo D) descrito en (Jaramillo, 2002, págs. 1-619).

3.4.14 Contenido de NH^4

Se pesó 2,5 gramos de suelo, se colocó en un vaso plástico etiquetado, se colocó el reactivo y se coló a otro vaso. Se tomó una alícuota de 1ml y se colocó en el vaso de boca ancha. Se agregó 9 ml de Fenol Básico. Se añadió 10 ml de clorox. Se mezcló suavemente y se dejó en reposo durante 20 minutos. Se tomó la lectura en el equipo Colorímetro.

3.4.15 Contenido de P.

Se pesó 2,5 gramos de suelo, se colocó en un vaso plástico etiquetado, se colocó el reactivo y se coló a otro vaso. Se tomó una alícuota de 0.5 ml y se colocó en el vaso de boca ancha. Se añadió 9.5 ml de agua destilada y 10 ml del reactivo B. Se Mezcló suavemente y se dejó reposar por 20 minutos. Se tomó la lectura en el equipo Colorímetro.

3.4.16 Contenido de K., Ca y Mg

Se pesó 2,5 g de suelo y colocó en un frasco de plástico, se agregó 25 ml de la solución extractante OLSEN, y se colocó la mezcla en un agitador eléctrico por 30 minutos, luego se filtró.

De esta mezcla se tomó una alícuota de 1 ml, y se colocó en el vaso de boca ancha añadiéndole 9 ml de agua destilada. Se añadió 10 ml de Oxido de Lantano y se mezcló suavemente.

Se tomó la lectura en el equipo Espectrofotómetro de Absorción Atómica.

3.4.17 Relación C/N

La determinación de la relación carbono/nitrógeno, se realizó a partir del contenido de materia orgánica, para el efecto se utilizó, la fórmula 11 descrita en (Jaramillo, 2002, págs. 1-619).

$$\%COS = \frac{\%MO}{1,724} \quad (11)$$

3.5 Relación Ca/Mg y relación K/Mg

Se determinó tras obtener los resultados del contenido de estos elementos en el suelo, para el efecto los valores se pasaron a las mismas unidades y se realizó la división del elemento que está en el numerador para el que está en el denominador.

3.5.1 Presencia de lombrices

Para contabilizar el número de lombrices en el suelo, se realizó una calicata de un metro cuadrado hasta una profundidad de treinta centímetros, removiendo la tierra con cuidado se contabilizó el número lombrices encontradas.

Para el cumplimiento del objetivo 2

Se utilizó la metodología de (Cantú et al., 2007 págs. 173-178) en la que se normalizaron los valores obtenidos en campo en una escala de 0 a 1, donde estos valores representan la peor y mejor situación respectivamente desde el punto de vista de la calidad del suelo, se sumó el valor normalizado de los indicadores evaluados y se obtuvo la media, estos valores se comparó con los

valores ya establecidos que se presentan en la (Tabla 3-5) para determinar a qué calidad pertenece el suelo.

Cuando el valor obtenido en campo se acerca a la mejor situación de calidad los datos se normalizaron con la fórmula 11.

$$Vn = \frac{Im - Imin}{Imax - Imin} \quad (11)$$

Cuando el Valor máximo del indicador se acerca a la peor situación.

$$Vn = 1 - \frac{Im - Imin}{Imax - Imin} \quad (12)$$

Donde Vn= Valor normalizado

Im = Medida del indicador

Imax= Valor máximo del indicador

Imin = Valor mínimo del indicador

El valor normalizado obtenido se comparó con la (Tabla 3-5), para conocer el índice de calidad al que pertenece el suelo.

Tabla 3-5: Valores para el índice de calidad del suelo

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

Fuente: (Cantú et al., 2007 págs. 173-178)

Realizado por: Jara E., 2024.

Para el cumplimiento del tercer objetivo que consiste en zonificar las parcelas y geolocalizar las muestras de suelo, se procedió a:

Se realizó el vuelo de un dron con el cual se obtuvo fotos aéreas de la estación experimental Tunshi, con estas fotografías se generó una ortofoto en el programa PIX4D, la misma fue cargada al software ARGIS Pro, en la que se localizaron las muestras tomadas con su respectivas latitudes y longitudes. A continuación, se procedió a realizar dos mapas, uno de la ubicación del lugar de estudio y otro del sitio de muestreo.

3.6 Diseño de la investigación

3.6.1 *Diseño Experimental*

Se aplicó Diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA), en parcela dividida con arreglo bifactorial con cuatro repeticiones (Ilustración 3-2), a continuación, se describe la distribución de las parcelas.

Bloque 1		Bloque 2		Bloque 3		Bloque 4	
A1LC	A1LR	A1LR	A1LC	A1LC	A1LR	A1LR	A1LC
A2LR	A2LC	A2LC	A2LR	A2LC	A2LR	A2LR	A2LC

Ilustración 3-2: Distribución de las parcelas.

Realizado por: Jara E., 2024.

3.6.2 *Factor A*

Altitud 1= 2740 m.s.n.m.

Altitud 2= 2747 m.s.n.m.

3.6.3 *Factor B*

Labranza convencional.

Labranza reducida.

3.6.4 *Tratamientos en estudio*

Para esta investigación se contó con 4 tratamientos que se encuentran descritos en la (Tabla 3-1).

Tabla 3-1: Descripción de los tratamientos.

Tratamiento	Descripción
A1LC	2740 msnm bajo labranza convencional
A1LR	2740 msnm bajo labranza reducida
A2LC	2747 msnm bajo labranza convencional
A2LR	2747 msnm bajo labranza reducida

Realizado por: Jara, E, 2024

3.6.5 Especificaciones del lugar del ensayo

Tabla 3-2: Especificaciones del lugar de estudio.

N°	Descripción	Especificaciones
1	Número de repeticiones	4
2	Número de tratamientos	4
3	Número de unidades experimentales	16
4	Área por parcela	222 m ²
5	Área total del ensayo	3552 m ²

Realizado por: Jara, E, 2024

3.6.6 Análisis funcional

Se realizó el análisis de varianza y el coeficiente de variación se expresó en porcentaje. Para los parámetros que presentaron diferencia significativa en el modelo, se realizó la prueba de DMS para los factores y para la interacción se aplicó prueba de Tukey al 5% de confianza.

Tabla 3-3: Estructura del diseño.

Fuentes de Variación	Formula	Grados de Libertad
Repeticiones	$(r-1)$	3
Altitud	$(a-1)$	1
Repeticiones*Sistemas de labranza	$(a-1) * (r-1)$	3
Sistemas de Labranza	$(b-1)$	1
Altitud*Sistemas de labranza	$(a-1) * (b-1)$	1
Error	$(a) * (r-1) * (b-1)$	6
Total	$(a*b*r)-1$	15

Realizado por: Jara, E., 2024.

CAPITULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Propiedades Físicas del suelo

4.1.1 Textura y estructura

Todas las muestras de los tratamientos en estudio presentaron textura franco-arenosa, por lo que no fue necesario realizar el análisis de varianza, lo mismo pasó con la estructura, donde el resultado que se obtuvo fue estructura suelta para todas las muestras.

4.1.2 Color

El color fue determinado usando la tabla Munsell, teniendo como resultado dos valores, Pardo oscuro y Pardo Grisáceo oscuro (Anexo F), por lo que no se realizó análisis de varianza.

4.1.3 Humedad

El análisis de varianza de la humedad antes del laboreo (Tabla 4-1) no presenta diferencia significativa para ninguna de sus fuentes de variación, con 16,51% como coeficiente de variación.

Tabla 4-1: Análisis de varianza de la humedad antes del laboreo.

	Grados					
Fuentes de Variación	de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	22,83	3	7,61	2,33	0,1742	ns
Altitud	4,87	1	4,87	1,49	0,2679	ns
Repeticiones*Altitud	10,55	3	3,52	1,08	0,4274	
Sistemas de labranza	2,92	1	2,92	0,89	0,3815	ns
Altitud*Sistemas de labranza	0,04	1	0,04	0,01	0,9187	ns
Error	19,62	6	3,27			
Total	60,82	15				
C.V	16,51%					

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo
 p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo
 p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

El análisis de varianza de la humedad del suelo (Tabla 4-2), para las muestras tomadas después del laboreo presentó diferencia altamente significativa para Factor B, (sistemas de labranza) mientras que para el Factor A (Altitud) y la interacción entre la Altitud por sistemas de labranza no existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 4,75%.

Tabla 4-2: Análisis de varianza de la humedad del suelo después de la labranza.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	3,76	1,25	0,8	0,5376	ns
Altitud	1	2,21	2,21	1,41	0,2794	ns
Repeticiones*Altitud	3	11,67	3,89	2,48	0,158	
Sistemas de labranza	1	33,79	33,79	21,58	0,0035	**
Altitud*Sistemas de labranza	1	0,39	0,39	0,25	0,9618	ns
Error	6	9,39	1,57			
Total	15	60,82				
C.V		4,75%				

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo
 p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo
 p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

Tras la aplicación de la prueba DMS con un nivel de confianza del 5% (Tabla 4-3) de la humedad del suelo para el Factor B (sistemas de labranza), se identificaron dos grupos "A" y "B". Dentro del grupo A se encuentra la labranza reducida que presenta el mayor contenido de humedad registrado, alcanzando un valor del 12,40%. En el grupo B se ubica la labranza convencional cuyo contenido de humedad se sitúa en 9,20 %.

Tabla 4-3: Prueba DMS 5% de la humedad para el Factor B (Labranza).

