



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE CHIMBORAZO
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES
CARRERA AGRONOMÍA

**DETERMINACION DEL PATINAJE CONSIDERANDO LA
PENDIENTE DEL SUELO EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA
PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LA ESTACIÓN
EXPERIMENTAL TUNSHI**

Trabajo de Integración Curricular

Tipo: Proyecto de investigación

Presentado para optar al grado académico de:

INGENIERA AGRÓNOMA

AUTORA: JOHANNA PAOLA MANOBANDA MAINATO

DIRECTOR: ING. ROQUE ORLANDO GARCÍA ZANABRIA, PHD

Riobamba – Ecuador

2024

© 2024, Johanna Paola Manobanda 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, Johanna Paola Manobanda 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 autor/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, 10 de junio del 2024






Johanna Paola Manobanda Mainato

175021537-6

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 PATINAJE CONSIDERANDO LA PENDIENTE DEL SUELO EN DOS SISTEMAS DE LABRANZA PARA EL CULTIVO DE MAÍZ (*Zea mays* L.) EN LA ESTACIÓN EXPERIMENTAL TUNSHI**, realizado por la señorita: **JOHANNA PAOLA MANOBANDA 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		2024-06-10
Ing. Roque Orlando García Zanabria, PhD. DIRECTOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-10
Ing. Hernán Eriberto Chamorro Sevilla, MSc. ASESOR DEL TRABAJO DE INTEGRACIÓN CURRICULAR		2024-06-10

DEDICATORIA

A mis padres, Elvia y Apolo, por su amor incondicional, apoyo y sacrificio a lo largo de mi vida. Gracias por enseñarme el valor del esfuerzo, la perseverancia y la honestidad. Este logro es tanto suyo como mío. A mis hermanas, Samantha y Estefania, por creer en mí y ser una fuente constante de inspiración y motivación. A mi pareja Wilmer por su comprensión, paciencia y por estar siempre a mi lado, brindándome apoyo y motivación en cada paso del camino. A mis amigos, Steven, Cesar, Alex y Héctor por su compañía, consejos y momentos compartidos que hicieron este camino más llevadero. Finalmente, dedico este trabajo a todos aquellos que, de alguna manera, han contribuido a mi crecimiento personal y académico. Gracias por ser parte de mi vida y por ayudarme a alcanzar este sueño.

Johanna

AGRADECIMIENTO

A Dios por brindarme salud y vida para poder culminar mis estudios y cumplir con mi sueño, además de la sabiduría y perseverancia a lo largo del camino. De la misma manera, agradezco a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Facultad de Recursos Naturales, Escuela de Agronomía por haberme formado como una profesional, de la misma forma agradezco a mi director de Tesis Ing. Roque García ya que gracias a sus consejos, conocimientos y correcciones hoy en día tengo la dicha de culminar con el presente trabajo, también agradezco al Ing. Hernán Chamorro por darme su voto de confianza y al trabajar todos juntos logramos el objetivo propuesto. A todos mis profesores por compartir sus conocimientos y formarme como persona y a la vez como una profesional. A mis amigos que hoy se convierten en colegas, con aquellos que compartí muchos momentos únicos dentro y fuera de las aulas, gracias por todo su apoyo.

Johanna

ÍNDICE DE CONTENIDO

ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	xi
ÍNDICE DE ANEXOS.....	xii
RESUMEN.....	xiii
SUMMARY / ABSTRACT.....	xiv
INTRODUCCIÓN.....	1

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN.....	2
1.1 Planteamiento del problema.....	2
1.2 Objetivos.....	2
1.3 Justificación.....	2
1.4 Hipótesis.....	3

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL.....	4
2.1 Patinaje del tractor agrícola.....	4
2.2 Determinación del patinaje.....	4
2.2.1 <i>Factores del patinaje</i>	5
2.3 Pendiente.....	5
2.4 Tecnología de la Información Geográfica (TIG).....	6
2.4.1 <i>Teledetección</i>	6
2.4.2 <i>Global Navigation Satellite System (GNSS)</i>	6
2.4.3 <i>Cartografía</i>	7
2.4.4 <i>Fotogrametría</i>	7
2.4.5 <i>Sistema de Información Geográfica (SIG)</i>	7
2.4.6 <i>Georreferenciación</i>	8
2.4.7 <i>Geolocalización</i>	8
2.4.8 <i>Sistema de Posicionamiento Global (GPS)</i>	8
2.4.9 <i>Digitalización</i>	9
2.4.10 <i>Planimetría</i>	9
2.4.11 <i>Método Kriging</i>	10
2.4.12 <i>Mapa edafológico</i>	11

2.4.13	<i>Mapas de superficie</i>	11
2.4.14	<i>Ortofoto</i>	12
2.5	Sistemas de labranza	13
2.5.1	<i>Labranza convencional</i>	13
2.5.2	<i>Labranza mínima</i>	14
2.6	Cultivo de maíz (<i>Zea mays</i> L.)	15
2.6.1	Preparación del terreno	15
2.6.2	Propiedades físicas del suelo	16

CAPÍTULO III

3.	MARCO METODOLÓGICO	23
3.1	Características del lugar	23
3.1.1	<i>Localización</i>	23
3.1.2	<i>Ubicación geográfica</i>	23
3.1.3	<i>Condiciones Climáticas</i>	24
3.2	Materiales y equipos	24
3.2.1	<i>Materiales de oficina</i>	24
3.2.2	<i>Materiales de campo</i>	24
3.2.3	<i>Equipos de campo</i>	24
3.2.4	<i>Materiales de laboratorio</i>	25
3.2.5	<i>Equipos de laboratorio</i>	25
3.3	Especificaciones del diseño experimental	25
3.3.1	<i>Unidad experimental</i>	25
3.3.2	<i>Especificaciones del diseño experimental</i>	25
3.4	Factores y tratamientos en estudio	26
3.4.1	<i>Factor A</i>	26
3.4.2	<i>Factor B</i>	26
3.4.3	<i>Tratamientos en estudio</i>	26
3.5	Metodología	26
3.5.1	<i>Geolocalización</i>	26
3.5.2	<i>Muestreo de campo</i>	27
3.5.3	<i>Textura</i>	27
3.5.4	<i>Humedad</i>	27
3.5.5	<i>Densidad aparente</i>	28
3.5.6	<i>Densidad real</i>	28

3.5.7	<i>Porosidad</i>	29
3.5.8	<i>Velocidad de infiltración</i>	29
3.5.9	<i>Resistencia al corte</i>	29
3.6	Cálculo de la pendiente	30
3.6.1	<i>Cálculo del porcentaje del patinaje</i>	30
3.7	Determinación de costos en los dos sistemas de labranza en suelos con diferentes pendientes	30

CAPÍTULO IV

4.	MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	31
4.1	Procesamiento de los resultados, análisis e interpretación de resultados	31
4.1.1	<i>Mapa de ubicación de la zona de estudio</i>	31
4.1.2	<i>Análisis de las propiedades físicas del suelo</i>	31
4.1.3	<i>Porcentaje de patinaje</i>	36
4.1.4	<i>Determinación de los costos de operación</i>	38
4.2	Discusión	39
4.2.1	<i>Análisis de las propiedades físicas del suelo</i>	40
4.2.2	<i>Porcentaje de patinaje</i>	43
4.2.3	<i>Costos de operación</i>	43
4.3	Comprobación de la hipótesis	44

CAPÍTULO V

5.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	45
5.1	Conclusiones	45
5.2	Recomendaciones	45

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2-1: Velocidad de infiltración de acuerdo a la textura del suelo.....	18
Tabla 2-2: Rango de densidad aparente de acuerdo a la textura del suelo.....	20
Tabla 2-3: Rango de porosidad de acuerdo a la textura del suelo.....	21
Tabla 3-1: Tratamientos en estudio.....	26
Tabla 4-1: Análisis físico del suelo realizados en el laboratorio	31
Tabla 4-2: Anova de análisis de varianza del porcentaje de humedad.....	32
Tabla 4-3: Anova de densidad aparente	33
Tabla 4-4: Análisis de varianza de densidad real.....	33
Tabla 4-5: Análisis de varianza para porcentaje de porosidad.....	34
Tabla 4-6: Análisis de varianza para la Velocidad de infiltración	34
Tabla 4-7: Análisis de varianza de resistencia al corte	35
Tabla 4-8: Análisis de la Varianza para el porcentaje de patinaje	36
Tabla 4-9: Prueba de DMS al 5% para porcentaje de patinaje en función de la pendiente	38
Tabla 4-10: Costos de operación de los sistemas de labranza con pendientes distintas	38

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Ilustración 2-1 Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA	17
Ilustración 3-1: Ubicación del área a estudiar	23
Ilustración 4-1: Mapa de ubicación de la zona a estudiar	31
Ilustración 4-2: Resistencia al corte con respecto al sistema de labranza	35
Ilustración 4-3: Prueba de DMS al 5% para porcentaje de patinaje en función de la	36
Ilustración 4-4: Prueba de DMS al 5% para porcentaje de patinaje en función del sistema	37
Ilustración 4-5: Porcentaje de patinaje en función de la interacción de sistema de	37
Ilustración 4-6: Costos de operación	39
Ilustración 4-7: Geolocalización y muestreo del área de estudio en Tunshi-ESPOCH.....	40

ÍNDICE DE ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS

ANEXO B: DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD

ANEXO C: DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE

ANEXO D: DETERMINACIÓN DE DENSIDAD REAL

ANEXO E: DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO

ANEXO F: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN

ANEXO G: RESISTENCIA AL CORTE

ANEXO H: ZONIFICACIÓN Y VUELO DEL DRON

RESUMEN

En la Estación experimental Tunshi localizado en la parroquia Licto, cantón Riobamba provincia de Chimborazo, no se dispone de información del efecto de patinaje en la preparación de los suelos bajo diferentes sistemas de labranza (convencional y mínima), por lo que el objetivo de la investigación fue determinar el patinaje considerando la pendiente en dos sistemas de labranza para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.), se utilizó un diseño de Bloques Completos al Azar (DBCA) en parcela dividida. En el levantamiento de la información para el mapa georeferenciado se utilizó el dron DJI AGRAS T60 y Sistema de Posicionamiento Global (GPS) Spectra Precision para la identificación del área de estudio. Para el análisis de las propiedades físicas del suelo se aplicó la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), el método de Smith se aplicó para determinar el porcentaje de patinaje, el cálculo de costos hora/tractor en la preparación del suelo se realizó en con la metodología de la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y Agricultura (FAO), a mayor pendiente en suelos tanto de textura franco limoso y franco arenoso se incrementa el porcentaje de patinaje con labranza convencional. Por lo tanto, la aplicación de labranza mínima conserva las propiedades físicas del suelo, reduce el porcentaje de patinaje, disminuye el tiempo y costo de operación en las labores de preparación del suelo para el cultivo de maíz.

Palabras clave: <PENDIENTE>, <SISTEMAS DE LABRANZA>, <LABRANZA CONVENCIONAL>, <LABRANZA MÍNIMA >, < MAÍZ (*Zea mays* L.)>.

0866-DBRA-UPT-2024

28-06-2024



ABSTRACT

The aim of the research was to determine the slope of two tillage systems for corn (*Zea mays L.*) at Tunshi experimental station, using a Randomized Complete Block Design (RCBD) in divided plots. A DJI AGRAS T60 drone and a Spectra Precision Global Positioning System (GPS) were used to identify the study area for the georeferenced map. For the analysis of soil physical properties, the United States Department of Agriculture (USDA) methodology was applied, the Smith method was applied to determine the percentage of soil slippage, the calculation of costs per hour/tractor in soil preparation was carried out with the methodology of the Food and Agriculture Organization of the United Nations (FAO), the greater the slope in soils of both silt loam and sandy loam texture, the higher the percentage of soil slippage with conventional tillage. Therefore, the application of minimum tillage preserves the physical properties of the soil, reduces the percentage of skidding, reduces the time and cost of operation in soil preparation work for corn cultivation.

Key words: <SKIDDING>, <TILLAGE SYSTEMS>, < CONVENTIONAL TILLAGE>, <MINIMUM TILLAGE>, <MAIZE (*Zea mays L.*)>.

0866-DBRA-UPT-2024

28-06-2024



Lcda. Elsa A. Basantes A. Mgs.
C.C: 0603594409

INTRODUCCIÓN

En el ámbito de la agricultura intensiva, se debe realizar una amplia gama de exigentes tareas mecánicas y de ingeniería, que requieren una cantidad sustancial de energía. Estas tareas abarcan desde el proceso de cultivo hasta el control de plagas, riego, transporte y almacenamiento de productos agrícolas. Es crucial enfatizar que estas actividades agrícolas representan una porción sustancial, que oscila entre el 29% y el 59%, del consumo total de combustible dentro de los sistemas de producción agrícola. Un ejemplo destacado de esta tecnología agrícola es el tractor, diseñado específicamente para facilitar el remolque de herramientas y equipos mediante la utilización de tracción de las ruedas, (García-Rivera et al. 2021).

El patinaje es una palabra que se usa para poder describir al momento en que una rueda empieza a girar sin lograr el avance necesario, por lo que es importante en la agricultura. Lo ideal es mantener un rango del 5 al 15%. Teniendo en cuenta que, si el patinaje es mayor al 15%, este puede llegar a tener efectos negativos en la superficie del suelo, lo que provoca un aumento en el consumo de combustible y, por lo tanto, también causa un desgaste acelerado de las ruedas del tractor. Los agricultores han utilizado algunos métodos diferentes para controlar el patinaje de las ruedas del tractor, uno de los cuales es utilizar contrapesos con neumáticos flexibles y determinar la presión de los neumáticos, (García-Rivera et al. 2021).

La influencia de la humedad del suelo, la cobertura del suelo, la profundidad de trabajo de las herramientas y la rugosidad de la superficie sobre la pendiente este también varía según el tipo de suelo cultivable, lo que requiere el desarrollo de un sistema de medición que pueda proporcionar datos precisos sobre el patinaje con diferentes pendientes, (García-Rivera et al. 2021).

En la región Sierra precisamente en la provincia de Chimborazo, se cultiva maíz blanco suave; el sistema de labranza convencional utilizado aquí puede ayudar a compactar el suelo. A su vez, esta condición puede limitar el crecimiento de las raíces y de las plantas, lo que lleva a bajos rendimientos agrícolas, en estos casos es importante explorar alternativas tecnológicas que puedan reducir la degradación de la tierra. Por lo anterior mencionado se propone abordar el tema "Determinación del patinaje considerando la pendiente del suelo en dos sistemas de labranza para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la estación experimental Tunshi".

