



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y AMBIENTALES CARRERA INGENIERÍA AGROPECUARIA

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO Y EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL, BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA EN EL CULTIVO DE AVENA (*Avena sativa* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA – CHALTURA.”

Trabajo de grado previa a la obtención del Título de Ingeniera Agropecuaria

AUTORA:

Carolina Alejandra Velasteguí Galeano

DIRECTORA:

Ingrid Marcela Martínez González, PhD.

Ibarra

2019

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS AGROPECUARIAS Y
AMBIENTALES

CARRERA DE INGENIERIA AGROPECUARIA


**“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO Y EL ESCURRIMIENTO
SUPERFICIAL, BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA EN EL CULTIVO DE
AVENA (*Avena sativa* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA –
CHALTURA.”**

Trabajo de grado revisado por el Comité Asesor, por lo cual se autoriza su presentación como
requisito parcial para obtener Título de:

INGENIERA AGROPECUARIA

APROBADO:

Dra. Ingrid Martínez, PhD.
DIRECTOR



FIRMA

Ing. María José Romero, MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Doreen Brown, MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA

Ing. Carlos Arcos, MSc.
MIEMBRO TRIBUNAL



FIRMA



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	100263810-2		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Velastegui Galeano Carolina Alejandra		
DIRECCIÓN:	Olimpia Gudíño 1-30 y Galo Plaza Lasso		
EMAIL:	cavelastegui@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	2630640	TELÉFONO MÓVIL:	0984779532

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	"Determinación de la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial, bajo dos sistemas de labranza en el cultivo de avena (<i>Avena sativa</i> L.) En la Granja Experimental La Pradera – Chaltura."
AUTOR:	Velastegui Galeano Carolina Alejandra
FECHA: DD/MM/AAAA	15 de julio del 2019
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	<input checked="" type="checkbox"/> PREGRADO <input type="checkbox"/> POSGRADO
TÍTULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería Agropecuaria
ASESOR /DIRECTOR:	Ingrid Marcela Martínez González, PhD.

2. CONSTANCIAS

El autor (es) manifiesta (n) que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto la obra es original y que es (son) el (los) titular (es) de los derechos patrimoniales, por lo que asume (n) la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá (n) en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de julio de 2019

EL AUTOR:

(Firma) 
Nombre: Carolina Velastegui

DECLARACIÓN DE AUTORÍA

Manifiesto que la presente obra es original y se la desarrolló sin violar derechos de autores terceros, por lo tanto es original y que soy el titular de los derechos patrimoniales; por lo que asumo la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldré en defensa de la Universidad Técnica del Norte en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 15 días del mes de julio del 2019



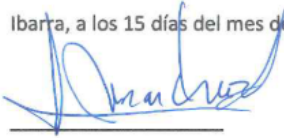
Firma

Carolina Alejandra Velasteguí Galeano

CERTIFICACIÓN DE AUTORÍA

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por Carolina Alejandra Velasteguí Galeano, bajo mi supervisión.

Ibarra, a los 15 días del mes de Julio de 2019



Dra. Ingrid Marcela Martínez González, PhD
DIRECTOR DE TESIS

CESIÓN DE DERECHOS DE AUTOR DEL TRABAJO DE GRADO A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

Yo, Carolina Velasteguí, con cédula de identidad Nro 100263810-2, manifiesto mi voluntad de ceder a la Universidad Técnica del Norte los derechos patrimoniales consagrados en la Ley de Propiedad Intelectual del Ecuador, artículos 4, 5 y 6, en calidad de autor de la obra o trabajo de grado denominado: "Determinación de la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial, bajo dos sistemas de labranza en el cultivo de avena (*avena sativa* L.) en la granja experimental La Pradera – Chaltura.", que ha sido desarrollado para optar por el título de: Ingeniera Agropecuaria en la Universidad Técnica del Norte, quedando la Universidad facultada para ejercer plenamente los derechos cedidos anteriormente. En mi condición de autor me reservo los derechos morales de la obra antes citada. En concordancia suscribo este documento en el momento que hago entrega del trabajo final en formato impreso y digital a la biblioteca de la Universidad Técnica del Norte.

Ibarra, a los 15 días del mes de julio de 2019



Firma

Carolina Alejandra Velasteguí Galeano

REGISTRO BIBLIOGRÁFICO

Guía: FICAYA-UTN

Fecha: Ibarra, a los 15 días del mes de julio del 2019

Carolina Alejandra Velasteguí Galeano: "Determinación de la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial, bajo dos sistemas de labranza en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.) en la Granja Experimental La Pradera – Chaltura." /Trabajo de titulación. Ingeniería Agropecuaria.

Universidad Técnica del Norte. Carrera de Ingeniería Agropecuaria. Ibarra, a los 15 días del mes de julio del 2019 58 páginas.

DIRECTOR (A):

El objetivo principal de la presente investigación fue: Determinar la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial, bajo dos sistemas de labranza en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.).

Entre los objetivos específicos se encuentran: determinar el coeficiente de escurrimiento superficial (K_r) en el sistema de mínima labranza y labranza tradicional después de cada evento de lluvia, cuantificar la pérdida de suelo y evaluar el rendimiento del cultivo de avena (*Avena sativa* L.) bajo los dos sistemas de labranza en una zona con pendiente de 25 %.

Dra. Ingrid Marcela Martínez González, PhD

Directora de Trabajo de Grado

Carolina Alejandra Velasteguí Galeano

Autor

AGRADECIMIENTO

Me gustaría agradecer en estas líneas la ayuda que muchas personas me han prestado durante mi formación y proceso de investigación. En primer lugar, quisiera dar las gracias a mis padres, Jhury Galeano y Juan Carlos Velasteguí quienes con gran amor me han ayudado, guiado y apoyado en el transcurso de mi vida, los amo y aprecio por todo el esfuerzo que hicieron para que esto sea posible.

A mis hermanas y familiares, que estuvieron de distintas maneras apoyándome, y brindando un granito de arena para seguir adelante.

A mi tutora, Ingrid Martínez, por compartir sus saberes, por orientarme en este proceso y sobre todo por brindarme la oportunidad de adquirir nuevas experiencias, a mis asesores de tesis por sus aportes para que esta investigación salga adelante.

A todos mis amigos y amigas que me ayudaron de una manera desinteresada, gracias infinitas por su buena voluntad.

Un agradecimiento especial a la Universidad Técnica del Norte y a la Carrera de Ingeniería Agropecuaria por abrirme las puertas y ayudarme en la formación de un profesional con valores y ética.

No puede faltar un agradecimiento infinito a Mary Robby, por estar pendiente de todos nosotros, por brindarnos su mejor actitud y sabiduría, gracias por tanto cariño.

DEDICATORIA

Esta tesis se lo dedico un ciento por ciento a mis padres que con su amor sigo adelante, con su paciencia me permiten crecer todos los días, me enseñaron que el esfuerzo y la paciencia tienen su recompensa, llenarlos de orgullo siempre será mi meta. Cada paso que doy es por y gracias a ustedes, les quiero mucho.

A mis hermanas Anita y Katy Velasteguí por su cariño y apoyo incondicional, por estar conmigo en todo momento, gracias. A toda mi familia que de una u otra forma me acompañan en todos mis sueños y metas.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

ÍNDICE DE FIGURAS	I
ÍNDICE DE TABLAS	II
ÍNDICE DE ANEXOS	III
RESUMEN	IV
ABSTRACT	V
CAPITULO I.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2. Problema de investigación.....	3
1.3. Justificación.....	4
1.4 Objetivos.....	5
1.4.1. Objetivo general.....	5
1.4.2 Objetivos específicos	5
1.5 Hipótesis	5
CAPITULO II.....	6
2. MARCO TEÓRICO	6
2.1. El Suelo.....	6
2.1.1. Formación del Suelo	6
2.1.2. Capas y Horizontes del Suelo	6
2.2 Erosión.....	8
2.2.1 Tipos de erosión.....	8
2.2.2 Consecuencias de la erosión	9
2.3. Erosión hídrica.....	10
2.3.1 Tipos de erosión hídrica.....	10
2.3.2 Proceso de erosión hídrica	11
2.4. Escurrimiento.....	12
2.4.1 Ciclo del Escurrimiento	12
2.4.2 Coeficiente de escurrimiento, Kr	14
2.4.3 Factores que influyen en el proceso de escorrentía	14
2.5 Sistemas de labranza.....	15
2.5.1 Labranza convencional o tradicional	16
2.5.2 Labranza Conservacionista	17

2.5.2.1 Ventajas de una Labranza Conservacionista.....	18
2.5.3 Compactación del suelo.....	18
2.6. Marco legal.....	19
CAPITULO III	21
3. MARCO METODOLÓGICO	21
3.1. Descripción del área de estudio	21
3.2. Materiales y métodos.....	22
3.3 Manejo del experimento	23
3.3.1 Factores en estudio.....	23
3.3.2. Tratamientos	23
3.3.3. Diseño experimental	23
3.3.4. Características del experimento	24
3.3.5. Análisis estadístico	25
3.3.6. Variables evaluadas	26
3.3.7. Manejo específico del experimento	32
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
4.1 Coeficiente de Esguerrimiento (Kr)	38
4.2 Pérdida de Suelo	41
4.3 Rendimiento del Cultivo.....	44
4.3.1 Rendimiento en grano	44
4.3.2 Rendimiento en biomasa aérea	45
CAPÍTULO V.....	48
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	48
5.1 Conclusiones.....	48
5.2 Recomendaciones	49
ANEXOS	50
BIBLIOGRAFÍA	53