Labranza	Medias (%)	n	E.E.	Grupos
Labranza Reducida	12,40	8	0,44	A
Labranza Convencional	9,20	8	0,44	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.1.4 Profundidad de la capa arable

El análisis de varianza para la profundidad de la capa arable (Tabla 4-4) después del laboreo, presenta diferencia altamente significativa en el Factor B (Sistemas de labranza), pero no presentan diferencia significativa para el Factor A (Altitud) y la interacción entre el factor A (Altitud) por el Factor B (Sistemas de labranza), con un coeficiente de variación de 6,86%.

Tabla 4-4: Análisis de varianza de la profundidad de capa arable después del laboreo.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	35,3	11,77	0,94	0,4772	ns
Altitud	1	61,16	20,39	0,1	0,9199	ns
Repeticiones*Altitud	3	5,67	1,89	0,15	0,9251	
Sistemas de labranza	1	1251,39	1251,39	100,2	0,0001	**
Altitud*Sistemas de labranza	1	23,77	23,77	1,9	0,2171	ns
Error	6	74,97	12,49			
Total	15	1498,73				
C.V		6,86%				

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo

p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo

p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

Se aplicó la prueba DMS con un nivel de confianza del 5% (Tabla 4-5) de la profundidad de la capa arable del suelo para el Factor B (Sistemas de labranza), se identificó dos grupos "A" y "B". Dentro del grupo A se encuentra el sistema de labranza reducida, que presenta la mayor profundidad de la capa arable, alcanzando una profundidad de 60,38 cm, mientras que la menor profundidad se encontró en la labranza convencional, con un valor de 42,69 cm.

Tabla 4-5: Prueba DMS al 5% de la profundidad de la capa arable para el factor B (labranza).

Sistemas de labranza	Medias	n	E.E.	Grupos
Labranza reducida	60,38	8	1,25	A
Labranza Convencional	42,69	8	1,25	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.1.5 Velocidad de Infiltración

El análisis de varianza de la velocidad de infiltración (Tabla 4-6) después del laboreo, presenta diferencia altamente significativa para el Factor B (Sistemas de labranza) mientras que para el Factor A (Altitud) y la interacción del Factor A (Altitud) por Factor B (Sistemas de labranza) no presenta diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 8,63%.

Tabla 4-6: Análisis de varianza de la velocidad de infiltración después de la labranza.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrado s medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	110,69	36,9	1,59	0,2878	ns
Altitud	1	7,56	7,56	0,33	0,589	ns
Repeticiones*Altitud	3	22,69	7,56	0,33	0,8074	
Sistemas de labranza	1	1207,56	1207,56	51,98	0,0004	**
Altitud*Sistemas de labranza	1	1,56	1,56	0,07	0,804	ns
Error	6	139,38	23,23			
Total	15	1489,44				
C.V		8,63%				

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo
p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo
p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

Una vez realizada la prueba DMS al 5% de confianza (Tabla 4-7) de la velocidad de infiltración para el Factor B (Sistemas de labranza), se identificó 2 grupos “A” y “B”, en el primer grupo se encuentra la labranza convencional, en el que se midió la mayor velocidad de infiltración 32,39 mm/h, mientras que la menor velocidad de infiltración 23,43 mm/h fue hallada en el grupo B, en el que se encuentra la labranza reducida.

Tabla 4-7: Prueba DMS 5% de la velocidad de Infiltración para el Factor B (Sistemas de labranza).

Sistemas de labranza	Medias (mm/h)	n	E.E.	Grupos
Labranza convencional	32,39	8	1,7	A
Labranza reducida	23,43	8	1,7	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.1.6 Resistencia del suelo al corte

El análisis de varianza de la resistencia del suelo al corte (Tabla 4-8), después del laboreo presenta diferencias altamente significativas para el Factor B (Sistemas de labranza), mientras que para el Factor A (Altitud) y la interacción de A (Altitud) por B (Sistemas de labranza) no presenta diferencias significativas, con coeficiente de variación de 9,30%.

Tabla 4-8: Análisis de varianza de la resistencia del suelo al corte después de la labranza.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	0,37	0,12	1,51	0,3043	ns
Altitud	1	0,56	0,56	0,69	0,4372	ns
Repeticiones*Altitud	3	0,69	0,23	0,28	0,8369	
Sistemas de labranza	1	0,10	0,10	129,31	<0,0001	**
Altitud*Sistemas de labranza	1	0,56	0,56	0,69	0,4372	ns
Error	6	0,49	0,81			
Total	15	0,10				
C.V	9,30%					

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo
p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo
p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

La prueba DMS (Tabla 4-9) al 5% de la resistencia del suelo al corte para el sistema de labranza muestra dos grupos “A” y “B” en el primer grupo se encuentra el valor más alto de la resistencia del suelo al corte 0,12 Kg/cm², correspondiente a la labranza reducida. En el segundo grupo se encuentra el sistema de labranza convencional con 0,07 Kg/cm².

Tabla 4-9: Prueba DMS de la resistencia del suelo al corte para el sistema de labranza.

Sistemas de labranza	Medias (Kg/cm ²)	n	E.E.	Grupos
Labranza reducida	0,12	8	0,32	A
Labranza convencional	0,07	8	0,32	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.1.7 Densidad Aparente

El análisis de varianza antes del laboreo para la densidad aparente del suelo (Tabla 4-10) no presentó diferencia significativa para ninguna de sus fuentes de variación, con 3,77% como coeficiente de variación.

Tabla 4-10: Análisis de varianza antes del laboreo para la densidad aparente del suelo.

Fuentes de Variación	Grados de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	0	0	0	>0,9999	ns
Altitud	1	0,01	0,01	4	0,0924	ns
Repeticiones*Altitud	3	0	0	0	>0,9999	
Sistemas de labranza	1	2,50	2,50	1	0,3559	ns
Altitud*Sistemas de labranza	1	2,5	2,50	1	0,3559	ns
Error	6	0,02	2,50			
Total	15	0,03				
C.V	3,77%					

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo
p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo
p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

El análisis de varianza de la densidad aparente (Tabla 4-11) después del laboreo presenta diferencia altamente significativa para el Factor B (Sistemas de labranza) mientras que para el Factor A (Altitud) y la interacción del Factor A (Altitud) por Factor B (Sistemas de labranza) no presenta diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 0,60%.

Tabla 4-11: Análisis de varianza de la densidad aparente del suelo después del laboreo.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	0,09	0,03	5,15	0,0526	ns
Altitud	1	0,06	0,56	1	0,3559	ns
Repeticiones*Altitud	3	0,19	0,63	0,11	0,9504	
Sistemas de labranza	1	0,08	0,08	1469,4	<0,0001	**

Altitud*Sistemas de labranza						
labranza	1	0,16	0,16	2,78	0,1466	ns
Error	6	0,34	0,56			
Total	15	0,08				
C.V		0,60%				

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo

p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo

p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

Realizada la prueba DMS al 5% de confianza (Tabla 4-12), de la densidad aparente del suelo para el sistema de labranza se puede diferenciar dos grupos “A” y “B”, en el grupo A se encuentra el mayor valor de la densidad aparente 1,32 g/cm³ que corresponde a la labranza reducida. En el grupo B, se encuentra el menor valor de la densidad aparente 1,18 g/cm³, correspondiente a la labranza convencional.

Tabla 4-12: Prueba DMS al 5% de la densidad aparente del suelo para el Factor B (Sistemas de Labranza).

Sistemas de labranza	Medias	n	E.E.	Grupos
Labranza reducida	1,32	8	0,70	A
Labranza Convencional	1,18	8	0,70	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes (p > 0,05)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.1.8 Densidad Real

El análisis de varianza de la densidad real de suelo antes del laboreo (Tabla 4-13) no presentó diferencia significativa en ninguna de sus fuentes de variación con 0,85% como coeficiente de variación.

Tabla 4-13: Análisis de varianza de la densidad real del suelo antes del laboreo.

Grados						
Fuentes de Variación	de libertad	Suma de Cuadrados	Cuadrados Medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	2,80E-03	9,40E-04	2,04	0,2104	ns
Altitud	1	9,00E-04	9,00E-04	1,95	0,2125	ns
Repeticiones*Altitud	3	2,10E-03	7,20E-04	1,55	0,2961	
Sistemas de labranza	1	1,00E-04	1,00E-04	0,22	0,6583	ns

Análisis de varianza de la densidad real después del laboreo						
Altitud*Sistemas de labranza	1	6,30E-04	6,30E-04	1,35	0,2892	ns
Error	6	2,80E-03	4,60E-04			
Total	15	0,01				
C.V		0,85%				
p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo						
p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo						
p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo						
Realizado por: Jara, E., 2024.						

El análisis de varianza de la densidad real (Tabla 4-14) después del laboreo presenta diferencia altamente significativa en el Factor B (Sistema de labranza), para el Factor A (Altitud) y la interacción entre el Factor A (Altitud) por el Factor B (Sistema de labranza) no existe diferencias significativas, con un coeficiente de variación de 0,92%.

Tabla 4-14: Análisis de varianza de la densidad real después del laboreo.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	0,01	0,23	0,56	0,6626	ns
Altitud	1	0,94	5,41	0,12	0,9498	ns
Repeticiones*Altitud	3	0,28	0,95	0,24	0,8689	
Sistemas de labranza	1	0,22	0,22	53,5	0,0003	**
Altitud*Sistemas de labranza	1	0,12	0,12	0,3	0,6018	ns
Error	6	0,20	0,40			
Total	15	0,25				
C.V		2,72%				
p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo						
p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo						
p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo						
Realizado por: Jara, E., 2024.						

La prueba DMS al 5% de la densidad real para los sistemas de labranza presenta dos grupos “A” y “B”, en el primer grupo se encuentra la labranza reducida con una media de 2,54 g/cm³, mientras que en el grupo B se encuentra la labranza convencional con una media de 2,31 g/cm³.

