



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 PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN TUNSHI.**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de Investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AGRÓNOMA

AUTORA: FLOR AZUCENA ZHININ MAINATO

DIRECTOR: ING. ROQUE ORLANDO GARCÍA ZANABRIA, PhD.

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Flor Azucena Zhinin Mainato

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, Flor Azucena Zhinin Mainato, declaro que el presente Trabajo de Integración Curricular es de mi autoría y los resultados del mismo son auténticos. Los textos en el documento que provienen de otras fuentes están debidamente citados y referenciados.

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

Riobamba, 15 de mayo de 2024

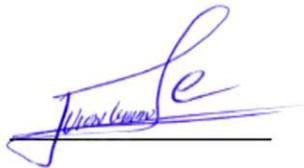


Flor Azucena Zhinin Mainato

035000359-6

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA AGRONOMÍA

El Tribunal del Trabajo de Integración Curricular certifica que: El Trabajo de Integración Curricular; Tipo: Proyecto de Investigación, **DETERMINACIÓN DEL ÍNDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L.) EN TUNSHI**, realizado por la señorita: **FLOR AZUCENA ZHININ MAINATO**, 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		2024-05-15
Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-15
Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-05-15

DEDICATORIA

A Dios, por guiarme y permitirme alcanzar esta meta tan anhelada, por estar presente en cada etapa de mi vida permitiéndome seguir por el camino correcto; a mis padres Luis Zhinin y Dolores Mainato, quienes fueron el pilar fundamental en mi carrera estudiantil con su trabajo, esfuerzo y sacrificio. A mis hermanas, por su constante motivación y apoyo incondicional. A todos quienes, a lo largo de mi vida universitaria, me brindaron su confianza y respaldo, impulsándome a superar cada desafío.

Flor

AGRADECIMIENTO

Agradezco a Dios, por cuidarme y guiarme en cada paso de mi vida, especialmente durante mi etapa universitaria, dándome la fuerza necesaria para alcanzar el éxito. A mis padres y hermanas por su apoyo, el cual ha sido esencial para alcanzar mi meta, y a todas aquellas personas que me han brindado su ayuda y respaldo moral a lo largo de este trayecto. A la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, a la facultad de Recursos Naturales y en particular a la carrera de Agronomía, por acogerme y brindarme una formación profesional de excelencia, a todos los docentes que compartieron sus conocimientos para ser una excelente profesional. Expresar mi más profundo agradecimiento al Ing. Roque García y Ing. Hernán Chamorro, quienes me han brindado su apoyo y orientación durante todo el proceso de ejecución de este trabajo de investigación.

Flor

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xv
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xvi
RESUMEN.....	xvii
ABSTRACT.....	xviii
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>Hipótesis nula</i>	3
1.4.2 <i>Hipótesis alternativa</i>	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO.....	4
2.1 Calidad del suelo.....	4
2.2 Propiedades del suelo.....	4
2.2.1 <i>Propiedades físicas</i>	4
2.2.1.1 <i>Textura</i>	4
2.2.1.2 <i>Estructura</i>	5

2.2.1.3	<i>Color</i>	5
2.2.1.4	<i>Humedad</i>	6
2.2.1.5	<i>Temperatura</i>	6
2.2.1.6	<i>Infiltración</i>	7
2.2.1.7	<i>Densidad real (Dr)</i>	7
2.2.1.8	<i>Densidad aparente (Dap)</i>	8
2.2.1.9	<i>Porosidad</i>	8
2.2.1.10	<i>Conductividad eléctrica (CE)</i>	8
2.2.2	<i>Propiedades químicas</i>	9
2.2.2.1	<i>Potencial de hidrógeno (pH)</i>	9
2.2.2.2	<i>Materia orgánica (MO)</i>	9
2.2.2.3	<i>Nitrógeno (N)</i>	9
2.2.2.4	<i>Fósforo (P)</i>	9
2.2.2.5	<i>Potasio (K)</i>	10
2.2.2.6	<i>Calcio (Ca)</i>	10
2.2.2.7	<i>Magnesio (Mg)</i>	10
2.2.2.8	<i>Relación C/N</i>	11
2.2.2.9	<i>Relación Ca/Mg</i>	11
2.2.3	<i>Propiedades biológicas</i>	11
2.2.3.1	<i>Lombrices</i>	11
2.3	<i>Sistemas de labranza</i>	11
2.3.1	<i>Labranza convencional</i>	11
2.3.2	<i>Labranza reducida</i>	12
2.4	<i>Altitud</i>	12
2.5	<i>Tecnología de información geográfica</i>	12
2.5.1	<i>Generalidades</i>	12
2.5.2	<i>Sistemas de Información Geográfica (SIG)</i>	12
2.5.3	<i>Georreferenciación</i>	13
2.5.4	<i>Geolocalización</i>	13

2.5.5	<i>Sistema de posicionamiento global (GPS)</i>	13
2.5.6	<i>Coordenadas geográficas</i>	13
2.6	Cultivo de papa	14
2.6.1	<i>Características generales del cultivo de papa</i>	14
2.6.1.1	<i>Taxonomía</i>	14
2.6.2	<i>Descripción botánica</i>	14
2.6.3	<i>Requerimientos edafoclimáticos</i>	15
2.6.3.1	<i>Altitud</i>	15
2.6.3.2	<i>Temperatura</i>	15
2.6.3.3	<i>Precipitación</i>	15
2.6.3.4	<i>Suelo</i>	16
2.6.4	<i>Requerimiento nutricional</i>	16

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	17
3.1	Características del lugar	17
3.1.1	<i>Localización</i>	17
3.1.2	<i>Ubicación geográfica</i>	18
3.1.3	<i>Características climatológicas</i>	18
3.2	Materias y equipos	18
3.2.1	<i>Materiales de campo</i>	18
3.2.2	<i>Equipos de campo</i>	18
3.2.3	<i>Materiales de laboratorio</i>	18
3.2.4	<i>Equipos de laboratorio</i>	19
3.2.5	<i>Reactivos</i>	19
3.2.6	<i>Materiales de oficina</i>	20
3.3	Métodos	20
3.3.1	<i>Especificación del campo experimental</i>	20

3.3.2	<i>Factor de estudio</i>	20
3.3.3	<i>Tratamientos</i>	20
3.3.4	<i>Diseño experimental</i>	21
3.3.5	<i>Análisis funcional</i>	21
3.3.6	<i>Muestreo de campo</i>	21
3.3.7	<i>Textura</i>	22
3.3.8	<i>Estructura</i>	22
3.3.9	<i>Color</i>	23
3.3.10	<i>Humedad</i>	23
3.3.11	<i>Profundidad de la capa arable</i>	23
3.3.12	<i>Velocidad de infiltración</i>	23
3.3.13	<i>Resistencia del suelo al corte</i>	24
3.3.14	<i>Densidad real</i>	24
3.3.15	<i>Densidad aparente</i>	25
3.3.16	<i>Porosidad</i>	25
3.3.17	<i>Conductividad eléctrica</i>	26
3.3.18	<i>Materia orgánica</i>	26
3.3.19	<i>pH</i>	26
3.3.20	<i>Relaciones de C/N, Ca/Mg y K/Mg</i>	26
3.3.21	<i>Potasio</i>	27
3.3.22	<i>Nitrógeno</i>	27
3.3.23	<i>Fósforo</i>	27
3.3.24	<i>Presencia de lombrices</i>	27
3.3.25	<i>Índice de calidad del suelo</i>	27
3.3.26	<i>Zonificación y geolocalización de las muestras</i>	28

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	29
----	---	----

4.1	Procesamiento, análisis e interpretación de resultados	29
4.1.1	<i>Textura</i>	29
4.1.2	<i>Estructura</i>	29
4.1.3	<i>Color</i>	29
4.1.4	<i>Porcentaje de humedad</i>	30
4.1.5	<i>Profundidad de la capa arable</i>	31
4.1.6	<i>Velocidad de infiltración</i>	32
4.1.7	<i>Resistencia del suelo al corte</i>	33
4.1.8	<i>Densidad real</i>	33
4.1.9	<i>Densidad aparente</i>	34
4.1.10	<i>Porcentaje de porosidad</i>	36
4.1.11	<i>Conductividad eléctrica</i>	36
4.1.12	<i>pH</i>	37
4.1.13	<i>Materia orgánica</i>	38
4.1.14	<i>Nitrógeno</i>	39
4.1.15	<i>Fósforo</i>	39
4.1.16	<i>Potasio</i>	40
4.1.17	<i>Calcio</i>	41
4.1.18	<i>Relación C/N</i>	41
4.1.19	<i>Relación Ca/Mg</i>	42
4.1.20	<i>Relación K/Mg</i>	43
4.1.21	<i>Presencia de lombrices</i>	43
4.1.22	<i>Índice de calidad del suelo</i>	45
4.1.23	<i>Zonificación y geolocalización de las muestras de suelo</i>	45
4.2	Discusión de resultados	46
4.2.1	<i>Porcentaje de humedad</i>	46
4.2.2	<i>Profundidad de capa arable</i>	47
4.2.3	<i>Velocidad de infiltración</i>	47
4.2.4	<i>Resistencia del suelo al corte</i>	47

4.2.5	<i>Densidad real</i>	48
4.2.6	<i>Densidad aparente</i>	48
4.2.7	<i>Porcentaje de porosidad</i>	48
4.2.8	<i>Conductividad eléctrica</i>	48
4.2.9	<i>Materia orgánica</i>	49
4.2.10	<i>Fósforo</i>	49
4.2.11	<i>Calcio</i>	49
4.2.12	<i>Relación Ca/Mg</i>	50
4.2.13	<i>Presencia de lombrices</i>	50

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	51
5.1	Conclusiones	51
5.2	Recomendaciones	52

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Clases de calidad de suelos	4
Tabla 2-2: Definición de los separados del suelo	4
Tabla 2-3: Velocidades y clases de infiltración	7
Tabla 2-4: Clasificación de la densidad real de los suelos.....	7
Tabla 2-5: Clasificación de un suelo según su porcentaje de porosidad total	8
Tabla 2-6: Clasificación de la materia orgánica de los suelos	9
Tabla 2-7: Clasificación del fósforo para uso agrícola	10
Tabla 2-8: Clasificación del potasio	10
Tabla 2-9: Clasificación taxonómica de la papa.....	14
Tabla 2-10: Requerimiento nutricional para el cultivo de papa.....	16
Tabla 3-1: Tratamientos experimentales	21
Tabla 4-1: Color del suelo antes de la labranza.....	29
Tabla 4-2: Análisis de la varianza para porcentaje de humedad en suelo después de la labranza	30
Tabla 4-3: Prueba DMS al 5% para porcentaje de humedad en sistema de labranza después de la labranza.....	31
Tabla 4-4: Análisis de la varianza para profundidad de la capa arable antes la labranza	31
Tabla 4-5: Prueba DMS al 5% para profundidad de la capa arable en sistemas de labranza antes de la labranza	31
Tabla 4-6: Análisis de la varianza para la velocidad de infiltración después de la labranza	32
Tabla 4-7: Prueba DMS al 5% para velocidad de infiltración en sistema de labranza después de la labranza.....	32
Tabla 4-8: Análisis de la varianza para la resistencia del suelo al corte antes de la labranza ...	33
Tabla 4-9: Prueba DMS al 5% para resistencia del suelo al corte en sistema de labranza antes de la labranza.....	33
Tabla 4-10: Análisis de la varianza para la densidad real en suelo después de la labranza.....	34
Tabla 4-11: Prueba DMS al 5% para densidad real en sistema de labranza después de la labranza	34
Tabla 4-12: Análisis de la varianza para densidad aparente en suelo después de la labranza	35
Tabla 4-13: Prueba DMS al 5% para densidad aparente en altitud después de la labranza	35
Tabla 4-14: Prueba DMS al 5% para la densidad aparente en sistema de labranza después de la labranza.....	35
Tabla 4-15: Análisis de la varianza para porcentaje de porosidad después de la labranza.....	36

Tabla 4-16: Prueba DMS al 5% para la porosidad en sistema de labranza después de la labranza	36
Tabla 4-17: Análisis de la varianza para conductividad eléctrica en suelo antes de la labranza	37
Tabla 4-18: Prueba DMS al 5% para conductividad eléctrica en altitud antes de la labranza.....	37
Tabla 4-19: Análisis de la varianza para pH en suelo antes de la labranza	37
Tabla 4-20: Análisis de la varianza para materia orgánica en suelo antes de la labranza	38
Tabla 4-21: Prueba de Tukey al 5% para materia orgánica en repeticiones antes de la labranza	38
Tabla 4-22: Análisis de la varianza para nitrógeno en suelo antes de la labranza.....	39
Tabla 4-23: Análisis de la varianza para fósforo en suelo antes de la labranza	39
Tabla 4-24: Prueba de Tukey al 5% para fósforo en repeticiones antes de la labranza.....	40
Tabla 4-25: Análisis de la varianza para potasio en suelo antes de la labranza	40
Tabla 4-26: Análisis de la varianza para calcio en suelo antes de la labranza	41
Tabla 4-27: Prueba DMS al 5% para calcio en altitud antes de labranza.....	41
Tabla 4-28: Análisis de la varianza para relación C/N antes de la labranza	42
Tabla 4-29: Análisis de la varianza para relación Ca/Mg antes de la labranza	42
Tabla 4-30: Prueba DMS al 5% para relación Ca/Mg en altitud antes de la labranza.....	43
Tabla 4-31: Análisis de la varianza para relación K/Mg antes de la labranza.....	43
Tabla 4-32: Análisis de la varianza para presencia de lombrices antes de la labranza.....	44
Tabla 4-33: Prueba DMS al 5% para presencia de lombrices en altitud antes de la labranza	44
Tabla 4-34: Prueba DMS al 5% para presencia de lombrices en sistema de labranza antes de la labranza.....	44
Tabla 4-35: Índice de calidad del suelo para el cultivo de papa	45

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1: Triangulo de textura	5
Ilustración 2-2: Tabla de color de Munsell	6
Ilustración 3-1: Mapa de ubicación de la zona de estudio.....	17
Ilustración 4-1: Mapa de ubicación de las muestras de suelo de Tunshi.....	46

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: DETERMINACIÓN DE LAS PARCELAS DE ESTUDIO

ANEXO B: UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO

ANEXO C: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO

ANEXO D: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO

ANEXO E: TRABAJO CON EL TRACTOR EN LABRANZA CONVENCIONAL Y
REDUCIDA

ANEXO F: ANÁLISIS DEL SUELO ANTES DE LABRANZA

ANEXO G: ANÁLISIS DEL SUELO DESPUÉS DE LA LABRANZA

RESUMEN

El objetivo de la presente investigación fue determinar el índice de calidad, a dos altitudes en dos sistemas de labranza para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), en la estación experimental Tunshi, ubicada en la parroquia Licto, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo. Se aplicó la metodología propuesta por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA) en la determinación de las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, mientras que para la determinación del índice de calidad se utilizó el método de Cantú. En el levantamiento del mapa base georreferenciado se aplicó las Tecnologías de Información Geográfica. Los suelos pertenecen al orden entisol, con textura franco arenoso, profundidad de capa arable de 50,75 cm, velocidad de infiltración de 15,19 mm/h, resistencia al corte de 0,02 kg/cm², densidad real de 2,39 g/cm³, densidad aparente de 1,27 g/cm³, porcentaje de porosidad de 45,58 %, conductividad eléctrica de 0,25 dS/m, pH de 7,42, materia orgánica de 1,88 %, nitrógeno de 3,46 mg/L, fósforo de 30,10 mg/L, potasio de 2,21 meq/100g, relación C/N de 1,07 meq/100g, y 4 lombrices. El índice de calidad es de 0,45. Se concluye que el sistema de labranza reducida o mínima es el adecuado para la preparación del suelo, que influye en la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas. El índice de calidad del suelo se encuentra en la categoría de moderada calidad.

Palabras clave: <PROPIEDADES DEL SUELO>, <ÍNDICE DE CALIDAD>, <ALTITUD>, <LABRANZA REDUCIDA>, <LABRANZA CONVENCIONAL>, <PAPA (*Solanum tuberosum* L.)>, <TECNOLOGÍAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA>.