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Horizontes del suelo.....	7
Figura 2. Proceso de erosión.....	8
Figura 3. Esquema de procesos de erosión / sedimentación en una ladera teórica	11
Figura 4. Ciclo de escurrimiento	13
Figura 5. Herramientas de Labranza Convencional o Tradicional,.....	16
Figura 6. Manejo de Labranza Conservacionista	17
Figura 7. Triángulo de la Labranza.	19
Figura 8. Mapa de ubicación del ensayo en campo Granja Experimental La Pradera UTN.	21
Figura 9. Diseño de los Sistemas de Labranza en el ensayo experimental.	24
Figura 10. Modelo de las unidades experimentales, dimensiones y estratificaciones para cada sistema de labranza.....	25
Figura 11. Pluviómetro en la zona experimental.....	26
Figura 12. Medición del volumen en el tanque colector.	26
Figura 13. Homogenización de muestras en campo.	27
Figura 14. Muestras colectadas después de un evento de lluvia.	28
Figura 15. Proceso inicial de filtración a) Etiquetado y b) Peso inicial submuestras.....	28
Figura 16. Proceso de Filtración.....	29
Figura 17. Proceso de secado de submuestras de suelo.	29
Figura 18. Peso final submuestras suelo.....	29
Figura 19. Selección del rendimiento al azar mediante el cuadrante metálico en las estratificaciones.	30
Figura 20. Toma de muestras rendimiento cultivo a) etiquetado, b) selección muestra, c) corte de la muestra.....	31
Figura 21. Peso inicial semilla y biomasa aérea, a) biomasa, b) grano.	31
Figura 22. Empaque muestras rendimiento, a) biomasa b) grano.	31
Figura 23. Secado muestras rendimiento, a) temperatura estufa b) muestras dentro de la estufa.....	32
Figura 24. Peso Final muestras rendimiento, a) peso biomasa, b) peso grano.	32
Figura 25. Herramientas de medición de la pendiente en el ensayo, a) teodolito, b) clinómetro.....	33
Figura 26. Muestras de suelo.....	33

Figura 27. Semilla de avena (<i>Avena sativa</i> L.).....	34
Figura 28. Preparación de suelo sistema Labranza Tradicional.	34
Figura 29 Instalación Curvas de nivel sistema Mínima Labranza, a) tolado, b) medición curvas de nivel, c) formación curva de nivel.....	34
Figura 30. Implementación toles metálicos en cada unidad experimental.	35
Figura 31. Hoyado de los tanques colectores de agua.	35
Figura 32. Por medio de un tubo PVC se realizó la conexión parcela, a) tanques, calicata, b) piso de cemento nivelado y c) colocación de tanques.....	35
Figura 33. Instalación pluviómetro.....	36
Figura 34 Fertilización a) Peso del fertilizante b) aplicación a las unidades experimentales de ML y LT.....	37
Figura 35. Manejo del cultivo, a) limpieza malezas, b) aporque y c) parcelas de escorrentía.	37
Figura 36. Cálculo del coeficiente de escurrimiento superficial (K_r) mensual durante el año 2018.	40
Figura 37 Pérdida de suelo acumulada ($Kg\ ha^{-1}$) desde enero hasta julio 2018.....	43
Figura 38. Rendimiento en grano según el sistema de labranza.....	45
Figura 39. Rendimiento en biomasa aérea según el sistema de labranza.	46

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 Principales consecuencias de los procesos de erosión y sedimentación	12
Tabla 2 Características del experimento.....	24
Tabla 3 Esquema del ADEVA sobre la determinación de la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial en mínima labranza y labranza tradicional.	25
Tabla 4 Coeficiente de escurrimiento superficial (K_r) según el evento de lluvia en los sistemas ML y LT.....	38
Tabla 5 Esquema del ADEVA de la variable coeficiente de escurrimiento superficial (K_r) en relación al sistema de labranza.	39
Tabla 6 Coeficiente de escurrimiento superficial (K_r) mensual en los sistemas ML y LT.	39
Tabla 7 Esquema del ADEVA sobre la variable pérdida de suelo.....	42
Tabla 8 Pérdida de sedimentos según el evento de lluvia en los sistemas ML y LT.	42

Tabla 9 Prueba de medias LSD Fisher (Alfa=0.05) Rendimiento en grano según el sistema de labranza.....	44
Tabla 10 Prueba LSD Fisher (Alfa=0.05) Rendimiento en biomasa aérea según el sistema de labranza.....	45

ÍNDICE DE ANEXOS

Anexo 1. Diseño de bloques y parcelas divididas en campo.....	50
Anexo 2. Precipitaciones que ocasionaron escurrimiento en los meses enero – julio 2018.	50
Anexo 3. Análisis de suelos del sitio experimental en La Granja Experimental La Pradera – Chaltura.	51
Anexo 4. Prueba LSD Fisher (Alfa=0.05) Porcentaje de escurrimiento superficial según el sistema de labranza.....	51
Anexo 5 Glosario de Términos.....	52

“DETERMINACIÓN DE LA PÉRDIDA DE SUELO Y EL ESCURRIMIENTO SUPERFICIAL, BAJO DOS SISTEMAS DE LABRANZA EN EL CULTIVO DE AVENA (*Avena sativa* L.) EN LA GRANJA EXPERIMENTAL LA PRADERA – CHALTURA.”

*Carolina Velasteguí

*Universidad Técnica del Norte

Correo: cavelasteguig@utn.edu.ec

RESUMEN

La erosión hídrica es considerada una de las principales causas de degradación de los suelos a nivel mundial. En Ecuador, el 47% de los suelos agrícolas están afectados en algún grado por erosión hídrica, lo que ha ocasionado un fuerte impacto económico y ambiental. Los objetivos de este estudio fueron determinar el coeficiente de escurrimiento superficial (K_r), cuantificar la pérdida de suelo y evaluar el rendimiento del cultivo (*Avena sativa* L.) bajo dos sistemas de labranza. El área de estudio estuvo ubicada en la Granja Experimental “La Pradera UTN”. Se establecieron parcelas de escurrimiento de 200 m² (10 m x 20 m) en una ladera de un 25% de pendiente. Los sistemas de labranza evaluados fueron: Mínima Labranza (ML) con curvas de nivel cada 7 m y Labranza Tradicional (LT). El escurrimiento superficial fue determinado colocando en cada unidad experimental dos tanques colectores de agua con una capacidad de 244 litros. El primer tanque constaba de 18 orificios y uno de ellos fue conectado al segundo tanque. Para la variable pérdida de suelo se realizó una alícuota en laboratorio después de cada evento de lluvia y el rendimiento se evaluó al final del ciclo del cultivo. Las lluvias ocurridas en el mes de mayo ocasionaron un alto escurrimiento superficial, con una precipitación acumulada de 180.53 mm, en donde el sistema de mínima labranza tuvo un porcentaje de escurrimiento de tan solo 8% mientras que el sistema de labranza tradicional tuvo un coeficiente de escurrimiento de un 25%. Para la variable de pérdida de suelo, el sistema LT fue mayor en un 90% que el sistema de ML. Con respecto al rendimiento del cultivo en grano y biomasa aérea, ML presentó valores superiores a LT.

ABSTRACT

Water erosion is considered one of the main causes of soil degradation worldwide. In Ecuador, 47% of agricultural soils are affected at different levels by water erosion, which has caused a strong economic and environmental impact. The objectives of this study were to determine the surface runoff coefficient (K_r), to quantify soil loss and to evaluate crop yield (*Avena sativa* L.) under two tillage systems. The study area was located in the Experimental Farm "La Pradera UTN". 200 m² (10 m x 20 m) runoff plots were established on a 25% slope. The tillage systems evaluated were: Minimum Tillage (ML) with contours every 7 m and Traditional Tillage (LT). Surface runoff was determined by placing two water collecting tanks with a capacity of 244 liters in each experimental unit. The first tank consisted of 18 holes, one and which was connected to the second tank. For the soil loss variable, an aliquot was performed in the laboratory after each rainfall event and yield was evaluated at the end of the crop cycle. The rainfall events that occurred in the month of May caused high surface runoff, with an accumulated rainfall of 180.53 mm, in which the minimum tillage system had an 8% runoff while the traditional tillage system had a runoff coefficient of 25%. For the soil loss variable, the LT system was 90% higher than the ML system. With respect to the crop yield in grain and aerial biomass, ML presented higher values than LT.

CAPITULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La erosión hídrica es uno de los principales tipos de degradación de los suelos agrícolas, lo que ha afectado a nivel mundial 1.12 millones de hectáreas. Cuando un suelo es erosionado, se alteran sus propiedades químicas como los nutrientes y propiedades físicas como son el volumen, tamaño y distribución de los poros, la continuidad de los macroporos y la resistencia del suelo a la penetración radicular; al aumentar la compactación disminuye la macroporosidad e impide el intercambio de agua y gases (Knapen, Poesen, Govers, Gyssels y Nachtergaele, 2007; FAO y GTIS, 2014).