CAPÍTULO I

1. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1 Planteamiento del problema

En la Estación experimental Tunshi-ESPOCH localizado en la parroquia Licto, cantón Riobamba provincia de Chimborazo, en la actualidad, no dispone de información acerca del efecto de patinaje en la preparación de los suelos en los diferentes sistemas de labranza (convencional y mínima) que se realiza para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) y como este influye en la relación beneficio costo.

1.2 Objetivos

Objetivo general

- Determinar el patinaje considerando la pendiente en dos sistemas de labranza para el cultivo de maíz (*Zea mays* L.) en la estación experimental Tunshi

Objetivos específicos

- Analizar las propiedades físicas del suelo para los dos sistemas de labranza
- Calcular el porcentaje de patinaje en los dos sistemas de labranza con diferentes pendientes
- Determinar los costos en los dos sistemas de labranza en suelos con diferentes pendientes.

1.3 Justificación

Considerando la importancia crucial de la mecanización en la preparación del terreno para el cultivo de maíz, se ha demostrado que en la Estación Experimental Tunshi no se dispone de información acerca del patinaje considerando la pendiente por lo que en este estudio se enfocará no solo mejora significativamente la eficiencia y productividad agrícola, sino se va contribuir en un análisis, con lo que favorece a la sostenibilidad en la agricultura y con lo que se evaluara los costos de operación en los dos sistemas de labranza con diferentes pendientes.

1.4 Hipótesis

Hipótesis Nula

- Los dos sistemas de labranza para el cultivo de maíz y la pendiente no inciden en el efecto de patinaje en la preparación del suelo para el cultivo de maíz

Hipótesis Alterna

- Al menos uno de los sistemas de labranza para el cultivo de maíz y la pendiente si incide en el efecto de patinaje en la preparación del suelo para el cultivo de maíz

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO REFERENCIAL

2.1 Patinaje del tractor agrícola

Es la acción en la que las ruedas del tractor pierden tracción y patinan sobre la superficie en la que se encuentran, esto puede ser por la existencia de alguna pendiente. Esto puede ser un problema debido a que se reduce y dificulta su capacidad para moverse o trabajar de manera eficiente, lo que afecta su rendimiento y productividad en las tareas agrícolas como en el arado, surcado, transportar cargas, entre otras actividades y por lo que genera pérdidas importantes de energía en el tractor agrícola, (García-Rivera et al. 2021).

2.2 Determinación del patinaje

Cuando el patinaje de las ruedas del tractor agrícola supera el nivel mínimo recomendado, se produce una reducción significativa en la potencia disponible. Para garantizar un rendimiento óptimo, se establece que el patinaje adecuado debe estar en un rango mínimo de entre el 8% y el 15%, dependiendo del tipo de tracción del tractor; por lo tanto, si existe un rango de 20 a 25 % o mayor a este existe pérdida de eficiencia como el del consumo excesivo de combustible y desgaste de los neumáticos, (García-Rivera et al. 2021).

Dentro del patinaje se debe elegir el apero adecuado, esto para asegurar que se encuentre dentro de este intervalo mínimo del porcentaje permitido para obtener la máxima fuerza de trabajo y que de esta manera exista un consumo adecuado de combustible, menos desgaste de los neumáticos y de esta manera evitar una compactación del suelo, (García-Rivera et al. 2021). Para determinar el patinaje del tractor agrícola, se utiliza la Ecuación (1) (Smith et al., 1994).

(1)

$$S = \frac{(Dul - Dl)}{Dul} \times 100$$

S: es el patinaje de los neumáticos (%)

Dul: distancia recorrida por los neumáticos de tracción sin carga

Dl: distancia recorrida por los neumáticos de tracción con carga

2.2.1 Factores del patinaje

El patinaje del tractor agrícola se origina debido a varios factores, como las propiedades del suelo, la sequedad, la dureza y las condiciones climáticas que dificultan el movimiento adecuado del tractor. Además, el tipo de terreno también desempeña un papel crucial, ya sea uniforme, irregular o con pendientes pronunciadas, por mencionar algunos aspectos más relevantes, (Astudillo Avila Roberto Alfonso 2020).

Entre los diferentes tipos de suelo, el arenoso es especialmente propenso al deslizamiento debido a que se pierde tracción a medida que las ruedas del tractor se hunden en busca de un nivel de suelo más estable y una mayor compactación. Por otro lado, en terrenos excesivamente húmedos, el tractor encontrará una mayor resistencia debido a que los neumáticos se ven obstaculizados por la densidad del suelo húmedo, lo que dificulta el agarre y aumenta el riesgo de patinaje, (Astudillo Avila Roberto Alfonso 2020).

2.3 Pendiente

La pendiente se la reconoce por la inclinación de un terreno en la horizontal, por lo que esta es una medida que nos va a mostrar un desnivel en una superficie que sea determinada. Teniendo en cuenta que la pendiente de un terreno que se encuentra cultivado y presenta una pendiente muy pronunciada, va a existir un riego mayor con la pérdida de suelo por la presencia de lluvia y el viento. Para la pendiente existen unidades de medición que son los grados, porcentajes o fracciones, (Ou et al. 2023).

Los tractores agrícolas experimentan fuerzas laterales al circular por pendientes, lo que dificulta seguir exactamente la trayectoria marcada. La fuerza con la que el tractor se mueve en la pendiente, para compensar el ángulo de dirección en función de la fricción y la gravedad que actúan sobre el tractor. Además, al conducir por una pendiente, la aceleración y la carga del tractor suelen cambiar con el tiempo, (Vasilyev et al. 2020).

La pendiente del terreno y el sistema de labranza tienen un impacto significativo en el patinaje del tractor agrícola. Las pendientes pronunciadas y la labranza convencional tienden a aumentar el patinaje lo que genera más consumo de combustible y desgaste de neumáticos, mientras que las prácticas de labranza de mínima pueden ayudar a mitigarlo, especialmente en terrenos inclinados, (Zeng et al. 2021).

La pendiente se la puede calcular con la siguiente Ecuación (2):

(2)

$$\text{Pendiente} = \frac{\text{distancia de alturas}}{\text{distancia horizontal}} \times 100$$

2.4 Tecnología de la Información Geográfica (TIG)

Las TIG son campo en constante expansión debido a su versatilidad y a sus amplias aplicaciones en diversos campos. Entre ellos se encuentran el medio ambiente y los recursos naturales, el ordenamiento territorial, la planificación urbana, la planificación del transporte, la gestión y planificación de servicios públicos, el geomarketing y la geolocalización con "Big Data", entre otros, (Amade, Painho, Oliveira 2018).

TIG nos brinda la posibilidad de conectar datos relevantes con una representación gráfica de cualquier lugar del planeta. Esto nos permite analizar diversos parámetros y estudiar diferentes aspectos de objetos, fenómenos o eventos que ocurren en cualquier territorio. Además, que nos brinda la oportunidad de explorar las relaciones entre estos elementos, lo que nos ayuda a comprender los patrones espaciales y tomar decisiones, (Amade, Painho, Oliveira 2018).

2.4.1 Teledetección

La teledetección se ha convertido en una herramienta fundamental para encontrar información sobre paisajes terrestres a escala global y local, el uso de datos obtenidos por teledetección ayuda a realizar inventarios en áreas como: cálculo de cosecha, inventario forestal, los temas de contaminación del agua, aire y suelo, entre otros, permiten a los gestores ambientales medir, evaluar y controlar los recursos naturales para planificar adecuadamente las actividades. El equilibrio entre economía y desarrollo sostenible se mantiene a través de la protección y el cuidado del medio ambiente, (López Cristián 2019).

2.4.2 Global Navigation Satellite System (GNSS)

Es un sistema que otorga conocer en todo instante y en cualquier sitio del globo terráqueo la localización precisa de detallado punto con un margen de error del orden de unos pocos metros o menos. Para lo cual, se basa en el envío de señales entre un punto de conexión o dispositivo colocado en algún punto en concreto y una red de satélites, consiguiendo establecerse la posición exacta mediante las características de dicha transmisión, (Segura Bermeo 2019).

El sistema GNSS es compatible con todos los sistemas de navegación por satélite y consta de 21 a 30 satélites que transmiten señales desde el espacio. El receptor utiliza estos datos para determinar continuamente la ubicación, independientemente del número de usuarios o de las condiciones atmosféricas. GNSS proporciona cobertura global y opera en la banda L del espectro de radiofrecuencia. Actualmente, los sistemas GNSS más conocidos incluyen el GPS de EE.UU., GLONASS de la Federación Rusa y GALILEO de la contribución de la Unión Europea al desarrollo de los GNSS, (Segura Bermeo 2019).

2.4.3 Cartografía

El uso de mapas digitales ha aumentado en los últimos años debido a los avances en los análisis de datos y de la inteligencia artificial, esto ha hecho más fácil el proceso de recopilación y análisis de una variedad de datos relacionados con temas específicos. Por lo que el resultado, se puede crear mapas geográficos y estéticos completos y con alta precisión para una amplia gama de campos de conocimiento. Esto es sobre todo importante para crear mapas geográficos que brinden detalles complejos sobre las características del terreno como la topografía, la densidad de la vegetación, las fuentes de agua y otros caracteres naturales, (Cascón-Katchadourian, Alberich-Pascual 2021).

2.4.4 Fotogrametría

La fotogrametría es la disciplina de medición e interpretación confiable de imágenes aeronáuticas y satelitales para obtener las características métricas y geométricas (tamaño, forma y posición) de un área u objeto. Tomar imágenes secuenciales con áreas superpuestas crea un efecto tridimensional (3D), lo que la convierte en una herramienta ideal para capturar imágenes en el campo. El campo de la fotogrametría es tradicionalmente el campo que crea datos catastrales básicos y actualmente proporciona información básica para la toma de decisiones sobre diversos temas, (Palacios Orejuela 2023).

2.4.5 Sistema de Información Geográfica (SIG)

Un SIG es un sistema utilizado para describir y clasificar terrenos y otras áreas geográficas, su propósito es representar y analizar información referenciada geográficamente. Este trabajo se lo realiza principalmente por medio de mapas. El propósito de los SIG es crear, compartir y utilizar productos de información útiles basados en mapas para respaldar el trabajo de una organización, que se encarga de gestionar información geográfica relacionada, (Lü et al. 2019)

Las capas, que son colecciones lógicas de información geográfica, se utilizan para la creación de mapas; forman una metáfora eficaz para modelar y organizar información geográfica como capas temáticas. Además, los mapas SIG interactivo es la principal interfaz de usuario para trabajar con información geográfica, incluso presentan funciones únicas para gestionar datos georreferenciados y un conjunto de técnicas para manipular esos datos, (Aragón et al. 2020).

2.4.6 Georreferenciación

La georreferenciación es el proceso de determinar la ubicación de un elemento en un sistema de coordenadas espaciales distinto del sistema de coordenadas que ocupaba originalmente; Hay dos sistemas de coordenadas: sistema de salida y sistema de destino, este proceso implica establecer relaciones posicionales entre elementos espaciales en dos sistemas, haciendo inferencias consistentemente desde posiciones conocidas en un sistema hasta sus posiciones correspondientes a otros sistema. También se utiliza en sistemas de información geográfica (SIG) con el fin de vincular datos vectoriales e imágenes rasterizadas con proyecciones de mapas, sistemas de referencia geodésicos o distorsiones geométricas, (Ricardo Celi et al. 2023).

2.4.7 Geolocalización

Este término o palabra indica que este método es un proceso para determinar la localización y también registra la posición tanto física o geográfica de una persona, objeto inclusive de dispositivos o evento, esto a través de diversas tecnologías una de ellas conocida como Sistema de Posicionamiento Global (GPS). En sí este proceso puede abordar varios enfoques de los cuales se menciona a continuación: análisis de datos geoespaciales, evaluación de tecnologías de posicionamiento, entre otras, (Redmond Shamshiri 2019)

En el área de investigación para la agricultura puede abordar numerosos temas, como el seguimiento y mapeo de cultivos, el manejo eficiente de recursos agrícolas, la optimización de rutas de maquinaria agrícola, la elección de decisiones basada en datos geoespaciales, la monitorización de condiciones del suelo, y la evaluación de variables climáticas en relación con las prácticas agrícolas, (Perez-Ruiz, Martínez-Guanter, Upadhyaya 2021)

2.4.8 Sistema de Posicionamiento Global (GPS)

El GPS es un sistema de navegación por satélite que nos ayuda a saber dónde estamos y a qué velocidad nos estamos moviendo en cualquier parte del mundo, siempre que tengamos una vista clara de al menos cuatro satélites. Este sistema funciona gracias a la red de satélites que orbita

entorno a la Tierra, mientras que el GPS puede calcular la distancia entre cada uno de los satélites y el receptor midiendo el tiempo que toma la señal para llegar desde los satélites al receptor. Usando esta información de varios satélites, el receptor GPS puede determinar con precisión su ubicación en términos de longitud, latitud y altitud, (Caicedo 2020).

El uso de GPS en agricultura aumenta la eficiencia de la gestión agrícola, con la capacidad de aplicar con precisión los insumos agrícolas, ayudando a los agricultores a reducir el desperdicio, minimizar los costos y optimizar el rendimiento de los cultivos. Las capacidades de mapeo y monitoreo también brindan a los agricultores datos detallados sobre la salud de los cultivos, lo que les permite tomar decisiones informadas sobre planificación y gestión de la tierra, (Caicedo 2020).

2.4.9 Digitalización

Es el proceso de convertir información analógica o procesos no digitales en formato digital, que consiste en representar datos, señales, imágenes o cualquier otra forma de información en términos de dígitos para su almacenamiento, procesamiento, transmisión y manipulación mediante sistemas informáticos. En contexto, la digitalización también se refiere a la transformación de diferentes aspectos de la sociedad, la economía y las operaciones mediante la adopción y el uso extensivo de tecnologías digitales, (Fountas et al. 2020).

Esto incluye la automatización de procesos, el uso de datos electrónicos, la conectividad a través de redes digitales, y la aplicación de soluciones tecnológicas para mejorar la eficiencia y la accesibilidad a la información en diversos ámbitos, como la industria de los diferentes ámbitos, la educación, la salud, la agricultura y muchos otros sectores de los cuales se necesitan de la digitalización, (Fountas et al. 2020).

2.4.10 Planimetría

La planimetría consiste en la determinación y geolocalización de la cobertura terrestre pero sin tener en cuenta las variaciones de elevación, se puede decir que se enfoca en descripción y representación geométrica e incluso en la distribución espacial y por lo tanto en las características de un plano sin tener en cuenta las elevaciones o altitudes, lo que involucra la elaboración de mapas, diagramas y planos que van a representar la distribución de tanto de edificaciones, carreteras, cuerpos de agua entre otros. Teniendo en cuenta que la planimetría es importante en otras disciplinas, como la cartografía, la arquitectura, la ingeniería civil, la agricultura, (Chapa Saenz 2023)

En la agricultura la planimetría se la puede incluir en la realización de mapas, plano y en diagramas, debido a que van a mostrar la distribución parcelaria, cultivos, infraestructura agrícola, agua, entre otros que son de interés para el área agrícola. Teniendo en cuenta que es una herramienta de importancia para la planificación y de gestión para la agrícola, por lo que proporciona información detallada acerca de la disposición espacial de los recursos y por lo tanto facilita la toma de decisiones con la producción y el uso del suelo, (Chapa Saenz 2023).