0716-DBRA-UPT-2024

11-06-2024



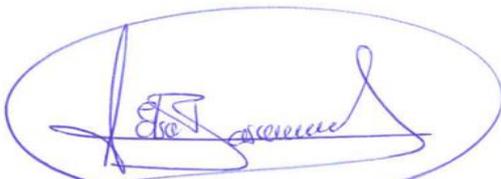
ABSTRACT

The aim of this research was to determine the quality index at two altitudes in two tillage systems for potato (*Solanum tuberosum* L.) cultivation at Tunshi experimental station, located in Licto parish, Riobamba canton, Chimborazo province. The methodology proposed by the United States Department of Agriculture (USDA) was applied to establish the physical, chemical and biological properties of the soil, while the Cantú method was used to determine the quality index. Geographic Information Technologies were used for the georeferenced base mapping. The soils belong to the entisol order, with a sandy loam texture, arable layer depth of 50.75 cm, infiltration rate of 15.19 mm/h, shear strength of 0.02 kg/cm², real density of 2.39 g/cm³, apparent density of 1, 27 g/cm³, porosity percentage of 45.58 %, electrical conductivity of 0.25 dS/m, pH of 7.42, organic matter of 1.88 %, nitrogen of 3.46 mg/L, phosphorus of 30.10 mg/L, potassium of 2.21 meq/100g, C/N ratio of 1.07 meq/100g, and 4 earthworms. The quality index is 0.45. It is concluded that the reduced or minimum tillage system is adequate for soil preparation, which influences the conservation of physical, chemical and biological properties. The soil quality index is in the moderate quality category.

Key words: <SOIL PROPERTIES>, <QUALITY INDEX>, <HEIGHT>, <REDUCED TILLAGE>, <CONVENTIONAL TILLAGE>, <POTATO (*Solanum tuberosum* L.)>, <GEOGRAPHIC INFORMATION TECHNOLOGIES>.

0716-DBRA-UPT-2024

11-06-2024



Lcda. Elsa A. Basantes A. Mgs.

C.C: 0603594409

INTRODUCCIÓN

El índice de calidad es una medida que evalúa la salud y la capacidad productiva, de un determinado tipo de suelo. Se obtiene combinando algunas propiedades físicas, químicas y biológicas; estos indicadores proporcionan información confiable, que, al procesar los datos se puede realizar el análisis de los componentes esenciales del suelo (Sarmiento et al., 2018, pág. 131).

La labranza ejerce un papel significativo en la agricultura y tiene impactos relevantes sobre las propiedades, físicas, químicas y biológicas del suelo. La labranza convencional altera la superficie del terreno, por lo cual tiene efectos adversos en las propiedades de los suelos agrícolas, incluida la erosión. Mientras que la labranza reducida es un sistema de cultivo sostenible para el futuro (Li et al., 2021, pág. 2).

Actualmente el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.), en el país es una de las principales fuentes de ingreso económico para los agricultores, con un 88 % de producción en la zona andina alta, que la generan los pequeños productores, en cambio el 12 % lo conforman los grandes agricultores a nivel país. El cultivo de papa vincula a 88.130 productores, además 250.000 habitantes están involucrados directa o indirectamente con el cultivo, con un reporte de consumo per cápita de 31,8 kg/año (Villasagua, 2023, pág. 4).

En la presente investigación se determinó el índice de calidad de suelo para el cultivo de papa, teniendo en cuenta dos sistemas de labranza: convencional y reducida o mínima, como también la altitud del sitio. Información que servirá de base para disminuir riesgos en el cultivo de papa.

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la estación experimental Tunshi – ESPOCH, ubicada en la parroquia Licto, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo, no se cuenta con información de calidad de suelo para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L). Por lo que es necesario realizar la presente investigación para determinar el índice de calidad del suelo teniendo presente los sistemas de labranza tanto convencional como reducida o mínima que se viene utilizando en este sitio. Incluyendo la aplicación de Tecnología de Información Geográfica (TIG) que permitirá contar con un mapeo base de las muestras 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 papa (*Solanum tuberosum* L.) en Tunshi.

1.2.2 Específicos

- Determinar las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo bajo dos sistemas de labranza para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) en la estación experimental Tunshi.
- Establecer el índice de calidad del suelo para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) a dos altitudes bajo dos sistemas de labranza.
- Zonificar las parcelas y geolocalizar las muestras de suelo.

1.3 Justificación

La baja producción de los cultivos, en este caso particular de la papa (*Solanum tuberosum* L.) es necesario plantear una investigación sobre la calidad del suelo sometido a dos sistemas de labranza a dos altitudes en la estación experimental Tunshi, la cual permitirá detectar los

parámetros e indicadores que están afectando la producción de este tubérculo. Y contar con un mapa base.

1.4 Hipótesis

1.4.1 Hipótesis nula

- En el índice de calidad de suelo para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) no influye la altitud ni los sistemas de labranza.

1.4.2 Hipótesis alternativa

- En el índice de calidad de suelo para el cultivo de papa (*Solanum tuberosum* L.) si influye la altitud y al menos un sistema de labranza.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Calidad del suelo

La calidad del suelo se refiere a la capacidad que tiene para ejercer dentro de los límites del medio ambiente y el uso de la tierra contribuye a mantener la productividad biológica, preservar la calidad del entorno y fomentar la salud de las plantas. Dicha calidad se realiza a través del índice (Tabla 2-1) que proporciona información detallada de las propiedades físicas, químicas y biológicas, así como de los procesos y atributos del sitio (Kahsay et al., 2023, pág. 2).

Tabla 2-1: Clases de calidad de suelos

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

Fuente: Cantú et al., 2007, pág. 176.

2.2 Propiedades del suelo

2.2.1 Propiedades físicas

2.2.1.1 Textura

La textura describe las proporciones de partículas de arena, limo y arcilla en los suelos (Tabla 2-2), siendo un indicador esencial para la evaluación de la calidad, lo cual permitirá estimar las posibilidades y restricciones en el uso y manejo del suelo. Esta propiedad es fundamental para determinar la capacidad de retención de agua y la disponibilidad de nutrientes en el sitio, además la textura influye en el crecimiento de los cultivos (Dharumarajan y Hegde, 2022, pág. 135).

Tabla 2-2: Definición de los separados del suelo

Separado	Rango de diámetro de partícula (mm)		
	USDA	ISSS*	DIN y BSI**

Arena	2 – 0,05	2 – 0,02	2 – 0,08
Limo	0,05 – 0,002	0,02 – 0,002	0,08 – 0,002
Arcilla	< 0,002	< 0,002	< 0,002

* Sociedad Internacional de la ciencia del Suelo.

** DIN: Instituto Alemán de Estándares; BSI: Instituto Británico de Estándares.

Fuente: Jaramillo, 2002, pág. 165.

En la Ilustración 2-1 muestra el triángulo de textura, el cual facilita la identificación del tipo de textura del suelo en función de los porcentajes de arena, limo y arcilla.

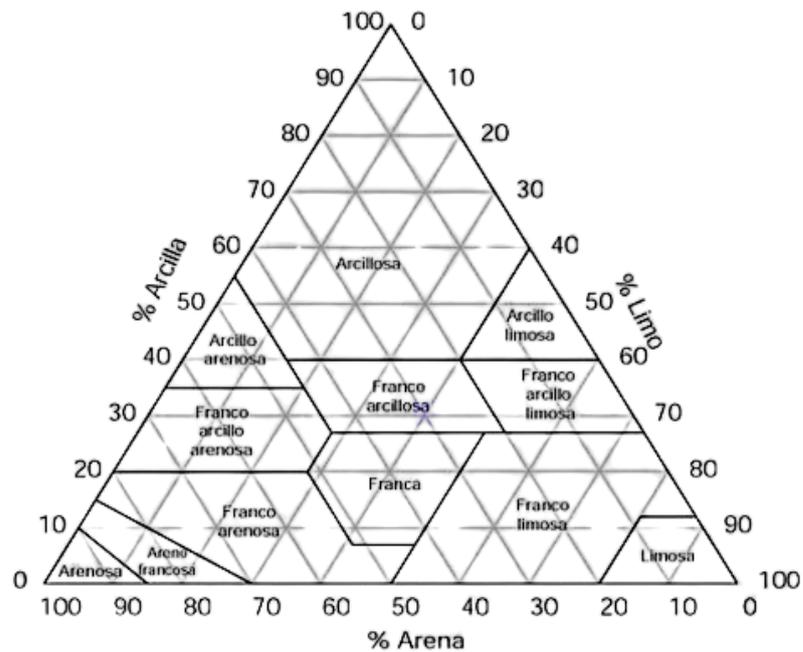


Ilustración 2-1: Triángulo de textura

Fuente: FAO, 2009, pág. 28.

2.2.1.2 Estructura

La estructura es la formación de la agrupación de las partículas del suelo como arena, limo, arcilla, y fragmentos orgánicas e inorgánicas en compuestos porosos. Los agregados pueden modificarse en dimensión y forma desde grupos pequeños hasta grandes bloques. Varios suelos expanden una masa sólida y no tienen estructura determinada la cual es llamada masiva, mientras otros consisten en pequeños agregados porosos con una forma circular denominada granular la cual facilita el crecimiento de las plantas (Basset et al., 2023, pág. 1).

2.2.1.3 Color

El color depende de la materia orgánica la composición mineral y el contenido de agua, específicamente aquellos que contienen óxidos de hierro, influyen principalmente en la tonalidad del suelo. El aumento de agua disminuye la tonalidad, así como su croma y valor, la reflectancia espectral, este parámetro es importante para la clasificación de los suelos y determinar su uso y manejo potencial. El color se determina por comparación con la carta de colores de Munsell, esta tabla describe el matiz, valor y el croma (Hill et al., 2022, pág. 1).

En la Ilustración 2-2 muestra los tres parámetros de la tabla de Munsell que se utiliza para determinar color del suelo.

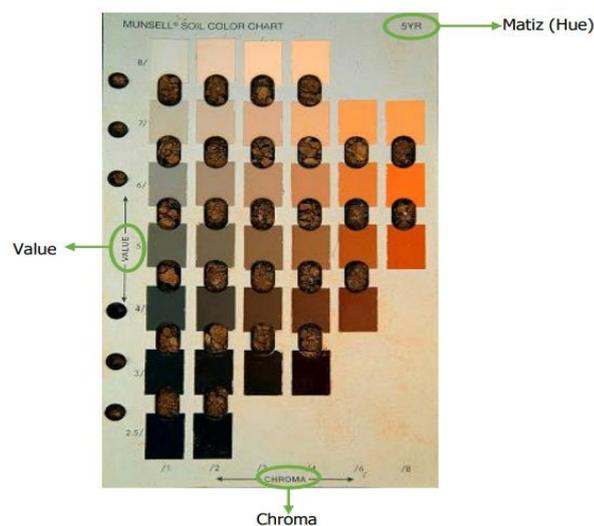


Ilustración 2-2: Tabla de color de Munsell

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

2.2.1.4 Humedad

La humedad es la cantidad de agua disponible en el terreno y constituye la principal fuente de agua para las plantas. Cada tipo de suelo dispone un rango ideal de humedad para favorecer el desarrollo de los cultivos. Este indicador controla la tasa de infiltración, la producción de escorrentía superficial y la evapotranspiración, lo que puede provocar la acumulación de sales en la superficie (Togneri et al., 2022, pág. 2).

2.2.1.5 Temperatura

La temperatura en la zona de las raíces constituye una característica importante del suelo, debido a que regula varios procesos físicos, químicos y biológicas. Actividades como la absorción de nutrientes, producción total de dióxido de carbono y evaporación, están reguladas por las

variaciones de temperatura. Este indicador varía dependiendo de la profundidad y tiene un impacto significativo en la germinación y crecimiento de las plantas (Moazenzadeh y Mohammadi, 2019, págs. 152-153).

2.2.1.6 Infiltración

La infiltración se refiere al ingreso de agua al suelo desde la superficie, a través de lluvia o riego. En la agricultura esta propiedad es de particular interés con respecto al riego superficial. Este proceso puede ser perjudicado por diversos factores, como la tasa de suministro de agua, composición química del suelo y del agua, temperatura, densidad, distribución espacial de las propiedades hidráulicas dentro del perfil, entre otros (Cheng et al., 2021, pág. 1).

Tabla 2-3: Velocidades y clases de infiltración

Velocidad de infiltración (minutos por centímetro)	Velocidad de infiltración (centímetros por hora)	Velocidad de infiltración (centímetros por hora)
<1,18	> 50,80	Muy rápido
1,18 – 3,94	15,24 – 50,80	Rápido
3,94 – 11,81	50,80 – 15,24	Moderadamente rápido
11,81 – 39,37	15,24 – 5,08	Moderado
39,37 – 118,11	5,08 – 1,52	Moderadamente lento
118,11 – 393,70	1,52 – 0,51	Lento
393,70 – 15.748,03	0,51 – 0,0038	Muy lento
> 15.748,03	< 0,0038	Impermeable

Fuente: USDA, 1999, pág. 56.

2.2.1.7 Densidad real (D_r)

La densidad real es la concentración de fase sólida del suelo. Este indicador no tiene en cuenta el volumen de los espacios porosos, por lo que es constante para un determinado terreno y varía dependiendo de la naturaleza de las partículas de los diferentes tipos de suelos (Tabla 2-4) (Bonadeo et al., 2017, pág. 83).

Tabla 2-4: Clasificación de la densidad real de los suelos

Densidad real (g/cm^3)	Clasificación
<2,40	Baja
2,40 a 2,60	Media

2,60 a 2,80	Altas
>2,80	Muy alta

Fuente: Cairo, 1995, pág. 24.

2.2.1.8 Densidad aparente (*Dap*)

La densidad aparente es un parámetro que depende de la textura, composición de los minerales, materia orgánica, así como también del grado de compactación del suelo. Dicha propiedad está relacionada con el funcionamiento del terreno, que comprende la capacidad del enraizamiento, macro y micro porosidad que permiten la circulación del agua y la aireación del suelo (Pacini et al., 2023, pág. 2).

2.2.1.9 Porosidad

La porosidad se refiere al conjunto de espacios vacíos o poros presentes en el suelo (Tabla 2-5), donde se cumplen procesos específicos. Esta propiedad tiene impacto directo sobre el balance del agua, difusión de gases y en el desarrollo de las raíces. Mediante las operaciones de labranza la porosidad puede ser alterada con mayor facilidad (Corbella, 2023, pág. 16).

Tabla 2-5: Clasificación de un suelo según su porcentaje de porosidad total

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

Fuente: Jaramillo, 2002, pág. 196.

2.2.1.10 Conductividad eléctrica (*CE*)

La conductividad eléctrica es otro parámetro favorable en la agricultura, puesto que se utiliza para indicar la salinidad, textura y disponibilidad de nutrientes para las plantas. Niveles elevados de salinidad puede tener impactos adversos en el desarrollo de las plantas al interferir con la absorción de nutrientes y agua. La evaluación de esta propiedad es primordial para determinar la calidad del suelo y tener en cuenta que prácticas agrícolas se puede aplicar en el terreno (Guan et al., 2022, pág. 1).

2.2.2 *Propiedades químicas*

2.2.2.1 *Potencial de hidrógeno (pH)*

El pH es uno de los primordiales factores a tener en cuenta al desarrollar un cultivo, es un indicador esencial en la salud y productividad de los cultivos. Al evaluar esta propiedad se determina si son naturalmente ácidos, neutros o alcalinos. El rango ideal de pH en suelo para el crecimiento óptimo de las plantas es de 5,5 a 7,0 (Shivakoti et al., 2023, págs. 35-36).

2.2.2.2 *Materia orgánica (MO)*

La materia orgánica abarca diversas formas de material orgánico que contiene carbono y están presentes en el suelo, como residuos de animales y plantas, microorganismos y productos de descomposición. El contenido de esta propiedad es esencial para determinar la fertilidad del suelo, por lo que el cálculo preciso del contenido de la materia orgánica (Tabla 2-6) es importante para evaluar la calidad del suelo (Luo et al., 2022, pág. 2).

Tabla 2-6: Clasificación de la materia orgánica de los suelos

Rango (%)	Clasificación
<2	Pobre
2 – 4	Medio
>4	Alto

Fuente: Quintana et al., 1983, pág. 60.

2.2.2.3 *Nitrógeno (N)*

El nitrógeno es uno de los nutrientes indispensables para el desarrollo de los cultivos. En el suelo está disponible en diversas fracciones químicas como; nitrógeno total, amonio, nitrato y nitrógeno orgánico. El nitrógeno total es uno de los indicadores indispensables en la evaluación de la calidad del suelo, los valores de este elemento se pueden modificarse cuando se cambia las prácticas de manejo de suelo (Xu et al., 2021, pág. 2).