Las presiones sobre la demanda de alimentos, los cambios climáticos, malas prácticas agrícolas causan degradación, sin tomar en cuenta que la regeneración del suelo requiere de largos periodos de tiempo, por ejemplo, en praderas de climas templados, se necesitan 100 años para formar 1 a 2 cm de suelo, en otras palabras la pérdida de suelo no es reversible en el transcurso de una vida humana, por esta razón el suelo se debe considerar como un recurso no renovable (FAO, 2009).

No es de extrañarse que se está viviendo en un mundo cada vez más urbanizado, invadiendo espacios agrícolas y compactando el suelo con materiales impermeables artificiales como el asfalto y concreto, típicamente relacionados al desarrollo urbano y la construcción de infraestructura desplazando a la agricultura a zonas altas con pendientes predominantes. Según las Naciones Unidas, el 54 por ciento de la población mundial residía en áreas urbanas en el 2014. Más aún, se espera que todas las regiones se urbanicen más y para el 2050, se estima que el 66 por ciento de la población mundial será urbana (FAO y GTIS, 2014).

La erosión es influenciada por distintos factores como el clima, el relieve, el tipo de suelo, la cobertura vegetal y el sistema de labranza. Mientras que la erosividad, es la capacidad erosiva del agente geológico que depende del clima (lluvia, hielo y viento); y la erosionabilidad como la susceptibilidad del suelo para ser movilizado. Sin embargo, ambas, la erosividad y la erosionabilidad dependen del tipo de suelo (estructura y materia orgánica), pendiente y cobertura vegetal (Campaña, 2015 ; Alarcón y Reyes, 2013).

Se ha demostrado que los sistemas conservacionistas son esenciales para revertir la tendencia de la degradación del suelo, garantizar la seguridad alimentaria y un futuro sostenible ya que incrementan el rendimiento de los cultivos, la eficiencia del uso del agua, mejoran la estructura del suelo y reducen la erosión (Martínez et al., 2012). Los primeros estudios sobre evaluación de la erosión mediante técnicas experimentales en España se iniciaron de manera sistemática a principios de los años ochenta del siglo XX (Romero, Ruiz y Serrato, 2011).

Para estimar la erosión o la pérdida de suelo, se han aplicado por muchos años distintas estrategias y metodologías experimentales; si la pendiente es más fuerte, la velocidad de desprendimiento y arrastre de las partículas del suelo es mayor (Neder, Busnelli y Sampietro, 2010). Es por ello, que la validez de las mediciones depende de la pertinencia de la metodología utilizada para los objetivos planteados y que estos reflejen las características propias de cada ecosistema (Boix et al., 2006).

Las parcelas de escorrentía es uno de los mejores métodos para demostrar a los agricultores como se produce una erosión grave o leve según el sistema de labranza y cubierta vegetal, también permiten registrar de forma dinámica la producción de escorrentía y sedimentos en relación con la precipitación caída sobre la superficie de la parcela. Dado que el volumen de sedimentos registrado corresponde a una superficie conocida, la pérdida de suelo puede ser expresada por unidad de área y de tiempo obteniéndose tasas de erosión (De Alba, Benito y Pérez, 2002).

En Ecuador las cordilleras desde tierras altas en la Sierra hasta zonas bajas en la región Litoral poseen suelos volcánicos con texturas francas. Las primeras capas de suelo contienen grandes espacios porosos, bien drenados y facilidad para la penetración radicular, lo cual es una característica especial y de mucha importancia para el desarrollo de la agricultura. A nivel país también muestra una gran diversidad de climas, los Andes se encarga de dividirlo en 3 zonas altitudinales con macroclimas, y la zona de mayor precipitación se encuentra cerca de la frontera con Colombia, es decir la zona norte del país contemplando las provincias de Imbabura y Carchi, con eventos de lluvia mayores a 700 mm al año y fuertes pendientes superiores al 25% (Cruzatty, Luz, Vollmann y Juan, 2012).

En Imbabura este tipo de degradación se ha incrementado, ahora es común observar en el paisaje agrícola las huellas de la erosión, lugares abandonados por la disminución o desaparición de la capa arable, zonas donde se logra identificar el aclaramiento de los colores del suelo y formación cárcavas. La Sierra Ecuatoriana se caracteriza por manejar una agricultura convencional en zonas de fuertes pendientes y en condiciones muy húmedas en épocas de invierno. El departamento de suelos del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) y el Instituto Francés de Investigación Científica (ORSTOM) realizaron un estudio cartográfico sobre los principales procesos erosivos en Ecuador y globalmente el 50% de la superficie del país está afectado por procesos erosivos (De Noni y Trujillo, 1986; Mena y Medina, 2000).

Como menciona Campaña (2015), la erosión se ve potenciada por distintos factores, especialmente por el sistema de labranza, ya que el uso inadecuado de la maquinaria agrícola -que consiste en invertir el suelo en zonas de pendientes-, contribuyen a que el suelo se erosione rápidamente. Así también, se debe considerar que la población del país ha tenido un crecimiento promedio anual de 3% en los 60 años según el censo realizado en el 2010 (Albornoz, 2011). Este incremento también conlleva a un aumento de sus necesidades alimentarias, ocasionando una presión cada vez mayor de los recursos naturales.

El presente proyecto tuvo como propósito contribuir a la conservación de suelo en el país. Para ello, la investigación buscaba estudiar las tasas de escorrentía superficial y obtener datos del rendimiento del cultivo bajo dos sistemas de labranza. El estudio abarcó suelos cultivables con una pendiente de 2%.

1.2. Problema de investigación

Los suelos del Ecuador se encuentran vulnerables al impacto de la erosión hídrica, según la clasificación de capacidad de uso de suelos el país se encuentra en las clases VI y VII, es decir con áreas muy empinadas para uso agropecuario, por el contrario, estos suelos pertenecen al uso con propósito forestal. Debido a esta topografía sus suelos poseen vulnerabilidad alta a estos problemas de erosión, los suelos volcánicos son frágiles con respecto al uso agrario (OEA, 1978; Mena y Medina, 2000).

La agricultura en el norte del país, sobre todo en las provincias de Carchi e Imbabura se caracteriza por desarrollarse en suelos de ladera, con pendientes superiores al 15% en su mayoría. El uso de maquinaria bajo estas condiciones se realiza a favor de la pendiente, ocasionando arrastre y pérdida de suelo con los diferentes sistemas de labranza. La parroquia San José de Chaltura también utiliza mecanización como el arado y la rastra en la preparación del suelo en pendientes fuertes, provocando el aceleramiento de la pérdida de la capa arable del suelo y sus propiedades benéficas para el cultivo (Córdova y Valverde, 2008).

Las desventajas de manejar sistemas sin conservación de suelo, y no tener estudios que cuantifiquen las tasas de erosión hídrica y escorrentía superficial en zonas con pendientes de 25%, se ven reflejadas en la menor producción de los cultivos. El uso de maquinaria agrícola que consiste en la inversión del suelo en zonas de pendiente, provoca la pérdida de suelo, el escurrimiento superficial, el aumento en la compactación y la disminución de la fertilidad del suelo.

1.3. Justificación

La erosión hídrica es considerada una de las principales causas de degradación de los suelos a nivel mundial. En Ecuador, el 47% de los suelos agrícolas están afectados en algún grado por erosión hídrica, lo que ha ocasionado un fuerte impacto económico y ambiental. El Ministerio de Agricultura y Ganadería realizó un mapa topográfico en el país el cual indicó que el 67% de los suelos presentan una pendiente superior al 20%.

Por ello, el uso de sistemas conservacionistas, permitiría mitigar los procesos erosivos en zonas de fuertes pendientes y lluvias intensas. Además, incrementar los bajos rendimientos de la producción agrícola al favorecer el almacenamiento de agua en el suelo. Los resultados obtenidos permiten contribuir a establecer medidas conservacionistas que ayuden a fortalecer las decisiones de planeamiento agrícola y mitigar la degradación de los suelos.

Actualmente, la escasa investigación científica en el área de conservación de suelos, así como la disponibilidad de equipos y capacitación humana, han ocasionado que estos procesos erosivos se intensifiquen. En este escenario, el proyecto de investigación busca generar información técnica y científica que permita contribuir a la problemática actual del país

empleando el método de parcelas de escurrimiento, que sirven de ejemplo práctico a los agricultores y permiten registrar de forma dinámica la producción de escorrentía, sedimentos y rendimiento en relación con la precipitación.

El Proyecto de Investigación se enmarca en la línea de investigación “Desarrollo agropecuario y forestal sostenible” del Grupo de Investigación Agrobiodiversidad, Seguridad y Soberanía Alimentaria (GIASSA) de la Facultad de Ciencias Agropecuarias y Ambientales (FICAYA), de la Universidad Técnica del Norte.