2.4.11 Método Kriging

La interpolación espacial es una técnica utilizada para pronosticar datos desconocidos en lugares inexplorados de un espacio geográfica. Funciona analizando cómo se distribuyen los datos que tenemos y luego usando modelos matemáticos para estimarlos. La idea principal es que la relación entre los puntos de muestreo se mantenga constante en toda el área de estudio, lo que es el llamado principio de estacionariedad. La geoestadística es una teoría utilizada para comprender y predecir cómo los datos se relacionan espacialmente en un proceso, (Ryu et al. 2020).

Se lo utiliza para calcular varios factores agronómicos como la fertilidad del suelo, el contenido de nutrientes, el rendimiento de los cultivos, entre otros factores. Estas estimaciones son esenciales para tomar decisiones acerca de la gestión de los cultivos, la planificación de la fertilización, inclusive con la elección de variedades apropiadas y para mejorar las prácticas agrícolas, (Hilal et al. 2024).

El proceso de implementación del método inicia con la recopilación de datos en campo, que pueden incluir mediciones de parámetros como la textura del suelo, el pH, la concentración de nutrientes y el rendimiento de los cultivos en ubicaciones conocidas. Estos datos se utilizan para construir un modelo de correlación espacial que describe cómo varían las variables agrícolas a medida que se alejan de los puntos de muestreo, (Hilal et al. 2024).

Los gráficos de covarianza o semivariogramas se utilizan para analizar la estructura de correlación espacial. Estos gráficos muestran la relación entre la distancia entre los puntos y la similitud de los valores, estos gráficos van a facilitar la determinación de la escala de la correlación espacial y la selección del modelo matemático más apropiado para representar los datos. Este método se utiliza para realizar estimaciones en ubicaciones no muestreadas dentro del área de cultivo después de ajustar el modelo de correlación espacial, (Vargas Diaz et al. 2023).

En agricultura, el método Kriging crea mapas o superficies continuas que representan estimaciones de las variables agrícolas en todo el campo; estos mapas ayudan a los agricultores a

la toma de decisiones informadas sobre la gestión de sus cultivos porque permiten visualizar la variabilidad espacial de los parámetros agronómicos. Incluso este método no solo proporciona estimaciones puntuales, sino también información sobre la incertidumbre asociada con las estimaciones, lo que ayuda a evaluar la confiabilidad de los resultados, (Vargas Diaz et al. 2023).

2.4.12 Mapa edafológico

Es una representación cartográfica que muestra la distribución y características de los diferentes tipos de suelos en una determinada área geográfica. Este tipo de mapa proporciona información detallada sobre las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo en un territorio específico. El objetivo principal es identificar y clasificar los diferentes tipos de suelos presentes en una región, mostrando su distribución espacial. Se realiza un estudio completo del suelo en el área de interés para crear un mapa edafológico, mientras que los datos que se recopilan por medio del muestreo y análisis de muestras de suelo tomadas de manera sistemática en varios lugares de la región, (Adeniyi, Bature, Mearker 2024).

Los datos que se obtienen se los utilizan para determinar los suelos en labor de sus propiedades físicas, que son: la textura, estructura y porosidad, entre otros. Así como de sus propiedades químicas, que incluyen el pH, la retención de nutrientes y la presencia de toxinas. Estos análisis son necesarios para conocer el estado del suelo. Incluso se consideran aspectos biológicos, como la presencia de microorganismos y la actividad de la fauna edáfica. Usando las técnicas de cartografía y georreferenciación, con lo recopilado se representa en un mapa, donde se diferencian y delimitan las áreas correspondientes a cada tipo de suelo identificado. Los diferentes tipos de suelos se suelen representar mediante símbolos o colores distintivos, lo que permite una fácil interpretación y comprensión de la información, (Dornik et al. 2022).

Los mapas edafológicos son útiles para generar planteamientos y de gestión del territorio, especialmente en las actividades agrícolas, forestales y por lo tanto también de conservación del medio ambiente. Por lo que proveen información vital para la gestión sostenible de los recursos naturales, la toma de decisiones acerca de diversos proyectos de desarrollo rural y para la selección de cultivos y de prácticas agrícolas adecuadas, (Dornik et al. 2022).

2.4.13 Mapas de superficie

Una presentación cartográfica que muestra las características y detalles de la superficie de la Tierra, ya sea a nivel global, regional o local, se conoce como mapa de superficie, por lo que con

estos mapas se enfocan en representar aspectos de la superficie de la Tierra como la elevación, la topografía y la topografía. La fotogrametría, la teledetección, la interferometría de radar y el GPS son algunas de las técnicas más utilizadas, por lo tanto, estas técnicas determinan la forma y la elevación del terreno, que se traza en un mapa, (Zhang et al. 2020).

Estos mapas se pueden presentar en una variedad de formatos, incluidos mapas topográficos, curvas de nivel, relieve sombreado y modelos digitales del terreno (MDT), que son útiles para una variedad de aplicaciones, incluida la planificación urbana, la gestión de recursos naturales y la ingeniería civil. Las líneas de contorno, que representan cambios en la elevación, puntos de referencia, masas de agua, carreteras y otras características geográficas relacionadas, son elementos comunes que se pueden encontrar, (Zhang et al. 2020).

2.4.14 Ortofoto

La ortofoto es una imagen aérea o satelital que se procesa para eliminar ciertas distorsiones causadas por la tierra y la perspectiva de la cámara, lo que significa que la imagen representa una vista vertical verdadera de la tierra como se vería desde un plano perpendicular a ella. Para aplicaciones como la cartografía, la planificación urbana, la agricultura, la gestión de recursos naturales y otras que requieren información precisa sobre la disposición espacial de los objetos, la ortofotografía es una herramienta valiosa, (NÁJERA 2021).

Para la obtención de ortofotos se toman imágenes aéreas o satelitales desde diferentes ángulos y elevaciones luego, estas imágenes se procesan utilizando técnicas fotogramétricas para corregir distorsiones y crear imágenes topográficas planas y precisas, la precisión de una ortofoto depende de la calidad de la imagen original, la técnica de procesamiento utilizada y la escala de la imagen, (NÁJERA 2021).

Esta herramienta es básica en la agricultura moderna debido a que esta tecnología permite a los agricultores comprender detalles sobre sus cultivos, identificar problemas potenciales y tomar decisiones informadas para aumentar la productividad y la eficacia. En la agricultura, se puede usar para planificar los cultivos que el agricultor vaya a sembrar, monitorear el crecimiento de los cultivos, detectar plagas, administrar el riego y evaluar la salud del suelo. Las ortofotos permiten a los agricultores identificar áreas problemáticas, optimizar la distribución de insumos y aumentar los rendimientos al proporcionar una vista aérea precisa y detallada, (NÁJERA 2021).

2.5 Sistemas de labranza

El término "sistemas de labranza" se refiere a las técnicas y prácticas agrícolas utilizadas para preparar el suelo antes de sembrar cultivos, por lo que son necesarios para crear un entorno favorable para el crecimiento de las plantas, la labranza implica una serie de operaciones como romper, arar, mezclar y nivelar el suelo. Esto puede variar según la región, el tipo de cultivo, la disponibilidad de maquinaria y otros factores pueden afectar estos sistemas, (Chaves, Rojas y Mora 2019, pag. 5).

Dependiendo de los objetivos del agricultor y las condiciones locales, los sistemas de labranza pueden ser convencionales o mínima que son más prácticas sostenibles y ecológicas, por lo que la conservación del suelo, la eficiencia del agua, la calidad del suelo y la productividad de los cultivos son algunos de los factores que pueden verse afectados por la elección de un sistema de labranza adecuado, (Chaves, Rojas y Mora 2019, pag. 5).

2.5.1 Labranza convencional

El método convencional para la preparación del suelo en la agricultura se conoce como labranza convencional. Es un método que implica una serie de operaciones mecánicas para preparar el suelo antes de sembrar los cultivos. Este método se ha utilizado comúnmente en la agricultura durante mucho tiempo y todavía prevalece en muchas partes del mundo, (Herrera Quito 2022).

Esto implica la labranza primaria con un arado de disco, generalmente una o dos pasadas, seguidas de la labranza secundaria con una grada, generalmente dos o tres pasadas, y una pasada final con una pulidora. El objetivo es aflojar y remover la tierra, volteando el prisma del suelo mediante un arado, rastra u otras herramientas. Sin embargo, este trabajo intensivo puede provocar la compactación del suelo, provocando degradación y pérdidas de hasta 10 toneladas/año, (Jacto 2023).

2.5.1.1 Aperos

Las herramientas agrícolas, también llamadas implementos, son necesarias para realizar tareas como desbroce, arado, excavación, preparación y acondicionamiento del suelo; mover, cargar y transportar materiales; sembrar, regar, fertilizar, limpiar y cuidar; podar, segar, cosechar y cosechar; trillar, cribar, cribar, secar y moler, entre muchas otras tareas. No se debe confundir la maquinaria agrícola, que suele presentar una gran complejidad técnica, (Ferrer García 2019).

- **Arado de discos:** es un implemento para las labores agrícolas primarias, esta herramienta se encarga de romper y voltear el suelo esto para que permita el establecimiento del cultivo; este funciona en base al peso, por lo que es aconsejable para el uso en terrenos donde existan raíces de árboles, vegetación abundante, terrenos duros e incluso rocoso. Este tipo de arado tiene la ventaja de andar sobre obstáculos, (Herrera Quito 2022).
- **Rastra de discos:** implemento de alto rendimiento pensado para la preparación de terrenos agrícolas La rastra se utiliza después del arado para nivelar el suelo y romper los terrones. Ayuda a crear una superficie uniforme para la siembra. Las rastras pueden tener dientes o discos que giran para desmenuzar y nivelar el suelo, (Herrera Quito 2022).
- **Surcada:** el surcador es una herramienta especializada en crear surcos en terrenos que se encuentran previamente trabajados, esto incluye en trazar surcos paralelos en una parcela o lote a una misma distancia donde se colocan las semillas o material vegetativo, así como crear canales reducidos para el riego, pequeñas zanjas para drenaje, (Cherlinka 2022).

2.5.2 *Labranza mínima*

El acto de preparar el suelo para la siembra de cultivos implica una mínima manipulación del terreno. La labranza mínima, también conocida como "labranza reducida" o "labranza superficial," se reducen al mínimo las operaciones de labranza y perturbación del suelo con el objetivo de conservar la estructura del suelo, reducir la erosión y mejorar la sostenibilidad agrícola. En lugar de utilizar arados y rastras intensivas, se utilizan implementos más ligeros y menos invasivos para preparar el suelo antes de sembrar, (Cherlinka 2022).

Cuando existen mínimas restricciones de factores físico-químicos y biológicos, es recomendable emplear un sistema que combine métodos de labranza primaria con técnicas únicas de siembra. Este sistema está diseñado para disminuir o eliminar por completo las operaciones de labranza secundaria. El proceso es de rectificación y requiere la utilización de herramientas agrícolas que tengan componentes integrados. Después de recoger una cosecha, se recomienda dejar restos de la cosecha anterior. Se aconseja dejar un mínimo del 30% de los residuos del cultivo en el campo, (Chaves, Rojas y Mora 2019, p. 25-27).

2.5.2.1 *Aperos*

- **Arado:** este implemento de labor primaria permite que se rompa el suelo para que permita el establecimiento de un cultivo, también ayuda a tener una mejor aireación y circulación del agua de lluvia hacia capas más profundas, por lo que es considerada una labor conservacionista esto es debido a que se puede trabajar el suelo sin invertirlo, (Chaves, Rojas y Mora 2019, p. 47).
- **Sembradora:** Las sembradoras se utilizan en sistemas de labranza mínima o labranza cero. Estas máquinas colocan las semillas directamente en la superficie del suelo sin necesidad de arar. Tienen abridores que crean una ranura en el suelo para depositar las semillas y luego cierran la ranura, asegurando un buen contacto entre las semillas y el suelo, (Agronet 2021).

2.6 **Cultivo de maíz (*Zea mays* L.)**

El maíz es el principal cultivo de transición que se cultiva en el Ecuador en el 2021, la superficie sembrada con este grano es de 355.000 hectáreas, la producción esperada es de 1,38 millones de toneladas, de las cuales entre 78 y 80% de maíz duro y entre 20 y 22% de maíz blando, el maíz duro amarillo, especialmente el maíz híbrido, se cultiva en las regiones costeras y amazónicas con un rendimiento promedio de 4,64 toneladas ha-1. En la Sierra se cultivan principalmente variedades de maíz de polinización libre, de grano blando o harinoso, con un rendimiento promedio de 0,82 t ha-1, (Zambrano Mendoza y Caviedes 2022).

Para reducir el impacto de estos problemas se está desarrollando material genético y variedades agrícolamente viables y se realizan investigaciones para incrementar la producción de piensos, con el uso de biofertilizantes, acolchado plástico, riego entre otros, con el objetivo de mejorar la agricultura sostenible, logrando eficiencia en la producción de este cultivo, el cual es importante para su consumo en la preparación de diversos platos, (Zambrano Mendoza y Caviedes 2022).

2.6.1 *Preparación del terreno*

La preparación del suelo es el paso previo a la plantación del cultivo, por lo que se debe arar el terreno con rastra para que el suelo quede suelto y sea capaz de absorber agua sin encharcarse, el objetivo es hacer que el suelo sea poroso, especialmente la capa superficial donde se plantarán las semillas. Los trabajos también se realizan con arados de vertedera con una profundidad de trabajo

de 30 a 40 cm. durante la preparación del suelo, éste debe estar libre de residuos vegetales, (INIAP y KOPIA 2021, p. 33-34).

- **Arado:** haga esto dos meses antes de sembrar, dejando suficiente tiempo para que las malezas y los restos vegetales se descompongan. Se puede realizar mediante tractor, equipo o manualmente. Los tractores son especialmente adecuados para terrenos accidentados, mientras que las torres de nubes se utilizan para terrenos en barbecho o de descanso se realizan 2 aradas con una profundidad de aproximadamente 30 cm, (INIAP y KOPIA 2021b, p. 33).