2.2.2.4 *Fósforo (P)*

El fósforo es un elemento esencial para el desarrollo óptimo de las plantas. La fijación de este elemento depende del pH, en suelos ácidos los óxidos de hierro y aluminio en forma cristalina como amorfa; disminuye la solubilidad del fósforo inorgánico a través de la fijación en superficies

cargadas positivamente y la formación de precipitados insolubles de hierro y aluminio, mientras que los suelos alcalinos el fósforo relaciona con el calcio para obtener fosfatos de calcio poco soluble (Johan et al., 2021, pág. 1).

Tabla 2-7: Clasificación del fósforo para uso agrícola

Rango (ppm)	Clasificación
<10	Pobre
10 a 20	Medio
>20	Alto

Fuente: Quintana et al., 1983, pág. 60.

2.2.2.5 *Potasio (K)*

El potasio se encuentra en el suelo en cuatro formas tales como; potasio intercambiable, no intercambiable, soluble, y estructural. Las plantas absorben con mayor facilidad el potasio soluble e intercambiable, mientras en forma no intercambiable y estructural no están disponibles para la nutrición. La disponibilidad de este nutriente en el suelo mejora la calidad, rendimiento y la capacidad de las plantas a resistir a los estreses ambientales (Yahaya et al., 2023, pág. 386).

Tabla 2-8: Clasificación del potasio

Rango (ppm)	Clasificación
<0,2	Pobre
0,2 a 0,3	Medio
>0,3	Alto

Fuente: Quintana et al., 1983, pág. 60.

2.2.2.6 *Calcio (Ca)*

Cuando los niveles de calcio en el suelo son insuficientes debido al estrés por sequía, provoca que las hojas de las plantas presenten quemaduras en el ápice, por el cual se debe incrementar el riego o se puede aplicar calcio mediante aspersión foliar. La materia seca de un tejido vegetal sano contiene de 0,1 al 1% de calcio (Lapointe et al., 2020, pág. 2).

2.2.2.7 *Magnesio (Mg)*

El magnesio es el componente principal de la clorofila y tiene un alto impacto en la fotosíntesis. Este elemento se obtiene principalmente del suelo mediante el sistema radicular, una cantidad

adecuada de magnesio en suelo permitirá el crecimiento adecuado de las plantas. En los suelos agrícolas el magnesio total se encuentra en forma intercambiable y son liberadas en pequeñas cantidades, las cuales son escasas para las plantas (Liu et al., 2021, pág. 2).

2.2.2.8 Relación C/N

La relación C/N se considera un indicador de la calidad del componente orgánico del suelo, la cual expresa la proporción de nitrógeno utilizable para las plantas. Los niveles elevados de esta relación intervienen en la descomposición lenta de la materia orgánica, debido a que los microorganismos detienen el nitrógeno, por ende, las plantas no pueden utilizar (Gamarra et al., 2017, pág. 7).

2.2.2.9 Relación Ca/Mg

La relación Ca/Mg es un indicador de la estructura del suelo e influye en la infiltración como en la disponibilidad de nutrientes. Si la relación Ca/Mg supera los 10 cmol/kg, existe la posibilidad de una deficiencia de magnesio. Para el desarrollo de los cultivos, se recomienda que la relación Ca/Mg este entre 3 y 15, dependiendo del tipo de suelo, variedad de cultivo, clima y material genético de la planta (Francos et al., 2020, pág. 4).

2.2.3 Propiedades biológicas

2.2.3.1 Lombrices

Las lombrices combinan las capas del suelo e incorporan con materia orgánica. Esta combinación permite la dispersión de la materia orgánica en el terreno, así como también favorece que las plantas aprovechen los nutrientes retenidos. Las lombrices mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas, y actúan como acondicionadores del suelo (Ahmed y Awadh, 2022, pág. 1).

2.3 Sistemas de labranza

2.3.1 Labranza convencional

La labranza convencional se basa principalmente en el uso del arado, lo que resulta en el corte y volteo de la capa superior del terreno. Este sistema proporciona un adecuado aflojamiento y aireación del suelo, creando condiciones adecuadas para el desarrollo de los cultivos (Szostek et al., 2022, pág. 208).

La práctica continua de la labranza convencional conlleva algunos impactos adversos, como la compactación, reducción de la materia orgánica y degradación de los agregados del suelo, disminución de microorganismos beneficiosos y macroorganismos como artrópodos, lombrices, entre otros. También incrementa la erosión del suelo y las emisiones de gases de efecto invernadero (Kar et al., 2021, pág. 2).

2.3.2 *Labranza reducida*

La labranza reducida es un conjunto de prácticas en las cuales se reemplaza el arado profundo por métodos de labranza poco profundos, frecuentemente con menos operaciones de labranza por año. Este sistema tiene efectos positivos en las propiedades del suelo, tales como una mejor estructura, disminución de la erosión, aumento de la actividad biológica, reducción de las emisiones de gases de efecto invernadero, aumento de las reservas de carbono y mejor retención e infiltración del agua en el suelo (Balén et al., 2023, pág. 2).

2.4 *Altitud*

Cuando existe un incremento de la altitud tiende a disminuir tanto las temperaturas atmosféricas como las del suelo. La humedad y calidad del suelo no siempre son específicas de la altitud ya que existe también las condiciones topográficas que interviene de manera directa en los cambios atmosféricos (Cao et al., 2021, pág. 2).

2.5 *Tecnología de información geográfica*

2.5.1 *Generalidades*

Las Tecnologías de Información Geográfica cumplen un rol esencial en el almacenamiento, captura, manipulación, análisis y representación de la información integral vinculada a la representación gráfica de la tierra. El proceso radica en implementar métodos clásicos y modernos que permiten realizar una correcta lectura e interpretación y elaboración de mapas de un determinado territorio mediante la fotointerpretación de las fotografías verticales aéreas captadas desde drones que permite analizar la evolución de determinados territorios (Lázaro, 2016, pág. 2).

2.5.2 *Sistemas de Información Geográfica (SIG)*

Los Sistemas de Información Geográficas son herramientas que en conjunto con los componentes hardware y software, permiten trabajar con información georreferenciada, a través de la cual visualizan datos en forma cartográfica. El SIG permite analizar de manera clara lo que ocurre en un determinado territorio, mediante el uso de la cartografía centralizada que se utiliza para localizar determinadas parcelas mediante el muestreo (Olaya, 2020, págs. 3-5).

2.5.3 Georreferenciación

La georreferenciación es un proceso cada vez más habitual en la cartografía, que se relaciona con el desarrollo de Sistemas de Información Geográfica, Estos sistemas se enlazan con la representación cartográfica de un área y su sistema de coordenadas geográficas. Este proceso genera un mayor nivel de concordancia, mejorando la precisión y confiabilidad de los mapas (Sou et al., 2022, pág. 2441).

2.5.4 Geolocalización

La geolocalización es la representación real de un objeto o un punto determinado, que permite generar una ubicación específica, con un alto grado de precisión, mediante el uso de sistemas de coordenadas. Entre las referencias más utilizadas se tiene, la referencia geográfica y el sistema UTM, las cuales requieren de un conocimiento amplio de las formas y dimensiones de la tierra (Andrades et al., 2020a, pág. 13).

2.5.5 Sistema de posicionamiento global (GPS)

El sistema de posicionamiento global permite generar una posición o punto referencial mediante coordenadas de la superficie terrestre, a través de la recepción de señales generadas por los satélites, que se encuentra alrededor del planeta tierra. El sistema facilita la localización de dispositivos receptores terrestres por medio de las coordenadas, esto quiere decir que no importa el lugar, su posición donde se encuentre e incluso puede estar fuera de ella (Orozco et al., 2020, pág. 29).

2.5.6 Coordenadas geográficas

Las coordenadas geográficas se componen de longitud y latitud, medidas que son necesarias para determinar un punto de referencia. La latitud está formada por un ángulo entre una línea perpendicular a la superficie y el plano del Ecuador, es decir sus grados van de 0° a 90°, como puede ser Norte o Sur. En cambio, la longitud se refiere a una distancia angular partiendo desde

un punto cualquiera hasta el meridiano 0 o de Greenwich, para realizar una medición se debe tener en cuenta un rango de 0° a 360° hacia el Este, entre 0° y 180° indicando de Este u Oeste (Andrades et al., 2020b, pág. 15).

2.6 Cultivo de papa

2.6.1 Características generales del cultivo de papa

En todas las provincias de la región sierra se cultiva papa. En Ecuador existen alrededor de 30 variedades mejoradas, siendo las más cultivadas Superchola, Única, Yema de huevo e INIAP Fripapa (INIAP, 2021a, pág. 11). En la provincia de Chimborazo son nueve los cantones en donde se realiza el cultivo principalmente en Riobamba, Colta y Guamote, la siembra se realiza en los meses de octubre a diciembre en los cantones de Riobamba y Colta, en mayo y junio en Chambo y en el transcurso del año en Guano (Galarza et al., 2002, pág. 8).

2.6.1.1 Taxonomía

Tabla 2-9: Clasificación taxonómica de la papa

Taxonomía	
Reino:	Plantae
División:	Magnoliophyta
Clase:	Magnoliopsida
Subclase:	Asteridae
Orden:	Solanales
Familia:	Solanaceae
Género:	<i>Solanum</i>
Especie:	<i>S. tuberosum</i>

Fuente: Jones, 1994, pág. 536.

2.6.2 Descripción botánica

La papa es una planta suculenta, herbácea que está formado por un sistema aéreo el cual se compone de hojas, inflorescencia, tallos y frutos, y el sistema subterráneo compuesto de raíces, estolones y tubérculos (Huarte y Capezio, 2013, pág. 2).

A continuación, se describen las características botánicas de la planta de papa:

Tubérculos: se refiere a los tallos que crecen en la superficie del suelo, responsables de almacenar el agua, almidones, minerales, vitaminas, azúcares y proteínas. Se utiliza como materia prima para la siembra (INIAP, 2021b, pág. 13).

Raíces: son adventicias que se genera en cada brote y después sobre los nudos de cada tallo. Aproximadamente 30 cm representa el 65% de extensión de la raíz en el suelo, prolongándose lateralmente en un rango de 30 a 60 cm (Araque, 2019, pág. 8).

Tallos: mientras los tallos se alargan, empiezan las hojas a tener una forma en espiral, en la parte inferior de la planta empiezan a brotar las primeras hojas, mientras que las hojas más jóvenes se desarrollan desde la parte superior de la planta a medida que el tallo continúa creciendo (Stark et al., 2020a, pág. 23).

Hojas: en la planta se desarrollan hojas compuestas, en todos los nudos del tallo, los cuales constan de un foliolo terminal y de una hilera de foliolos opuestos que están unidos al peciolo (Stark et al., 2020b, pág. 23).

Flores: normalmente para que surja una flor se requiere de 10 a 13 hojas, la floración cambia de acuerdo a la diversidad de variedades. Las flores son hermafroditas y su corola pueden ser de color blanco, rosado, azul o violeta (Stark et al., 2020c, pág. 25).

2.6.3 *Requerimientos edafoclimáticos*

2.6.3.1 *Altitud*

La papa en las provincias de Pichincha, Cotopaxi, Tungurahua, Chimborazo y Bolívar se cultiva en altitudes de 2600 a 3600 metros sobre el nivel del mar (INIAP, 2021c, pág. 12).

2.6.3.2 *Temperatura*

La papa requiere de una temperatura que este entre 15 a 20 °C para su desarrollo, mientras tanto se necesita una temperatura inferior a 15 °C para el inicio de tuberización, y de 14 a 20 °C para completar el proceso de tuberización (INIAP, 2014a, pág. 2).

2.6.3.3 *Precipitación*

Se requiere una precipitación entre 600 a 1500 mm por ciclo para el desarrollo del cultivo de papa (INIAP, 2014b, pág. 2).

2.6.3.4 Suelo

La producción de papa se da en la mayoría de los suelos, pero son recomendables los suelos que tienen poca resistencia en el desarrollo de los tubérculos, los suelos óptimos son franco arenoso, franco limoso y francos arcilloso, con un buen drenaje y ventilación. El pH adecuado está en un rango de 4,5 a 7,5, la densidad aparente de 1,20 g /cm³ y una conductividad eléctrica menor a 4 dS/m para un adecuado crecimiento del cultivo (INTAGRI, 2017, pág. 2).

2.6.4 Requerimiento nutricional

Los requerimientos nutricionales para el cultivo de papa se describen en la (Tabla 2-10).

Tabla 2-10: Requerimiento nutricional para el cultivo de papa

Interpretación del análisis de suelo	N	P Kg/ha	K	Mg
Bajo	150-200	300-400	100-150	70
Medio	100-150	200-300	60-100	50
Alto	60-100	100-200	40-60	30

Fuente: INIAP, 2014, pág. 1.

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Características del lugar

3.1.1 Localización

El presente trabajo de investigación se llevó a cabo en la estación experimental Tunshi de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, dicho centro limita al norte con San Pedro de Tunshi, al sur con Tunshi Grande, al este con Tunshi San Javier y al oeste con Tunshi San Nicolás, perteneciente a la parroquia Licto, cantón Riobamba de la provincia de Chimborazo como se muestra en la Ilustración 3-1.

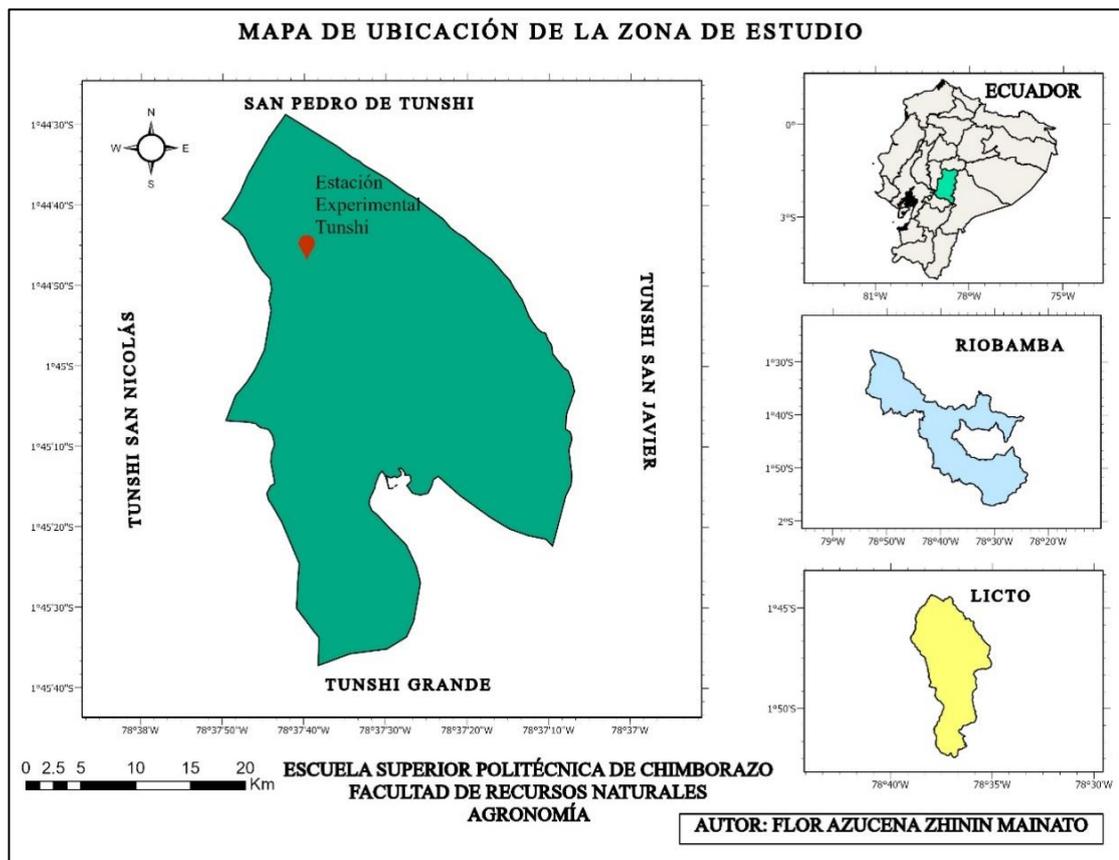


Ilustración 3-1: Mapa de ubicación de la zona de estudio

Realizado por: Zhinin F, 2024.