Tabla 4-15: Prueba de Tukey al 5% de la densidad real para sistemas de labranza.

Sistemas de labranza	Medias	n	E.E.	Grupos
Labranza reducida	2,54	8	0,02	A
Labranza convencional	2,31	8	0,02	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.1.9 Porosidad

El análisis de varianza de la porosidad del suelo (Tabla 4-16), presenta diferencia altamente significativa para el Factor B (sistemas de labranza), para el Factor A (Altitud) y la interacción entre los factores A (Altitud) y B (sistemas de labranza) no existe diferencia significativa, con coeficiente de variación de 3,08%.

Tabla 4-16: Análisis de varianza de la porosidad del suelo después del laboreo.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	10,17	3,39	1,27	0,3672	ns
Altitud	1	10,06	10,06	3,76	0,1006	ns
Repeticiones*Altitud	3	10,91	3,64	1,36	0,3419	
Sistemas de labranza	1	150,74	150,74	56,32	0,0003	**
Altitud*Sistemas de labranza	1	3,53	3,53	1,32	0,2948	ns
Error	6	16,06	2,68			
Total	15	201,47				
C.V		3,08%				

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo

p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo

p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

La prueba DMS (Tabla 4-17) al 5% de confianza, de la porosidad del suelo para sistemas de labranza presenta dos grupos “A” y “B”, en el grupo A se encuentra labranza convencional con 56,16% de porosidad, mientras que en el grupo B, se encuentra la labranza reducida con el menor valor de la porosidad 50,02%.

Tabla 4-17: Prueba de Tukey al 5% de confianza de la porosidad para el Factor B (Labranza).

Sistemas de labranza	Medias	n	E.E.	Grupos
Labranza convencional	56,16	8	0,58	A
Labranza reducida	50,02	8	0,58	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.2 Propiedades químicas del suelo

Los análisis de varianza realizados para las propiedades químicas del suelo (Tabla 4-18) a excepción de la CE, no muestran diferencia significativa.

Tabla 4-18: Análisis de varianza de las propiedades químicas del suelo.

Propiedades químicas del suelo	p-valor de las Fuentes de Variación					
	Bloque	A (Altitud)	Error A	B (Labranza)	Altitud* Labranza	CV (%)
pH	0,3225 ns	0,6049 ns	0,112 ns	0,2626 ns	0,284 ns	2,78
MO	0,4655 ns	0,5026 ns	0,0502 ns	0,9816 ns	0,4363 ns	3,11
NH4	0,1113 ns	0,1453 ns	0,9346 ns	0,1044 ns	0,8283 ns	4,32
P	0,9631 ns	0,0694 ns	0,2499 ns	0,2738 ns	0,7128 ns	12,67
K	0,4773 ns	0,6717 ns	0,6845 ns	0,6845 ns	0,7814 ns	19,76
Ca	0,8611 ns	0,796 ns	0,188 ns	0,7929 ns	0,9364 ns	9,84
Mg	0,5 ns	0,5 ns	0,6023 ns	0,603 ns	0,391 ns	1,72
C/N	0,2701 ns	0,3078 ns	0,3147 ns	0,9316 ns	0,8143 ns	16,93
Ca/Mg	0,9035 ns	0,6888 ns	0,0256 ns	0,876 ns	0,9712 ns	10,14

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo

p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo

p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.2.1 Conductividad Eléctrica

El análisis de varianza de la CE (Tabla 4-19) del suelo indica que existe diferencia altamente significativa para el Factor A (Altitud) y en las repeticiones mientras que en el Factor B (Sistemas de labranza) y la interacción entre Factor A (Altitud) por el Factor B (sistemas de labranza) no existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 4,07%.

Tabla 4-19: Análisis de varianza de la conductividad eléctrica del suelo.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	3273,2	2345,2	3,89	0,074	ns
Altitud	1	93911,6	93911,6	938,56	<0,0001	**
Repeticiones*Altitud	3	13630,43	4543,48	45,41	0,0002	
Sistemas de labranza	1	42,9	42,9	0,43	0,5369	ns
Altitud*Sistemas de labranza	1	0,2	0,2	0,02	0,9656	ns
Error	6	600,35	100,06			
Total	15	113174,32				
C.V	4,07%					

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo
p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo
p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E., 2024.

La prueba DMS al 5% de confianza (Tabla 4-20), presenta dos grupos “A” y “B”, en el grupo A se encuentra el mayor valor de la CE 332,5 uS/cm, que corresponde 2740 m.s.n.m. Por otro lado, en el grupo B, se encuentra el menor valor de la CE 169,28 uS/cm, correspondiente 2747 m.s.n.m.

Tabla 4-20: Prueba DMS al 5% de la CE para el factor A (Altitud).

Altitud	Medias (uS/cm)	n	E.E.	Grupos
2740 msnm	322,5	8	3,54	A
2747 msnm	169,28	8	3,54	B

Medias con una letra común no son significativamente diferentes ($p > 0,05$)

Realizado por: Jara, E., 2024.

4.3 Propiedades Biológicas del suelo

4.3.1 Número de lombrices

El análisis de varianza (Tabla 4-21) indica que existe diferencia altamente significativa para el Factor B (Sistemas de labranza), en el Factor A (Altitud) y en la interacción entre Factor A (Altitud) por el Factor B (Sistemas de labranza) no existe diferencia significativa, con un coeficiente de variación de 7,63%.

Tabla 4-21: Análisis de varianza del número de lombrices en el suelo.

Fuentes de Variación	Grados de Libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3	2,19	0,73	0,52	0,6826	ns
Altitud	1	22,56	22,56	1,16	0,1457	ns
Repeticiones*Altitud	3	15,69	5,23	3,75	0,0792	
Sistemas de labranza	1	138,06	138,06	98,91	0,0001	**
Altitud*Sistemas de labranza	1	32,21	32,21	0,8	0,654	ns
Error	6	8,38	1,4			
Total	15	200,94				
C.V	7,63%					

p-valor > 0,05 y >0,01 ns. No significativo
p-valor < 0,05 y >0,01 *. Significativo
p-valor < 0,05 y <0,01 **. Altamente significativo

Realizado por: Jara, E, 2024.

La prueba DMS al 5% de confianza (Tabla 4-22), muestra dos grupos “A” y “B”, el mayor número de lombrices se contabilizó en la labranza reducida con un total de 3 lombrices por metro cuadrado, mientras que, en la labranza convencional, solo se registró una lombriz por metro cuadrado.

Tabla 4-22: Prueba de Tukey al 5% del número de lombrices para el Factor B (Labranza).

Sistemas de labranza	Medias	n	E.E.	Grupos
Labranza reducida	3	8	0,42	A
Convencional	1	8	0,42	B

Realizado por: Jara, E, 2024.

4.4 Índice de calidad del suelo

En la (Tabla 4-23), se muestra la construcción del valor normalizado para determinar el índice de calidad del suelo, se presentan los requerimientos óptimos del cultivo de maíz expresados en valores máximos y mínimos, el valor obtenido en campo corresponde al valor medio calculado del resultado del análisis de suelo.

Tabla 4-23: Requerimientos máximos y mínimos para el cultivo de maíz y el valor medio obtenido en el análisis de laboratorio.

Parámetros	Valor obtenido en campo	Unidad	Min	Max	Valor normalizado
pH	7,26		5,5	7,6	0,84
C.E.	0,25	dS/m	2	6	0,00
M.O	1,73	%	3	5	0,00
N	11,60	Kg/ha	60	120	0,00
P	938,89	Kg/ha	40	80	1,00
K	3362,36	Kg/ha	20	60	1,00
Ca	644,74	Kg/ha	10	20	1,00
Mg	69,73	Kg/ha	10	30	1,00
Profundidad de la capa					
arable	48,00	cm	0	60	0,88
Ca/Mg	54,05		2	5	0,00
% Poros	53,09	%	50	70	0,15
DA	1,33	gr/cm ³	1,15	1,5	0,50
Humedad	10,95	%	20	30	0,00

Realizado por: Jara, E., 2024.

En la (Tabla 4-25) se muestra el resultado cualitativo del índice de calidad 0,49, a partir de este valor se determinará el tipo de calidad que presenta el suelo en estudio.

Tabla 4-24: Índice de calidad del suelo.

Parámetros	Valor normalizado
pH	0,84
C.E.	0
M.O	0
N	0
P ₂ O ₅	1
K ₂ O	1
Ca	1
Mg	1
Profundidad de la capa arable	0,88
Ca/Mg	0

% Poros	0,15
DA	0,5
Humedad	0
Índice de Calidad del suelo	0,49

Realizado por: Jara, E., 2024.

El índice de calidad de suelo fue de 0,49, si este valor se lo compara con la (Tabla 3-5) entonces el suelo de las parcelas en estudio pertenece a la clase 3, siendo esta de moderada calidad para el establecimiento del cultivo de maíz (*Zea mays*. L).

4.5 Localización de las muestras

En la (Ilustración 4-1), se muestra el mapa con las 16 unidades experimentales y los sitios donde fueron tomadas las muestras.