En terrenos con una pendiente mayor al 15%, el arado debe ser perpendicular a la pendiente, esto evitará que el agua de lluvia penetre en el suelo. El arado es importante para eliminar las larvas y pupas de insectos como las larvas blancas y evitar que las plagas sean persistentes, (INIAP y KOPIA 2021, pag. 33-34).

- **Rastra:** Generalmente se lleva a cabo con un tractor y su objetivo es romper grandes terrones de tierra, eliminar los rastros y nivelar la superficie del suelo o cama, (Chaves, Rojas y Mora 2019, pag. 27).
- **Abonado:** se debe realizar durante el laboreo y la dosis es de 5 toneladas/ha. Esto mejora las condiciones físicas, químicas y biológicas del suelo, favoreciendo la acción de los fertilizantes químicos. Los fertilizantes orgánicos (estiércol de ganado y aves de corral, residuos de cultivos) deben descomponerse completamente antes de su aplicación, (INIAP y KOPIA 2021, p.43).

2.6.2 Propiedades físicas del suelo

2.6.2.1 Textura

La textura del suelo se refiere a la composición de partículas de diferentes tamaños, incluidas arena, limo y arcilla; esta tiene un papel crucial en la determinación de laborar el suelo, la capacidad de retención de agua y aire, así como la velocidad a la que el agua puede infiltrarse y moverse a través de él. Para evaluar la textura de una muestra de suelo, el suelo más fino (partículas de menos de 2 mm) debe separarse de las partículas más grandes, como grava y piedras. El suelo fino es una combinación de arena, limo y arcilla, (FAO 2023).

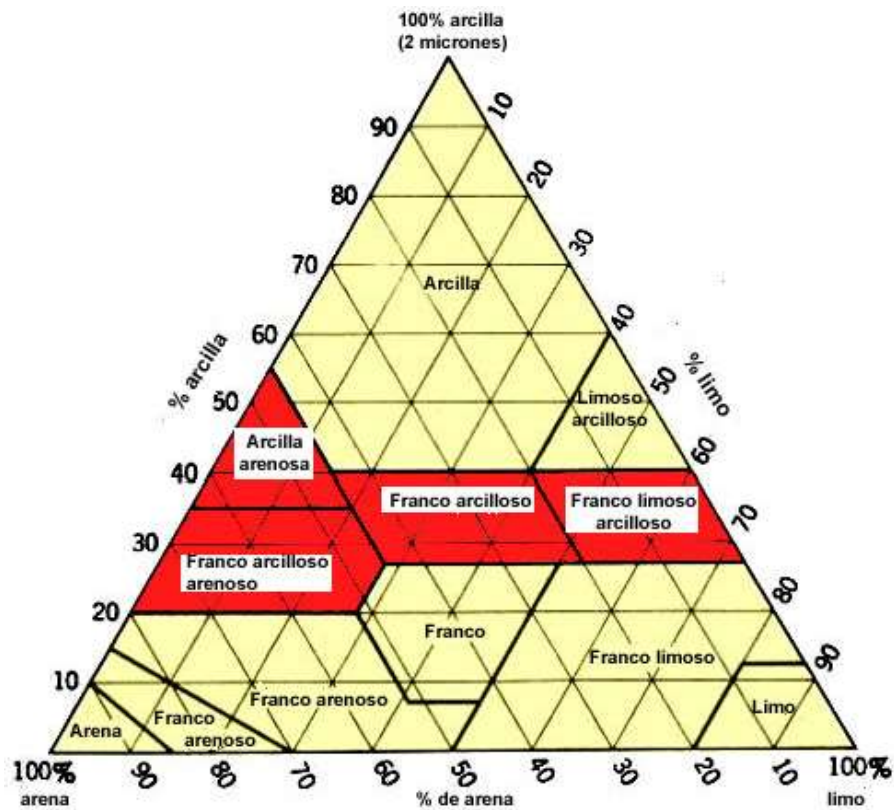


Ilustración 2-1 Diagrama triangular de las clases texturales básicas del suelo según el tamaño de las partículas, de acuerdo con el USDA

Fuente: (FAO, 2023)

El cultivo de maíz se adapta bien a cualquier tipo de suelo, que puede variar desde arenoso hasta arcilloso pesado, pero presenta un mejor desarrollo en suelos de textura intermedia, desde franca hasta franca arcillosa. El suelo para el cultivo del maíz debe tener buen drenaje, evitar encharcamientos que asfixien las raíces y estar bien aireado, debido a que es uno de los cultivos que menos tolera la baja difusión del aire en el suelo, (INFOAGRO 2024).

2.6.2.2 Humedad

La humedad del suelo es una medida de la cantidad de agua contenida en una cantidad específica de suelo, este puede expresarse como porcentaje de peso o volumen de agua, o pulgadas de agua por pie de suelo. Esta medición está influenciada por la composición del suelo, especialmente el tipo y cantidad de arcilla y la proporción de materia orgánica (MO) presente en el suelo. Los suelos con mayor contenido de arcilla y/o OM tienen una mayor capacidad de retención de agua, por tanto, los suelos arenosos tienden a alcanzar la saturación más rápidamente que los suelos arcillosos, (INTAGRI, 2018).

El rango de humedad del suelo ideal para el maíz varía a lo largo de su ciclo de crecimiento. En general, el maíz prospera en niveles de humedad del suelo entre el 60 y el 80 % de la capacidad de campo durante las etapas de crecimiento y en niveles de humedad ideales:

- Germinación y emergencia: mientras pasé el período crítico, logré alcanzar entre el 80 y el 90 % de la capacidad de campo. La humedad apropiada es importante para una germinación exitosa de las plántulas.
- Crecimiento de las plantas: en esta etapa se requiere temperaturas de campo entre 60 y 80%. El exceso de humedad puede causar enfermedades.
- Floración y polinización: aquí la capacidad de campo puede variar entre 70 y 80%. El estrés hídrico durante este período puede afectar significativamente la productividad.
- Llenado de grano: a lo largo del desarrollo del grano, el rango ideal del 60-70%. La humedad excesiva puede provocar la pudrición de la mazorca, (Núñez-Ramírez et al. 2020).

2.6.2.3 Infiltración

La infiltración es el proceso es cuando el agua de la superficie de la tierra se filtra hacia el suelo, se le conoce como infiltración, en la ciencia del suelo, la tasa de infiltración es una medida de la velocidad a la que el suelo puede absorber la lluvia o el riego. La tasa reducida produce la saturación del suelo, si la tasa de lluvia excede la tasa de infiltración, se puede producir la escorrentía a salvo que exista una barrera física presente. Esto se encuentra relacionado con la conductividad hidráulica saturada del suelo cerca de la superficie, la tasa de permeación se puede medir con un infiltrometro, (Saturnino, Yader Delgado Dallatorre y Manuel 2018).

Tabla 2-1: Velocidad de infiltración de acuerdo a la textura del suelo.

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

Fuente: (Delgadillo y Pérez, 2016 pág.6)

Una infiltración adecuada garantiza que las raíces del maíz tengan acceso al agua que necesitan para crecer, mientras que una infiltración rápida ayuda a prevenir la saturación del suelo, que puede dañar las raíces y causar enfermedades. La tasa de infiltración adecuada para el cultivo de

maíz generalmente se considera entre 5 y 50 mm/h, aunque este rango puede variar dependiendo de las condiciones específicas del campo, (Salazar Carranza et al. 2023)

2.6.2.4 Densidad real (*Dr*)

La retención de agua, la aireación del suelo y la penetración de las raíces pueden verse afectadas por una mayor compactación del suelo cuando hay una mayor densidad real por lo que esta es una medida crucial para comprender la salud y la calidad del suelo. La densidad real del suelo es la cantidad de sólidos presentes en una unidad de volumen del suelo, excluyendo los poros. Se expresa generalmente en unidades de masa por volumen, como gramos por centímetro cúbico o kilogramos por metro cúbico, (FAO 2023).

Efectos de densidad real:

- Baja densidad (< 1,55 g/cm³):
 - Suelo compactado.
 - Dificultad en la penetración radicular.
 - Absorción reducida de agua y nutrientes.
 - Crecimiento vegetal reducido.

- Densidad alta (> 1.55 g/cm³):
 - Suelo compactado.
 - Dificultad para la penetración de las raíces.
 - Reducción de la absorción de agua y nutrientes.
 - Disminución del crecimiento de las plantas, (Novillo Espinoza et al. 2018).

Para el cultivo de maíz el rango adecuado para un mejor desarrollo es del 1,2 a 1,6 g/cm³, aunque estos valores pueden variar dependiendo de factores como el tipo de suelo, textura, estructura y calidad del suelo compactado, los valores de densidad neta más altos indican una mayor compactación del suelo, lo que puede limitar la circulación del aire, el drenaje y la penetración de las raíces, por otro lado, densidades prácticas más bajas pueden promover la aireación del suelo y el crecimiento de las raíces, pero densidades demasiado bajas pueden provocar una falta de soporte para las plantas y aumentar la erosión del suelo, (Novillo Espinoza et al. 2018).

2.6.2.5 Densidad aparente (*Dap*)

La densidad aparente del suelo se determina dividiendo la masa del suelo seco por el volumen total, que incluye el volumen de las partículas del suelo, el volumen de los huecos entre las partículas y el volumen de los poros. Es importante señalar que la densidad aparente no es una característica inherente al material en sí, sino que varía según la condición del material, ya que el volumen puede verse alterado por el nivel de compactación, (Infoagro 2018).

Tabla 2-2: Rango de densidad aparente de acuerdo a la textura del suelo.

Textura del suelo	Rango	Densidad aparente
Suelos arenosos	Bajo	1.4 - 1.6 g/cm ³
Suelos francos	Moderado	1.2 - 1.4 g/cm ³
Suelos arcillosos	Alto	1.0 - 1.2 g/cm ³

Fuente:(Antúñez et al. 2016).

Es importante que la densidad aparente de las plantas de maíz puede variar entre 1,0 y 1,4 g/cm³; sin embargo, el tipo de suelo, la textura, la estructura, el contenido de materia orgánica y el grado de compactación son factores que influyen en este rango. Una baja densidad aparente indica una mayor porosidad del suelo y una mejor aireación, lo que esto facilita el desarrollo óptimo de las raíces y mejora la capacidad de la planta de maíz para absorber agua y nutrientes. Mientras presente una mayor densidad aparente puede obstaculizar el drenaje, el suministro de oxígeno y la penetración de las raíces, (RON PEÑAFIEL 2021).

2.6.2.6 Porosidad

La porosidad del suelo tiene microporos y macroporos, que contienen agua y aire; Dependiendo del número de cada tipo de poro, tiene diferentes propiedades. La fase líquida afecta a la fase gaseosa y su mayor variabilidad limita el espacio que ocupa la fase gaseosa. La arcilla tiene una gran cantidad de microporos, una alta capacidad de retención de agua, pero poca permeabilidad al aire. Los suelos arenosos tienen, y se evidencian en ellos, poros grandes, que promueven el movimiento del agua, pero afectan la retención de agua, (PIONEER 2020).

La porosidad del suelo se mide y analiza mediante métodos de medición y análisis. Estos poros pueden contener aire o agua, y la distribución y el tamaño de estos poros son cruciales para comprender la capacidad del suelo para retener y mover agua, así como para permitir la circulación del aire y el desarrollo de las raíces de las plantas, (Robinson et al. 2022).

Tabla 2-3: Rango de porosidad de acuerdo a la textura del suelo.

Textura del suelo	Rango	
Suelos arenosos	30 - 50%	Alta
Suelos francos	25 - 45%	Moderada
Suelos arcillosos	20 -40%	Baja

Fuente: (Antúñez et al. 2016)

Para el cultivo de maíz, se considera suficiente una porosidad del suelo de entre el 25 y el 50%. Esta gama proporciona suficiente espacio poroso para que las raíces de las plantas de maíz se expandan y accedan al agua y los nutrientes, al tiempo que permite una circulación de aire adecuada en el suelo, que es esencial para el funcionamiento normal de las raíces y la actividad microbiana, (Antúñez et al. 2016).

2.6.2.7 Resistencia al corte

La resistencia al corte del suelo se mide como la capacidad del suelo para resistir fuerzas que intentan deslizar sus partículas unas sobre otras. En la mecánica del suelo y la geotecnia, este parámetro es esencial porque influye en la estabilidad de estructuras como taludes, cimentaciones y muros de contención. Esta resistencia está significativamente influenciada por elementos como la cohesión, el ángulo de fricción interna y el contenido de agua. Los ensayos de laboratorio y las pruebas in situ se utilizan para evaluar la resistencia al corte, lo que proporciona datos esenciales para el diseño seguro y eficiente de proyectos de ingeniería civil, (DeJong, Yafrate, DeGroot 2019).

Al alterar su estructura y su capacidad para soportar las raíces de los cultivos y resistir el deslizamiento de partículas, los sistemas de labranza tienen un impacto significativo en la resistencia al corte del suelo. La porosidad, densidad y compactación del suelo pueden verse afectadas por la labranza, la elección del sistema de labranza influye en la resistencia al corte del suelo de manera significativa. La labranza adecuada puede disminuir la compactación del suelo, facilitando el crecimiento de las raíces y mejorando la productividad del cultivo, (Zeng et al. 2021).

Para el cultivo de maíz, el suelo ideal debe tener una resistencia al corte que permita un buen crecimiento radicular pero no tan baja como para que la estructura del suelo sea inestable. Aunque el rango de resistencia al corte ideal varía según el tipo de suelo, estos son algunos rangos generales:

- **Suelos Arenosos:** Tienen una resistencia al corte baja, lo que facilita la penetración de las raíces. Sin embargo, estos suelos deben gestionarse para mantener la humedad y los nutrientes adecuados.
- **Suelo limosos:** Si se gestiona adecuadamente, son ideales para el maíz porque equilibran la resistencia al corte y la capacidad de retención de agua.
- **Los suelo arcillosos:** pueden tener una alta resistencia al corte, lo que puede dificultar el crecimiento de las raíces. Estos suelos pueden requerir labranza y manejo adecuados para reducir la compactación, (Hossne G et al. 2020).

Se utilizan herramientas como el penetrómetro de cono para medir la resistencia al corte de un campo de maíz. Este dispositivo mide la resistencia del suelo a la penetración y muestra la compactación y la resistencia al corte. Aunque hay una variedad de valores típicos para el suelo agrícola, un rango ideal podría ser:

- 200 a 200 kPa (0- 2.04) kg/cm²:es ideal para el crecimiento de raíces de maíz porque facilita la penetración y el buen desarrollo radicular.
- 200-300 kPa (2.04 - 3.05) kg/cm²:es aceptable, pero puede requerir atención adicional para garantizar una penetración efectiva de las raíces.
- Más de 300 kPa (>3.05) kg/cm²: Elevada resistencia al corte, lo que puede dificultar el crecimiento de las raíces y hacer necesarias técnicas de gestión del suelo como la siembra en profundidad o la adición de materia orgánica para mejorar la estructura del suelo, (Zeng et al. 2021).

CAPÍTULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1 Características del lugar

3.1.1 Localización

El presente trabajo de investigación se realizó en los predios de la Estación Experimental Tunshi que se encuentra ubicado la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, que se encuentra situado en la parroquia Licto, cantón Riobamba, provincia de Chimborazo.



Ilustración 3-1: Ubicación del área a estudiar

Realizador por: Manobanda J., 2024

3.1.2 Ubicación geográfica

Coordenadas:

Latitud: 1,74819°S

Longitud: 78,62562°W (Estación Meteorológica ESPOCH, 2023).

Condiciones Climáticas

Humedad relativa: 50%

Temperatura: 12 y 18°C

Precipitaciones: 250 – 500 mm. (Estación Meteorológica ESPOCH, 2023).

3.2 Materiales y equipos

3.2.1 *Materiales de oficina*

- Computadora
- Hojas
- Impresora
- Libreta de campo
- Calculadora
- Lápiz
- Cámara fotográfica

3.2.2 *Materiales de campo*

- Azadón
- Bolsas plásticas para recolectar muestras
- Botas de caucho
- Etiquetas adhesivas
- Estacas
- Flexómetro
- Libreta de campo
- Overol
- Pala
- Piola

3.2.3 *Equipos de campo*

- GPS
- Dron DJI AGRAS T60
- Cámara fotográfica

- Cooler para transportar muestras
- Tractor
- Aperos (Arado, Surcadora, Sembradora)
- Penetrómetro
- Infiltrómetro de doble anillo

3.2.4 *Materiales de laboratorio*

- Recipientes plásticos
- Cucharas plásticas
- Cilindros
- Mandil
- Probeta
- Tamizador

3.2.5 *Equipos de laboratorio*

- Hidrómetro
- Estufa
- Balanza digital de precisión

3.3 Especificaciones del diseño experimental

3.3.1 *Unidad experimental*

Se empleó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA), en parcela dividida con tres repeticiones, cuatro tratamientos y 12 unidades experimentales (parcelas). Donde las variables a estudiar fueron sometidas a un análisis de varianza para determinar las diferencias estadísticas entre las medias de los tratamientos usando la prueba de Tuckey al 5%.

3.3.2 *Especificaciones del diseño experimental*

- Número de tratamientos: 4
- Número de repeticiones: 3
- Número de unidades experimentales: 12

3.4 Factores y tratamientos en estudio

3.4.1 Factor A

Pendiente:

- 0 – 5% (P_1)
- 5 – 10% (P_2)

3.4.2 Factor B

Sistemas de labranza:

- Labranza convencional (L_c)
- Labranza mínima (L_m)

3.4.3 Tratamientos en estudio

Tabla 3-1: Tratamientos en estudio

Código	Tratamiento	Descripción
P_1L_c	T1	Pendiente de 0-5 con labranza convencional
P_1L_m	T2	Pendiente de 0-5 con labranza mínima
P_2L_c	T3	Pendiente de más de 5-10 con labranza convencional
P_2L_m	T4	Pendiente de más de 5-10 con labranza mínima

Realizado por: Manobanda J., 2024

Se utilizó el Diseño de Bloques Completamente al Azar (DBCA) en parcela dividida con cuatro tratamientos y tres repeticiones. En la presente tabla 3-1 se detalla el esquema ANOVA que se realizó en la presente investigación para el posterior análisis de los tratamientos obtenidos.

3.5 Metodología

3.5.1 Geolocalización

Se llevó a cabo un vuelo con el dron DJI AGRAS T60 que utiliza el programa Dui Pilot, durante el vuelo se consideraron varios aspectos importantes como el ángulo de vuelo, la dirección del viento, el plan de vuelo y el tiempo de vuelo. El dron cubrió una distancia de 5.27 kilómetros, lo que permitió capturar 208 fotografías teniendo en cuenta que mientras más fotografías se tomen,

más detalles se pueden recoger del área sobrevolada. La altitud de vuelo se mantuvo a 100 metros de altura en la Estación Experimental Tunshi para capturar las imágenes necesarias y facilitar la creación de la ortofotografía correspondiente. Este vuelo fue cuidadosamente planeado y ejecutado para obtener datos precisos y completos del área en cuestión.

Se llevó a cabo la identificación precisa de la ubicación del terreno utilizando un GPS Spectra Precision, el cual tiene un margen de error de 1.5 metros, con el cual permitió obtener las diferentes coordenadas para la ubicación muestreada con lo que facilita la creación de los diferentes mapas y su respectivo análisis.

3.5.2 Muestreo de campo

Para la recolección de muestras de suelo, se siguió la metodología del Departamento de Agricultura de Estados Unidos (USDA), obteniendo una muestra por cada unidad experimental compuesta por 4 submuestras a una profundidad de 0.4 metros; las muestras tomadas se las colocaron en bolsas plásticas y se las etiquetó respectivamente con su número correspondiente a la muestra, estas fueron almacenadas en un cooler y se las transportó al laboratorio de suelos.

3.5.3 Textura

Para determinar la textura del suelo se la realizó en el laboratorio, utilizando el método de Bouyoucos, las muestras en campo se las puso a secar sobre un periódico por una semana, para después tamizarlas y colocarlas en las bolsas plásticas. Después se tomaron 100 gramos de suelo y se colocaron en frascos de plástico de boca ancha. Luego, se añadieron 10 ml del agente dispersante (Hexametáfosfato de sodio) y 200 ml de agua a la mezcla.

Después de mezclar durante 15 minutos, la mezcla se vertió en una probeta de plástico y se completó el volumen a 1000 ml con el hidrómetro sumergido. Se agitó durante 1 minuto y se tomó la primera lectura a los 40 segundos. Posteriormente, después de dejar reposar durante 24 horas, se tomó la segunda lectura a los 40 segundos para calcular los porcentajes de arena, limo y arcilla.

3.5.4 Humedad

Para determinar la humedad del suelo se realizaron calicatas para obtener muestras de cada unidad experimental, a los cilindros se los presiono contra la pared hasta obtener las muestras. Estas

muestras se llevaron al laboratorio, donde se pesaron tanto en estado húmedo y después se las coloco en la estufa a una temperatura de 105 °C durante 24 horas. Luego se retiró de la estufa y se pesó las muestras. Utilizando la Ecuación (3) específica, se calculó el contenido de humedad basado en la diferencia de peso antes y después del secado.

$$\%Humedad = \frac{\text{Peso húmedo de la muestra} - \text{Peso seco de la muestra}}{\text{Peso seco de la muestra}} \times 100 \quad (3)$$

3.5.5 *Densidad aparente*

Para establecer una referencia, se tomó el peso del cilindro vacío, seguidamente se pesó el cilindro con la muestra húmeda y se colocó en la estufa a 105°C durante 24 horas para eliminar la humedad, posteriormente de este proceso, se vuelve a pesar el cilindro junto con la muestra seca. Restando el peso del cilindro vacío del peso del cilindro que contiene el suelo seco, obtenemos el peso del suelo seco, con el peso del suelo seco y el volumen del cilindro calculado previamente, se puede utilizar la siguiente Ecuación (4):

$$Da = \frac{PSS}{V} \quad (4)$$

Da= Densidad aparente

PSS= peso de suelo seco

V= volumen del cilindro

3.5.6 *Densidad real*

Para determinar la densidad real, se realiza mediante el método del picnómetro, primero se pesa el picnómetro, después se llenó el hidrómetro con agua destilada y se pesó nuevamente para obtener la masa total. Inmediatamente se drena con cuidado el agua del hidrómetro, dejando aproximadamente 1/3 de su volumen. Después se agregan 5 gramos de la muestra de suelo a analizar. A continuación, se vuelve a medir el hidrómetro con agua destilada, teniendo cuidado de no dejar burbujas de aire atrapadas, después de completar este paso, se vuelve a pesar el hidrómetro que contiene tanto suelo como agua. Esta medición nos permite obtener el peso total del picnómetro con las muestras de suelo y agua medidas. Finalmente se aplicó la siguiente Ecuación (5):

(5)

$$\% \text{ Porosidad} = \frac{Dr - Da}{Da} \times 100$$

Dr= densidad real

S= peso de suelo

A= peso de agua

s+a= peso de suelo y el agua mezclados

3.5.7 Porosidad

La porosidad se calcula utilizando el método del USDA en el que se tienen en cuenta los datos de densidad real y aparente y el tipo de porosidad se determina en función de su diámetro por lo que se utiliza la Ecuación (6).

(6)

$$\% \text{ Porosidad} = \frac{\text{Densidad real} - \text{Densidad aparente}}{\text{Densidad aparente}} \times 100$$

3.5.8 Velocidad de infiltración

La velocidad de infiltración se midió mediante el método de doble anillo que consistió ubicar en el sitio que deseamos realizar la toma de datos, después se llenó con agua el anillo externo y luego el interno. Se procedió a tomar los datos después de los 10 minutos y se anotó la cantidad de agua que se infiltró en el suelo, para después calcular la velocidad de infiltración con la siguiente Ecuación (4):

(4)

$$I = k * t n$$

I = velocidad de infiltración, en cm/h.

k = factor numérico adimensional, representa la velocidad de infiltración en cm/h durante el intervalo inicial

t = tiempo de infiltración, en minutos.

3.5.9 Resistencia al corte

Se utilizó el penetrómetro para evaluar la resistencia del suelo al corte, fue colocado en el suelo y se midió cuánta fuerza se necesitaba para cortarlo a una profundidad específica, los datos obtenidos fueron de las vueltas permitieron entender su capacidad de soporte. Los datos obtenidos se los cálculo por una tabla de conversión.

3.6 Cálculo de la pendiente

Para la pendiente se tomó en cuenta los datos tomados por el GPS Spectral, de lo cual se tuvo en cuenta la diferencias de alturas, se la divide por la distancia horizontal y se multiplica por cien. Se calculó utilizando la Ecuación (2).

3.6.1 Cálculo del porcentaje del patinaje

Para determinar el porcentaje de patinaje primero se recogieron seis grupos de datos proporcionados por las vueltas de la rueda motriz para posteriormente medir la distancia recorrida por el tractor con el uso de los implementos utilizados la labranza convencional (arada de discos, rastra de discos y surcadora) y labranza mínima (arado en cincel y surcada). Se realizaron tres repeticiones para cada sistema de labranza, teniendo en cuenta la variación de la pendiente del suelo. Ya recopilados los datos seguidamente se transcribieron los datos para después tabularlos en una hoja de Excel con lo que se usó la Ecuación (1).

3.7 Determinación de costos en los dos sistemas de labranza en suelos con diferentes pendientes

Los cálculos de los valores económicos se han realizado en función del tiempo de operación en los diferentes sistemas de labranza (convencional y mínima) en funcionamiento y de los costes de horarios se determinaron según la metodología establecida por la (FAO) que es la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura. De esta manera se proporciona un enfoque sólido y homogenizado para evaluar los costos relacionados con la mano de obra agrícola.

CAPÍTULO IV

4. MARCO DE ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1 Procesamiento de los resultados, análisis e interpretación de resultados

4.1.1 Mapa de ubicación de la zona de estudio

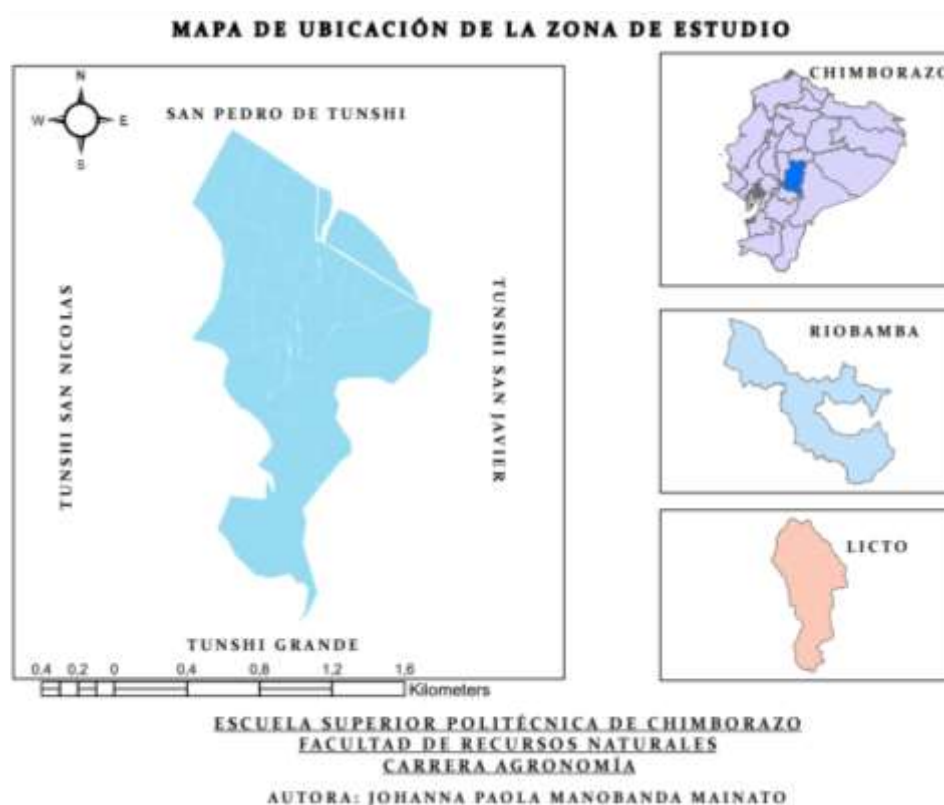


Ilustración 4-1: Mapa de ubicación de la zona a estudiar

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.1.2 Análisis de las propiedades físicas del suelo

Tabla 4-1: Análisis físico del suelo realizados en el laboratorio

Tratamiento	Textura	% Humedad	Densidad aparente (gr/cc)	Densidad real (gr/cc)	%Porosidad
P1Lc	Franco Arenoso	11,61	1,22	2,51	48,59
P1Lm	Franco Arenoso	12,27	1,21	2,50	48,35
P2Lc	Franco Limoso	13,42	1,31	2,52	52,18
P2Lm	Franco Limoso	14,53	1,15	2,50	45,88

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.1.2.1 Textura

La textura que se presentó en esta investigación con en el análisis realizado en el laboratorio con el método de Bouyocus, con lo que determina que en los diferentes tratamientos ubicados en suelos con pendiente del 7% presenta una textura franco limoso que pertenecen a franco limoso y franco arenoso, por lo que en los tratamientos situados en suelos con pendiente de 3% presenta un suelo franco limoso como se observa en la tabla (4-1).