3.1.2 *Ubicación geográfica*

Latitud: 1°44'54" S

Longitud: 78°37'42" W

Altitud: 2753 msnm

3.1.3 *Características climatológicas*

Temperatura: 13,8 °C

Precipitación media anual: 461mm/año

Humedad relativa: 70,2%

3.2 *Materias y equipos*

3.2.1 *Materiales de campo*

- Libreta de campo
- Estacas de madera
- Piola
- Flexómetro
- Fundas herméticas ziploc
- Balde
- Pala
- Lonas

3.2.2 *Equipos de campo*

- GPS
- Infiltración de doble anillo
- Penetrómetro
- Geotermómetro

3.2.3 *Materiales de laboratorio*

- Balanza
- Picnómetro

- Tabla de Munsell
- Cápsula de porcelana
- Hidrómetro
- Vaso plástico de boca ancha
- Probeta graduada
- Piseta
- Cilindro metálico
- Espátula
- Cucharas plásticas
- Vasos plásticos

3.2.4 Equipos de laboratorio

- Estufa
- Mufla
- Conductímetro
- Peachímetro
- Colorímetro
- Espectrofotómetro

3.2.5 Reactivos

- Bicarbonato de sodio
- EDTA
- Superfloc
- Fenol
- Hidróxido de sodio en lentejuelas
- Clorox
- Tartrato de potasio y antimonio
- Ácido sulfúrico concentrado
- Molibdato de amonio
- Goma arábiga
- Ácido ascórbico
- Óxido de Lantano polvo
- Ácido Clorhídrico fumante

- Hexametafosfato de Sodio
- Carbonato de sodio

3.2.6 *Materiales de oficina*

- Computadora
- Impresora
- Calculadora
- Cámara fotográfica
- Papel bond
- Memoria USB

3.3 Métodos

3.3.1 *Especificación del campo experimental*

- Área de cada parcela: 226,16 m²
- Número de tratamientos: 4
- Número de repeticiones: 4

3.3.2 *Factor de estudio*

Factor A: Altitud

- **Altitud 1:** 2746 msnm
- **Altitud 2:** 2739 msnm

Factor B: Sistema de labranza

- **L1:** Labranza convencional
- **L2:** Labranza reducida

3.3.3 *Tratamientos*

Tabla 3-1: Tratamientos experimentales

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

3.3.4 *Diseño experimental*

Se utilizó el diseño de bloques completos al azar (DBCA), en arreglo en parcela dividida con 4 repeticiones como muestra la Ilustración 3-2.

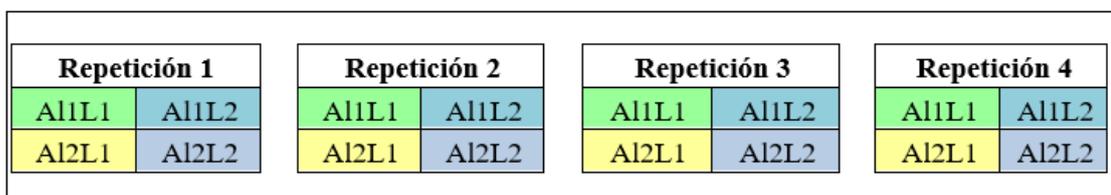


Ilustración 3-2: Diseño de la estructura de las parcelas de campo

Realizado por: Zhinin F, 2024.

3.3.5 *Análisis funcional*

Se realizó el análisis de varianza y se determinó el coeficiente de variación. Cuando existía diferencia significativa en altitud y sistema de labranza se utilizó la prueba de DMS al 5%, para repeticiones e interacción se empleó la prueba de Tukey al 5% para separar medias.

3.3.6 *Muestreo de campo*

Se realizó un recorrido en zig-zag por toda la parcela, en cada punto designado se procedió a limpiar la superficie del suelo. Utilizando una pala se realizó un hoyo en forma de “V” a una profundidad de 30 cm; extrayendo una tajada de suelo de 3 cm de grosor desde una de las paredes del orificio, luego se eliminó los extremos laterales y el resto se colocó en el balde. Una vez extraído las nueve submuestras se mezcló, así como también se eliminó las raíces, piedras y basura. Se colocó 1 kg de muestra compuesta en una funda ziploc y se etiquetó.

3.3.7 *Textura*

Para determinar la textura del suelo se aplicó el método de Bouyoucos, colocando 100 gramos de suelo en un frasco plástico de boca ancha, al cual se agregaron 10 milímetros de hexametáfosfato de sodio, así como también 200 milímetros de agua, se mezcló por 15 minutos y se dejó en reposo por 24 horas, una vez transcurrido este tiempo se traspasó la mezcla a la probeta y se aforo a 1000 milímetros de agua con el hidrómetro sumergido, luego se retiró el hidrómetro y se agitó por un minuto para volver a sumergirlo por 40 segundos en la probeta que tiene la mezcla y tomar la primera lectura. Para la segunda lectura se le deja reposar 24 horas, se sumergió el hidrómetro por 40 segundos y se registró la segunda lectura.

Para determinar el porcentaje de arena del suelo se aplicó la fórmula de (Jaramillo, 2002a, pág. 169).

$$\% \text{ Arena} = 100 - \frac{\text{Primera lectura}}{\text{g de la muestra}} * 100$$

(Ecuación 1)

El porcentaje de arcilla del suelo se determinó aplicando la fórmula de (Jaramillo, 2002b, pág. 169).

$$\% \text{ Arcilla} = \frac{\text{Segunda lectura}}{\text{g de la muestra}} * 100$$

(Ecuación 2)

Para determinar el porcentaje de limo del suelo se aplicó la fórmula de (Jaramillo, 2002c, pág. 169).

$$\% \text{ Limo} = 100 - (\% \text{ de arena} + \% \text{ de arcilla})$$

(Ecuación 3)

Una vez obtenidos los porcentajes de arena, limo y arcilla, se determinó la textura del suelo utilizando el triángulo de textura.

3.3.8 *Estructura*

Para determinar la estructura del suelo se agregó de 20 a 50 mililitros de agua, así como también un fragmento de suelo en un vaso de precipitación de 50 a 100 mililitros. Posteriormente se activó el cronómetro para así establecer el tiempo en que se desintegra el suelo.

3.3.9 Color

En la caja Petri se colocó una porción de suelo seco y se ubicó una hoja de la tabla de Munsell en la parte superior. Posteriormente se identificó el matiz (hue), luminosidad (value) y el croma (chroma) más compatible con la muestra y se registró el color. Este procedimiento se realizó para las 16 muestras.

3.3.10 Humedad

En el punto designado se limpió la superficie, con una pala se realizó una calicata de 30 cm de profundidad. Se colocó el cilindro metálico en la parte superior de la pared y se ejerció presión con las manos, y se extrajo la muestra, se cerró herméticamente y se etiquetó.

Para determinar el porcentaje de humedad del suelo se aplicó el método gravimétrico, en el que se pesaron individualmente cada uno de los cilindros con suelo húmedo y se colocaron por 24 horas en la estufa a una temperatura de 105 °C. Después de ese tiempo, se retiraron los cilindros y se dejaron enfriar, y se pesó. Para determinar este indicador se aplicó la fórmula de (Jaramillo, 2002d, pág. 217).

$$\%H = \frac{Psh * Pss}{Pss} * 100$$

(Ecuación 4)

En donde:

%H = Contenido de humedad expresado en %

Psh = Peso del suelo húmedo

Pss = Peso del suelo seco

3.3.11 Profundidad de la capa arable

Para establecer la profundidad de la capa arable, se realizó una calicata utilizando una pala y azadón, de una de las paredes del orificio se midió con un flexómetro desde la parte superior hasta la parte inferior donde existían la presencia de las raíces.

3.3.12 Velocidad de infiltración

En el lugar designado se limpió la corteza del suelo y se niveló, posteriormente se introdujo dos anillos, y se llenaron con agua. Se activó el cronómetro del infiltrómetro de doble anillo para determinar el tiempo transcurrido de la infiltración de los 100 mm de agua. Para establecer este indicador se aplicó la siguiente fórmula:

$$I = Dh \times \frac{600}{t}$$

(Ecuación 5)

En donde:

I = Velocidad de infiltración

Dh = Diferencial de altura de agua

t = Diferencial de tiempo

Constante = 600

3.3.13 Resistencia del suelo al corte

Se posicionó el penetrómetro en el suelo y se realizó una presión constante con las manos en la manija para permitir que el cono y vástago se introduzca, luego se procedió a tomar los datos. Este procedimiento se realizó en cuatro ocasiones por cada parcela.

3.3.14 Densidad real

Para determinar la densidad real del suelo se aplicó el método del picnómetro, se pesó el picnómetro vacío y se agregó agua destilada hasta la línea de aforo, se vació el agua del picnómetro dejando un tercio de volumen. Se peso 5 gramos de muestra de suelo y se colocó en el picnómetro y se agitó horizontalmente, así como también se añadió agua destilada hasta llegar a la marca de aforo y se pesó. Para determinar este indicador se aplicó la fórmula de (Jaramillo, 2002f, pág.185).

$$Dr = \frac{Pss}{Vs}$$

(Ecuación 6)

En donde:

Dr = Densidad real

Pss = Peso seco de la muestra de suelo

V_s = Volumen que ocupa la muestra del suelo

3.3.15 *Densidad aparente*

Para determinar la densidad aparente se aplicó el método volumétrico, se pesó los cilindros vacíos, así como también el volumen de suelo húmedo. Posteriormente se colocaron los cilindros por 24 horas en la estufa a una temperatura de 60 °C. Luego de transcurrir este tiempo se retiraron de la estufa y se dejó enfriar por 10 minutos, y se pesó. Para su evaluación se aplicó la siguiente ecuación:

$$D_a = \frac{M}{V}$$

(Ecuación 7)

En donde:

D_a = Densidad aparente

M = peso del suelo secado en la estufa (g)

V = Volumen del cilindro (cm³)

3.3.16 *Porosidad*

El porcentaje de porosidad del suelo se calculó con los datos obtenidos de densidad aparente y densidad real, para lo cual se aplicó la fórmula de (Jaramillo, 2002g, pág. 193).

$$\% \text{ Porosidad} = \left(1 - \frac{D_a}{D_r} \right) \times 100$$

(Ecuación 8)

En donde:

$\% \text{ Porosidad}$ = Porosidad total

D_a = Densidad aparente

D_r = Densidad real

3.3.17 Conductividad eléctrica

En un vaso se agregó 80 gramos de suelo seco, así como también 60 mililitros de agua destilada, se mezcló con una cuchara plástica por 5 minutos hasta formar una pasta saturada, y se dejó en reposo por 30 minutos. Luego de transcurrir el tiempo se volvió a remover por 10 minutos, y se realizó la lectura de la conductividad eléctrica utilizando el conductímetro.

3.3.18 Materia orgánica

Se procedió a pesar las cápsulas y se añadieron 5 gramos de suelo tamizado en cada una de ellas. Las 16 cápsulas con suelo se colocaron en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Posteriormente, se sometieron a una temperatura de 450 °C en la mufla durante 20 minutos, al transcurrir este tiempo se retiraron las cápsulas y se dejó enfriar por 30 minutos, y se pesó. Para determinar esta propiedad se aplicó la siguiente fórmula:

$$\% \text{ MO} = \frac{\text{Peso Estufa} - \text{Peso Mufla}}{\text{m(g peso de la Estufa)}} * 100$$

(Ecuación 9)

En donde:

% MO = Porcentaje de materia orgánica

m = Peso del suelo en la estufa a los 105 °C

3.3.19 pH

En cada vaso se agregó 20 gramos de suelo y 50 mililitros de agua destilada, luego se removió con la cuchara la solución preparada por 5 minutos y se dejó en reposo por 30 minutos. Se utilizó el peachímetro para registrar el dato del pH de cada muestra.

3.3.20 Relaciones de C/N, Ca/Mg y K/Mg

Para determinar las relaciones de C/N, Ca/Mg y K/Mg, se aplicó el método propuesto por el Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA).

3.3.21 Potasio

Para determinar el potasio del suelo se tomó un frasco de plástico, en el cual se colocó 2,5 gramos de suelo, así como también 25 mililitros de extractante OLSEN y se cerró el envase. Luego se colocó en un agitador eléctrico por 30 minutos, posteriormente se filtró.

Para la toma de la lectura, se tomó una alícuota de 1 ml del extracto y se colocó en el vaso de boca ancha. Luego se agregó 9 ml de agua destilada, así como también 10 ml de óxido de lantano y se mezcló. Posteriormente se tomó la lectura en el equipo espectrofotómetro de absorción atómica.

3.3.22 Nitrógeno

Para determinar el nitrógeno se tomó una alícuota de 1 ml y se colocó en el vaso de boca ancha. Posteriormente se añadió 9 ml de fenol básico, así como también 10 ml de clorox, se mezcló y se dejó en reposo por 20 minutos. Con el colorímetro se tomó la lectura.

3.3.23 Fósforo

Para determinar el fósforo del suelo se tomó una alícuota de 0,5 ml y se colocó en el vaso de boca ancha, Después se agregó 9,5 ml de agua destilada, así como también 10 ml del reactivo B, se mezcló y se dejó en reposo por 20 minutos. Y se registró la lectura con el colorímetro.

3.3.24 Presencia de lombrices

En las parcelas se calculó 1 m² de terreno, en el cual se realizó una calicata de una profundidad de 30 centímetros con una pala, se reconoció las lombrices y se procedió a contabilizarlo.

3.3.25 Índice de calidad del suelo

Para determinar el índice de calidad del suelo para el cultivo de papa se utilizó las fórmulas propuestas por (Cantú et al., 2007, pág. 176).

Se aplicó la siguiente formula cuando el valor máximo del indicador es la mejor de la calidad del suelo.

$$V_n = \frac{I_m - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}}$$

(Ecuación 10)

En donde:

V_n = Valor normalizado

I_m = Medida del indicador

I_{max} = Valor máximo del indicador

I_{min} = Valor mínimo del indicador

Cuando el valor máximo del indicador es la peor de la calidad del suelo se aplicó la siguiente fórmula:

$$V_n = 1 - \left(\frac{I_m - I_{\min}}{I_{\max} - I_{\min}} \right)$$

(Ecuación 11)

En donde:

V_n = Valor normalizado

I_m = Medida del indicador

I_{max} = Valor máximo del indicador

I_{min} = Valor mínimo del indicador

3.3.26 Zonificación y geolocalización de las muestras

Se realizó el vuelo del dron en la estación experimental Tunshi. Las imágenes obtenidas de los tres vuelos realizados se importaron al software Pix4Dmapper para generar la ortofoto. Se importó la ortofoto de la zona agrícola de la estación experimental Tunshi del 2024, así como también los datos tomados con el GPS Spectra de las muestras de suelo y de las parcelas al ArcGis Pro, para proceder con la zonificación.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento, análisis e interpretación de resultados

4.1.1 Textura

El suelo de las 16 parcelas tiene una textura franco arenoso, con un contenido de arena que varía entre el 49% y el 58%. Esta textura disminuye la capacidad del suelo para retener nutrientes y agua.

4.1.2 Estructura

La estructura de las 16 parcelas es suelta, lo que indica que el suelo estuvo seco, impidiendo que las partículas se unieran entre sí.

4.1.3 Color

Las muestras 1, 4 y 7 es de color pardo grisáceo oscuro, mientras que la muestra 13 es de color café y las demás muestras son de color pardo oscuro (Tabla 4-1). estos colores obtenidos pertenecen a los suelos de textura franco arenoso.

Tabla 4-1: Color del suelo antes de la labranza

N° Muestra	Color en suelo seco	
	Lectura	Interpretación
1	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
2	10 YR 3/3	Pardo oscuro
3	10 YR 3/3	Pardo oscuro
4	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
5	10 YR 3/3	Pardo oscuro
6	10 YR 4/3	Pardo oscuro
7	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
8	10 YR 4/3	Pardo oscuro
9	10 YR 4/3	Pardo oscuro
10	10 YR 4/3	Pardo oscuro

11	10 YR 4/3	Pardo oscuro
12	10 YR 4/3	Pardo oscuro
13	10 YR 5/3	Café
14	10 YR 4/3	Pardo oscuro
15	10 YR 4/3	Pardo oscuro
16	10 YR 4/3	Pardo oscuro

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.4 Porcentaje de humedad

El contenido de humedad del suelo antes de la labranza no presentó diferencias significativas, obteniendo una media de 10,94 % y un coeficiente de variación de 16,22 %.

El análisis de la varianza para porcentaje de humedad en suelo (Tabla 4-2) después de la labranza, presentó diferencia significativa en el sistema de labranza. Mientras que en otras variables no presentaron diferencias significativas. Obteniendo una media de 8,85 %, y un coeficiente de variación de 12,58 %.