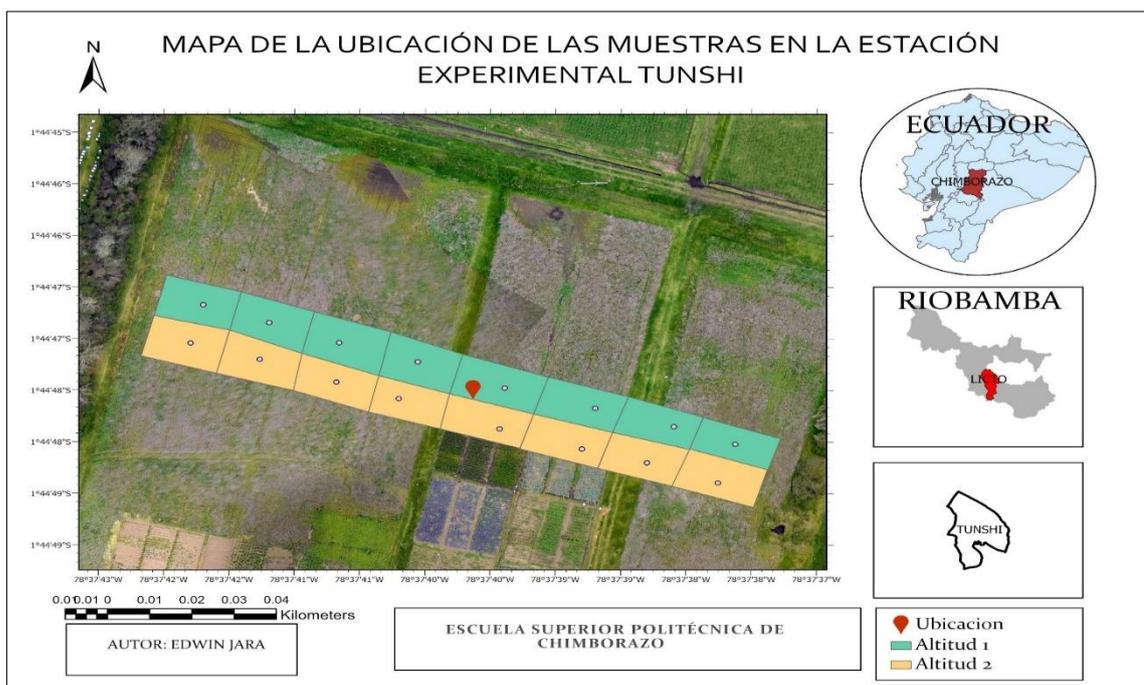


Ilustración 4-1: Mapa de la ubicación de los sitios de muestreo.

Realizado por: Jara E., 2024.

4.6 Discusión de los Resultados

4.6.1 Textura

En lo referente a las propiedades físicas del suelo de manera particular a la textura, para la determinación de este parámetro se utilizó el método de Bouyoucos teniendo como resultado que

todos los tratamientos en estudio pertenecen a la clase textural Franco Arenoso. Considerando que el presente estudio del suelo es para el cultivo de maíz, puede afectar este parámetro a la producción si tenemos presente que el cultivo de maíz según (Montoro & Ruiz, 2017, págs.36-153), menciona que el cultivo de maíz se adapta a varias clases texturales, de preferencia: suelos Franco-Limoso, Franco Arcillo Limoso.

El sitio en el que se realizó el presente estudio, según los datos del INAMY tiene una precipitación de 500 mm al año, el maíz requiere 700 mm durante el ciclo de acuerdo con lo indicado por (Benítez López, 2022 págs. 83-112) y al tener un suelo arenoso con baja retención de humedad, este parámetro puede ser limitante en el cultivo.

4.6.2 Estructura

La estructura de todos los tratamientos en estudio presentaron estructura suelta (ANEXO F), según (Rabot et al., 2018 págs. 122-137) esto podría estar relacionado con la textura franco arenosa del suelo, agrega que la estructura controla muchos procesos tales como: la retención e infiltración de agua, intercambio gaseoso, la dinámica de nutrientes, la penetración de las raíces y la susceptibilidad a la erosión, tomando en cuenta este criterio, se puede deducir que la estructura del suelo afectaría directamente el desarrollo del cultivo de maíz (*Zea mays* L.).

4.6.3 Humedad

Para el contenido de humedad el valor más alto se presenta en la labranza reducida con 12,40% mientras que en la labranza convencional se tiene un valor de 9,20% (Tabla 4-3) esto concuerda con lo manifestado por (Schlüter et al., 2018 págs.10-19) quien sostiene que la labranza mínima tiene un impacto positivo en la estructura del suelo, dejando como resultado mayor secuestro de carbono y retención de humedad. Por otro lado (Kiboi et al., 2019 págs. 316-331) mencionan que, la labranza convencional altera las propiedades físicas y químicas en el perfil del suelo, disminuye la estabilidad de los agregados, reduce la capacidad de retención de humedad, aumenta la pérdida de humedad por evaporación, incrementa la susceptibilidad del suelo a la generación de escorrentía, mientras que por el implemento y el tipo de corte en el suelo que genera la labranza mínima reduce la velocidad de descomposición de la materia orgánica, incrementa la retención de humedad y promueve la restauración de los procesos biológicos que favorecen al cultivo.

Según (Uwizeyimana et al., 2018 págs. 214-221), la humedad del suelo en el cultivo de maíz es importante para lograr buenos rendimientos, este cultivo es muy sensible a la sequía en las etapas

de crecimiento, estas van desde la germinación hasta la madurez; asegura que la tasa de germinación se reduce en condiciones de estrés por sequía debido a la baja absorción de agua y la disminución de la activación enzimática; mientras que en las etapas de desarrollo y crecimiento, la sequía afecta la división y proliferación celular, en las etapas reproductivas afecta la polinización, el llenado y formación de la mazorca. Por otro lado (Wang et al., 2019 págs. 131-137) mencionan que la humedad del suelo está relacionada con la absorción de los nutrientes.

4.6.4 Profundidad de la capa arable

La profundidad de la capa arable (Tabla 4-5) se mostró mayor en la labranza mínima 60,38 cm en relación con la labranza convencional 42,39 cm estos resultados se explicarían con lo mencionado por (Yang et al., 2022 pág. 645) donde sostienen que, el laboreo agrícola influye en el espesor de la capa arable, esta puede verse reducida por la erosión y la formación del piso de arado.

El espesor de la capa arable del suelo según (Guo et al., 2021 págs. 2849-2860) sostienen que, es un indicador importante de la calidad y productividad, la labranza convencional puede hacer que este espesor se vea reducido, lo que provocaría daño en las propiedades físicas, químicas y biológicas, por lo tanto, reduce la productividad de los cultivos, este criterio concuerda con lo mencionado por (Wang et al., 2019 págs. 131-137) donde afirman que, la labranza convencional a largo plazo genera varios problemas de calidad del suelo, como una capa de labranza poco profunda, engrosamiento del fondo del arado, pobre capacidad de retención de agua, velocidad elevada de infiltración y estructura del suelo dañada. La estructura y el espesor de la capa arable determinan el entorno de supervivencia de los cultivos, el suministro de nutrientes y agua, misma que puede verse afectada por corte horizontal del suelo de la labranza convencional.

Los mismos autores sostienen que labranza profunda (uso de subsolado), la rotación de cultivos, la reducción del tráfico de maquinaria pesada y de animales, la aplicación de enmiendas al suelo, incrementan el espesor de la capa arable, lo que concuerda con (Wang et al., 2019 págs. 131-137) , quienes encontraron que al usar subsolador, la densidad aparente disminuyó, mientras que la porosidad aumentó en los primeros 30 cm del suelo, promoviendo así la absorción de agua y nutrientes por las raíces de los cultivos.

(Guo et al., 2021 págs. 2849-2860) sostienen que el rendimiento de los cultivos puede verse afectado por el espesor de la capa arable, mediante una simulación demostraron que, la disminución de la capa arable de 30 a 10 cm provocó un decremento en el rendimiento del maíz

de un 22%, debido a la reducción del contenido de N, P y K, además agregan que es difícil establecer una relación entre estos dos factores, debido a que la degradación de la capa arable es lenta.

4.6.5 Velocidad de Infiltración

La mayor velocidad de infiltración se obtuvo en la labranza convencional 32,39 mm/h frente a 23, 43 mm/h de la labranza mínima (Tabla 4-7), estos resultados son consistentes con los encontrados por (Amami R, et al. 2021, pág. 3155) y (Kiboi et al., 2019 págs. 316-331) donde explican que la perturbación del suelo pueden influir en la velocidad de infiltración del agua, sugiere que los suelos bajo labranza convencional pueden absorber mayor cantidad de agua frente a un suelo bajo labranza reducida, este evento se justifica por la naturaleza porosa del suelo bajo labranza convencional que se encuentra más aflojado y más fino que uno con labranza reducida.

La tasa de infiltración es un factor crítico en producción de cultivos, según (Bashe et al., 2019 págs.1-22) asegura que este factor puede mitigar el riesgo de daño por inundaciones al facilitar la entrada de agua en el suelo y reducir las pérdidas por escorrentía, la velocidad de infiltración también se encuentra relacionado con las propiedades físicas tales como la densidad aparente y la porosidad, en las propiedades químicas del suelo está relacionada con el contenido de carbono.

4.6.6 Resistencia del suelo al corte

La mayor resistencia del suelo al corte se presentó en los tratamientos bajo labranza reducida 0,12 Kg/cm² (tabla 4-9), lo cual concuerda con (Wang et al., 2019 págs. 131-137) quienes mencionan que, si bien la labranza reducida puede disminuir la erosión del suelo, puede aumentar la resistencia a la penetración debajo de la capa labrada. Un componente clave de la labranza de reducida es el subsolado que a largo plazo reduce la resistencia del suelo al corte y mejora sus propiedades.

Según (Ren et al., 2019 págs. 76-86) afirman que, la resistencia del suelo al corte está relacionada con la compactación del suelo, un suelo compactado es uno de los principales limitantes en la producción agrícola, genera varios impactos negativos como la germinación de las semillas y desarrollo radicular de los cultivos, la labranza convencional podría contrarrestar este efecto a corto plazo, pero los autores mencionan varios aspectos negativos encontrados al usar este sistema de labranza como son la susceptibilidad del suelo a la erosión y el daño a la estructura.