4.1.2.2 Porcentaje de humedad del suelo

La humedad del suelo se obtuvo con el método del cilindro realizado en el laboratorio, como resultados se obtuvo representada en la tabla (4-1), con cada uno de los tratamientos se utilizó la Ecuación (3). Por lo que se muestra que en el tratamiento P2LM presenta un porcentaje mayor de humedad del 17,41% con la textura franco limoso, por lo tanto, que el tratamiento P1LC tiene una humedad del 9,84% en la textura franco limoso.

En el análisis de varianza del porcentaje de humedad en la tabla (4-2) con respecto a la humedad no presenta cifras significativas con un CV de 14,44%

Tabla 4-2: Anova de análisis de varianza del porcentaje de humedad

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Repetición	17,58	2	8,79	2,51	0,1966	ns
Pendiente	12,48	1	12,48	3,57	0,132	ns
Repetición*Pendiente	7,18	2	3,59	1,03	0,437	ns
Sistema de labranza	2,36	1	2,36	0,67	0,4579	ns
Pendiente*Sistema de labranza	0,15	1	0,15	0,04	0,8441	ns
Error	14,01	4	3,5			
Total	53,77	11				
CV	14,44%					

Diferencias altamente significativas “***” ($p < 0,01$), diferencias significativas “*” ($p < 0,05$), no significativo “ns” ($> 0,05$)

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.1.2.3 Densidad aparente

En la Anova de densidad aparente presentada en la tabla (4-3) no presentan cifras significativas por lo que muestra un coeficiente de variación de 9,27%

Tabla 4-3: Anova de densidad aparente

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Repetición	0,01	2	3,70E-03	0,29	0,7658	ns
Pendiente	8,30E-04	1	8,30E-04	0,07	0,8113	ns
Repetición*Pendiente	0,01	2	2,80E-03	0,22	0,8123	ns
Sistema de labranza	0,02	1	0,02	1,76	0,2555	ns
Pendiente*Sistema de labranza	0,02	1	0,02	1,50	0,2881	ns
Error	0,05	4	0,01			
Total	0,11	11				
CV	9,27					

Diferencias altamente significativas “***” ($p < 0,01$), diferencias significativas “**” ($p < 0,05$), no significativo “ns” ($> 0,05$)

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.1.2.4 Densidad real

En la tabla (4-4) que representa la el Análisis de varianza de densidad real se observa que no presenta cifras significativas y presenta un CV del 0,54%

Tabla 4-4: Análisis de varianza de densidad real

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Repetición	4,70E-04	2	2,30E-04	1,27	0,3735	ns
Pendiente	3,30E-05	1	3,30E-05	0,18	0,6918	ns
Repetición*Pendiente	1,30E-03	2	6,30E-04	3,45	0,1344	ns
Sistema de labranza	5,30E-04	1	5,30E-04	2,91	0,1633	ns
Pendiente*Sistema de labranza	3,30E-05	1	3,30E-05	0,18	0,6918	ns
Error	7,30E-04	4	1,80E-04			
Total	3,10E-03	11				
CV	0,54%					

Diferencias altamente significativas “***” ($p < 0,01$), diferencias significativas “**” ($p < 0,05$), no significativo “ns” ($> 0,05$)

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.1.2.5 Porcentaje de porosidad

En la tabla (4-5) que representa el análisis de varianza para el porcentaje de porosidad se observa que presenta un coeficiente de variación de 9,22% con un CV del 9,22%

Tabla 4-5: Análisis de varianza para porcentaje de porosidad

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Repetición	15,00	2	7,5	0,37	0,7114	ns
Pendiente	0,94	1	0,94	0,05	0,8397	ns
Repetición*Pendiente	8,20	2	4,1	0,2	0,8242	ns
Sistema de labranza	32,08	1	32,08	1,59	0,2761	ns
Pendiente*Sistema de labranza	27,42	1	27,42	1,36	0,3087	ns
Error	80,78	4	20,19			
Total	164,41	11				
CV	9,22%					

Diferencias altamente significativas “***” ($p < 0,01$), diferencias significativas “**” ($p < 0,05$), no significativo “ns” ($> 0,05$)

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.1.2.6 Velocidad de infiltración

En la Anova de velocidad de infiltración en la tabla (4-6) presenta cifras significativas en la pendiente lo que significa que la infiltración si depende de la pendiente y se muestra un coeficiente de variación del 10,72%

Tabla 4-6: Análisis de varianza para la Velocidad de infiltración

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Repetición	13,68	2	6,84	1,05	0,4312	ns
Pendiente	5,07	1	5,07	0,78	0,4283	ns
Repetición*Pendiente	14,64	2	7,32	1,12	0,4111	ns
Sistema de labranza	32,67	1	32,67	5	0,0891	ns
Sistema de labranza*Pendiente	10,83	1	10,83	1,66	0,2676	ns
Error	26,16	4	6,54			
Total	103,05	11				
CV	10,72%					

Diferencias altamente significativas “***” ($p < 0,01$), diferencias significativas “**” ($p < 0,05$), no significativo “ns” ($> 0,05$)

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.1.2.7 Resistencia al corte

En el análisis de varianza con respecto a la resistencia al corte de la tabla (4-7) no presentan cifras significativas que muestra un coeficiente de variación del 7,91%

Tabla 4-7: Análisis de varianza de resistencia al corte

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Repetición	0,01	2	0,01	18,08	0,6399	ns
Pendiente	2,70E-03	1	2,70E-03	8,53	0,0632	ns
Repetición*Pendiente	3,20E-03	2	1,60E-03	4,97	0,0822	ns
Sistema de labranza	0,01	1	0,01	30,42	0,0353	*
Sistema de labranza*Pendiente	3,00E-04	1	3,00E-04	0,95	0,3855	ns
Error	1,30E-03	4	3,20E-04			
Total	0,03	11				
CV	7,91%					

Diferencias altamente significativas “***” ($p < 0,01$), diferencias significativas “**” ($p < 0,05$), no significativo “ns” ($> 0,05$)

Realizado por: Manobanda J., 2024

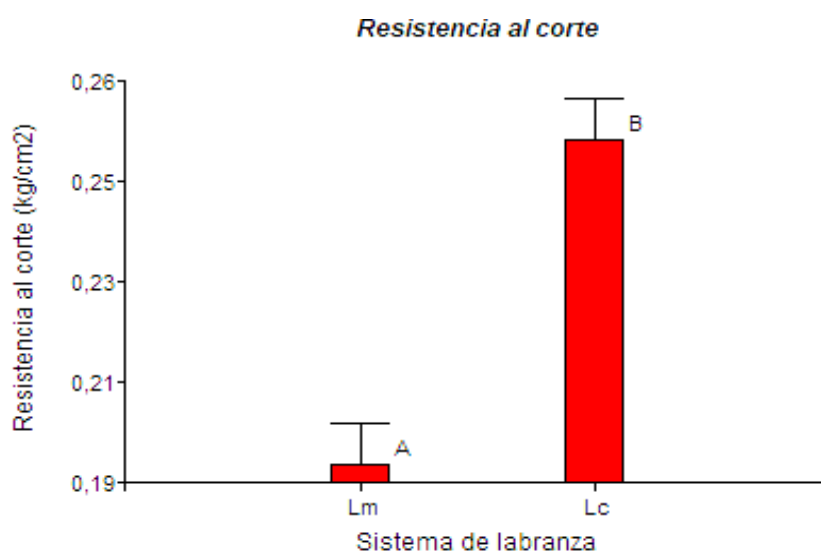


Ilustración 4-2: Resistencia al corte con respecto al sistema de labranza

Realizado por: Manobanda J., 2024

En prueba de Tukey al 5% para la resistencia al corte en función del sistema de labranza (ilustración 4-2) se determinó que en la labranza convencional existe un 0,25 kg/cm² lo que hace referencia a que este valor no afecta y se encuentra dentro del rango para el cultivo, de la misma manera en la labranza mínima con el valor resultante de 0,20 kg/cm² se encuentra dentro del rango.

4.1.3 Porcentaje de patinaje

En el análisis de varianza para el porcentaje de patinaje Tabla (4-8), se verifica que existen diferencias cifras altamente significativas, con un CV de 3,95%

Tabla 4-8: Análisis de la Varianza para el porcentaje de patinaje

F.V.	SC	gl	CM	F	p-valor	Sig.
Repetición	1,14	2	0,57	0,67	0,5594	ns
Pendiente	47,92	1	47,92	56,62	0,0017	**
Pendiente*Repetición	1,56	2	0,78	0,92	0,4677	ns
Sistema de labranza	944,48	1	944,48	1115,85	<0,0001	**
Sistema de labranza*Pendiente	0,35	1	0,35	0,41	0,0469	*
Error	3,39	4	0,85			
Total	998,84	11				
CV	3,95%					

Diferencias altamente significativas “***” ($p < 0,01$), diferencias significativas “**” ($p < 0,05$), no significativo “ns” ($> 0,05$)

Realizado por: Manobanda J., 2024

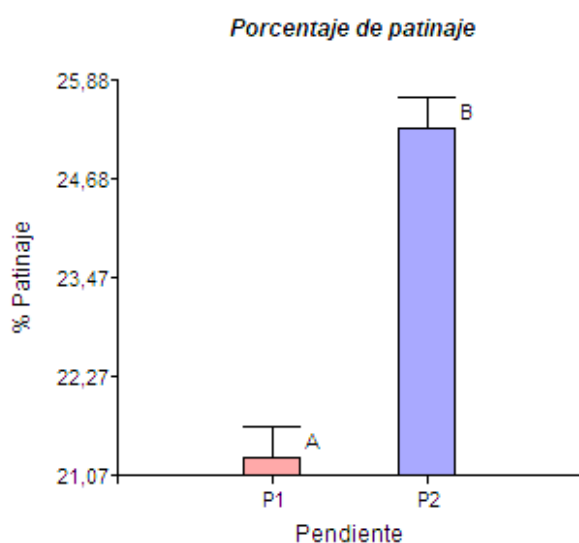


Ilustración 4-3: Prueba de DMS al 5% para porcentaje de patinaje en función de la pendiente

Realizado por: Manobanda J., 2024

En la prueba de Tukey al 5% para el porcentaje del patinaje con respecto a la pendiente (Ilustración 4-3), nos da valores en la pendiente del 4% con un porcentaje de patinaje de 21,29, mientras que para la pendiente del 7% nos brinda un valor de 25,29%.

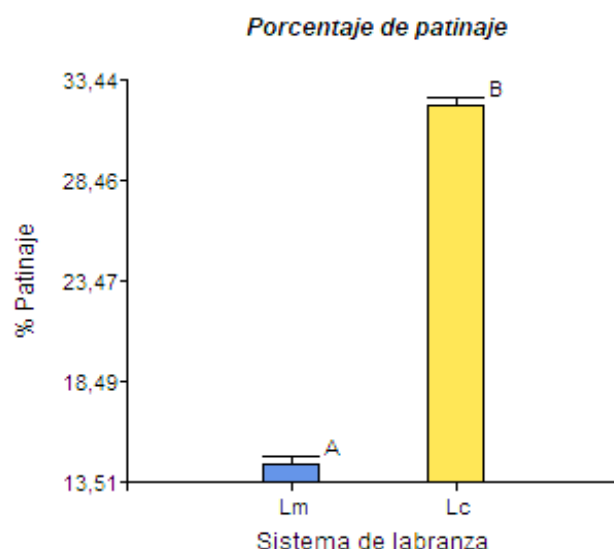


Ilustración 4-4: Prueba de DMS al 5% para porcentaje de patinaje en función del sistema de labranza

Realizado por: Manobanda J., 2024

En la prueba de Tukey al 5% para el porcentaje de patinaje en función del sistema de labranza (Ilustración 4-4), se observa que existe cifras altamente significativas, para la labranza convencional presenta un porcentaje del 32,16 a diferencia del sistema de labranza convencional que tiene un porcentaje del 14,42.

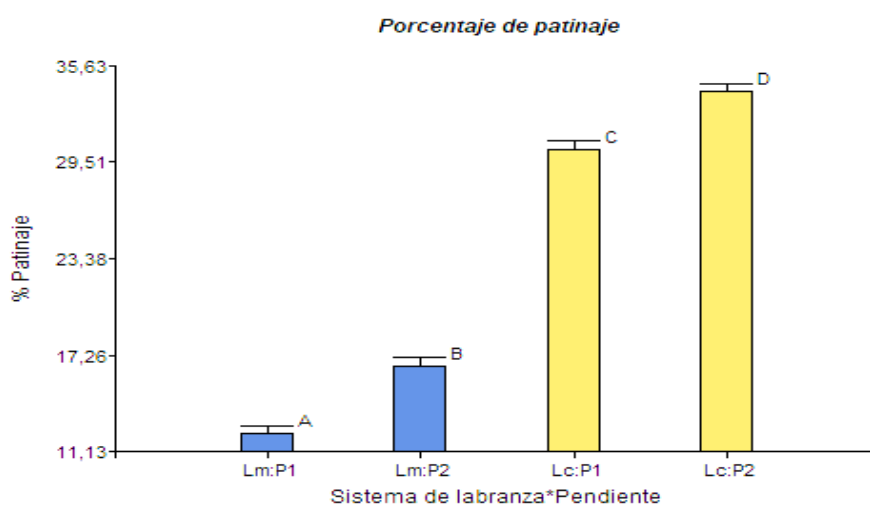


Ilustración 4-5: Porcentaje de patinaje en función de la interacción de sistema de labranza * pendiente

Realizado por: Manobanda J., 2024

En la prueba de Tukey al 5% se determinó para el porcentaje de patinaje en función en la interacción pendiente * sistema de labranza (Ilustración 4-5), presentan cifras significativas, lo que quiere decir que en la labranza convencional con una pendiente de 7% existe un mayor porcentaje de patinaje de 33,99%, mientras que en la labranza mínima con la pendiente 4% presenta una porcentaje de patinaje del 12,25%.

Tabla 4-9: Prueba de DMS al 5% para porcentaje de patinaje en función de la pendiente

Pendiente	Medias	Grupo
4	14,42	A
7	32,16	B

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

Realizado por: Manobanda J., 2024

En la tabla (4-9) se muestran la prueba de DMS al 5% para el porcentaje de patinaje en función de la pendiente se presentan cifras significativas, a lo que se refiere que en la pendiente dos (7 %) existe un mayor patinaje.