Tabla 4-2: Análisis de la varianza para porcentaje de humedad en suelo después de la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	2,22	3	0,74	0,6	0,6406	ns
Altitud	3,91	1	3,91	3,15	0,1261	ns
Repeticiones*Altitud	14,03	3	4,68	3,77	0,0782	
Sistema de labranza	7,85	1	7,85	6,34	0,0455	*
Altitud*Sistema de labranza	0,89	1	0,89	0,72	0,4297	ns
Error	7,44	6	1,24			
Total	36,34	15				
C.V.	12,58 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% para el porcentaje de humedad en sistema de labranza después de la labranza, existen 2 rangos (Tabla 4-3). En el grupo A se encuentra la labranza reducida con una media de 9,55 % y en el B la labranza convencional con una media de 8,15 %.

Tabla 4-3: Prueba DMS al 5% para porcentaje de humedad en sistema de labranza después de la labranza

Sistema de labranza	Medias (%)	Grupo
Labranza Reducida	9,55	A
Labranza Convencional	8,15	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.5 Profundidad de la capa arable

El análisis de la varianza para la profundidad de la capa arable antes de la labranza (Tabla 4-4) presentó diferencia significativa en el sistema de labranza. Mientras que en las demás variables no presentaron diferencias significativas. Obteniendo un coeficiente de variación de 6,31 %, y una media de 50,75 cm.

Tabla 4-4: Análisis de la varianza para profundidad de la capa arable antes la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	12,5	3	4,17	0,41	0,7541	ns
Altitud	25	1	25	2,44	0,1694	ns
Repeticiones*Altitud	161,5	3	53,83	5,25	0,0408	
Sistema de labranza	110,25	1	110,25	10,76	0,0168	*
Altitud*Sistema de labranza	6,25	1	6,25	0,61	0,4646	ns
Error	61,5	6	10,25			
Total	377	15				
C.V.	6,31 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% para la profundidad de la capa arable en sistema de labranza antes de la labranza, existen dos rangos (Tabla 4-5). En el grupo A se encuentra la labranza reducida con una media de 53,38 cm, y en el B la labranza convencional con una media de 48,13 cm.

Tabla 4-5: Prueba DMS al 5% para profundidad de la capa arable en sistemas de labranza antes de la labranza

Sistema de labranza	Medias (cm)	Grupo
Labranza Reducida	53,38	A

Labranza Convencional	48,13	B
-----------------------	-------	---

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.6 Velocidad de infiltración

El análisis de la varianza para la velocidad de infiltración después de la labranza (Tabla 4-6), presentó diferencia altamente significativa en el sistema de labranza y las demás variables no presentaron diferencias significativas. Adquiriendo un coeficiente de variación de 5,19 % y una media de 15,19 mm/h.

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

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,65	3	0,22	0,15	0,9242	ns
Altitud	1,7	1	1,7	1,21	0,3139	ns
Repeticiones*Altitud	1,9	3	0,63	0,45	0,7261	
Sistema de labranza	54,79	1	54,79	38,92	0,0008	**
Altitud*Sistema de labranza	2,91	1	2,91	2,07	0,2002	ns
Error	8,45	6	1,41			
Total	70,4	15				
C.V.	5,19 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo a la prueba DMS al 5% para velocidad de infiltración en sistema de labranza después de la labranza, existen dos rangos (Tabla 4-7). En el grupo A se encuentra la labranza convencional con una media de 17,50 mm/h y en el B la labranza reducida con una media de 12,88 mm/h.

Tabla 4-7: Prueba DMS al 5% para velocidad de infiltración en sistema de labranza después de la labranza

Sistema de labranza	Medias (mm/h)	Grupo
Labranza Convencional	17,50	A
Labranza Reducida	12,88	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.7 Resistencia del suelo al corte

El análisis de la varianza para la resistencia del suelo al corte antes de la labranza (Tabla 4-8), presentó diferencia altamente significativa en el sistema de labranza, y las demás variables no presentaron diferencias significativas. Obteniendo una media de 0,02 kg/cm² y un coeficiente de variación de 14,41 %.

Tabla 4-8: Análisis de la varianza para la resistencia del suelo al corte antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,05	3	0,02	1,29	0,3616	ns
Altitud	0,01	1	0,01	0,84	0,3941	ns
Repeticiones*Altitud	0,03	3	0,01	0,71	0,5784	
Sistema de labranza	0,27	1	0,27	21,06	0,0037	**
Altitud*Sistema de labranza	0,00019	1	0,00019	0,01	0,9078	ns
Error	0,08	6	0,01			
Total	0,44	15				
C.V.			14,41 %			

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo a la prueba DMS al 5% para resistencia del suelo al corte en sistema de labranza antes de la labranza, existen dos rangos (Tabla 4-9). En el grupo A se encuentra la labranza reducida con una media de 0,03 Kg/cm² y en el B la labranza convencional con una media de 0,01 kg/cm².

Tabla 4-9: Prueba DMS al 5% para resistencia del suelo al corte en sistema de labranza antes de la labranza

Sistema de labranza	Medias (kg/cm ²)	Grupo
Labranza Reducida	0,03	A
Labranza Convencional	0,01	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.8 Densidad real

La densidad real antes de la labranza no presento diferencia significativa en todas las variables. Obteniendo un coeficiente de variación de 0,41 % y una media de 2,54 g/cm³.

Para la densidad real el análisis de la varianza en suelo después de la labranza (Tabla 4-10), presentó diferencia altamente significativa en el sistema de labranza, y las demás variables no presentaron diferencias significativas. Obteniendo una media de 2,39 g/cm³ y un coeficiente de variación de 4,68 %.

Tabla 4-10: Análisis de la varianza para la densidad real en suelo después de la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,07	3	0,02	1,87	0,2363	ns
Altitud	0,003	1	0,003	0,24	0,6407	ns
Repeticiones*Altitud	0,06	3	0,02	1,67	0,2721	
Sistema de labranza	0,26	1	0,26	20,75	0,0039	**
Altitud*Sistema de labranza	0,02	1	0,02	1,35	0,2897	ns
Error	0,08	6	0,01			
Total	0,49	15				
C.V.	4,68 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba de DMS al 5% para la densidad real en sistema de labranza después de labranza, existen dos rangos (Tabla 4-11). En el grupo A se encuentra la labranza reducida con una media de 2,52 g/cm³ y en el B la labranza convencional con una media de 2,26 g/cm³.

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

Sistema de labranza	Medias (g/cm ³)	Grupo
Labranza Reducida	2,52	A
Labranza convencional	2,26	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.9 Densidad aparente

La densidad aparente antes de la labranza no presentó diferencia significativa en todas las variables. Adquiriendo una media de 1,33 g/cm³, y un coeficiente de variación de 3,60 %.

El análisis de la varianza para la densidad aparente en suelo después de la labranza (Tabla 4-12), presentó diferencia significativa en altitud y en el sistema de labranza diferencia altamente

significativa, y las demás variables no mostraron diferencias significativas. Obteniendo una media de 1,27 g/cm³ y un coeficiente de variación de 1,97 %.

Tabla 4-12: Análisis de la varianza para densidad aparente en suelo después de la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,01	3	0,0023	3,67	0,0824	ns
Altitud	0,01	1	0,01	9	0,054	*
Repeticiones*Altitud	0,01	3	0,0023	3,67	0,0824	
Sistema de labranza	0,05	1	0,05	81	0,0001	**
Altitud*Sistema de labranza	0,00062	1	0,00062	1	0,3559	ns
Error	0,0038	6	0,00063			
Total	0,07	15				
C.V.	1,97 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba de DMS al 5% para la densidad aparente en altitud después de la labranza (Tabla 4-13), existen dos rangos. En el grupo A se encuentra la altitud 2746 msnm con una media de 1,29 g/cm³ y en el grupo B la altitud 2739 msnm con una media de 1,25 g/cm³.

Tabla 4-13: Prueba DMS al 5% para densidad aparente en altitud después de la labranza

Altitud	Medias (g/cm ³)	Grupo
2746 msnm	1,29	A
2739 msnm	1,25	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% para la densidad aparente en sistema de labranza después de la labranza presentó dos rangos (Tabla 4-14). En el grupo A se encuentra la labranza reducida con una media de 1,33 g/cm³, y en el B la labranza convencional con una media de 1,21 g/cm³.

Tabla 4-14: Prueba DMS al 5% para la densidad aparente en sistema de labranza después de la labranza

Sistema de labranza	Medias (g/cm ³)	Grupo
Labranza Reducida	1,33	A
Labranza Convencional	1,21	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.10 Porcentaje de porosidad

El porcentaje de porosidad antes de la labranza en todas las variables no presentaron diferencia significativa. Obteniendo una media de 52,67 % y un coeficiente de variación de 3,25 %.

El análisis de la varianza para el porcentaje de porosidad después de la labranza (Tabla 4-15), presentó diferencia altamente significativa en el sistema de labranza, mientras que en otras variables no presentan diferencias significativas. Adquiriendo una media de 45,58 % y un coeficiente de variación de 3,26 %.

Tabla 4-15: Análisis de la varianza para porcentaje de porosidad después de la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	3,74	3	1,25	0,6	0,6368	ns
Altitud	0,25	1	0,25	0,12	0,74	ns
Repeticiones*Altitud	1,43	3	0,48	0,23	0,8723	
Sistema de labranza	48,37	1	48,37	23,38	0,0029	**
Altitud*Sistema de labranza	0,24	1	0,24	0,11	0,7475	ns
Error	12,41	6	2,07			
Total	66,44	15				
C.V.	3,26 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% para el porcentaje de porosidad en sistema de labranza después de la labranza, existen dos rangos (Tabla 4-16). En el grupo A se encuentra la labranza convencional con una media de 47,32 %, y en el B la labranza reducida con una media de 43,84 %.

Tabla 4-16: Prueba DMS al 5% para la porosidad en sistema de labranza después de la labranza

Sistema de labranza	Medias (%)	Grupo
Labranza Convencional	47,32	A
Labranza Reducida	43,84	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.11 Conductividad eléctrica

El análisis de la varianza para conductividad eléctrica en suelo antes de la labranza (Tabla 4-17), presentó diferencia altamente significativa en altitud, mientras que en las demás variables no presentan diferencia significativa. Obteniendo un coeficiente de variación de 18,68 % y una media de 0,25 dS/m.

Tabla 4-17: Análisis de la varianza para conductividad eléctrica en suelo antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,01	3	0,0025	1,12	0,4117	ns
Altitud	0,13	1	0,13	57,91	0,0003	**
Repeticiones*Altitud	0,01	3	0,0019	0,84	0,5175	
Sistema de labranza	0,01	1	0,01	2,28	0,1819	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,0043	1	0,0043	1,88	0,219	ns
Error	0,01	6	0,0023			
Total	0,17	15				
C.V.	18,68 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba DMS al 5% para conductividad eléctrica en altitud antes de la labranza (Tabla 4-18), existen dos rangos. En el grupo A se encuentra la altitud 2746 msnm con una media de 0,34 dS/m y en el B la altitud 2739 msnm con un promedio de 0,16 dS/m.

Tabla 4-18: Prueba DMS al 5% para conductividad eléctrica en altitud antes de la labranza

Altitud	Medias (dS/m)	Grupo
2746 msnm	0,34	A
2739 msnm	0,16	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.12 pH

El análisis de la varianza para pH en suelo antes de la labranza (Tabla 4-19), no presenta diferencias significativas en todas sus variables. Adquiriendo un coeficiente de variación de 4,59 % y una media de 7,42.

Tabla 4-19: Análisis de la varianza para pH en suelo antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
----------------------	----	----	----	---	---------	---------------

Repeticiones	0,91	3	0,3	2,6	0,147	ns
Altitud	0,01	1	0,01	0,11	0,7471	ns
Repeticiones*Altitud	0,27	3	0,09	0,77	0,5523	
Sistema de labranza	0,17	1	0,17	1,49	0,2687	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,01	1	0,01	0,06	0,8221	ns
Error	0,7	6	0,12			
Total	2,06	15				
C.V.	4,59 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.13 Materia orgánica

El análisis de la varianza para materia orgánica en suelo antes de la labranza (Tabla 4-20), presenta diferencia significativa en repeticiones, y las demás variables no presentan diferencias significativas. Obteniendo un coeficiente de variación de 9,17 % y una media de 1,88 %.

Tabla 4-20: Análisis de la varianza para materia orgánica en suelo antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,54	3	0,18	6,06	0,0302	*
Altitud	0,07	1	0,07	2,29	0,1814	ns
Repeticiones*Altitud	0,25	3	0,08	2,85	0,1272	
Sistema de labranza	0,03	1	0,03	0,87	0,3881	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,002	1	0,002	0,07	0,8023	ns
Error	0,18	6	0,03			
Total	1,06	15				
C.V.	9,17 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo a la prueba de Tukey al 5% para materia orgánica en repeticiones antes de la labranza (Tabla 4-21), existen dos rangos. En el grupo A se encuentran las repeticiones 1,2 y 4 con medias de 2,05 % y 1,79 %, y en el B la repetición 3 con una media de 1,62 %.

Tabla 4-21: Prueba de Tukey al 5% para materia orgánica en repeticiones antes de la labranza

Repeticiones	Medias (%)	Grupo
--------------	------------	-------

1	2,05	A	
2	2,05	A	
4	1,79	A	B
3	1,62		B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.14 Nitrógeno

El análisis de la varianza para nitrógeno en suelo antes de la labranza (Tabla 4-22), no presenta diferencias significativas en todas sus variables. Obteniendo un coeficiente de variación de 5,59 % y una media de 3,46 mg/L.

Tabla 4-22: Análisis de la varianza para nitrógeno en suelo antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,16	3	0,05	1,4	0,3303	ns
Altitud	0,11	1	0,11	3,05	0,1315	ns
Repeticiones*Altitud	0,08	3	0,03	0,72	0,5741	
Sistema de labranza	6,3E-06	1	6,3E-06	1,7E-04	0,9901	ns
Altitud*Sistema de labranza	2,3E-03	1	2,3E-03	0,06	0,8141	ns
Error	0,22	6	0,04			
Total	0,58	15				
C.V.	5,59 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.15 Fósforo

El análisis de la varianza para fósforo en suelo antes de la labranza (Tabla 4-23), presenta diferencia significativa en repeticiones, y las demás variables no presentan diferencias significativas. Adquiriendo un coeficiente de variación de 14,83 % y una media de 30,10 mg/L.

Tabla 4-23: Análisis de la varianza para fósforo en suelo antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	485,24	3	161,75	8,11	0,0156	*
Altitud	17,87	1	17,87	0,9	0,3802	ns
Repeticiones*Altitud	265,53	3	88,51	4,44	0,0573	

Sistema de labranza	15,54	1	15,54	0,78	0,4112	ns
Altitud*Sistema de labranza	10,55	1	10,55	0,53	0,4944	ns
Error	119,59	6	19,93			
Total	914,32	15				
C.V.	14,83 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo a la prueba Tukey al 5% para fósforo en repeticiones antes de la labranza (Tabla 4-24), existen dos rangos. En el grupo A se encuentran las repeticiones 3, 4 y 2 con medias de 35,77 mg/L, 35,30 mg/L y 25,88 mg/L, y en el B la repetición 1 con una media de 23,44 mg/L.

Tabla 4-24: Prueba de Tukey al 5% para fósforo en repeticiones antes de la labranza

Repeticiones	Medias (mg/L)	Grupo	
3	35,77	A	
4	35,30	A	
2	25,88	A	B
1	23,44		B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.16 Potasio

El análisis de la varianza para potasio en suelo antes de la labranza (Tabla 4-25), en todas las variables no presentó diferencias significativas. Obteniendo un coeficiente de variación de 15,93 % y una media de 2,21 meq/100g.

Tabla 4-25: Análisis de la varianza para potasio en suelo antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,85	3	0,28	2,29	0,1787	ns
Altitud	0,02	1	0,02	0,17	0,694	ns
Repeticiones*Altitud	0,07	3	0,02	0,18	0,9074	
Sistema de labranza	0,12	1	0,12	0,99	0,3574	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,12	1	0,12	0,97	0,3638	ns
Error	0,74	6	0,12			
Total	1,91	15				
C.V.	15,93 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.17 Calcio

El análisis de la varianza para calcio en suelo antes de la labranza (Tabla 4-26), presentó diferencia altamente significativa en altitud, y en las demás variables no presentaron diferencias significativas. Obteniendo un coeficiente de variación de 6,57 % y una media de 7,30 meq/100g.