4.6.7 Densidad Aparente

La mayor densidad aparente (Tabla 4-12) se encontró en la labranza reducida $1,32 \text{ g/cm}^3$ frente a $1,18 \text{ g/cm}^3$ registrados para la labranza convencional, en esta investigación, el suelo de todos los tratamientos en estudio resultaron pertenecer a la clase textural Franco arenoso, por lo que estos valores se encuentran por debajo de lo descrito por Cortés y Malagón (1984) citado en (Jaramillo, 2002 pág. 190), quienes mencionan que para suelos de textura gruesa se consideran valores altos si el suelo presenta una densidad aparente mayor a $1,6 \text{ g/cm}^3$. La diferencia de la densidad aparente notada entre los dos sistemas de labranza se explicaría con lo expuesto por (Yang et al., 2022 pág. 645) donde mencionan que algunas de las propiedades físicas del suelo entre ellas la densidad aparente suele modificarse en torno al sistema de labranza.

Según (Yang et al., 2021 págs. 2892-2905) la densidad aparente y la resistencia del suelo al corte son medidas directas de la compactación, un valor alto en esta propiedad limita el desarrollo radicular impidiendo la absorción de agua y nutrientes, dejando como consecuencias bajo rendimiento en los cultivos, esto concuerda con los resultados encontrados por (Obour Peter & Ugarte Carmen, 2021 pág. 105019) donde mencionan que la densidad aparente y la resistencia del suelo al corte aumentaron la compactación hasta en un 41%, reduciendo el rendimiento del grano de maíz en un 34%.

4.6.8 Densidad Real

La densidad real de los tratamientos en estudio, se encuentran por debajo del valor descrito por (FAO, 2020) $2,65 \text{ g/cm}^3$, la diferencia podría deberse a los dos sistemas de labranza a los cuales fueron sometidos, donde la densidad real fue mayor en el sistema de labranza reducida $2,54 \text{ g/cm}^3$ frente al sistema de labranza convencional (Tabla 4-15).

4.6.9 Porosidad

El valor más alto de la porosidad (Tabla 4-17) se presentó en la labranza convencional 56,16%, mientras que, en la labranza reducida, se obtuvo 50,02%, estos resultados concuerdan con (Ren B et al., 2018 págs. 669-676) quienes afirman que, la densidad aparente, la resistencia a la penetración, el contenido de humedad y la distribución del tamaño de los poros difieren entre los sistemas de labranza. Los resultados de este estudio difieren de los resultados obtenidos por (Yang et al., 2021 págs. 2892-2905), quienes después de 8 años de haber investigado el efecto de la labranza mínima con el uso de subsolador a una profundidad de 30 cm frente a la labranza

convencional a una profundidad de 15 cm en las propiedades físicas del suelo encontraron que, la labranza mínima a largo plazo incrementa la porosidad especialmente macroporos en un 10,4%, el contenido de humedad en un 16,7% y el contenido de materia orgánica. La diferencia de los datos obtenidos por el autor mencionado anteriormente, con los obtenidos en este estudio se podría explicar por el número de años que desarrolló su investigación.

4.6.10 Propiedades químicas del suelo

Las propiedades químicas del suelo determinadas bajo los dos sistemas de labranza (Tabla 4-15) a excepción de la CE no mostraron diferencias significativas bajo los dos sistemas de labranza y las dos altitudes, lo cual concuerda con los resultados obtenidos por (Haruna & Nkongolo, 2019, pág. 2770), donde sostienen que la posible causa de que no exista efecto de los sistemas de labranza se deba a que es el primer año de estudio, puesto que a partir del segundo año encontraron diferencias significativas para la relación C/N, el contenido de agua volumétrica, pH, la y el contenido de macronutrientes.

El contenido de materia orgánica y el contenido de nitrógeno se encuentra bajos, el pH se encuentra en un rango de, el contenido de fósforo, potasio, calcio, las relaciones Ca/Mg y K/Mg se encuentran altos (ANEXO F), algunos de estos valores son mayores de lo que el cultivo de maíz requiere (Tabla 4-21).

4.6.11 Conductividad Eléctrica

En los lotes en estudio el valor más alto para la conductividad eléctrica (Tabla 4-20) fue de 322,5 uS/cm, lo cual difiere de (Ozlu Ekrem & Kumar Sandeep, 2018, págs. 1243-1251) quienes mencionan que, en suelos que habían sido tratados con estiércol y fertilizante inorgánico encontraron valores de la conductividad eléctrica que va desde los 710 hasta los 2100 uS/cm en los primeros 20 cm, estos resultados según los autores podría deberse a la cantidad de sales disueltas en el estiércol, además explica que la presencia de las sales en el estiércol se debe a los aditivos usados en la alimentación de los animales criados en confinamiento.

Esto explicaría los valores encontrados en los suelos en estudio, donde la profundidad de muestreo fue de 30 cm. Estos lotes se encuentran en descanso desde hace aproximadamente 5 años, donde al no tener ninguna actividad agrícola no se ha realizado incorporaciones de fertilizantes ni de estiércol.

4.6.12 Número de lombrices

La cantidad más alta de lombrices se registró en la labranza reducida donde se contabilizaron 3 lombrices, en relación con la labranza convencional 1 lombriz m² (Tabla 4-22). Esta disparidad puede ser atribuida, según Kumar R, a la influencia de las fuentes de Carbono almacenadas en el suelo, las cuales son utilizadas por los microorganismos para obtener energía. Asimismo, (Ozlu Ekrem & Kumar Sandeep, 2018, págs. 1243-1251) señalan que factores como la humedad, la temperatura, el pH y la compactación del suelo afectan la creación de un entorno propicio para la presencia de estos microorganismos. En este contexto, (Cheng-yu et al., 2019 págs. 1461-1473) añade que, la compactación del suelo genera una reducción en la aireación y la humedad, lo que afecta negativamente la biodiversidad y la actividad biológica del suelo.

Sobre la influencia de la labranza en la presencia de lombrices (Gajda & Pawlas 2021, pág. 1497) menciona que, en los últimos años, la labranza mínima ha sido usada con el fin de conservar la calidad de los suelos, sostienen que, la actividad de los microorganismos es clave para mantener el ciclo de los nutrientes y la degradación de residuos de agrotóxicos. Las prácticas de labranza modifican las comunidades microbianas del suelo y afectan la intensidad de los procesos microbiológicos como la descomposición de la materia orgánica, las posibles consecuencias incluyen la descomposición del carbono orgánico del suelo y alteración en el crecimiento de las plantas.

CONCLUSIONES

En lo referente a los sistemas de labranza, con la labranza convencional, se identificaron propiedades que resultaron afectadas de manera negativa, incluyendo la humedad, densidad aparente, densidad real, porosidad, profundidad de la capa arable, velocidad de infiltración, resistencia del suelo al corte y la presencia de lombrices.

Siguiendo la metodología propuesta por Cantú, se determinó el índice de calidad de suelo para el cultivo de maíz suave (*Zea mays*. L), dejando como resultado que las parcelas en estudio pertenecen a la clase 3, siendo esta moderada calidad para el establecimiento del mismo.

Las TIGs constituyen una herramienta fundamental para la construcción de mapas georreferenciados que servirán como fuente de información para las actividades de preparación del suelo para futuros establecimientos del cultivo de maíz suave en la Estación Experimental Tunshi.

RECOMENDACIONES

Aplicar el sistema de labranza reducida para el establecimiento del cultivo de maíz suave en la Estación Experimental Tunshi.

Utilizar las TIGs para contar con información georreferenciada y mapas de la zona agrícola de la Estación Experimental Tunshi.

Al contar con un suelo de moderada calidad para el cultivo de maíz suave, se lo puede realizar previo a la aplicación de enmiendas y prácticas de conservación que permitan mejorar y mantener la calidad del suelo.

BIBLIOGRAFÍA

1. **AL-SHAMMARY, Ahmed Abed Gatea et al.** “Soil Bulk Density Estimation Methods”. A Review. *Pedosphere* [en línea], 2018, (China) vol. 28 (4), págs. 581–596. [Consulta: 4 noviembre 2023]. ISSN 1002-0160. Disponible en: [https://doi.org/10.1016/S1002-0160\(18\)60034-7](https://doi.org/10.1016/S1002-0160(18)60034-7)
2. **AMAMI, Roua.** “Impacts of Different Tillage Practices on Soil Water Infiltration for Sustainable Agriculture”. *Sustainability* [en línea], 2021, (Estados Unidos) vol. 13 (6), pág. 3155. [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su13063155>
3. **CALVACHE ULLOA, Angel Marcelo.** “Recomendaciones de fertilización para los principales cultivos de la sierra ecuatoriana”. *ResearchGate* [en línea], 2019, (Ecuador) págs. 45–46. [Consulta: 20 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.28609.53607>
4. **BASCHE, Andrea y DELONGE M.** “Comparing infiltration rates in soils managed with conventional and alternative farming methods: A meta-analysis”. *Plos One*. [en línea], 2019, (Estados Unidos) vol. 14 (9). [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0215702>.
5. **BALESDENT, Jérôme et al.** “Atmosphere–soil carbon transfer as a function of soil Depth”. *Nature*. [en línea], 2018, (Francia) vol. 559 (7715). págs. 599–602. [Consulta: 4 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41586-018-0328-3>
6. **BARRERA, J et al.** “Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas”. *Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas* [en línea], 2020, (Ecuador) vol. 3 (1) págs. 182–190. [Consulta: 11 noviembre 2023]. ISSN: 2631-2662 Disponible en: <https://www.umet.edu.ec>:Evaluación de los índices de calidad del suelo de diversos cultivos en diferentes condiciones topográficas | Barrera León | Revista Metropolitana de Ciencias Aplicadas (umet.edu.ec)