4.1.4 Determinación de los costos de operación

Tabla 4-10: Costos de operación de los sistemas de labranza con pendientes distintas

T1 (LcP1)				
Concepto	Unidad	Cantidad (hora)	Valor \$/h	Valor real \$
Arada	Hora tractor	5,54	21,1	123,65
Rastra	Hora tractor	4,03	21,1	85,03
Surcada	Hora tractor	5,27	21,1	111,2
Total		14,84		313,12
T2 (LMP1)				
Arada	Hora tractor	3,72	21,1	78,49
Surcada	Hora tractor	4,61	21,1	97,27
Total		8,33		175,76
T3 (LcP2)				
Arada	Hora tractor	6,54	21,1	137,99
Rastra	Hora tractor	5,62	21,1	118,58
Surcada	Hora tractor	5,63	21,1	118,79
Total		17,79		375,37
T4 (Lmp2)				
Arada	Hora tractor	4,16	21,1	87,776
Surcada	Hora tractor	5,44	21,1	114,784
Total		9,6		202,56

Realizado por: Manobanda J., 2024

Al realizar los respectivos cálculos para obtener los costos se puede decir que en el tratamiento P2LC (Pendiente del 7% y Labranza convencional), con un total de 375,76\$ mientras tanto que en el tratamiento P1LM (Pendiente del 4% y Labranza mínima) se observa en la tabla (4-11) que presenta un menor costo de operación a comparación del otro tratamiento lo que beneficia al agricultor por el menor costo, con un valor de 175,76\$.

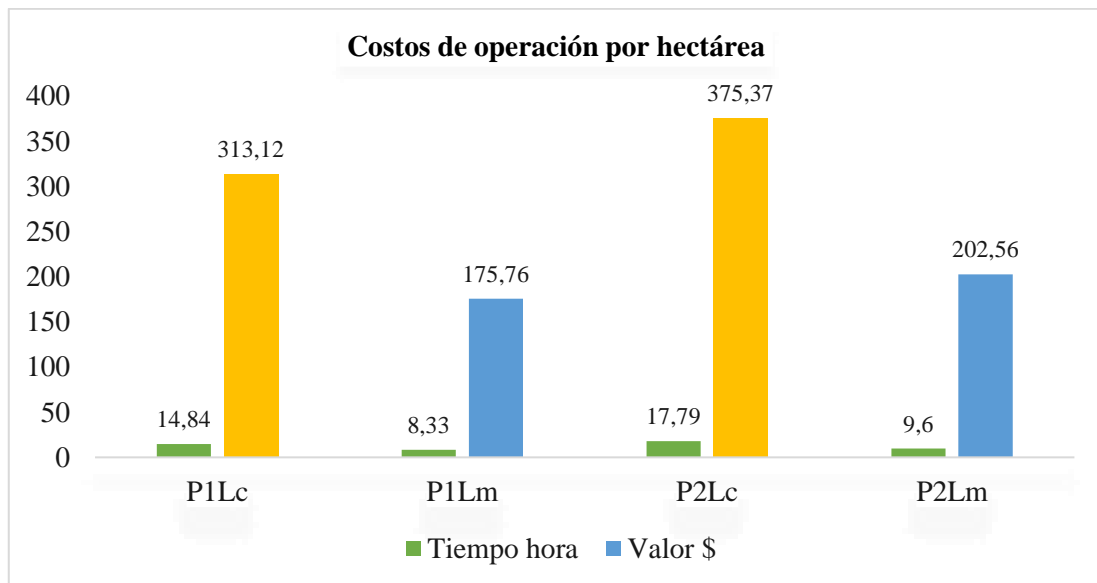


Ilustración 4-6: Costos de operación

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.2 Discusión

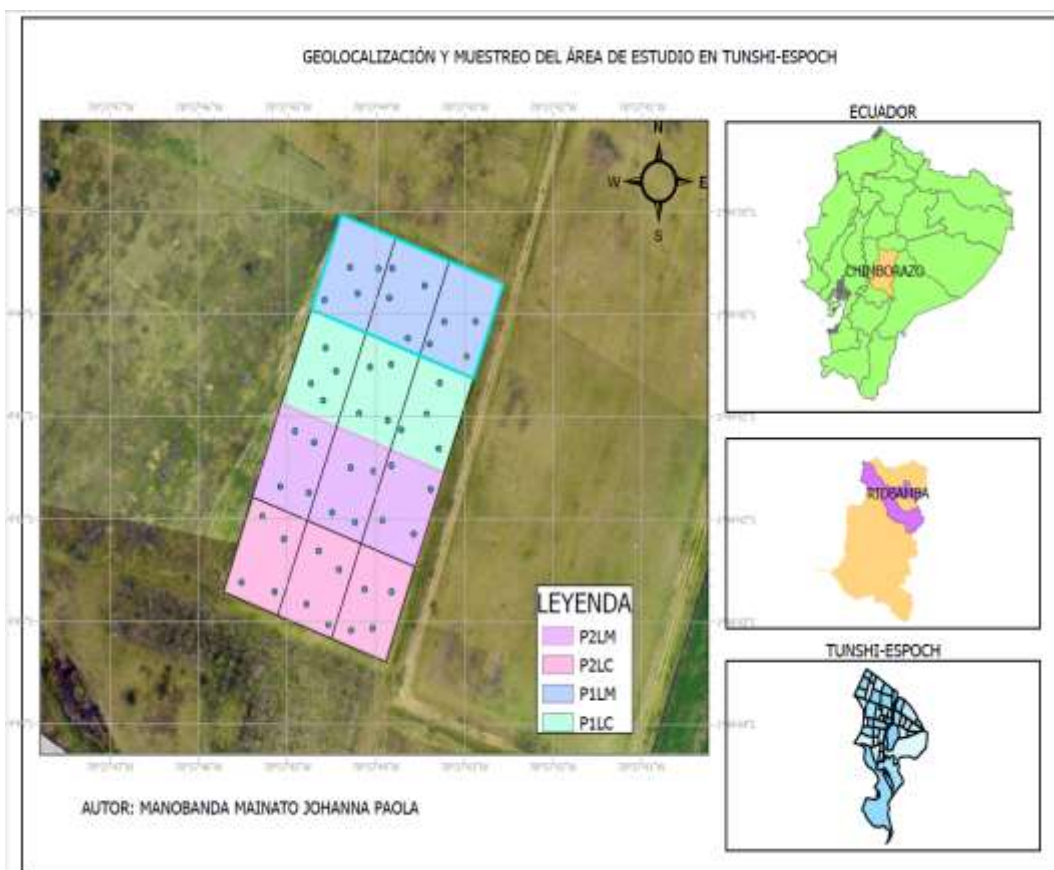


Ilustración 4-7: Geolocalización y muestreo del área de estudio en Tunshi-ESPOCH

Realizado por: Manobanda J., 2024

4.2.1 *Análisis de las propiedades físicas del suelo*

4.2.1.1 *Textura*

Considerando la pendiente en los diferentes tratamientos en lo que corresponde a textura, en la pendiente 4% con la labranza convencional presenta una textura de franco arenoso, mientras que para el sistema de labranza mínima presenta una textura de suelo franco limoso; además que en la pendiente del 7.

Según (INFOAGRO, 2024), para el cultivo de maíz la textura de suelo puede variar desde arenoso hasta arcilloso pesado, pero presenta un mejor desarrollo en suelos de textura intermedia, desde franca hasta franca arcillosa. Debido a que las dos texturas que se presentan en los tratamientos por lo que son aptos para el cultivo debido a que presentan un buen drenaje y así evitar el encharque y que las raíces se asfixien.

4.2.1.2 *Porcentaje de humedad*

En el análisis del suelo otro aspecto a evaluar fue el porcentaje de humedad que se lo realizó en las parcelas del Centro Experimental Tunshi, la humedad del suelo que presento un promedio del 12,96%, por lo que la humedad del suelo es importante dentro del estado fenológico del cultivo debido a que este está directamente relacionado con la disponibilidad del agua y con la diversidad de actividad biológica presente en el suelo.

Según (Núñez-Ramírez et al. 2020), hace mención que el rango ideal para el cultivo de maíz puede variar desde el 60 al 80% de humedad, debido a que la cantidad de agua que necesita para cada una de las etapas como en la germinación, emergencia, desarrollo, floración, polinización y el llenado del fruto. En caso de que la humedad sea excesiva puede provocar la pudrición tanto de la raíz como la del fruto.

4.2.1.3 *Densidad Aparente*

El cálculo se realizó para determinar la densidad aparente del suelo. Esta medida particular revela la conexión entre la masa del suelo cuando está seco y su volumen total. La densidad aparente promedio obtenida del análisis de las propiedades físicas del suelo fue de 1,22 g/cm³. Cabe señalar que los suelos clasificados como franco limosos y franco arenosos se consideran de densidad moderada. Estos suelos poseen una textura suave o harinosa, la cual se atribuye a la presencia de una cantidad adecuada de partículas de diferentes tamaños, entre ellas arena, limo y arcilla.

Ron Peñafiel (2018), menciona que el rango recomendado para el cultivo de maíz puede ser de 1,0 a 1,4 g/cm³ que pertenece a suelos arcillosos hasta suelos arenosos, que pertenecen, pero este rango debido a que el cultivo de maíz se puede adaptar a cualquier tipo de suelo, incluso el rango ya mencionado puede variar debido a varios factores que interfieren como el contenido de materia orgánica, tipo de suelo, estructura, textura, entre otros. Una densidad aparente menor para el cultivo va a indicar que posee más porosidad lo que ayuda al crecimiento radicular, absorción de nutrientes y minerales.

4.2.1.4 *Densidad real*

Otro parámetro importante que se determino fue la densidad real, en la cual se ve la relación existente entre la masa del material sólido seco y el volumen real o total ocupado por las partículas, en análisis se registraron valores desde 2,49 hasta 2,55 por lo que esto nos indica que

presenta una mayor compactación del suelo, y por lo que en el análisis de suelo realizados de las muestras tomadas del área de investigación presento que los suelos francos tanto como limoso y arenoso presentan una densidad real alta.

Según (Novillo Espinoza et al. 2018), menciona que para el cultivo de maíz su rango adecuado para que presente un mejor desarrollo es del 1,2 a 1,6 g/cm³, por lo que esto también puede variar dependiendo del mineral o de la roca con la que se formó e inclusive de la cantidad de minerales, por lo que la materia orgánica como inorgánica que este contenga. Por lo tanto, al presentar un suelo compacto lo que este puede limitar la circulación del aire, por lo tanto, también limita la penetración de las raíces, por lo que es necesario mantener una densidad adecuada para que se garantice un desarrollo saludable del cultivo.

4.2.1.5 Porcentaje de porosidad

Dentro de los análisis realizados en el laboratorio se determinó el parámetro del porcentaje de porosidad, para determinarlo se lo hace de manera indirecta a partir del valor que se presentó en la densidad aparente, de manera que en las texturas de suelo tanto franco arenosas como en franco limosas presentaron un rango de 43,2 al 53,95%, por lo que existe espacios para que se aloje agua e inclusive actividad biológica del suelo y se encuentra dentro de un rango óptimo.

Teniendo en cuenta lo que menciona (Antúñez et al. 2016), considera que para el cultivo de maíz es necesario que presente una porosidad que sea del 25 al 45%, esto debido a que va a proporcionar suficiente espacio poroso factor que ayuda a que las raíces se expandan de manera que logren acceder al agua y a los nutrientes de manera adecuada, de manera que también permita la circulación del aire en el suelo y a la actividad microbiana.

4.2.1.6 Velocidad de infiltración

Para el parámetro de velocidad de infiltración los datos obtenidos utilizando el método de doble anillo, por lo que se tomó en cuenta el tiempo en que se tardó en filtrarse el agua en el suelo por lo que se obtuvieron datos altamente significativos, debido a las texturas presentadas en el análisis de suelo fueron franco limoso y franco arenoso que presentaron un rango de 18 a 28,2 mm/h, por lo que también influyo las pendientes.

El estudio realizado por Salazar Carranza et al. (2023), describe que para el cultivo de maíz es importante que presente una adecuada infiltración va desde el rango de 5 a 50 mm/h, teniendo en

cuenta que este rango también puede variar debido a varias condiciones, por lo tanto, las texturas del suelo obtenidas en el área a estudiar están dentro de este rango por lo que son aptas para el cultivo de maíz.

4.2.1.7 Resistencia al corte

Dentro del parámetro de resistencia al corte los datos obtenidos antes y después de cada pasada del tractor, se prosiguió a tomar datos con el instrumento denominado penetrómetro se lo utilizó ejerciendo fuerza contra el suelo y los datos obtenidos se los transformo con una tabla de conversiones, lo que presento un valor promedio de 0,25 kg/cm².

Como menciona

4.2.2 Porcentaje de patinaje

Al momento de realizar la labranza mínima en una pendiente del 4 % existe un patinaje bajo a comparación de las que se pueden presentar con una mayor pendiente esto se debe a que no presenta mucha pérdida de velocidad, por lo tanto, no se produce tanto deslizamiento o patinaje. Mientras que en la labranza convencional con una pendiente del 7% presento un porcentaje mayor de patinaje esto debido a que la rueda trasera o motriz del tractor no se adhiere de manera correcta al suelo.

Según García-Rivera et al. (2021), menciona que el tractor agrícola está diseñado para jalar implementos, por lo que el patinaje adecuado debe estar en un rango mínimo de entre el 8% y el 15%, mientras que si existe un rango de 20 a 25 % o mayor a este existe pérdida de eficiencia, lo que quiere decir que en la labranza convencional sobrepasa el porcentaje de patinaje con la pendiente del 7% y presenta 33,99%.

4.2.3 Costos de operación

Al realizar el análisis del costo de operación de cada uno de los sistemas de labranza (convencional y mínima) y con sus diferentes pendiente (4 – 7%), se observa que en tratamiento P2LC muestra que presenta un valor de \$375,36 que es un valor alto para la preparación del suelo, debido a que se usa aperos pesados como son el arado y rastra, por lo que consume más combustible y requiere más inversión. Mientras que en el tratamiento P1LM presenta una valor

económico de \$175,76, por lo que en la labranza convencional no se hace el uso de tantos aperos en comparación de la labranza convencional como se observa en la tabla (4-11).

4.3 Comprobación de la hipótesis

En base a los resultados obtenidos por los factores de pendiente y sistema de labranza se rechaza la hipótesis nula y se acepta la alternativa

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

- El porcentaje de patinaje que se produce en el proceso de preparación de suelos tanto con labranza convencional como en labranza mínima se eleva a mayor pendiente, menor humedad del suelo, requiriendo más tiempo y mayor inversión en el proceso.
- En la Estación Experimental Tunshi el suelo presenta textura franco limoso y franco arenoso con pendiente del 1 al 10%, con una velocidad de infiltración 23,85mm/h, resistencia al corte de 0,25 kg/cm², humedad del 12,96%, densidad aparente de 1,22 gr/cc, densidad real de 2,51 gr/cc, porosidad de 48,75% propiedades que influyen en el patinaje en los lotes en estudio en la preparación del suelo para el cultivo de maíz afectando la calidad del mismo.
- La aplicación de labranza mínima en la preparación del suelo para el cultivo de maíz presenta un costo menor de 175,76 \$/ha comparado con la labranza convencional que tiene un costo de 375,37\$/ha lo que significa un ahorro de 199,61 \$/ha lo que se transforma en un ahorro del 46,67% lo que es beneficioso para el productor por lo que incrementa el ahorro.