Tabla 4-26: Análisis de la varianza para calcio en suelo antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	1,4	3	0,47	2,03	0,2115	ns
Altitud	4,02	1	4,02	17,48	0,0058	**
Repeticiones*Altitud	2,3	3	0,77	3,34	0,0976	
Sistema de labranza	0,4	1	0,4	1,75	0,2336	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,02	1	0,02	0,08	0,7878	ns
Error	1,38	6	0,23			
Total	9,52	15				
C.V.	6,57 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo con la prueba de DMS al 5% para calcio en altitud antes de la labranza (Tabla 4-27), existen dos rangos. En el grupo A se encuentra la altitud 2746 msnm con una media de 7,80 meq/100g y en el B la altitud 2739 msnm con una media de 6,80 meq/100g.

Tabla 4-27: Prueba DMS al 5% para calcio en altitud antes de labranza

Altitud	Medias (meq/100g)	Grupo
2746 msnm	7,80	A
2739 msnm	6,80	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.18 Relación C/N

El análisis de la varianza para relación C/N antes de la labranza (Tabla 4-28), no presentó diferencias significativas en todas las variables. Obteniendo un coeficiente de variación de 8,71 % y una media de 1,07 meq/100g.

Tabla 4-28: Análisis de la varianza para relación C/N antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,13	3	0,04	5,13	0,0529	ns
Altitud	0,00016	1	0,00016	0,02	0,8981	ns
Repeticiones*Altitud	0,05	3	0,02	1,9	0,231	
Sistema de labranza	0,01	1	0,01	1,09	0,3374	ns
Altitud*Sistema de labranza	0,00076	1	0,00076	0,09	0,7786	ns
Error	0,05	6	0,01			
Total	0,25	15				
C.V.	8,71 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.19 Relación Ca/Mg

El análisis de la varianza para relación Ca/Mg antes de la labranza (Tabla 4-29), presentó diferencia altamente significativa en altitud, mientras que en otras variables no presentó diferencias significativas. Obteniendo una media de 56,21 meq/100g y un coeficiente de variación de 6,59 %.

Tabla 4-29: Análisis de la varianza para relación Ca/Mg antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	80,75	3	26,92	1,96	0,2211	ns
Altitud	232,64	1	232,64	16,96	0,0062	**
Repeticiones*Altitud	133,84	3	44,61	3,25	0,1019	
Sistema de labranza	14,01	1	14,01	1,02	0,3512	ns
Altitud*Sistema de labranza	6,7	1	6,7	0,49	0,5109	ns
Error	82,3	6	13,72			
Total	550,22	15				
C.V.	6,59 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo a la prueba DMS al 5% para relación Ca/Mg en altitud antes de la labranza (Tabla 4-30), existen dos rangos. En el grupo A se encuentra la altitud 2739 msnm con una media de 60,02 meq/100g y en el grupo B la altitud 2746 msnm y su media de 52,39 meq/100g.

Tabla 4-30: Prueba DMS al 5% para relación Ca/Mg en altitud antes de la labranza

Altitud	Medias (meq/100g)	Grupo
2739 msnm	60,02	A
2746 msnm	52,39	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.20 Relación K/Mg

El análisis de la varianza para relación K/Mg antes de la labranza (Tabla 4-31), en todas las variables no presentó diferencias significativas. Obteniendo un coeficiente de variación de 15,85 % y una media de 16,96 meq/100g.

Tabla 4-31: Análisis de la varianza para relación K/Mg antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	50,17	3	16,72	2,31	0,1756	ns
Altitud	1,27	1	1,27	0,18	0,6902	ns
Repeticiones*Altitud	3,98	3	1,33	0,18	0,9039	
Sistema de labranza	7,16	1	7,16	0,99	0,3581	ns
Altitud*Sistema de labranza	6,89	1	6,89	0,95	0,3665	ns
Error	43,36	6	7,23			
Total	112,82	15				
C.V.	15,85 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.21 Presencia de lombrices

El análisis de la varianza para presencia de lombrices antes de la labranza (Tabla 4-32), presenta diferencia altamente significativa en altitud y sistema de labranza, mientras que en otras variables no presentan diferencias significativas. Obteniendo una media de 4 y un coeficiente de variación de 7,70 %.

Tabla 4-32: Análisis de la varianza para presencia de lombrices antes de la labranza

Fuentes de Variación	SC	Gl	CM	F	p-valor	Significancia
Repeticiones	0,5	3	0,17	2	0,2156	ns
Altitud	16	1	16	192	<0,0001	**
Repeticiones*Altitud	1,5	3	0,5	6	0,0308	
Sistema de labranza	6,25	1	6,25	75	0,0001	**
Altitud*Sistema de labranza	0,25	1	0,25	3	0,134	ns
Error	0,5	6	0,08			
Total	25	15				
C.V.	7,70 %					

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

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo a la prueba de DMS al 5% para presencia de lombrices en altitud antes de la labranza (Tabla 4-33), existen dos rangos. En el grupo A se encuentra la altitud de 2739 msnm con una media de 5 y en el B la altitud 2746 msnm y su media es de 3.

Tabla 4-33: Prueba DMS al 5% para presencia de lombrices en altitud antes de la labranza

Altitud	Medias	Grupo
2739 msnm	5	A
2746 msnm	3	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

De acuerdo a la prueba de DMS al 5% para presencia de lombrices en sistema de labranza antes de la labranza (Tabla 4-34), existen dos rangos. En el grupo A se encuentra la labranza reducida con una media de 5 y en el B la labranza convencional con una media de 3.

Tabla 4-34: Prueba DMS al 5% para presencia de lombrices en sistema de labranza antes de la labranza

Sistema de labranza	Medias	Grupo
Labranza Reducida	5	A
Labranza Convencional	3	B

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.22 Índice de calidad del suelo

El índice de calidad del suelo para el cultivo de papa es de 0,45 (Tabla 4-35). Este valor corresponde a la clase 3 de acuerdo a las clases de calidad de suelos, indicando una moderada calidad. Los indicadores que influyen en este índice son la humedad, materia orgánica, nitrógeno y la presencia de lombrices, dado que no cumplen con los requerimientos óptimos para el cultivo.

Tabla 4-35: Índice de calidad del suelo para el cultivo de papa

Indicador	Valor indicador
Textura	1,00
Estructura	1,00
Humedad	0,00
Profundidad	0,69
Densidad aparente	0,45
Porosidad	0,22
pH	0,97
Materia orgánica	0,00
Nitrógeno	0,00
Magnesio	0,65
Presencia de lombrices	0,00
Índice de calidad del suelo	0,45

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.1.23 Zonificación y geolocalización de las muestras de suelo

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

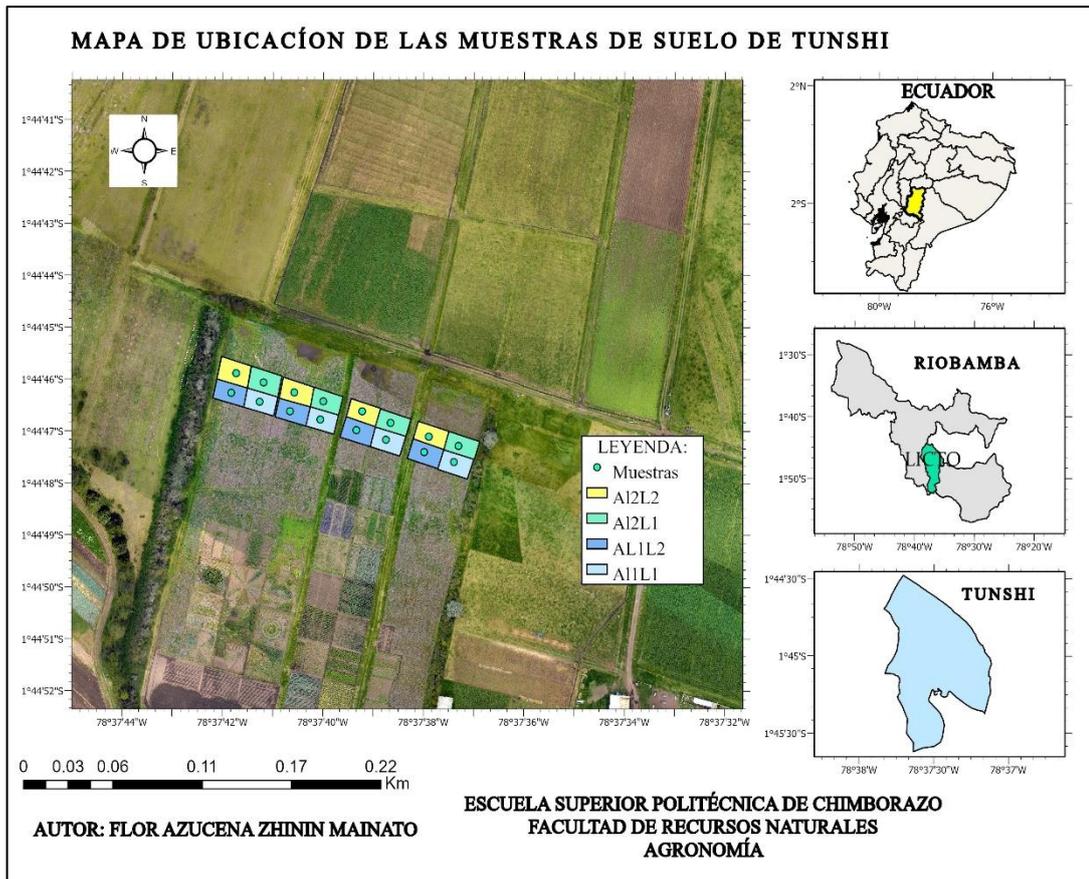


Ilustración 4-1: Mapa de ubicación de las muestras de suelo de Tunshi

Realizado por: Zhinin F, 2024.

4.2 Discusión de resultados

4.2.1 Porcentaje de humedad

En la labranza reducida el contenido de humedad del suelo (Tabla 4-3) es de 9,55 %. Mientras que en la labranza convencional es de 8,15 %. Esto coincide con la investigación realizada por Castro et al., (2022, pág. 41) en Ecuador, que reporta una disminución de humedad de 31,44 % a 17,23 % con la aplicación de la labranza convencional, debido al aumento de espacios porosos en la capa arable originados por la acción de los implementos utilizados, lo cual facilita la penetración de los rayos solares en las partículas del suelo y en consecuencia aumenta la evaporación del agua.

Elsayed et al., (2021, pág. 2), menciona que la papa es sensible al estrés hídrico debido al sistema radicular poco profundo. Este cultivo es más susceptible a la deficiencia hídrica en comparación con otros, especialmente durante el periodo del inicio de la floración hasta casi la madurez de los

tubérculos. Bedogni et al., (2018, pág. 50), menciona que un déficit hídrico durante el ciclo de crecimiento del cultivo ocasiona bajos rendimientos y mala calidad de tubérculos.

4.2.2 Profundidad de capa arable

En la labranza reducida la capa arable (Tabla 4-5) es más amplia, con un promedio de 53,38 cm de profundidad, en comparación con la labranza convencional donde la capa arable es más delgada con un promedio de 48,13 cm. Zhuo et al., (2020, pág. 1), realizó una investigación en China en la que menciona que la labranza convencional afecta la capa superficial. Al voltear y exponer la capa arable, se incrementa la erosión, lo que conduce a la pérdida de suelo fértil y la reducción de la capa.

Cuesta et al (2002, pág. 51), menciona que es necesario tener una capa arable de más de 30 cm para el cultivo de papa, dado que favorecerá el adecuado desarrollo de las raíces y la formación de los tubérculos.

4.2.3 Velocidad de infiltración

En la labranza convencional es mayor la velocidad de infiltración (Tabla 4-7) con un valor de 17,50 mm/h, en comparación con la labranza reducida que es de 12,88 mm/h; lo que permite que el suelo conserve la humedad por más tiempo. Estos valores corresponden a la clase de infiltración moderadamente lento. En una investigación realizada por Osanyinpeju y Dada, (2018, págs. 248-249), indican que la mayor capacidad de infiltración fue en las parcelas trabajadas con arado de discos, lo que se atribuye al aumento de espacios porosos en la capa arable.

Según Budu et al., (2022, pág. 9), menciona que la infiltración es afectada por diversos aspectos como la labranza, densidad, porosidad, contenido de carbono orgánico, estabilidad y el tamaño de los agregados, y el contenido de humedad en el suelo.

4.2.4 Resistencia del suelo al corte

La mayor resistencia del suelo al corte (Tabla 4-9) es con la labranza reducida, con un valor de 0,03 kg/cm², y la menor resistencia al corte es con la labranza convencional con 0,01 kg/cm². Bernal et al., (2008, pág. 40), menciona que los suelos donde se utilizó la tracción mecánica presentan menores valores de resistencia al corte debido a que la labranza convencional voltea el suelo,

descomponiendo las estructuras y disminuyendo la compactación, lo que reduce la resistencia al corte.

4.2.5 Densidad real

La densidad real (Tabla 4-10) es mayor en la labranza reducida, con un valor de 2,52 g/cm³, clasificándose en una densidad media. En contraste, la densidad real en la branza convencional es de 2,26 g/cm³, lo que se considera una densidad baja. Estos valores concuerdan con una investigación realizada por Torres et al., (2017, pág. 121) en Colombia, que determinó valores bajos de densidad real del suelo debido a su textura franco arenoso.

4.2.6 Densidad aparente

La densidad aparente (Tabla 4-14) en labranza reducida es de 1,33 g/cm³ y en labranza convencional es de 1,21 g/cm³. Estos valores corresponden a la textura franco arenoso, de acuerdo con USDA (1999, pág. 57) que establece que los suelos de esta textura tienen una densidad aparente < 1,40 g/cm³. En una investigación realizada por Komolafe, (2022, pág. 128), determinó que la menor densidad aparente fue en la labranza convencional, debido al uso continuo de maquinarias agrícolas en el suelo. Los valores obtenidos de densidad aparente están dentro del rango requerido por el cultivo de papa, la cual permitirá tener un buen drenaje, retención de agua y espacio suficiente para el desarrollo de las raíces.

4.2.7 Porcentaje de porosidad

El porcentaje de porosidad del suelo (Tabla 4-16) en labranza convencional es de 47,32%, mientras que en la labranza reducida presenta un menor porcentaje de porosidad de 43,84%. Estos resultados coinciden con una investigación realizada por Fernandes et al., (2023, págs. 1-3), que indica que la porosidad bajo el sistema de labranza convencional es mayor en la capa cultivable debido a las prácticas de labranza del suelo. Los valores de este indicador están dentro del rango requerido para el cultivo, lo que indica que tiene una estructura adecuada para el desarrollo de la papa.

4.2.8 Conductividad eléctrica

La conductividad eléctrica (Tabla 4-18) a una altitud de 2746 msnm es de 0,34 dS/m, mientras que a 2739 msnm es de 0,16 dS/m, es decir a mayor altitud mayor conductividad eléctrica. Ruiz et al., (2013, pág.374), menciona que el cultivo de papa es moderadamente sensible a la salinidad del

suelo, y no existe una disminución en el rendimiento si la conductividad eléctrica es de 1,7 dS/m. Estos valores de la conductividad eléctrica no están dentro del requerimiento del cultivo, lo que provocaría que las plantas de papa sean más sensibles al estrés hídrico.

Rayne y Aula, (2020, pág. 69), mencionan que la conductividad eléctrica está relacionada con el contenido de materia orgánica, textura, contenido de humedad, salinidad y capacidad de intercambio catiónico.

4.2.9 *Materia orgánica*

El contenido de materia orgánica (Tabla 4-21) en las repeticiones 1 y 2 es de 2,05 % este rango se clasifica en medio, mientras que las repeticiones 3 es de 1,62 % y 4 es de 1,79 % considerado pobre. Estos valores no están dentro del requerimiento del cultivo, lo que provocaría deficiencias nutricionales para las plantas de papa. Garbowski et al., (2023, pág. 3), menciona que un bajo contenido de materia orgánica disminuye la fertilidad del suelo afectando directamente en la productividad agrícola. Abuarab et al., (2019, pág. 418), indica que el 60% de las tierras cultivadas tienen un contenido de materia orgánica del 1% o menos.

4.2.10 *Fósforo*

El fósforo en las repeticiones 3 y 4 es de 35,53 mg/L, clasificándolo como alto, mientras que en la repetición 1 es de 23,44 mg/L, considerando medio (Tabla 4-24). El cultivo de papa requiere altos niveles de fósforo para su desarrollo debido a sus raíces poco profundas, Mugo et al., (2020, pág. 2), menciona que el fósforo mejora el desarrollo de raíces, la formación de tubérculos y promueve la maduración de los mismos.