1.4 Objetivos

1.4.1. Objetivo general

Determinar la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial, bajo dos sistemas de labranza en el cultivo de avena (*Avena sativa* L.).

1.4.2 Objetivos específicos

1.4.2.1. Determinar el coeficiente de escurrimiento superficial (K_r) en los dos sistemas de labranza, después de cada evento de lluvia.

1.4.2.2. Cuantificar la pérdida de suelo en sistema de mínima labranza y labranza tradicional en una zona con pendiente de 25%.

1.4.2.3. Evaluar el rendimiento del cultivo de avena (*Avena sativa* L.), en los dos sistemas de labranza.

1.5 Hipótesis

Ho: La aplicación de un sistema de mínima labranza posee las mismas tasas de erosión hídrica y rendimiento que el sistema de labranza tradicional.

Ha: La aplicación de mínima labranza mitiga la erosión hídrica, disminuyendo el escurrimiento superficial y la pérdida de sedimentos.

CAPITULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1. El Suelo

El suelo es una capa fina que a través de los años se ha formado lentamente, por medio de la desintegración de rocas superficiales debido a la acción de varios factores como agua, cambios de temperatura y viento. La materia orgánica formada por microorganismos que descomponen las plantas y animales que crecen y mueren dentro y sobre el suelo. Los componentes del suelo se derivan de estas descomposiciones en minerales, materia orgánica, organismos vegetales, animales y espacios de aire y agua (Schlegel y FAO, 1996).

2.1.1. Formación del Suelo

Inicia con cambios en la temperatura y el agua rompe estructuras como las rocas, al pulverizarse estas son arrastradas por efecto de la lluvia o el viento y si se encuentra en una zona con pendiente se depositarán en la zona más baja. La incorporación de materia orgánica se debe a la muerte de animales, plantas o musgos que yacen sobre el suelo. Cada aportación de estas estructuras mejora este recurso (Schlegel y FAO, 1996).

2.1.2. Capas y Horizontes del Suelo

Actualmente se reconocen cinco horizontes o capas del suelo las cuales podemos observar en la Figura 1, y se detalla a continuación cada horizonte con su respectiva característica (FAO, ISRIC y SICS, 1999).

Capa O: capa compuesta por hojarasca no descompuesta (hojas, ramas, musgos, líquenes, etc.) que se han acumulado en la superficie, este horizonte no se encuentra saturado de agua por periodos prolongados. Posee una mínima fracción mineral del peso real y una acumulación de materia orgánica parcialmente en estado de descomposición

Horizonte A: ubicada bajo la capa O, en donde toda o la mayor parte de la estructura rocosa original ha desaparecido y sus propiedades se ven afectadas por la labranza o disturbios como erosión.

Horizonte B: combinación de arcilla, hierro, aluminio, humus, carbonatos, yeso. Concentración residual de sesquióxidos, horizonte rojo sin aparente lixiviación de hierro, de estructura granular, en bloques o prismáticos, de carácter quebradizo.

Horizonte C: capa mineral afectado de manera leve por procesos pedogenéticos, se incluyen capas silíceas y calcáceas. Las raíces pueden penetrar en este horizonte.

Capa R: Roca dura subyaciendo el suelo, roca base, por ejemplo, el granito, basalto, cuarcita y caliza endurecidos. Estos fragmentos no se disgregan dentro de 24 horas, muy difícil el excavado manual con una pala pero se pueden romper con la maquinaria. Pocas raíces pueden penetrar este horizonte.

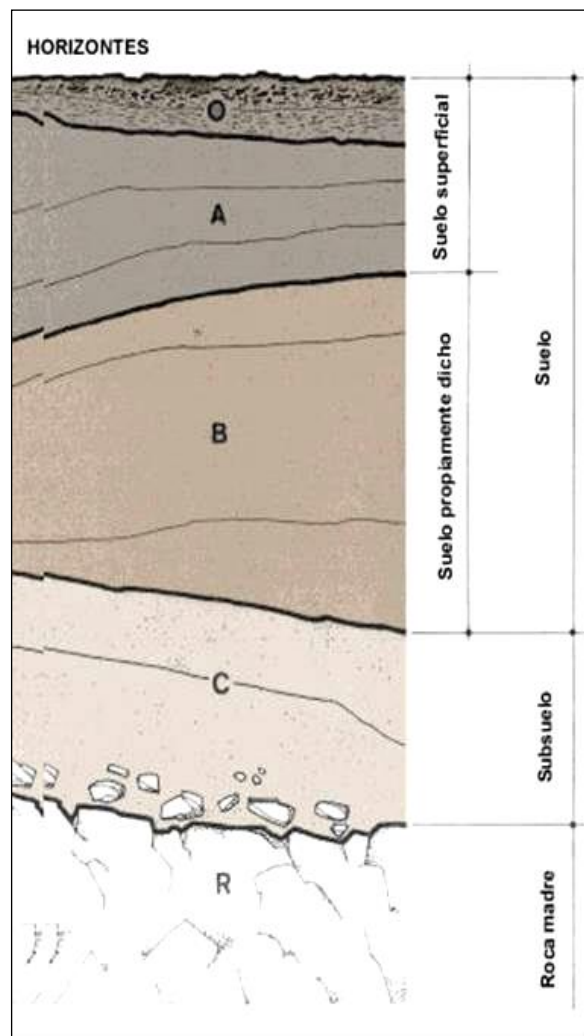


Figura 1. Horizontes del suelo
Fuente: FAO (2017)

2.2 Erosión

Erosión se considera a la pérdida progresiva o remoción de disgregados del suelo. Consiste en el desprendimiento, transporte y deposición de partículas por acción de factores como agua, viento, sistema de labranza (Figura 2). La erosión es un proceso natural pero la tasa de erosión es típicamente incrementada por la actividad humana (Sánchez y Gándara, 2001; FAO y GTIS, 2014).

Según Loredo, Beltrán, Moreno y Casiano (2007) la erosión también es considerada como una de las principales amenazas que pone en riesgo la productividad de los suelos agrícolas a largo plazo. Si este proceso tiene la intervención del ser humano se considera erosión antrópica, pero si se da en condiciones naturales se reconoce como erosión geológica.

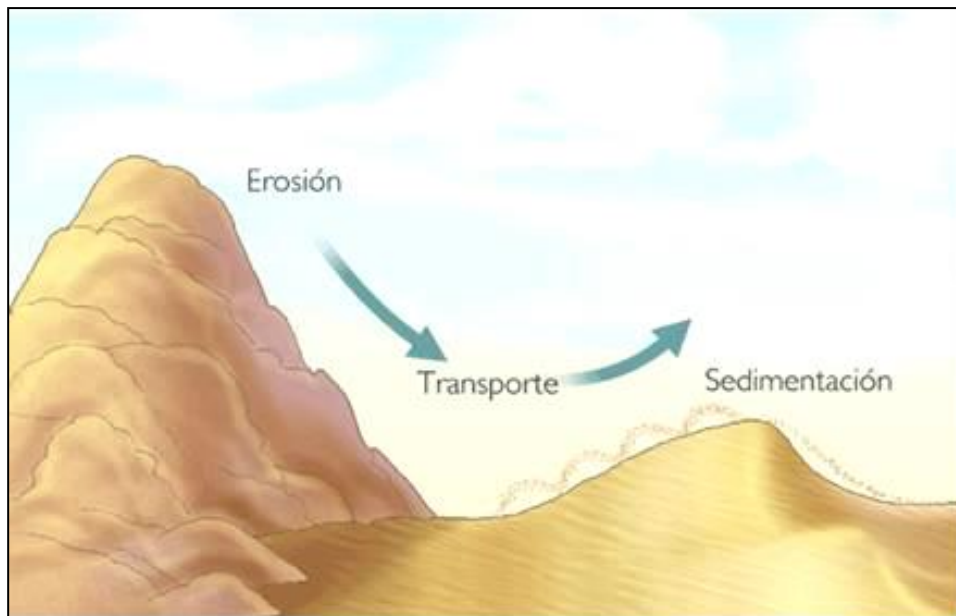


Figura 2. Proceso de erosión
Fuente: Ibáñez (2018)

2.2.1 Tipos de erosión

Según Zachar (2011) los tipos de erosión incluyen el agua, hielo (glaciares), nieve, viento, animales, plantas y las personas. A continuación, se detallan los tipos de erosión más representativos.

- Erosión geológica o natural: Desgaste de rocas y sedimentos provenientes de la fractura de materiales rocosos, situados en la parte superficial terrestre causada por diferentes

factores desde la energía proveniente de la radiación solar hasta factores como viento lluvia, procesos fluviales o marítimos.

- Erosión antrópica o causadas por el hombre: inducida por las actividades humanas, movimiento directo del suelo pendiente abajo por los implementos de labranza y resultando en la redistribución del suelo dentro de un campo, causando desequilibrios en el ecosistema de la Tierra, que favorece a los procesos erosivos como la pérdida de la capa superficial de los suelos (horizontes).

- Erosión eólica: se presenta en las regiones estacionalmente secas y tienen presencia de vientos fuertes que poseen la capacidad de desprender las partículas más finas en suelos secos y desnudos, transportándolas hacia otro lugar.