5.2 Recomendaciones

- Realizar un análisis de suelo físico como químico, para verificar el estado en la que se encuentra en lugar en donde se va a sembrar y evaluar el impacto de las prácticas de manejo del suelo en la productividad y la salud del suelo.
- Utilizar el sistema de labranza mínima debido a que reducen los costos de operación, presenta un menor porcentaje de patinaje y ayuda a conservar la estructura del suelo.
- Realizar estudios sobre el tema de patinaje en la preparación del suelo para otros cultivos de la zona de estudio

BIBLIOGRAFÍA

1. **ADENIYI, O. D., BATURE, H., & MEARKER, M.** (2024). A Systematic Review on Digital Soil Mapping Approaches in Lowland Areas. *Land*, 13(3), 379. <https://doi.org/10.3390/land13030379>
2. **AMADE, N., PAINHO, M., & OLIVEIRA, T.** (2018). Geographic information technology usage in developing countries – A case study in Mozambique. *Geo-Spatial Information Science*, 21(4), 331–345. <https://doi.org/10.1080/10095020.2018.1523995>
3. **ANTÚNEZ, A., FELMER, S., VIDAL, M., MORALES, R., COZ, E., & FUENTES, F.** (2016). Propiedades Físico-Hídricas del Suelo en el Cultivo del Maíz Grano. In *Riego por Pulsos en Maíz Grano* (pp. 31–50). <https://biblioteca.inia.cl/bitstream/handle/20.500.14001/7892/NR40309.pdf?sequence=7>
4. **ARAGÓN, J. A., RODRÍGUEZ, E. D., VARON, G. A., & SÁNCHEZ, G. A.** (2020). Análisis de islas de calor por medio de imágenes satelitales y sistemas de información geográficos en el área urbana de la Sabana de Bogotá. *Geographicalia*, 72, 39–64. https://doi.org/10.26754/ojs_geoph/geoph.2020724571
5. **ASTUDILLO AVILA, Roberto Alfonso.** (2020). “CRITERIOS TÉCNICOS PARA LA SELECCIÓN DE MAQUINARIA AGRÍCOLA EN EL VALLE DE CAÑETE.”
6. **CAICEDO, O.** (2020). “Las tecnologías de la información y comunicación TIC’s y su contribución en la producción de cultivos”. <http://dspace.utb.edu.ec/bitstream/handle/49000/8334/E-UTB-FACIAG-ING%20AGRON-000239.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
7. **CASCÓN-KATCHADOURIAN, J., & ALBERICH-PASCUAL, J.** (2021). The Georeferencing of Old Cartography in Geographic Information Systems (GIS): Review, Analysis and Comparative Study of Georeferencing Software. *Revista General de Información y Documentación*, 31(1), 437–460. <https://doi.org/10.5209/rgid.76965>

8. **CHAPA SAENZ, L. G.** (2023). Metodologías para la identificación de linderos de predios agrícolas. http://repositorio.utmachala.edu.ec/bitstream/48000/20895/1/E-9883_CHAPA%20SAENZ%20LINDA%20GABRIELA.pdf
9. **CHERLINKA, V.** (2022, September 16). Labranza De Conservación Para Proteger El Suelo. <https://eos.com/es/blog/labranza-de-conservacion/#:~:text=La%20labranza%20de%20conservaci%C3%B3n%20es,de%20plantar%20un%20nuevo%20cultivo>.
10. **DEJONG, J. T., YAFRATE, N. J., & DEGROOT, D. J.** (2019). Evaluation of Undrained Shear Strength Using Full-Flow Penetrometers. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 137(1), 14–26. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GT.1943-5606.0000393](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GT.1943-5606.0000393)
11. **DORNIK, A., CHEȚAN, M. A., DRĂGUȚ, L., ILIUȚĂ, A., & DICU, D. D.** (2022). Importance of the mapping unit on the land suitability assessment for agriculture. *Computers and Electronics in Agriculture*, 201, 107305. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2022.107305>
12. **FOUNTAS, S., ESPEJO-GARCIA, B., KASIMATI, A., MYLONAS, N., & DARRA, N.** (2020). The Future of Digital Agriculture: Technologies and Opportunities. *IT Professional*, 22(1), 24–28. <https://doi.org/10.1109/MITP.2019.2963412>
13. **GARCÍA-RIVERA, G., CADENA-ZAPATA, M., LÓPEZ-LÓPEZ, J. A., LÓPEZ-LÓPEZ, G. F., CAMPO-MAGAÑA, S. G., ZERMEÑO-GONZÁLEZ, A., & GUTIÉRREZ-FLORES, H.** (2021). Agricultural tractor slippage measurement system using encoders. *Ingeniería Agrícola y Biosistemas*, 13(2), 261–271. <https://doi.org/10.5154/r.inagbi.2021.07.070>
14. **GUO, Q., SU, Y., & HU, T.** (2023). LiDAR Data Filtering and Digital Elevation Model Generation. In *LiDAR Principles, Processing and Applications in Forest Ecology* (pp. 171–214). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-823894-3.00006-2>

15. **HERNANDEZ-CLEMENTE, R., & HORNERO, A.** (2021). Monitoring and assessment of desertification using remote sensing. *Ecosistemas*, 30(3), 2240. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2240>
16. **HILAL, A., BANGROO, S. A., KIRMANI, N. A., WANI, J. A., BISWAS, A., BHAT, M. I., FAROOQ, K., BASHIR, O., & SHAH, T. I.** (2024). Geostatistical modeling—a tool for predictive soil mapping. In *Remote Sensing in Precision Agriculture* (pp. 389–418). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-323-91068-2.00011-4>
17. **HOSSNE G, A. J., MÉNDEZ N., J., LEONETT P., F. A., MENESES L., J. E., & GIL M., J. A.** (2020). Maize root growth under regular water content, subjected to compaction, irrigation frequencies, and shear stress. *Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín*, 69(1), 7867–7881. <https://doi.org/10.15446/rfna.v69n1.54754>
18. **JARAMILLO, J. J., RIVAS, C. A., OTEROS, J., & NAVARRO-CERRILLO, R. M.** (2023). Forest Fragmentation and Landscape Connectivity Changes in Ecuadorian Mangroves: Some Hope for the Future? *Applied Sciences*, 13(8), 5001. <https://doi.org/10.3390/app13085001>
19. **LÓPEZ, Cristián.** (2019). *Fundamentos Básicos para la Teledetección Ambiental*. 4–5.
20. **LÜ, G., BATTY, M., STROBL, J., LIN, H., ZHU, A.-X., & CHEN, M.** (2019). Reflections and speculations on the progress in Geographic Information Systems (GIS): a geographic perspective. *International Journal of Geographical Information Science*, 33(2), 346–367. <https://doi.org/10.1080/13658816.2018.1533136>
21. **MAGYAR, T., FEHÉR, Z., BUDAY-BÓDI, E., TAMÁS, J., & NAGY, A.** (2023). Modeling of soil moisture and water fluxes in a maize field for the optimization of irrigation. *Computers and Electronics in Agriculture*, 213, 108159. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2023.108159>
22. **NÁJERA, A.** (2021). Metodología para generación de ortofotos y modelos digitales de elevación de alta resolución a través de imágenes obtenidas con drones no-fotogramétricos.

23. **NOVILLO ESPINOZA, I. D., CARRILLO ZENTENO, M. D., CARGUA CHAVEZ, J. E., NABEL MOREIRAL, V., ALBÁN SOLARTE, K. E., & MORALES INTRIAGO, F. L.** (2018). Propiedades físicas del suelo en diferentes sistemas agrícolas en la provincia de Los Ríos, Ecuador. *Temas Agrarios*, 23(2), 177–187. <https://doi.org/10.21897/rta.v23i2.1301>
24. **NÚÑEZ-RAMÍREZ, F., ESCOBOSA-GARCÍA, I., CÁRDENAS-SALAZAR, V., SANTILLANO-CÁZARES, J., RUELAS-ISLAS, J. DEL R., PRECIADO-RANGEL, P., & DÍAZ-RAMÍREZ, J.** (2020). Tensión de humedad del suelo, crecimiento, eficiencia en el uso del agua y rendimiento de maíz cultivado en el noroeste de México. *REVISTA TERRA LATINOAMERICANA*, 38(4), 805–815. <https://doi.org/10.28940/terra.v38i4.763>
25. **OU, J., FU, Q., TANG, R., DU, J., & XU, L.** (2023). Path Tracking Control of a Tractor on a Sloping Road with Steering Compensation. *Agriculture*, 13(11), 2160–2163. <https://doi.org/10.3390/agriculture13112160>
26. **PALACIOS OREJUELA, I. F.** (2023). Fotogrametría aérea con UAV como herramienta para la conservación de sitios arqueológicos. Caso de estudio: Complejo La Esperanza. *Antropología Cuadernos de Investigación*, 28, 59–70. <https://doi.org/10.26807/raci.vi28.307>
27. **PEREZ-RUIZ, M., MARTÍNEZ-GUANter, J., & UPADHYAYA, S. K.** (2021). High-precision GNSS for agricultural operations. In *GPS and GNSS Technology in Geosciences* (pp. 299–335). Elsevier. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-818617-6.00017-2>
28. **REDMOND Shamshiri.** (2019). GPS application in Precision Agriculture and Farm Machinery Management. *Academia*, pag.1–2. https://www.academia.edu/19876714/GPS_application_in_Precision_Agriculture_and_Farm_Machinery_Management

- 29. Ricardo CELI, Johanna CHOEZ CALDERÓN, Aldo MORA, & Sandra SOSA.** (2023). Análisis de aplicaciones informáticas de georreferenciación de proveedores agrícolas para la empresa agrocaao. ResearchGate. https://www.researchgate.net/publication/372418676_Analisis_de_aplicaciones_informaticas_de_georreferenciacion_de_proveedores_agricolas_para_la_empresa_agrocaao
- 30. ROBINSON, D. A., THOMAS, A., REINSCH, S., LEBRON, I., FEENEY, C. J., MASKELL, L. C., WOOD, C. M., SEATON, F. M., EMMETT, B. A., & COSBY, B. J.** (2022). Analytical modelling of soil porosity and bulk density across the soil organic matter and land-use continuum. *Scientific Reports*, 12(1), 7085. <https://doi.org/10.1038/s41598-022-11099-7>
- 31. RON PEÑAFIEL, I. X.** (2021). “DETERMINACIÓN DEL CICLO DE CULTIVO DEL MAÍZ (*Zea mays*) VAR. BLANCO HARINOSO TIPO CHAZO.
- 32. RYU, J.-S., KIM, M.-S., CHA, K.-J., LEE, T. H., & CHOI, D.-H.** (2020). Kriging interpolation methods in geostatistics and DACE model. *KSME International Journal*, 16(5), 619–632. <https://doi.org/10.1007/BF03184811>
- 33. SALAZAR CARRANZA, L. F., VÉLIZ ZAMORA, D. V., MESTANZA UQUILLAS, C. A., & VILLACÍS SEME, J. Y.** (2023). Respuesta agronómica de un híbrido de maíz (*Zea mays* L.) a diferentes densidades de siembra. *Ciencia y Tecnología*, 16(2), 17–24. <https://doi.org/10.18779/cyt.v16i2.661>
- 34. SEGURA BERMEJO, A.** (2019). Evaluar la capacidad de distribución de correcciones GNSS en tiempo real del Caster Nacional y Experimental basado en NTRIP. <http://dspace.esPOCH.edu.ec/bitstream/123456789/13630/1/98T00268.pdf>
- 35. VARGAS DIAZ, R. E., GALINDO PACHECO, J. R., GIRALDO HENAO, R., VARÓN RAMÍREZ, V. M., WILCHES ORTIZ, W. A., & FLOREZ, C. V.** (2023). Metodologías de interpolación y predicción espacial para el análisis de las propiedades físicas del suelo en la hoya del río Suárez (Colombia). *Siembra*, 10(1), e4118. <https://doi.org/10.29166/siembra.v10i1.4118>

- 36. VASILYEV, S. A., LOPOTKIN, A. M., VASILYEVA, A. V, & VASILIEVA, E. A.** (2020). Study of features of differentiated soil treatment by machine-tractor units on agricultural landscapes of slope lands. IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 548(5), 052007. <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/5/052007>
- 37. VILLAGRA-MENDOZA, K., BRENES-CANO, D., & GÓMEZ-CALDERÓN, N.** (2023). Efecto del balanceo de cargas en los ejes de tractores agrícolas sobre la eficiencia de labranza y las propiedades físico-mecánicas de un suelo vertisol. Agronomía Costarricense. <https://doi.org/10.15517/rac.v47i1.53968>
- 38. WANG, N., & ZHANG, T.** (2024). Soil pore structure and its research methods: A review. Soil and Water Research, 19(1), 1–24. <https://doi.org/10.17221/64/2023-SWR>
- 39. ZENG, Z., THOMS, D., CHEN, Y., & MA, X.** (2021). Comparison of soil and corn residue cutting performance of different discs used for vertical tillage. Scientific Reports, 11(1), 2537. <https://doi.org/10.1038/s41598-021-82270-9>
- 40. ZHANG, X., LIU, I., WU, C., CHEN, X., GAO, y., XIE, S., & ZHANG, B.** (2020). Development of a global 30 m impervious surface map using multisource and multitemporal remote sensing datasets with the Google Earth Engine platform. Earth System Science Data, 12(3), 1625–1648. <https://doi.org/10.5194/essd-12-1625-2020>



ANEXOS

ANEXO A: RECOLECCIÓN DE MUESTRAS



ANEXO B: DETERMINACIÓN DE PORCENTAJE DE HUMEDAD



ANEXO C: DETERMINACIÓN DE DENSIDAD APARENTE



ANEXO D: DETERMINACIÓN DE DENSIDAD REAL



ANEXO E: DETERMINACIÓN DE LA TEXTURA DEL SUELO



ANEXO F: VELOCIDAD DE INFILTRACIÓN



ANEXO G: RESISTENCIA AL CORTE



ANEXO H: ZONIFICACIÓN Y VUELO DEL DRON



ANEXO I: DETERMINACIÓN DEL PORCENTAJE DE PATINAJE AGRÍCOLA





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

Fecha de entrega: 28/06/ 2024

INFORMACIÓN DEL AUTOR
Nombres – Apellidos: Johanna Paola Manobanda 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>