4.2.11 *Calcio*

El contenido de calcio (Tabla 4-27) a una altitud de 2746 msnm es de 7,80 meq/100g, mientras a 2739 msnm es de 6,80 meq/100g. Estos datos son consistentes con la investigación de Márquez et al., (2020, pág. 532), que indica que el calcio disminuye con la altitud e incrementa con el pH. Sierra et al., (2002, pág. 15) mencionan que el calcio es esencial en las primeras etapas del crecimiento de la papa, especialmente en el desarrollo de raíces.

4.2.12 Relación Ca/Mg

La relación Ca/Mg (Tabla 4-30) a una altitud de 2739 msnm es de 60,02 meq/100g, mientras a 2746 msnm es de 52,39 meq/100g. Esto indica que, a menor altitud la relación Ca/Mg es mayor y a mayor altitud, la relación es menor. Estos valores están fuera del rango requerido por el cultivo, lo cual puede afectar en el desarrollo de la papa. Cepeda, (2020, pág. 37), señala que un aumento en la relación Ca/Mg disminuye el magnesio extraíble del suelo, confirmando el efecto antagónico entre estos dos elementos.

4.2.13 Presencia de lombrices

En la labranza reducida (Tabla 4-34) presentó mayor número de lombrices, con un total de 5, lo cual se debe a que la cobertura vegetal y los residuos de cultivos se dejan en el suelo, proporcionando una fuente continua de alimento y refugio para las lombrices. En contraste en la labranza convencional se encontraron 3. Estos resultados coinciden con la investigación realizada por Mandal et al., (2021, págs. 21-22), que indica que la labranza reducida presenta un mayor número de lombrices en comparación con la labranza convencional. Estos valores no se encuentran dentro del rango requerido por el cultivo, ya que la papa requiere por metro cuadrado 10 lombrices.

Dekemati et al., (2021, pág. 2), menciona que las lombrices desempeñan un papel crucial en la formación y desarrollo del perfil del suelo, y señala que la práctica de labranza convencional puede causar hasta un 50 % de daño o incluso la muerte de las lombrices.

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

El sistema de labranza reducida o mínima empleado en la preparación del suelo para el cultivo de papa en la estación experimental Tunshi influye en la conservación de las propiedades físicas, químicas y biológicas. En contraste con el sistema de labranza convencional que incide de manera negativa en las propiedades indicadas, propiciando compactación del suelo, poca retención de humedad, pérdida de capa arable, alta velocidad de infiltración y disminución de la población de lombrices.

Con la aplicación de la metodología de Cantú para determinar el índice de calidad de suelo para el cultivo de papa, utilizando los parámetros de las propiedades físicas, químicas y biológicas, de acuerdo al valor alcanzado pertenece a la categoría de suelo moderada calidad.

La generación del mapa base aplicando las Tecnologías de Información Geográfica y la disponibilidad de datos de calidad del suelo constituye información relevante y de gran utilidad para posteriores investigaciones en el cultivo de papa en la estación experimental Tunshi.

5.2 Recomendaciones

Se debe implementar la labranza reducida para la preparación del suelo en el establecimiento del cultivo de papa en la estación experimental Tunshi.

Realizar evaluaciones del índice de calidad de suelo para el cultivo de papa, en otras parcelas de la estación experimental Tunshi aplicando la metodología de Cantú.

Realizar investigaciones en la preparación de suelo para otros cultivos teniendo presente el uso de las Tecnologías de Información Geográfica para disponer de mapas y datos georreferenciados de línea base.

BIBLIOGRAFÍA

- 1. ABUARAB, Mohamed; et al.** "The Effects of Root Aeration and Different Soil Conditioners on the Nutritional Values, Yield, and Water Productivity of Potato in Clay Loam Soil". *Mdpi* [En línea], 2019, (Egipto), vol. 9 (8), pág. 418. [Consulta: 1 marzo 2024]. ISSN 2073-4395. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy9080418>
- 2. ANDRADES, Marisol; et al.** *Enseñanza de Sistemas de Información Geográfica (SIG) en estudios de grado y posgrado en la Universidad de La Rioja Principios teóricos y ejercicios prácticos* [En línea]. Logroño-España: Universidad de La Rioja, 2020. [Consulta: 15 septiembre 2023]. Disponible en: <https://publicaciones.unirioja.es/catalogo/monografias/indo03.shtml>
- 3. AHMED, Nazeer. & AWADH, Khalid.** "Earthworms Effect on Microbial Population and Soil Fertility as Well as Their Interaction with Agriculture Practices". *Mdpi* [En línea], 2022, (Pakistán), vol. 14 (13), pág. 1. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 2071-1050. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/su14137803>
- 4. BALEN, Derk; et al.** "Crop yield response to long-term reduced tillage in a conventional and organic farming system on a sandy loam soil". *Soil and Tillage Research* [En línea], 2023, (Holanda), vol. 225, pág. 2. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105553>
- 5. BASSET, Christelle; et al.** "How does soil structure affect water infiltration? A meta-data systematic review". *Soil and Tillage Research* [En línea], 2023, (California), vol. 226, pág. 1. [Consulta: 15 septiembre 2023]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105577>
- 6. BEDOGNI, María; et al.** "Comportamiento de dos variedades de papa bajo estrés hídrico". *Revista latinoamericana de la papa* [En línea], 2018, (Argentina), vol. 22 (1), pág. 50. [Consulta: 1 marzo 2024]. ISSN 1853-4961. Disponible en: <http://papaslatinas.org/index.php/rev-alap/article/view/290/313>
- 7. BERNAL, Napoleón; et al.** "Efecto de cuatro métodos de labranza sobre las propiedades físicas y la pérdida de suelo en la rotación papa-pastos en áreas de ladera en una región alto andina

de Colombia". *Redalyc* [En línea], 2008, (Colombia), vol. 57 (1), pág. 40. [Consulta: 1 de marzo 2024]. ISSN 0120-2812. Disponible en: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=169913318005>

8. BONADEO, Elena; et al. *El sistema suelo-planta* [En línea]. Río Cuarto-Argentina: Universidad Nacional de Río Cuarto, 2017. [Consulta: 28 septiembre 2023]. Disponible en: <https://www.unirioeditora.com.ar/wp-content/uploads/2018/08/978-987-688-204-0.pdf>

9. BUDU, Maxwell; et al. "The Impact of Tillage and Weed Control Methods on Physical Properties of Sandy Clay Loam Forest Ochrosol in Cassava Cultivation". *Applied and Environmental Soil Science* [En línea], 2022, (Ghana), vol. 2022, pág. 9. [Consulta: 1 marzo 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1155/2022/6758284>

10. CANTÚ, Mario; et al. "Evaluación de la calidad de suelos mediante el uso de indicadores e índices". *Ciencia del suelo* [En línea], 2007, (Argentina), vol. 25 (2), pág. 176. [Consulta: 25 septiembre 2023]. ISSN 1850-2057. Disponible en: <http://www.scielo.org.ar/pdf/cds/v25n2/v25n2a08.pdf>

11. CAO, Rui; et al. "Differential seasonal changes in soil enzyme activity along an altitudinal gradient in an alpine-gorge region". *Applied Soil Ecology* [En línea], 2021, (China), vol. 166, pág. 2. [Consulta: 15 diciembre 2023]. ISSN 0929-1393. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.apsoil.2021.104078>

12. CASTRO, Adolfo; et al. *Evaluación de parámetros físicos de un suelo fluvisol en tres prácticas de labranza convencional* [En línea]. Calceta-Ecuador: Colloquium, 2022. [Consulta: 4 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.colloquiumbiblioteca.com/index.php/web/article/view/106/96>.

13. CEPEDA, José. "Tendencias químicas de suelos dominicanos". *Revista Agropecuaria y Forestal* [En línea], 2020, (República Dominicana), vol. 9 (2), pág. 37. [Consulta: 3 marzo 2024]. ISSN 2307-1990. Disponible en: <https://www.sodiaf.org.do/apf/index.php/apf/article/view/102/105>.

14. CHENG, Qing; et al. "Water infiltration in a cracked soil considering effect of drying-wetting cycles". *Journal of Hydrology* [En línea], 2021, (China), vol. 593, pág. 1. [Consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 0022-1694. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2020.125640>

15. CORBELLA, Roberto. *Física del suelo* [En línea]. Tucumán-Argentina: Universidad de Tucumán, 2023. [Consulta: 24 septiembre 2023]. Disponible en: <https://s9a0d11af78cd478d.jimcontent.com/download/version/1563476/module/7953448576/name/Fisica%20del%20Suelo.pdf>.

16. CUESTA, Xavier; et al. *El cultivo de la papa en Ecuador* [En línea]. Quito-Ecuador: INIAP, Estación Experimental Santa Catalina/CIP, 2002. [Consulta: 2 marzo 2024]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/2802>

17. DEKEMATI, IGOR; et al. "Three-Year Investigation of Tillage Management on the Soil Physical Environment, Earthworm Populations and Crop Yields in Croatia". *Mdpi* [En línea], 2021, (Croacia), vol. 11 (5), pág. 2. [Consulta: 30 enero 2024]. ISSN 2073-4395. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy11050825>

18. DHARUMARAJAN, Subramanian. & HEGDE, Rajendra. "Digital mapping of soil texture classes using Random Forest classification algorithm". *Soil use and Management* [En línea], 2022, (India), vol. 38 (1), pág. 135. [Consulta: 25 septiembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/sum.12668>

19. ELSAYED, Salah; et al. "Combining Thermal and RGB Imaging Indices with Multivariate and Data-Driven Modeling to Estimate the Growth, Water Status, and Yield of Potato under Different Drip Irrigation Regimes". *Mdpi* [En línea], 2021, (Egipto), vol. 13 (9), pág. 2. [Consulta: 19 febrero 2024]. ISSN 2072-4292. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs13091679>

20. FERNANDES, Mariele; et al. "Soil structure under tillage systems with and without cultivation in the off-season". *Agriculture, Ecosystems & Environment* [En línea], 2023, (Brasil), vol. 342, págs. 1-3. [Consulta: 20 febrero 2024]. ISSN 0167-8809. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.agee.2022.108237>

21. FRANCOS, Marcos; et al. "Impact of bonfires on soil properties in an urban park in Vilnius (Lithuania)". *Environmental Research* [En línea], 2020, (Lituania), vol. 181, pág. 4. [Consulta: 20 noviembre 2023]. ISSN 0013-9351. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.envres.2019.108895>

22. GALARZA, Jose; et al. *Estudio de impacto de la intervención del INIAP-Fortipapa en la provincia de Chimborazo en el periodo 1992-2001*. 5ª ed. Ecuador: 2002. [Consulta: 22

noviembre 2023]. Disponible en:
<https://repositorio.iniap.gob.ec/bitstream/41000/5/1/iniap319.pdf>

23. GAMARRA, Cynthia; et al. "Relación carbono-nitrógeno en suelos de sistemas silvopastoriles del Chaco paraguayo". *Ciencias Forestales* [En línea], 2017, (Paraguay), vol. 9 (46), [Consulta: 25 noviembre 2023]. ISSN 2007-1132. Disponible en: <https://www.scielo.org.mx/pdf/remcf/v9n46/2007-1132-remcf-9-46-4.pdf>

24. GARBOWSKI, Tomasz; et al. "An overview of natural soil amendments in agriculture". *Soil and Tillage Research* [En línea], 2023, vol. 225, pág. 3. [Consulta: 2 marzo 2024]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105462>

25. GUAN, Yunyi; et al. "Prediction of Soil Water Content and Electrical Conductivity Using Random Forest Methods with UAV Multispectral and Ground-Coupled Geophysical Data". *Mdpi* [En línea], 2022, (Estados Unidos), vol. 14 (4), pág. 1 [Consulta: 5 noviembre 2023]. ISSN 2072-4292. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/rs14041023>

26. HILL, Isabella; et al. "Soil water content and photosynthetically active radiation influences soil color assessment". *Geoserna Regional* [En línea], 2022, (Carolina del Sur), vol. 31, pág. 1. [Consulta: 28 septiembre 2023]. ISSN 2352-0094. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geodrs.2022.e00581>

27. HUARTE, Marcelo. & CAPEZIO, Silvia. *Cultivo de Papa* [En línea]. Mar del Plata-Argentina: Universidad Nacional de Mar del Plata, 2013. [Consulta: 3 marzo 2024]. Disponible en: https://www.researchgate.net/publication/256195293_Cultivo_de_papa

28. INIAP. *Manual del cultivo de papa para pequeños productores* [En línea]. 3ª ed. Quito-Ecuador: EC:INIAP-EESC, 2021. [Consulta: 25 septiembre 2023]. Disponible en: <http://repositorio.iniap.gob.ec/handle/41000/5672>

29. INIAP. *Papa*. [blog]. Quito: 2014. [Consulta: 24 septiembre 2023]. Disponible en: <https://tecnologia.iniap.gob.ec/papa/>

30. INTAGRI. "Requerimientos de Clima y Suelo para el Cultivo de la Papa". *Artículos Técnicos de INTAGRI* [En línea], 2017, (México), vol. 10, pág. 2. [Consulta: 17 noviembre 2023]. Disponible en: <https://www.intagri.com/articulos/hortalizas/requerimientos-de-clima-y-suelo-para-el-cultivo-de-la-papa>

- 31. JARAMILLO, Daniel.** *Introducción a la ciencia del suelo* [En línea]. Medellín-Colombia: Universidad Nacional de Colombia, 2002. [Consulta: 25 septiembre 2023]. Disponible en: <https://bibliotecadigital.ciren.cl/handle/20.500.13082/147701>
- 32. JOHAN, Prisca; et al.** "Phosphorus Transformation in Soils Following Co-Application of Charcoal and Wood Ash". *Mdpi* [En línea], 2021, (Malasia), vol. 11 (10), pág. 1. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 2073-4395. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy11102010>
- 33. KAHSAY, Araya; et al.** "Assessing land use type impacts on soil quality: Application of multivariate statistical and expert opinion-followed indicator screening approaches". *Catena* [En línea], 2023, (Etiopía), vol. 231, pág. 2. [Consulta: 10 diciembre 2023]. ISSN 0341-8162. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.catena.2023.107351>
- 34. KAR, Sudeshna; et al.** "Exploring the best tillage option in rice based diversified cropping systems in alluvial soil of eastern India". *Soil and Tillage Research* [En línea], 2021, (India), vol. 205, pág. 2. [Consulta: 15 noviembre 2023]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104761>
- 35. KOMOLAFE, Oluwatosin.** "Impact of two tillage practices on selected soil properties, growth and yield of maize on an ultisol". *Peruvian Journal of Agronomy* [En línea], 2022, (Nigeria), vol. 6 (1), pág. 128. [Consulta: 3 marzo 2024]. ISSN 2616-4477. Disponible en: <https://doi.org/10.21704/pja.v6i2.1933>
- 36. LAPOINTE, Marie; et al.** "Sr-90 soil to plant transfer factor reduction using calcium and polymer soil amendments". *Journal of Environmental Radioactivity* [En línea], 2020, (Canadá), vol. 218, pág. 2. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 0265-931X. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.jenvrad.2020.106258>
- 37. LÁZARO, María.** "La educación geográfica empleando las TIG: una innovación necesaria". *XVII Congreso Nacional TIGS* [En línea], 2016, (España), pág. 2. [Consulta: 26 septiembre 2023]. Disponible en: <https://riuma.uma.es/xmlui/handle/10630/11722>
- 38. LI, Meng; et al.** "Fifteen-year no tillage of a Mollisol with residue retention indirectly affects topsoil bacterial community by altering soil properties". *Soil and Tillage Research* [En línea], 2021, (China), vol. 205, pág. 2. [Consulta: 2 noviembre 2024]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2020.104804>