7. **BENEVENUTE, Pedro et al.** “Penetration resistance: An effective indicator for monitoring soil compaction in pastures”. *Ecological Indicators* [en línea], 2020, (Brasil) vol. 117 ISSUE. 106647. [Consulta: 4 noviembre 2023]. Disponible en: DOI 10.1016/j.ecolind.2020.106647.
8. **BENÍTES LÓPEZ, Olga Berenice**, “Influencia de los factores climáticos en la producción de maíz en México”. *El semestre de las especializaciones*. [en línea], 2022, vol. 3. págs. 83–112. [Consulta: 28 Febrero 2024]. Disponible en https://www.depfe.unam.mx/especializaciones/revista/322022/03_EAE_BenitezLopez_2022.pdf.
9. **CALDERÓN, Grecia**. Cartografía. [Blog] (2018). [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://www.euston96.com/cartografia/>
10. **CANTÚ, Mario et al.** “Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices.”. *Ciencia del suelo* [en línea], 2007, (México) vol. 25 (2). págs. 173–178. [Consulta: 2 Marzo 2024]. Disponible en: http://www.scielo.org.ar/scielo.php?pid=S185020672007000200008&script=sci_arttext&tlng=en
11. **CASTILLO-VALDEZ, Ximena et al** “Evaluación de la calidad de suelo: generación e interpretación de indicadores”. *Revista terra latinoamericana* [en línea], 2021, vol. 39. págs. 1–12. [Consulta: 13 enero 2024]. Disponible en: DOI 10.28940/terra.v39i0.698
12. **CHEN, Baoqing et al.** “Soil nitrogen dynamics and crop residues”. A review. *Agronomy for Sustainable Development* [en línea], 2014, (China) vol. 34 (2). págs. 429–442. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 1773-0155. Disponible en: DOI 10.1007/s13593-014-0207-8
13. **CORWIN, D y YEMOTO.** “Salinity: Electrical conductivity and total dissolved solids”. *Soil Science Society of America Journal* [en línea], 2020, (Estados Unidos) vol. 84 (5). págs. 1442–1461. [Consulta: 5 noviembre]. ISSN 92507-4617. Disponible en: DOI 10.1002/saj2.20154

14. **DE MORAES, Moacir Tuzzin et al.** “Mechanical and Hydric Stress Effects on Maize Root System Development at Different Soil Compaction Levels”. *Frontiers in Plant Science* [en línea], 2019, (Brasil) vol. 10. ISSUE 1358. [Consulta: 4 noviembre 2023]. Disponible en: DOI 10.3389/fpls.2019.01358
15. **FAO.** “Propiedades físicas del suelo”. *Boletín suelos*. [en línea], 2024 [Consulta:] Disponible en: <https://www.fao.org/soils-portal/soil-survey/propiedades-del-suelo/propiedades-fisicas/es/>
16. **JARAMILLO, D.** Introducción a la ciencia del suelo. Medellín: Escuela de Geociencias y Medio Ambiente, 2002, pp. 1-619. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147701>
17. **GAJDA, Anna Maria, et al.** “Effects of Different Tillage Intensities on Physicochemical and Microbial Properties of a Eutric Fluvisol Soil”. *Agronomy* [en línea], 2021, (Polonia) vol. 11 (8). págs. 1497. [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy11081497>.
18. **GARCÍA R., Dayra Yiselet al.,** “Evaluación de sistemas de labranza sobre propiedades físico-químicas y microbiológicas en un Inceptisol”. *Revista de Ciencias Agrícolas* [en línea], 2018, vol. 35 (1). pág. 16. [Consulta: 6 enero 2024]. Disponible en: DOI 10.22267/rcia.183501.79.
19. **GUO, Lili et al.** “Reducing topsoil depth decreases the yield and nutrient uptake of maize and soybean grown in a glacial till”. *Land Degradation & Development* [en línea], 2021, (China) vol. 32 (9). págs. 2849–2860. [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: DOI 10.1002/ldr.3868
20. **GPS.** *Información oficial del Gobierno de los Estados Unidos relativa al Sistema de Posicionamiento Global y temas afines*. [blog] 2020. [Citado el: 24 de noviembre de 2023.] <https://www.gps.gov/spanish.php>.
21. **HARUNA, S y NKONGOLO, N.** “Tillage, Cover Crop and Crop Rotation Effects on Selected Soil Chemical Properties”. *Sustainability* [en línea], 2019, (Estados Unidos)

vol. 11 (10). pág. 2770. [Consulta: 16 diciembre 2023]. Disponible en: DOI 10.3390/su11102770

22. **HARUNA, S et al.** “In situ infiltration as influenced by cover crop and tillage management”. *Journal of Soil and Water Conservation* [en línea], 2018, vol. 73 (2). págs. 164–172. [Consulta: 12 diciembre 2023]. Disponible en: DOI 10.2489/jswc.73.2.164
23. **HASANUZZAMAN, Mirza et al.** “Potassium: A Vital Regulator of Plant Responses and Tolerance to Abiotic Stresses”. *Agronomy* [en línea], 2018, (Bangladesh) vol. 8 (3). pág. 31. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: DOI 10.3390/agronomy8030031
24. **HERNÁNDEZ, M** *Tecnologías de la información geográfica (TIGs). Cartografía, fotointerpretación, teledetección y sig.* [blog] 2018. [Citado el: 24 de noviembre de 2023.] <https://www.eusal.es/9788478001484#:~:text=Las%20Tecnolog%C3%ADas%20de%20la%20Informaci%C3%B3n%20Geogr%C3%A1fica%20%28TIG%29%20est%C3%A1n,espacial%20y%20de%20elaboraci%C3%B3n%20de%20mapas%20digitales%20actuales%29>
25. **HERRERA, Julián et al.** “Efecto de dos sistemas de labranza sobre la infiltración en suelos Ferralíticos Rojos la Habana Cuba”. *Ingeniería Agrícola* [en línea]. 2017, (Cuba) vol. 4. págs. 3–10. [Consulta: 2 marzo 2024]. Disponible en : https://www.researchgate.net/profile/JulianPuebla/publication/330937985_ARTICULO_ORIGINAL_ARTICULO_ORIGINAL_Efecto_de_dos_sistemas_de_labranza_sobre_la_infiltracion_en_suelos_Ferraliticos_Rojos_Effects_of_TwoSoil_Tillages_System_in_the_Infiltration_Capacity_of_Red_Ferral/links/5c5ca29b299bf1d14cb347d1/ARTICULO-ORIGINAL-ARTICULO-ORIGINAL-Efecto-de-dos-sistemas-de-labranza-sobre-la-infiltracion-en-suelos-Ferraliticos-Rojos-Effects-of-Two-Soil-Tillage-s-System-in-the-Infiltration-Capacity-of-Red-Ferra.pdf
26. **HOU, Enqing et al.** “Effects of climate on soil phosphorus cycle and availability in natural terrestrial ecosystems”. *Global Change Biology* [en línea], 2018, (China) vol. 24 (8). págs. 3344–3356. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: DOI 10.1111/gcb.14093

27. **HUAMÁN, José.** Evaluación de la capacidad de infiltración por precipitaciones, utilizando infiltrómetro de doble anillo en la zona de recarga hídrica de la unidad hidrográfica de Rontoccocha-abancay [en línea] (Tesis de Pregrado): Universidad Tecnológica De Los Andes, Facultad De Ingeniería. Abancay. 2016 [Consulta: 15 noviembre 2023] Disponible en : <http://repositorio.utea.edu.pe/handle/utea/144>
28. **KIBOI, M et al.** “Soil fertility inputs and tillage influence on maize crop performance and soil water content in the Central Highlands of Kenya”. *Agricultural Water Management* [en línea], 2019, (Kenia) vol. 217. págs. 316–331. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agwat.2019.03.014>
29. **KOMISSAROV, M. y KLIK, A.** “The Impact of No-Till, Conservation, and Conventional Tillage Systems on Erosion and Soil Properties in Lower Austria”. *Eurasian Soil Science* [en línea], 2020, (Rusia) vol. 53 (4) págs. 503–511. [Consulta: 12 noviembre 2023]. ISSN 1064-2293. Disponible en: DOI 10.1134/S1064229320040079
30. **LEÓN, R.** *Pastos y forrajes del Ecuador* [en línea]. 1ra edición. Cuenca - Ecuador: Universidad Politécnica Salesiana. 2018 ISBN 978-9978-10-318-0. [Consulta: 2 febrero 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/365964335_PASTOS_Y_FORRAJES_DEL_ECUADOR/link/638a39682c563722f2309012/download?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpbnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19.
31. **LIFEDER.** *Coordenadas geográficas: cuáles son, para qué sirven, ejemplos.* [blog] 2020. [Citado el: 24 de noviembre de 2023.] <https://www.lifeder.com/coordenadas-geograficas/>.
32. **MANIYATH, S et al.** “Soil Color Detection Using Knn Classifier”. *Design Innovations* [en línea], 2018, (India) págs.52–55. [Consulta 29 octubre 2023] ISBN 978-1-5386-7523-6. Disponible en: DOI 10.1109/ICDI3C.2018.00019
33. **MENCÍAS IBADANGO, Daniela Karina,** *Determinación De La Infiltración En El Suelo, Estudio De La Calidad Del Agua Para Regadío Y Manejo Ambiental Del Sistema De Riego El Pisque – Pichincha.* [en línea]. (Trabajo de titulación) (Maestría)

UNIVERSIDAD INTERNACIONAL SEK. Quito. 2015. págs. 90-91. [Consulta: 15 Noviembre 2023]. Disponible en : <http://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/1456>