- Erosión hídrica: causado por la agresividad de la lluvia que dependerán de la intensidad, duración y frecuencia. La erosión hídrica aumentará cuando a más de estos factores hay presencia de pendientes fuertes, poca presencia de materia orgánica, ausencia de cobertura vegetal entre otros.

2.2.2 Consecuencias de la erosión

Las consecuencias de la erosión son la pérdida de la capacidad del suelo para realizar sus funciones, en casos extremos la desaparición de algunos de sus horizontes. Indirectamente, puede afectar de manera negativa los cursos del agua ya que los nutrientes y agentes contaminantes arrastrados, contaminan ecosistemas fluviales. Afecta el espesor del suelo y se reduce la materia orgánica y fertilidad, esto conlleva a un deterioro en la capacidad de reserva de humedad en el suelo (Almorox, López y Rafaelli, 2010)

- Destrucción de tierras productivas (cárcavas): Pérdida de capacidad productiva de los suelos (por deposición de sedimentos). Pérdida de capacidad productiva del suelo (erosión laminar y en surcos): Tapado y desborde de canales por obturación con sedimentos. Pérdida de agua para los cultivos (productividad de corto plazo): Colmatación de embalses (reducción de vida útil y funcionalidad). Deterioro de ecosistemas de ribera (bordes de ríos y arroyos): Contaminación de aguas por sedimentos (mayores costos de potabilización) (Cisneros et al., 2012).

2.3. Erosión hídrica

Proceso de remoción y transporte de partículas del suelo causados por el impacto de las gotas sobre la superficie del suelo, dependerán de la intensidad, duración y frecuencia. La erosión hídrica aumentará cuando a más de estos factores hay presencia de pendientes fuertes, poca presencia de materia orgánica, sistema de labranza empleado, ausencia de cobertura vegetal entre otros.

2.3.1 Tipos de erosión hídrica

Almorox et al., (2010) menciona que existen varios tipos de erosión hídrica (Figura 3) y detalla los siguientes:

- Laminar entre surcos: debido al impacto de la gota de lluvia y al posterior transporte del suelo desintegrado por un flujo superficial poco profundo.

- Regueros o surcos: flujo suelo – agua escure concentrado en corrientes capaces de abrir pequeños surcos. Estos regueros en zonas agrícolas bajo labranza pueden desaparecer debido a las labores de remoción de suelo.

- Cárcavas: cauces con fuertes pendientes, estas no pueden desaparecer con la maquinaria agrícola.

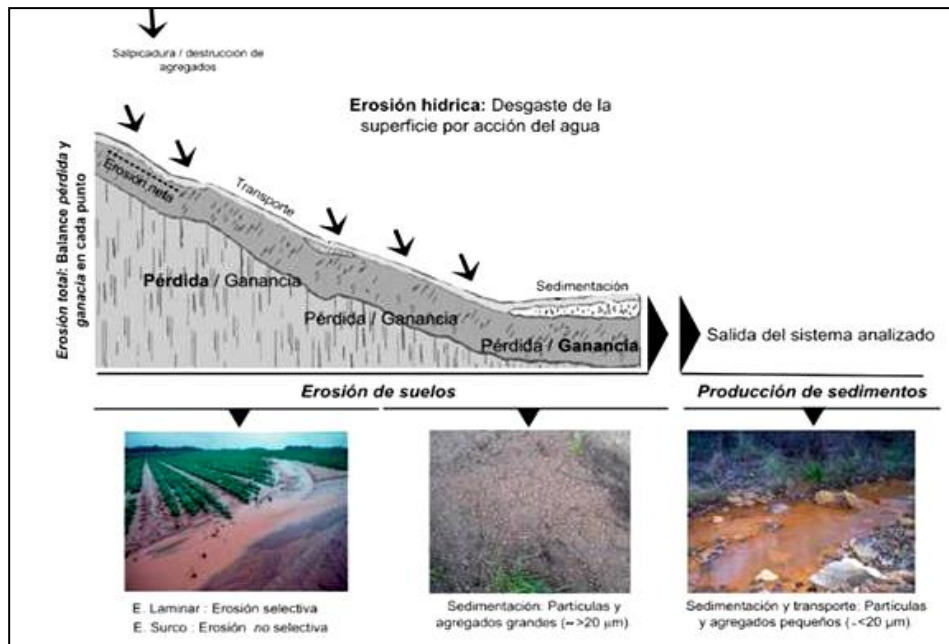


Figura 3. Esquema de procesos de erosión / sedimentación en una ladera teórica
Fuente: Chagas e Ignacio (2018)

2.3.2 Proceso de erosión hídrica

Según Ibáñez (2008) los procesos fundamentales de la erosión hídrica son tres y sus principales consecuencias se muestran en la Tabla 1.

1. Degradación: ocurre debido al impacto que generan las gotas de lluvia sobre las partículas que se encuentran en la superficie del suelo.
2. Transporte: gran proporción de la energía cinética contenida en las gotas de lluvia rompe las uniones entre partículas del suelo y otra parte se disipa en el proceso de salpicado. Cuando la tasa de infiltración es menor a la intensidad de lluvia, se produce escurrimiento superficial que también causa desagregación y es a su vez el principal agente de transporte del material desagregado.
3. Deposición: Si la energía del escurrimiento es menor a la requerida para transportar una determinada masa de partículas, se produce la sedimentación. Esto ocurre generalmente en las partes bajas de las pendientes, debido a la menor inclinación.

Tabla 1

Principales consecuencias de los procesos de erosión y sedimentación

Erosión – Esguerrimiento	Sedimentación
Destrucción de tierras productivas (cárcavas)	Pérdida de capacidad productiva de los suelos (por deposición de sedimentos)
Pérdida de capacidad productiva del suelo (erosión laminar y en surcos)	Tapado y desborde de canales por obturación con sedimentos
Pérdida de agua para los cultivos (productividad de corto plazo)	Colmatación de embalses (reducción de vida útil y funcionalidad)
Deterioro de ecosistemas de ribera (bordes de ríos y arroyos)	Contaminación de aguas por sedimentos (mayores costos de potabilización)

Recuperado de Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo. Fuente: Cisneros et al. (2012)

2.4. Esguerrimiento

Es la parte de la precipitación que cae al suelo y que circula por surcos, cárcavas o canales, hacia el drenaje principal. Cuando llueve, una parte es interceptada por las plantas, otra se almacena superficialmente, otra porción se infiltra incrementando las corrientes subterráneas luego de saturar el suelo, y la parte restante esgurre superficialmente hacia los cauces naturales de drenaje (Maderey y Jiménez, 2005).

- Esguerrimiento superficial o esgorrentía: parte del agua que esgurre sobre el suelo y después por los cauces de los ríos.
- Esguerrimiento subsuperficial: se denomina a la cantidad de agua que se desliza por medio de los horizontes superiores del suelo hacia las corrientes.

2.4.1 Ciclo del Esguerrimiento

Según Murillo Illanes (2010) el ciclo de esguerrimiento se compone de varias fases y se muestra en la Figura 4 su proceso.

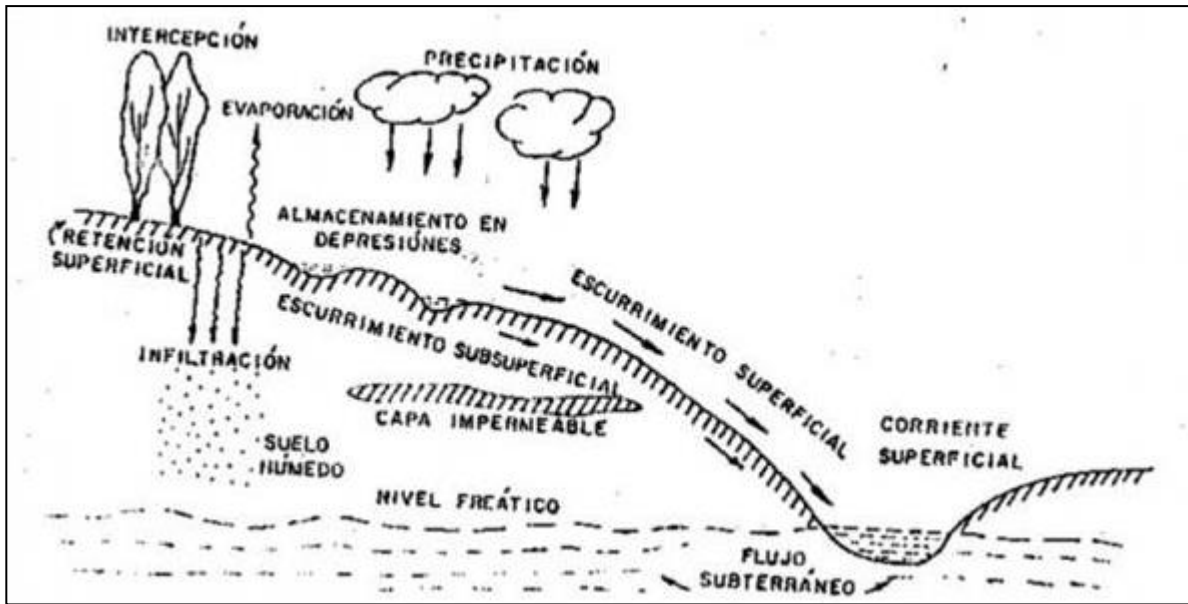


Figura 4. Ciclo de escurrimiento

Fuente: Maderey y Jiménez (2005)

Fase 1. Se refiere a un período sin lluvia, que corresponde a la época de estiaje. Durante esta fase el nivel de las aguas freáticas es bajo y está descendiendo continuamente.