- 39. LIU, Zhilei; et al.** "Magnesium Fertilization Affected Rice Yields in Magnesium Sufficient Soil in Heilongjiang Province, Northeast China". *Frontiers In Plant Science* [En línea], 2021, (China), vol. 12, pág. 2. [Consulta: 26 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.3389/fpls.2021.645806>
- 40. LUO, Chong; et al.** "Regional soil organic matter mapping models based on the optimal time window, feature selection algorithm and Google Earth Engine". *Soil and Tillage Research* [En línea], 2022, (China), vol. 219, pág. 2. [Consulta: 19 noviembre 2023]. ISSN 0167-1987. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.still.2022.105325>
- 41. MANDAL, Agniva; et al.** "Conservation agricultural practices under organic farming". *Advances in Organic Farming* [En línea], 2021, págs. 21-22. [Consulta: 3 marzo 2024]. ISSN 3512-4892. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/351248925>
- 42. MÁRQUEZ, Fanny; et al.** "Relación entre las características del suelo y altitud con la calidad sensorial de café cultivo bajo sistemas agroforestales en Cusco. Perú". *Scientia Agropecuaria* [En línea], 2020, (Perú), vol. 11 (4), pág. 532. [Consulta: 5 marzo 2024]. ISSN 2077-9917. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.17268/sci.agropecu.2020.04.08>
- 43. MOAZENZADEH, Roozbeh. & MAHAMMADI, Babak.** "Assessment of bio-inspired metaheuristic optimisation algorithms for estimating soil temperature". *Geoderma* [En línea], 2019, (Irán), vol. 353, págs. 152-153. [Consulta: 25 octubre 2023]. ISSN 0016-7061. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2019.06.028>
- 44. MUGO, Jaime; et al.** "Assessment of soil fertility and potato crop nutrient status in central and eastern highlands of Kenya". *Scientific Reports* [En línea], 2020, (Kenia), vol. 10 (1), pág. 2 [Consulta: 5 marzo 2024]. ISSN 4159-8020. Disponible en: <https://doi.org/10.1038/s41598-020-64036-x>
- 45. OLAYA, Víctor.** *Sistemas de Información Geográfica*. [En línea]. España: CreateSpace Independent Publishing Platform, 2020. [Consulta: 25 noviembre 2023]. Disponible en: http://ide.unex.es/ide_cume/2020_olaya_sistemas_de_informacin_geografica.html
- 46. OROZCO, Fausto; et al.** "Análisis para la corrección de errores en la señal GPS". *Mikarimin* [En línea], (2020), (Ecuador), vol. 6 (3), pág. 29. [Consulta: 7 noviembre 2023]. ISSN 2528-7842. Disponible en: <https://revista.uniandes.edu.ec/ojs/index.php/mikarimin/article/view/2066/1453>

- 47. OSANYINPEJU, Kifilideen. & DADA, Pius.** "Soil Porosity and Water Infiltration as Influenced by Tillage Practices on Federal University of Agriculture Abeokuta, Ogun State, Nigeria Soil". *International Journal of Latest Technology in Engineering, Mnagement &Applied Science* [En línea], (Nigeria), vol. 7 (4), págs. 248-249. [Consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 2278-2540. Disponible en: <https://www.ijltemas.in/>
- 48. PACINI, Lorenza; et al.** "Fine earth soil bulk density at 0.2 m depth from Land Use and Coverage Area Frame Survey (LUCAS) soil 2018". *European Journal of Soil Science* [En línea], 2023, (Europa), vol. 74 (4), pág. 2. [Consulta: 5 noviembre 2023]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/ejss.13391>
- 49. RAYNE, Natsha. & AULA, Lawrence.** "Livestock Manure and the Impacts on Soil Health: A Review". *Mdpi* [En línea], 2020, (Estados Unidos), vol. 4 (4), pág. 69. [Consulta: 2 marzo 2024]. ISSN 2571-8789. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/soilsystems4040064>
- 50. RUIZ, José; et al.** *Requerimientos agroecológicos de cultivos* [En línea]. 2ª ed. Guadalajara-México: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales Agrícolas y Pecuarias-CIRPAC-Campo Experimental Centro Alto de Jalisco, 2013. [Consulta: 5 marzo 2024]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/343047223>
- 51. SARMIENTO, E; et al.** "Índice de calidad del suelo. Una revisión sistemática". *Ecosistemas* [En línea], 2018, (Colombia), vol. 27 (3), pág. 131. [Consulta: 8 noviembre 2023]. ISSN 1697-2473. Disponible en: <https://www.revistaecosistemas.net/index.php/ecosistemas/article/view/1598/1154>
- 52. SHIVAKOTI, Mithun; et al.** "An Efficient Regression Method To Predict Soil pH Using RGB Values". *International Research Journal on Advanced Science Hub* [En línea], 2023, (India), vol. 5 (5), págs. 53-36. [Consulta: 10 noviembre 2023]. Disponible en: <http://dx.doi.org/10.47392/irjash.2023.S005>
- 53. SIERRA, Carlos; et al.** *Manual fertilización del cultivo de la papa en la zona sur de Chile* [En línea]. Santiago-Chile: Instituto de Investigación Agropecuarias, 2002. [Consulta: 2 marzo 2024]. Disponible en: <https://hdl.handle.net/20.500.14001/7707>
- 54. SOU, Gemma; et al.** "A New Method to Bridge New Materialism and Emotional Mapping: Spatio-Emotional Experiences in Disaster-Affected Brazilian Favelas". *The Qualitative Report*

[En línea], 2022, (Brasil), vol. 27 (11), pág. 2441. [Consulta: 9 diciembre 2023]. ISSN 2432-2445. Disponible en: <https://doi.org/10.46743/2160-3715/2022.5744>

55. STARK, Jeffrey; et al. *Potato Production Systems* [En línea]. 2ª ed. Estado Unidos: 2020. [Consulta: 6 marzo 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1007/978-3-030-39157-7>

56. SZOSTEK, Malgorzata; et al. "Effect of Different Tillage Systems on Soil Organic Carbon and Enzymatic Activity". *Mdpi* [En línea], 2022, (Polonia), vol. 12 (1), pág. 208. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 2073-4395. Disponible en: <https://doi.org/10.3390/agronomy12010208>

57. TOGNERI, Rodrigo; et al. "Soil moisture forecast for smart irrigation: The primetime for machine learning". *Expert Systems with Applications* [En línea], 2022, (Brasil), vol. 207, pág. 2. [Consulta: 20 octubre 2023]. ISSN 0957-4174. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2022.117653>

58. TORRES, Alfredo; et al. "Composición física y química de los suelos fluviovolcánicos de Armero Tolima, Colombia". *Ciencias de la Tierra* [En línea], 2017, (Colombia), vol. 41 (158), pág. 121. [Consulta: 6 marzo 2024]. ISSN 0370-3908. Disponible en: <https://doi.org/10.18257/raccefyn.447>

59. USDA. *Guía para la Evaluación de la Calidad y Salud del suelo* [En línea]. 1999. [Consulta: 23 octubre 2023]. Disponible en: <https://www.nrcs.usda.gov/sites/default/files/2022-10/Gu%C3%ADa%20para%20la%20Evaluaci%C3%B3n%20de%20la%20Calidad%20y%20Salud%20del%20Suelo.pdf>

60. VILLASAGUA CASTRO, Richard Javier. Manejo de la mosca minadora (*Liriomyza spp*) en el cultivo de papa (*Solanum tuberosum*), en Ecuador. [En línea]. (Trabajo de titulación) (Ingeniería). Universidad Técnica de Babahoyo, Facultad de Ciencias Agropecuarias, Ingeniería Agropecuaria. Babahoyo-Ecuador. 2023. pág. 4. [Consulta: 2023-10-18]. Disponible en: <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/14922/E-UTB-FACIAG-ING%20AGROP-000295.pdf?sequence=1&isAllowed=y>.

61. XU, Shengxiang; et al. "Integrating hyperspectral imaging with machine learning techniques for the high-resolution mapping of soil nitrogen fractions in soil profiles". *Science of The Total Environment* [En línea], 2021, (China), vol. 754, pág. 2. [Consulta: 24 noviembre 2023]. ISSN 0048-9697. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142135>

62. YAHAYA, Sharhabil; et al. "Recent advances in the chemistry of nitrogen, phosphorus and potassium as fertilizers in soil: A review". *Pedosphere* [En línea], 2023, vol. 33 (3), pág. 386. [Consulta: 18 noviembre 2023]. ISSN 1002-0160. Disponible en: <https://doi.org/10.1016/j.pedsph.2022.07.012>

63. ZHUO, Zhiqing; et al. "Identifying the position of the compacted layer by measuring soil penetration resistance in a dryland farming region in Northeast China". *Soil Use and Management* [En línea], 2020, (China), vol. 36 (3), pág. 1. [Consulta: 5 marzo 2024]. Disponible en: <https://doi.org/10.1111/sum.12576>



ANEXOS

ANEXO A: DETERMINACIÓN DE LOS PARCELAS DE ESTUDIO



ANEXO B: UBICACIÓN DE LAS MUESTRAS DE SUELO EN EL LABORATORIO



ANEXO C: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS DEL SUELO



ANEXO D: DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES BIOLÓGICAS DEL SUELO



ANEXO E: TRABAJO CON EL TRACTOR EN LABRANZA CONVENCIONAL Y REDUCIDA



ANEXO F: ANÁLISIS DEL SUELO ANTES DE LABRANZA



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



Nombre del Propietario: Srta. Flor Azucena Zhinin Mainato

Fecha de ingreso: 20/12/2023

TEMA TIC: " DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L) EN TUNSHI"

Fecha de salida: 16/02/2024

CARRERA: INGENIERÍA AGRONÓMICA

SEMESTRE: NOVENO

Ubicación: Estación experimental Tunshi
Nombre de la granja

Licán
Parroquia

Riobamba
Cantón

Chimborazo
Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANALISIS FISICO DE SUELOS

Ident. Muestra	Textura	Estructura	% Poros	gr/cc		%	Color en suelo seco	
				DA	DR	Humedad	Lectura	Interpretación
1	Franco arenoso	Suelta	50.58	1.3	2.57	12.16	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
2	Franco arenoso	Suelta	52.00	1.3	2.50	12.47	10 YR 3/3	Pardo oscuro
3	Franco arenoso	Suelta	50.78	1.3	2.56	11.99	10 YR 3/3	Pardo oscuro
4	Franco arenoso	Suelta	56.00	1.4	2.50	11.92	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
5	Franco arenoso	Suelta	50.58	1.3	2.57	7.90	10 YR 3/3	Pardo oscuro
6	Franco arenoso	Suelta	51.18	1.3	2.54	10.94	10 YR 4/3	Pardo oscuro
7	Franco arenoso	Suelta	54.90	1.4	2.55	11.21	10 YR 4/2	Pardo grisáceo oscuro
8	Franco arenoso	Suelta	51.79	1.3	2.51	16.98	10 YR 4/3	Pardo oscuro
9	Franco arenoso	Suelta	55.56	1.4	2.52	10.81	10 YR 4/3	Pardo oscuro
10	Franco arenoso	Suelta	54.90	1.4	2.55	8.18	10 YR 4/3	Pardo oscuro
11	Franco arenoso	Suelta	51.38	1.3	2.53	11.46	10 YR 4/3	Pardo oscuro
12	Franco arenoso	Suelta	50.78	1.3	2.56	11.73	10 YR 4/3	Pardo oscuro
13	Franco arenoso	Suelta	51.59	1.3	2.52	8.40	10 YR 5/3	Café
14	Franco arenoso	Suelta	51.18	1.3	2.54	8.20	10 YR 4/3	Pardo oscuro
15	Franco arenoso	Suelta	54.90	1.4	2.55	8.91	10 YR 4/3	Pardo oscuro
16	Franco arenoso	Suelta	54.69	1.3	2.56	11.85	10 YR 4/3	Pardo oscuro

Ing. Víctor Lindao PhD.
JEFE DE LAB. SUELOS



Ing. Elizabeth Pachacama Ch.
TECNICO DOCENTE

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 1/2, Facultad de Recursos Naturales, Tlono 2998220 Extensión 418
"Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza"



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



Nombre del Propietario: Srta. Flor Azucena Zhinin Mainato

Fecha de ingreso: 20/12/2023

TEMA TIC: " DETERMINACIÓN DEL INDICE DE CALIDAD DE SUELO A DOS ALTITUDES EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE PAPA (*Solanum tuberosum* L) EN TUNSHI"

Fecha de salida: 14/02/2024

CARRERA: INGENIERÍA AGRONÓMICA

SEMESTRE: NOVENO

Ubicación: Estación experimental Tunshi
Nombre de la granja

Licán
Parroquia

Riobamba
Cantón

Chimborazo
Provincia

RESULTADOS E INTERPRETACIÓN DEL ANALISIS FISICO-QUIMICO DE SUELOS

Ident.	pH	(uS/cm)		mg/L		Meq/100g			R C/N	Ca/Mg
		C.E.	M.O	NH4	P	K	Ca	Mg		
1	7.58 LAlc	344.0 NS	2.11 B	4.55 B	23.88 M	2.16 A	7.86 B	0.13 B	0.96 MB	59.15 A
2	7.91 LAlc	417.0 NS	2.54 B	5.08 B	26.54 M	2.32 A	7.45 B	0.13 B	0.89 MB	57.17 A
3	7.09 N	331.0 NS	2.11 B	4.48 B	30.72 A	2.43 A	6.03 B	0.13 B	0.95 MB	48.16 A
4	7.87 LAlc	298.0 NS	2.09 B	4.35 B	25.97 M	2.38 A	6.15 B	0.13 B	0.93 MB	47.17 A
5	6.96 N	276.0 NS	1.46 B	4.37 B	32.00 A	1.74 A	5.89 B	0.13 B	1.34 MB	46.17 A
6	6.98 N	467.0 NS	1.67 B	4.32 B	23.88 M	2.16 A	7.32 B	0.13 B	1.16 MB	57.78 A
7	7.05N	262.0 NS	1.88 B	4.88 B	36.75 A	1.47 A	6.64 B	0.13 B	1.16 MB	49.76 A
8	7.11 N	305.0 NS	1.67 B	4.42 B	32.58 A	2.19 A	7.04 B	0.13 B	1.18 MB	53.78 A
9	7.06 N	161.3 NS	1.67 B	4.48 B	19.24 M	1.65 A	7.01 B	0.13 B	1.20 MB	54.35 A
10	7.87 LAlc	176.5 NS	1.89 B	4.12 B	24.11 M	2.35 A	7.68 B	0.13 B	0.98 MB	57.39 A
11	7.58 LAlc	149.2 NS	2.10 B	4.24 B	27.70 M	2.63 A	7.21 B	0.13 B	0.90 MB	55.08 A
12	7.90 LAlc	159.7 NS	1.89 B	4.53 B	19.12 M	1.79 A	7.88 B	0.13 B	1.07 MB	58.98 A
13	7.85 LAlc	162.1 NS	1.67 B	4.15 B	46.14 A	2.43 A	7.90 B	0.13 B	1.11 MB	63.06 A
14	7.36 N	136.3 NS	1.68 B	4.21 B	41.04 A	2.54 A	8.09 B	0.13 B	1.12 MB	63.33 A
15	7.34 N	147.4 NS	1.69 B	4.44 B	32.23 A	2.43 A	8.58 B	0.13 B	1.17 MB	66.43 A
16	7.17 N	160.5 NS	1.90 B	4.57 B	39.65 A	2.61 A	8.05 B	0.13 B	1.07 MB	61.34 A

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

Ing. Víctor Lindao PhD.
JEFE DE LAB. SUELOS



Ing. Elizabeth Pachacama Ch.
TECNICO DOCENTE

Dirección: Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km1 1/2, Facultad de Recursos Naturales, Tlono 2998220 Extensión 418
"Apoyando a la producción sana, rentable y amigable con la naturaleza"

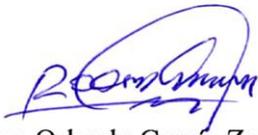
ANEXO G: ANÁLISIS DEL SUELO DESPUÉS DE LA LABRANZA

Ident. Muestra	% Humedad	Densidad Real g/cc	Densidad Aparente g/cc	% Porosidad
1	7,04	2,2	1,2	43,61
2	8,11	2,38	1,3	44,74
3	6,59	2,1	1,2	41,24
4	7,95	2,3	1,2	45,8
5	10,28	2,5	1,3	47,42
6	8,21	2,63	1,4	46,95
7	7,30	2,65	1,3	48,2
8	11,39	2,48	1,4	47,7
9	8,11	2,1	1,2	42,86
10	11,20	2,3	1,2	44,6
11	9,21	2,17	1,2	43,1
12	7,01	2,56	1,2	44,8
13	10,21	2,45	1,3	47,4
14	10,08	2,4	1,3	45,83
15	10,36	2,46	1,3	47,86
16	8,60	2,58	1,3	47,21



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

Fecha de entrega: 11/06/2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Flor Azucena Zhinin Mainato
INFORMACIÓN INSTITUCIONAL
Facultad: Recursos Naturales
Carrera: Agronomía
Título a optar: Ingeniera Agrónoma
<p style="text-align: center;"> Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD. Director del Trabajo de Integración Curricular</p> <p style="text-align: center;"> Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla, MSc. Asesor del Trabajo de Integración Curricular</p>