34. **MORO, Alberto. 2015.** Relaciones catiónicas y su interpretación en los análisis de suelos. [Blog] 2015. [Consulta: 24 noviembre 2023]. Disponible en: <https://aqmlaboratorios.com/relaciones-cationicas-analisis-de-suelos/>.
35. **MONTORO, A y RUIZ, M.** “Ecofisiología del cultivo de maíz dulce (*Zea mays* L. var. Saccharata”. *Horticultura Argentina* [en línea], 2017, (Argentina) vol. 36. págs. 153–166. [Consulta 25 Febrero 2024]. ISSN 1851-9342. Disponible en: <https://www.cabidigitallibrary.org/doi/full/10.5555/20193264121>
36. **MU, Xiaohuan y CHEN, Yanling.** “The physiological response of photosynthesis to nitrogen deficiency”. *Plant Physiology and Biochemistry* [en línea], 2021, (China) vol. 158. págs. 76–82. [Consulta: 29 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.plaphy.2020.11.019>.
37. **NEINA, Dora.** “The Role of Soil pH in Plant Nutrition and Soil Remediation”. *Applied and Environmental Soil Science* [en línea], 2019, (Ghana) vol. 2019. págs. 1–9. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2019/5794869>
38. **NOVILLO, Espinoza e INDIRA, Dayanara.** “Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos”. *Temas agrarios* [en línea], 2018, (Ecuador) vol. 23 (2). págs. 177–178. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: [https://Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador - Dialnet \(unirioja.es\)](https://Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador - Dialnet (unirioja.es)).
39. **OBOUR, Peter y UGARTE, Carmen.** “A meta-analysis of the impact of traffic-induced compaction on soil physical properties and grain yield”. *Soil and Tillage Research* [en línea], 2021, (Ghana) vol. 211. ISSUE 105019. [Consulta: 28 febrero 2024]. ISSN 0167-1987 Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2021.105019>

40. **OZLU, E y KUMAR, Sandeep.** “Response of Soil Organic Carbon, pH, Electrical Conductivity, and Water Stable Aggregates to Long-Term Annual Manure and Inorganic Fertilizer”. *Soil Science Society of America Journal* [en línea], 2018, (Estados Unidos) vol. 82 (5). págs. 1243–1251. [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: DOI 10.2136/sssaj2018.02.0082
41. **PATLE, G et al.** “Estimation of infiltration rate from soil properties using regression model for cultivated land”. *Geology, Ecology, and Landscapes* [en línea], 2019, (India) vol. 3. (1). págs. 1–13. [Consulta: 4 noviembre 2023]. ISSN 2474-9508. Disponible en: <https://doi.org/10.1080/24749508.2018.1481633>
42. **RABOT, E. et al.** “Soil structure as an indicator of soil functions: A review”. *Geoderma* [en línea], 2018, (Alemania) vol. 314. págs. 122–137. [Consulta: 18 octubre 2023]. ISSN 0016-7061. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2017.11.009>
43. **REN, Baizhao et al.** “Soil physical properties and maize root growth under different tillage systems in the North China Plain”. *The Crop Journal* [en línea], 2018, (China) vol. 6 (6). págs. 669–676. [Consulta: 27 febrero 2024] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2018.05.009>
44. **REN, Lidong et al.** “Short-term effects of cover crops and tillage methods on soil physical properties and maize growth in a sandy loam soil”. *Soil and Tillage Research* [en línea], 2019, (Bélgica) vol. 192. págs. 76–86. [Consulta: 27 febrero]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2019.04.026>
45. **SUQUILANDA, Manuel.** *Manejo Agroecológico de Suelos*. Quito-Ecuador: Magap, 2017. [Consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en: [https://Manejo agroecológico suelos msv | PDF \(slideshare.net\)](https://Manejo%20agroecol%C3%B3gico%20suelos%20msv%20-%20PDF%20(slide%20share.net))
46. **SCHLÜTER, Steffen et al.** “Long-term effects of conventional and reduced tillage on soil structure, soil ecological and soil hydraulic properties”. *Geoderma* [en línea], 2018. (Alemania) vol. 332. págs. 10–19. [Consulta: 24 febrero 2024]. ISSN 0016-7061. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2018.07.001>

47. **THOR, Kathrin.** “Calcium—Nutrient and Messenger”. *Frontiers in Plant Science* [en línea], 2019, (Reino Unido) vol. 10. pág. 440. [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 1614-462X. Disponible en: DOI 10.3389/fpls.2019.00440
48. **TOPA, D et al.** “Long term impact of different tillage systems on carbon pools and stocks, soil bulk density, aggregation and nutrients: A field meta-analysis”. *Catena* [en línea], 2021, (Rumania) vol. 199. ISSUE. 105102. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: DOI 10.1016/j.catena.2020.105102
49. **TOTSCHKE, K et al.** “Microaggregates in soils”. *Journal of Plant Nutrition and Soil Science* [en línea], 2018, (Alemania) Vol. 181 (1). págs. 104–136. [Consulta: 3 noviembre 2023]. Disponible en: DOI 10.1002/jpln.201600451
50. **UWIZEYIMANA, D et al.** “Effect of water conservation measures on soil moisture and maize yield under drought prone agro-ecological zones in Rwanda”. *International Soil and Water Conservation Research* [en línea], 2018, (Rwanda) vol. 6 (3). págs. 214–221. [Consulta: 6 noviembre 2023]. Disponible en: DOI 10.1016/j.iswcr.2018.03.002.
51. **WANG, Ch et al.** “Soil pH is the primary factor driving the distribution and function of microorganisms in farmland soils in northeastern China”. *Annals of Microbiology* [en línea], 2019, (China) vol. 69 (13). págs. 1461–1473. [Consulta: 22 noviembre 2023]. Disponible en: DOI 10.1007/s13213-019-01529-9
52. **WANG, Sh et al.** “Effect of subsoiling depth on soil physical properties and summer maize (*Zea mays* L.) yield”. *Plant, Soil and Environment* [en línea], 2019, (China) vol. 65 (3). págs. 131–137. [Consulta: 27 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.17221/703/2018-PSE>
53. **WANG, Zh et al.** “Magnesium Fertilization Improves Crop Yield in Most Production Systems: A Meta-Analysis”. *Frontiers in Plant Science*. [en línea], 2020, (China) vol. 10. ISSUE. 1727. [Consulta: 5 noviembre 2023] Disponible en: DOI 10.3389/fpls.2019.01727

54. **WILD, J et al.** “Climate at ecologically relevant scales: A new temperature and soil moisture logger for long-term microclimate measurement”. *Agricultural and Forest Meteorology* [en línea], 2019, (República Checa) vol. 268. págs. 40–47. [Consulta: 4 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.12.018>
55. **XIE, K et al.** “Synergistic and antagonistic interactions between potassium and magnesium in higher plants”. *The Crop Journal* [en línea], 2021, (China) vol. 9 (2) págs. 249–256. [Consulta: 6 noviembre 2023] Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.cj.2020.10.005>
56. **YANG, Peipei et al.** “Soil Compaction Prevention, Amelioration and Alleviation Measures Are Effective in Mechanized and Smallholder Agriculture: A Meta-Analysis”. *Land* [en línea], 2022, (China) vol. 11 (5). págs. 645. [Consulta: 24 febrero 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/land11050645>
57. **YANG, Yonghui et al.** “Impact of long-term sub-soiling tillage on soil porosity and soil physical properties in the soil profile”. *Land Degradation & Development* [en línea], 2021, (China) vol. 32 (10). págs. 2892–2905. [Consulta: 28 febrero 2024]. Disponible en: DOI 10.1002/ldr.3874.kbczc
58. **ZHANG, Ke et al.** “Ground observation-based analysis of soil moisture spatiotemporal variability across a humid to semi-humid transitional zone in China”. *Journal of Hydrology* [en línea], 2019, (China) vol. 574. págs. 903–914. [Consulta: 4 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2019.04.087>
59. **ZAMBRANO, J et al.** *Guía para la producción sustentable de maíz en la Sierra ecuatoriana*. [en línea] Quito, Ecuador. Kopia, (2021). [Consulta: 21 noviembre 2023]. Disponible en:

60. **ZHANG, Yujiao et al.** “The effects of rotating conservation tillage with conventional tillage on soil properties and grain yields in winter wheat-spring maize rotations”.
Agricultural and Forest Meteorology [en línea], 2018, (China) vol. 263. págs. 107–117.
[Consulta: 12 noviembre 2023] ISSN 0168-1923. Disponible
en:<https://doi.org/10.1016/j.agrformet.2018.08.012>



ANEXOS

ANEXO A: MÉTODO DE BOUYUCOS PARA DETERMINAR LA TEXTURA DEL SUELO

- Se pesó 50 g de suelo cernido por tamiz de 2 mm y seco al aire, posteriormente se colocó el suelo en un recipiente plástico donde se le agregó 10 mL de dispersante y se batió durante 10 minutos.
- Se transfirió la suspensión anterior hasta un volumen de 900 mL en un cilindro graduado de 1000 mL, con el hidrómetro colocado en el cilindro se agregó agua hasta completar 1000 mL
- Se agitó la suspensión, con un émbolo durante 1 minuto, se retiró el émbolo, y se colocó el hidrómetro durante 40 segundos, inmediatamente retirado el émbolo se toma la lectura y se calcula el porcentaje de arena con la fórmula 1.

$$A(\%) = 100 - \left(\frac{\text{Lectura corregida 40s}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \right) \quad (1)$$

- Se dejó en reposo la suspensión durante 2 horas, luego se procedió a introducir el hidrómetro y anotar la lectura, con esta lectura se calculó el contenido de arcilla (Ar%), utilizando la Fórmula 2.

$$Ar(\%) = \frac{\text{Lectura corregida 2h}}{\text{Peso de la muestra}} * 100 \quad (2)$$

- A continuación, se calcula el contenido de limo (L%) con la Fórmula 3.

$$L(\%) = 100 - [A(\%) + Ar(\%)] \quad (3)$$

- Los porcentajes obtenidos se llevan al triángulo textural y se define la clase textural correspondiente a la muestra tratada (Ilustración 1)

ANEXO B: MÉTODO DEL CILINDRO PARA LA DETERMINACIÓN DE LA HUMEDAD DEL SUELO

- Se realizó una calicata a 30 cm de profundidad
- Se colocó el cilindro de manera horizontal en la pared de la calicata y se le golpeó hasta quedar al ras con la pared.
- Se extrajo el cilindro y se le quitó el suelo excedente de la superficie del cilindro.
- Se etiquetó el cilindro con el número de la muestra correspondiente.
- Se trasladó al laboratorio y se pesó los cilindros con las muestras de suelo.
- Se colocó en el horno a 105 °C por 24 horas.
- Se retiró del horno y se esperó hasta que las muestras se enfríen.
- Se volvió a pesar los cilindros con las muestras de suelo secas.
- Se retiró el suelo contenido en el cilindro, se pesó el cilindro vacío.
- Para el cálculo se usó la fórmula 5.

$$W(\%) = \frac{Psh - Pss}{Pss} \quad (5)$$

Donde:

W (%) = Porcentaje de humedad

Psh = Peso del suelo húmedo

Pss = Peso del suelo seco en el horno.