Fase 2. Período inicial de la lluvia, ésta se divide en precipitación directa en el cauce, intercepción por la vegetación, retención en depresiones, e infiltración. El agua que infiltra ocasiona un incremento gradual de agua en la zona de aireación. El escurrimiento es casi nulo (excepto en suelos impermeables).

Fase 3. Se refiere a la presencia de una lluvia de intensidad variable y más o menos prolongada. Satisface la intercepción y la retención superficial, el exceso de lluvia se transforma en escurrimiento. El escurrimiento ocurre cuando la lluvia excede la infiltración, pudiendo llegar a uno de los cauces naturales en función de la capacidad de retención de los suelos.

El agua que infiltra satura la zona de aireación, la napa comienza a elevarse y el escurrimiento subterráneo se incrementa hasta contribuir al escurrimiento superficial. Como la zona de aireación está saturada, también contribuye al escurrimiento subsuperficial.

Fase 4. El nivel freático se eleva constantemente hasta que el escurrimiento subterráneo se equilibra con la capacidad máxima de recarga posible y toda la lluvia se convierte en

incremento directo del escurrimiento superficial (sucede especialmente en zonas bajas con prolongadas lluvias).

Fase 5. Comprende al período entre la terminación de la lluvia y el momento en que es alcanzado el máximo nivel de aguas. El agua que se encuentra en la zona de aireación es alcanzada por los niveles freáticos. El escurrimiento superficial es mantenido por los escurrimientos subsuperficiales y subterráneos que afloran, así como por los pequeños almacenamientos superficiales.

2.4.2 Coeficiente de escurrimiento, Kr

Según Maderey y Jiménez (2005) el coeficiente de escurrimiento (Kr) es la relación entre la cantidad de agua que se precipitó luego de un evento de lluvia y la cantidad que escurrió sobre la lámina superficial de suelo, esta debe expresarse en porcentaje.

2.4.3 Factores que influyen en el proceso de escorrentía

El agua que circula por la superficie del suelo y que recibe el nombre de escorrentía es el agua que no ha sido interceptado por las plantas, infiltrado al suelo, o evaporado. Si no hay circulación de agua en superficie no se produce arrastre de sedimentos y, por tanto, no hay pérdida de suelo neta. La escorrentía depende lógicamente de la precipitación caída y del estado y características del suelo y del sustrato. Pero, además, la escorrentía está controlada por la cubierta vegetal (Valladares, 2004).

2.4.3.1 Características del evento de lluvia

Según Núñez (2001) existe una relación directa entre la lluvia y la cantidad de suelo erosionado, la lluvia influye en el proceso de escorrentía debido a tres características: intensidad, duración del evento y distribución dentro de la cuenca.

Intensidad de lluvia

Generalmente la intensidad de la lluvia se mide por la cantidad de agua que cae en un cuarto de hora, de tal manera que se agrupa en: Baja, si es inferior a 28 mm/h; mediana si oscila entre 28 y 60 mm/h; y alta si es superior a los 60 mm/h. el volumen, intensidad, frecuencia y duración de un evento de lluvia son factores que influyen directamente sobre la erosión (FAO, 2000). Si se compara dos suelos con la misma capacidad de infiltración en un tiempo

determinado se puede decir que en un evento con intensidad de 60 mm/h durante 20 min producirá pérdida de agua y suelo mayores que un evento de 23 mm/h en el mismo tiempo (Nuñez, 2001).

Distribución de lluvia

La sierra ecuatoriana posee dos distribuciones de lluvia entre los meses de febrero – mayo y octubre – noviembre, en los meses de junio y septiembre se presencia la estación seca y en diciembre, estaciones tomadas en cuenta para la agricultura en zonas donde no poseen un canal de riego. Los eventos de lluvia varían tanto espacialmente como en el tiempo, la distribución temporal de estos tienen un impacto en el escurrimiento superficial; cuando un evento de lluvia es seguido en poco tiempo por otro el suelo se encuentra húmedo o casi a capacidad de saturación, es decir menos agua penetrará en el suelo aumentando el escurrimiento en comparación al mismo evento con un suelo seco a su inicio (Cruzatty et al, 2012).

2.4.3.2 Estado y características del suelo

La topografía del terreno se relaciona directamente con la infiltración y el escurrimiento superficial, el efecto de la topografía dependerá del grado de pendiente para que el escurrimiento sea mayor o menor. La capacidad de infiltración variará con el tipo de suelo, debido a que poseerá diferentes características como la permeabilidad, volumen y distribución porosa ya que tendrá mayor capacidad de infiltración si el material coloidal es mayor lo cual disminuirá el escurrimiento superficial (Maderey y Jiménez, 2005).

2.4.3.3 Cobertura vegetal

Cuando un suelo virgen es deforestado la velocidad del agua sobre la superficie de suelo se incrementa (Maderey y Jiménez, 2005). El impacto directo de las gotas en el suelo provoca la ruptura de agregados y un reordenamiento de las partículas formando una costra, exponiendo al suelo a ser erosionado por su baja impermeabilidad y nula cobertura vegetal (Robinson y Woodun 2008).

2.5 Sistemas de labranza

Es una labor cultural que consiste en preparar el suelo para la siembra, según la intensidad de laboreo se puede clasificar en labranza convencional, labranza de conservación (FAO, 2000).

2.5.1 Labranza convencional o tradicional

Consiste en la inversión del suelo con ayuda de maquinaria o tracción animal (Figura 5), conjunto de operaciones primarias con el arado de vertedera o de discos seguida por labranzas secundarias con la rastra de discos. El propósito principal de la labranza primaria es controlar las malezas por medio de su enterramiento y el objetivo principal de la labranza secundaria es desmenuzar los agregados del suelo. La característica negativa de este sistema es que al suelo le falta una protección de rastrojos y queda desnudo, por lo tanto es susceptible a los efectos de erosión hídrica (FAO, 2000).

La labranza convencional o tradicional, en suelos de ladera, es un sistema sumamente agresivo, ya que utiliza maquinaria que invierte la capa arable, y se realiza más de un pase en el terreno, dejando en la superficie el suelo suelto que es expuesto a los efectos de la erosión. Estos efectos negativos se intensifican si a parte de usar este sistema se maneja monocultivos extendiendo la frontera agrícola elevando el uso de estas herramientas de preparación de suelo para labranza convencional (FAO, 1991; INIAP, 2004).

Las herramientas para labranza tradicional se condicionan por diversos factores como clima, tipo de tracción, factores económicos, las cuales definirán la secuencia y frecuencia de su uso. Este tipo de labranza generará modificaciones en la estructura del suelo y afectará el ecosistema interno del suelo (FAO, 1991).

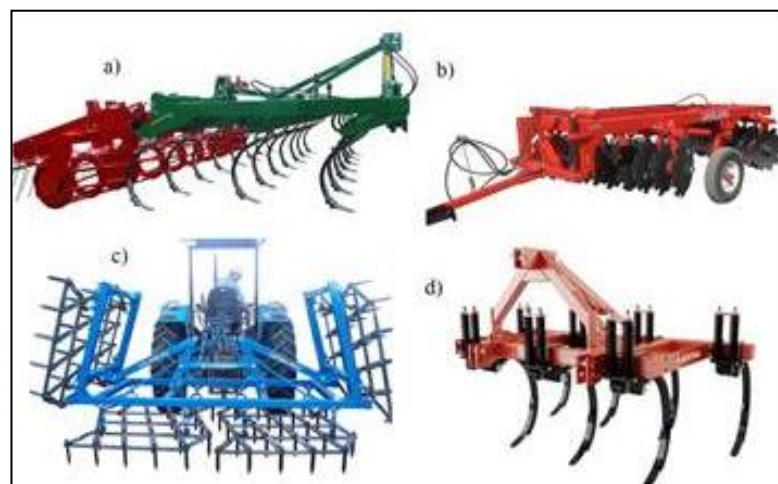


Figura 5. Herramientas de Labranza Convencional o Tradicional,
a) vibro cultivadores, b) rastra de disco, c) rastra de dientes, d) arado de cinceles
Fuente: INIAP (2004)

2.5.2 Labranza Conservacionista

Varios métodos de control de erosión como terrazas, barreras vivas o curvas a nivel ayudan en la estabilidad de la estructura del suelo y materia orgánica en el suelo, la labranza conservacionista utiliza cobertura vegetal, residuos de plantas y otro tipos de mulch para disminuir o mitigar procesos erosivos contribuyendo de esta manera a la incorporación de carbono en el suelo reduciendo la erosión y motivando una acción positiva en la microbiología y fertilidad del suelo (Schlegel y FAO, 1996; INIAP, 2004).