ANEXO C: MÉTODO DEL PICNÓMETRO PARA DETERMINAR LA DENSIDAD REAL DEL SUELO.

- Se pesó un picnómetro completamente seco (**Pps**).
- Se llenó el picnómetro con agua y se pesó (**Ppw**).
- Se pesó una muestra de suelo seco al horno (**Pss**).
- Se retiró la mitad del agua del picnómetro, se agregó en él la muestra de suelo seco, se completó el volumen y se pesó (**Pt**).
- Se calculó el peso del agua desplazada por la muestra del suelo (**Pw**) mediante la fórmula 8.

$$Pw = Pw_1 - Pw_2 \quad (8)$$

- Se calculó la densidad real (**Dr**) con la fórmula 9.

$$Dr = \frac{Pss}{Vs} \quad (9)$$

ANEXO D: MÉTODO DE CALCINACIÓN PARA LA DETERMINACION DE LA MATERIA ORGÁNICA DEL SUELO.

- Se pesó una muestra de 5 g de suelo seco al aire y tamizado a 2 mm y se coloca en crisoles de porcelana, se anotó el peso del crisol, luego se secó el conjunto en horno a 105 °C hasta peso constante, se retiró del horno y se dejó enfriar en el desecador, luego se pesó.
- Se calcinó la muestra en una mufla a 650 °C, durante 4 horas, se retiró de la mufla el conjunto, se dejó enfriar en desecador y se pesó nuevamente.

Se calculó la diferencia de peso entre las medidas antes y después de calcinar; esta diferencia de peso equivale a la cantidad de materia orgánica que se perdió de la muestra por efecto de la calcinación.

ANEXO E: FOTOGRAFIAS



Recolección de las muestras de suelo



Tamizado de las muestras



Determinación del color del suelo



Determinación de la textura



Determinación de la densidad real



Muestras para la Da y humedad del suelo.



Pesado de las muestras para CE, MO y pH.



Contabilización del número de lombrices



Determinación de la capa arable del suelo.
suelo al corte.



Determinación de la resistencia del



Determinación de la velocidad de infiltración.

ANEXO F: RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE SUELO



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



Nombre del Propietario: Sr. Edwin Paúl Jara Guamán

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 MAÍZ (Zea mays L) EN TUNSHI*

CARRERA: INGENIERÍA AGRONÓMICA
Estación experimental Tunshi

SEMESTRE: NOVENO
Chimborazo
Provincia

Lidón
Pamquija
Riobamba
Cantón

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO-QUÍMICO DE SUELOS

Ident.	pH	(µS/cm)	C.E.	%				mg/L				Meq/100g				RELACION		
				M.O	NH4	P	K	Ca	Mg	C/N	Ca/Mg							
1	7.08 N	360.0 NS	1.68 B	5.50 B	32.69 A	2.16 A	7.33 B	0.14 B	1.46 MB	52.51 A								
2	7.00 N	369.0 NS	1.47 B	5.57 B	36.75 A	2.17 A	7.20 B	0.14 B	1.69 MB	50.41 A								
3	7.04 N	336.0 NS	1.88 B	4.88 B	26.43 M	2.21 A	6.41 B	0.14 B	1.16 MB	47.08 A								
4	7.30 N	340.0 NS	1.67 B	4.53 B	27.12 M	2.24 A	6.94 B	0.14 B	1.21 MB	51.12 A								
5	7.13 N	257.0 NS	1.66 B	4.66 B	40.02 A	2.31 A	6.82 B	0.14 B	1.25 MB	50.09 A								
6	6.90 N	232.0 NS	1.67 B	4.30 B	38.37 A	1.97 A	6.27 B	0.14 B	1.15 MB	46.46 A								
7	6.86 N	344.0 NS	1.47 B	5.24 B	50.66 A	2.26 A	6.92 B	0.14 B	1.59 MB	49.17 A								
8	6.88 N	342.0 NS	1.68 B	5.04 B	40.17 A	2.31 A	7.63 B	0.15 B	1.34 MB	52.29 A								
9	7.26 N	160.8 NS	1.89 B	5.44 B	26.54 M	2.37 A	8.72 B	0.15 B	1.29 MB	59.70 A								
10	7.34 N	179.5 NS	1.69 B	5.82 B	30.26 A	1.36 A	7.74 B	0.15 B	1.54 MB	51.60 A								
11	7.31 N	157.1 NS	1.67 B	5.20 B	32.34 A	2.16 A	9.09 B	0.15 B	1.39 MB	62.52 A								
12	7.91 L.Alc	155.8 NS	1.90 B	5.31 B	36.40 A	2.75 A	7.21 B	0.15 B	1.25 MB	49.87 A								
13	7.50 N	188.4 NS	1.89 B	4.48 B	20.28 M	1.10 A	7.49 B	0.15 B	1.06 MB	54.12 A								
14	7.88	195.7 NS	1.90 B	4.77 B	25.85 M	2.38 A	9.44 B	0.15 B	1.12 MB	69.99 A								
15	7.35 N	164.7 NS	1.91 B	4.48 B	18.20 M	2.51 A	8.01 B	0.15 B	1.05 MB	57.63 A								
16	7.37 N	152.2 NS	1.68 B	4.41 B	18.66 M	2.42 A	8.62 B	0.15 B	1.02 MB	60.22 A								

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

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



Ing. Elizabeth Pachacama Ch.
TECNICO DOCENTE

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamerica Sur Km1 1/2, Facultad de Recursos Naturales, Tíjico, 0609220 Extensión 418
Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza



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



Nombre del Propietario: Sr. Edwin Paul Jara Guamán

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 MAÍZ (Zea mays L) EN TUNSHI"

CARRERA: INGENIERÍA AGRONÓMICA
Ubicación: Estación experimental Tunshi
Nombre de la granja

Riobamba
Cantón

Chimborazo
Provincia

SEMESTRE: NOVENO

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANÁLISIS FÍSICO DE SUELOS

Ident. Muestra	Textura	Estructura	% Poros	gr/cc			% Humedad	Lectura	Color en suelo seco	
				DA	DR	DR			Color	Interpretación
1	Franco arenoso	Suelta	55.52	1.4	2.53	12.83	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
2	Franco arenoso	Suelta	50.87	1.3	2.53	13.59	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
3	Franco arenoso	Suelta	53.92	1.3	2.50	11.93	10 YR 4/2		Pardo grisáceo oscuro	
4	Franco arenoso	Suelta	54.15	1.4	2.50	12.80	10 YR 4/2		Pardo grisáceo oscuro	
5	Franco arenoso	Suelta	55.30	1.4	2.55	11.11	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
6	Franco arenoso	Suelta	51.81	1.3	2.59	6.57	10 YR 4/3		Pardo oscuro	
7	Franco arenoso	Suelta	54.85	1.4	2.52	12.04	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
8	Franco arenoso	Suelta	52.76	1.3	2.55	11.15	10 YR 4/2		Pardo grisáceo oscuro	
9	Franco arenoso	Suelta	53.33	1.3	2.50	9.93	10 YR 4/2		Pardo grisáceo oscuro	
10	Franco arenoso	Suelta	50.85	1.3	2.54	9.70	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
11	Franco arenoso	Suelta	53.34	1.3	2.53	13.08	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
12	Franco arenoso	Suelta	53.73	1.3	2.50	11.92	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
13	Franco arenoso	Suelta	52.00	1.3	2.50	7.24	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
14	Franco arenoso	Suelta	53.00	1.3	2.54	11.82	10 YR 4/3		Pardo oscuro	
15	Franco arenoso	Suelta	51.60	1.3	2.53	9.83	10 YR 3/3		Pardo oscuro	
16	Franco arenoso	Suelta	52.37	1.3	2.51	9.67	10 YR 4/3		Pardo oscuro	

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



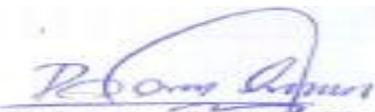
Ing. Elizabeth Pachacama Ch.
TÉCNICO DOCENTE

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1/2, Facultad de Recursos Naturales, Teléfono: 5998220 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: 20/ 06 / 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Edwin Paúl Jara Guamán
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Agronomía
Título a optar: Ingeniero Agrónomo
 Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD Director del Trabajo de Integración Curricular  Ing. Hernán Eriberio Chamorro Sevilla, Mgs Asesor del Trabajo de Integración Curricular