La agricultura de conservación engloba diversas prácticas agronómicas complementarias:

- Alteración mínima del suelo (mediante un laboreo reducido o un laboreo cero) para preservar su estructura, la fauna del suelo y la materia orgánica;
- Cubierta vegetal permanente (cultivos de cobertura, restos de cosecha y mulch) para proteger el suelo y contribuir a la eliminación de malas hierbas;
- Rotaciones diversificadas de cultivos y combinaciones de cultivos, que son beneficiosas para los microorganismos y evitan la aparición de plagas, malas hierbas y enfermedades.

La finalidad de la agricultura de conservación es incrementar la producción y reducir la degradación del suelo mediante un manejo que no implique la remoción del suelo o reducir el número de labores antes de la siembra (Figura 6). Para esto existen los sistemas conservacionistas que son alternativas viables para la producción de cultivos sin afectar los rendimientos y pueden ser usados en suelos con pendientes y pequeños agricultores. La fertilidad del suelo (nutrientes y agua) se logra principalmente a través del manejo de la cobertura del suelo, la rotación de cultivos y el control de las malas hierbas (INIAP, 2004; Comunidades Europeas, 2009).

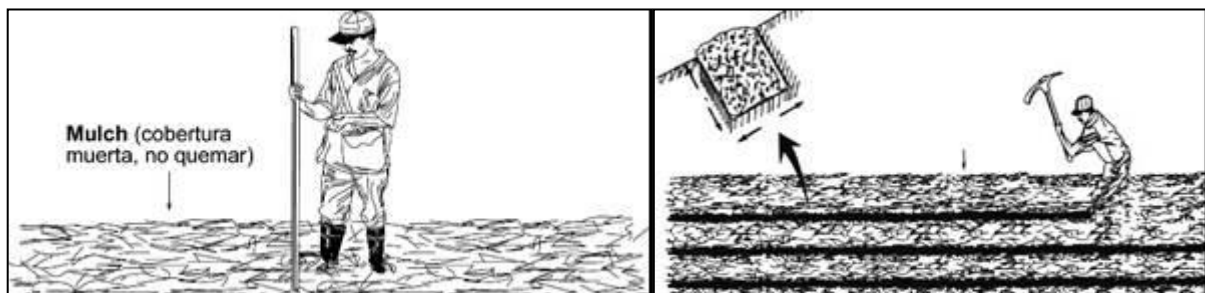


Figura 6. Manejo de Labranza Conservacionista

Fuente: Fundación Hondureña de Investigación Agrícola (2004)

2.5.2.1 Ventajas de una Labranza Conservacionista

Según Comunidades Europeas (2009) las ventajas resultan obvias una vez que el sistema se ha estabilizado:

- La mayor actividad biológica redundando en la formación de macroporos biológicos que mejoran la infiltración de agua y la resistencia a la formación de barreras.
- Se minimiza la degradación de los suelos, erosión y escorrentía, lo que conlleva a un aumento en el rendimiento del cultivo.
- Provoca la disminución de emisiones de dióxido de carbono (CO²) al utilizarse menos maquinaria y fijarse más carbono orgánico.
- Se reducen el trabajo que conllevan las operaciones propias del laboreo, el consumo de energía, uso de fertilizantes y las intervenciones de recuperación.

2.5.3 Compactación del suelo

La compactación es un fenómeno que se genera al ejercer presión sobre la superficie del suelo con el uso de maquinaria (Figura 7) que altera propiedades como permeabilidad y disminuyendo espacios porosos que sirven para retener el agua y airearlo. Las funciones del suelo superficial y subsuperficial se ven afectadas por el incremento en la densidad y disminución de macroporosidad reduciendo el flujo de gases y dificultando la penetración de las raíces (Comunidades Europeas, 2009; FAO y GTIS, 2014).

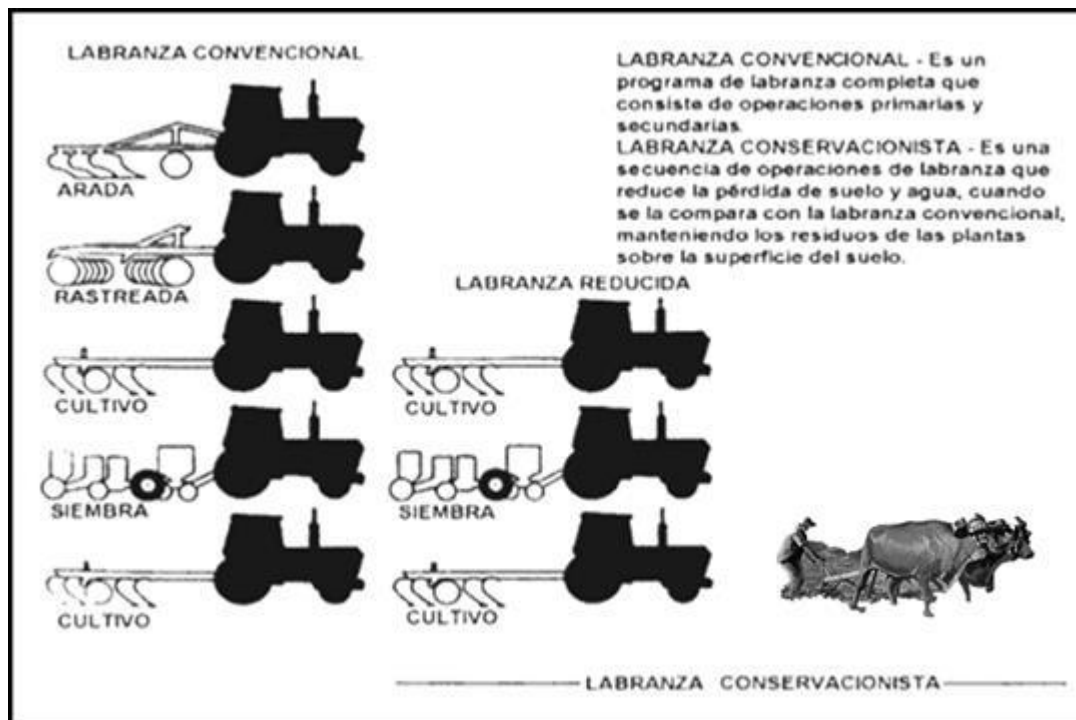


Figura 7. Triángulo de la Labranza.

Fuente: FAO (2000)

2.6. Marco legal

Este proyecto se enmarca dentro de la Constitución de la República del Ecuador (2008) el cual menciona los derechos de la naturaleza y las personas, promoviendo la conservación de recursos naturales. El presente estudio cumple con los siguientes artículos de la Constitución sobre la conservación de suelos:

“Art. 276 numeral 4) Recuperar y conservar la naturaleza y mantener un ambiente sano y sustentable que garantice a las personas y colectividades el acceso equitativo, permanente y de calidad al agua, aire y suelo, y a los beneficios de los recursos del subsuelo y del patrimonio natural.”

“Art. 281 numeral 3) Fortalecer la diversificación y la introducción de tecnologías ecológicas y orgánicas en la producción agropecuaria.” “Art. 409 Es de interés público y prioridad nacional la conservación del suelo, en especial su capa fértil. Se establecerá un marco normativo para su protección y uso sustentable que prevenga su degradación, en particular la provocada por la contaminación, la desertificación y la erosión.”

“Art. 410 El Estado brindará a los agricultores y a las comunidades rurales apoyo para la conservación y restauración de los suelos, así como para el desarrollo de prácticas agrícolas que los protejan y promuevan la soberanía alimentaria” (Asamblea Nacional Constituyente, 2008).

También se cumple con los Objetivos Nacionales de Desarrollo que se encuentra en Plan Nacional de Desarrollo 2017 - 2021 - Toda una Vida, 2017. Específicamente dentro del Eje 1: Derechos para Todos Durante Toda la Vida, Objetivo 3: Garantizar los derechos de la naturaleza para las actuales y futuras generaciones. La protección y el cuidado de las reservas naturales y de los ecosistemas frágiles. Se destaca, incluso, que frente a aquellas consecuencias ambientales que son producto de la intervención del ser humano, es necesario un marco de bioética, bioeconomía y bioconocimiento para el desarrollo; es decir, la investigación y generación de conocimiento de los recursos del Ecuador (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

Y en sus políticas numero 3.4 Promover buenas prácticas que aporten a la reducción de la contaminación, la conservación, la mitigación y la adaptación a los efectos del cambio climático, e impulsar las mismas en el ámbito global. El presente proyecto busca generar información a través de la investigación para ayudar al país con los problemas relacionados a la erosión del recurso suelo brindando una alternativa de manejo y conservación (Constitución de la República del Ecuador, 2008).

CAPITULO III

3. MARCO METODOLÓGICO

3.1. Descripción del área de estudio

A continuación, se detalla el área experimental donde se desarrolló el presente proyecto:

3.1.1 Ubicación

Provincia: Imbabura

Cantón: Antonio Ante

Parroquia: San José de Chaltura

Lugar: Granja Experimental “La Pradera”

Latitud: 0° 21' 23" N

Longitud: 78° 12' 31" O

Pendiente: 18 – 27 %, promedio 25%

Altitud: 2400 m.s.n.m

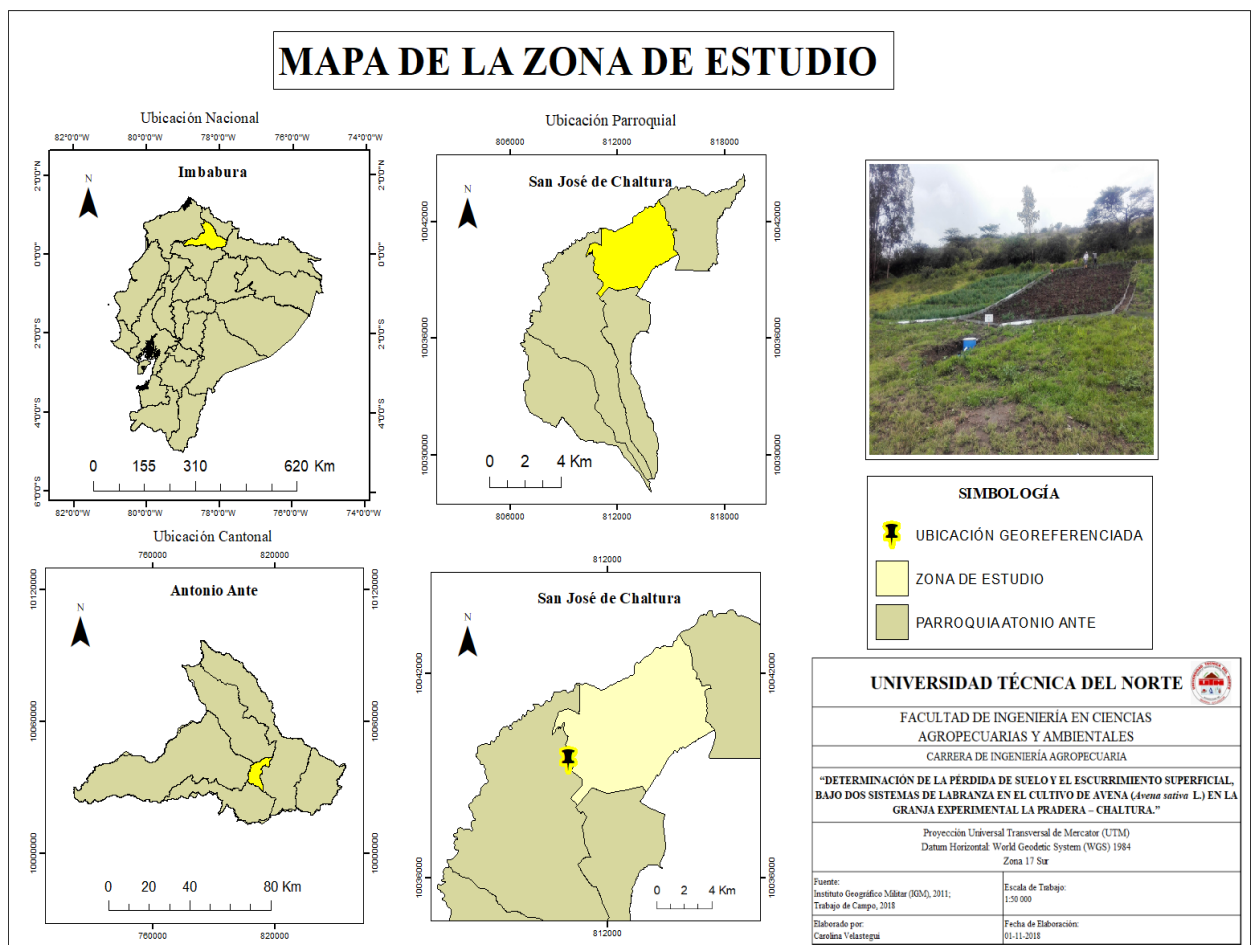


Figura 8. Mapa de ubicación del ensayo en campo Granja Experimental La Pradera UTN.

3.1.2 Características Edafoclimáticas

Temperatura promedio: 16° C

Precipitación Anual: 714 a 900 mm

Fuente: (Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante, 2015).

3.2. Materiales y métodos

3.2.1. Equipos

3.2.1.1. Equipos de campo:

- Navegador GPS
- Clinómetro
- Cámara fotográfica
- Nivel en A
- Balanza
- Refrigeradora

3.2.2. Materiales

3.2.2.1. Materiales de campo

- Rótulos de identificación
- Estacas
- Maquinaria agrícola (tractor, rastra)
- Flexómetro
- Azadón
- Barreno
- Balde
- Pala
- Seis tanques plásticos de 200 litros
- Seis tanques de 50 litros
- Latas metálicas (2.44m x 1.22m)
- Seis tubos de PVC
- Análisis químico de suelo
- Frascos de plástico
- Libro de campo

3.2.2.2. Materiales de oficina:

- Computadora
- Impresora
- Calculadora

3.2.2.3. *Material vegetativo*

- Se utilizó semilla de avena (*Avena sativa* L.)

3.2.2.4. *Materiales y equipos para laboratorio*

- Estufa
- Papel filtro
- Embudo
- Matraz de Erlenmeyer
- Balanza milimétrica

3.3 Manejo del experimento

3.3.1 Factores en estudio

El factor en estudio de la presente investigación fue:

- Factor A: Sistema de Labranza

3.3.2. Tratamientos

Los tratamientos en evaluación fueron:

- T1 = Mínima Labranza (ML): En los cuales se realizaron dos curvas de nivel, consiste en la mínima remoción de suelo.
- T2 = Labranza tradicional (LT): Actividades de laboreo y preparación de suelo a través del uso de maquinaria agrícola e inversión de suelo.

3.3.3. Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental de bloques con parcelas divididas distribuidas al azar (Anexo 1), con un total de 6 unidades experimentales conformadas por los dos tratamientos del estudio (Figura 9). El área de cada unidad experimental fue de 200 m² (10 x 20 m) establecidas en una zona con una pendiente de 18 – 27 %, promedio 25%. Dos sistemas de labranza fueron evaluados: labranza tradicional y mínima labranza con curvas de nivel cada 7 m elaboradas sin pendiente para favorecer la infiltración de agua en el suelo.

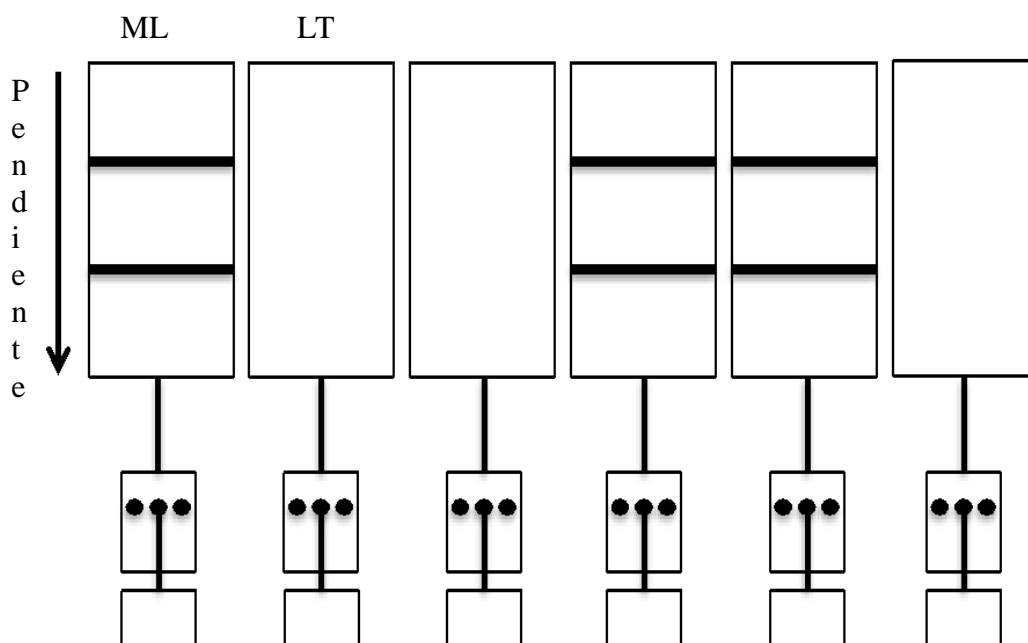


Figura 9. Diseño de los Sistemas de Labranza en el ensayo experimental.

3.3.4. Características del experimento

En la tabla 2 se muestran las características de las unidades experimentales, cabe mencionar que solo el sistema de Mínima Labranza contaba con curvas de nivel debido a que es una actividad de conservación de suelos que no se practica en los sistemas de Labranza Tradicional.

Tabla 2

Características del experimento.

Descripción	Cantidad
Número de unidades experimentales	6
Tamaño de la parcela (m ²)	200
Distancia entre curvas de nivel (m)	7
Número de curvas de nivel.	2
Siembra (kg ha ⁻¹)	120

Las unidades experimentales del sistema de labranza tradicional (testigo) fueron estratificadas en 3 secciones cada 7 m, de igual manera las unidades experimentales del sistema Mínima Labranza delimitadas por las curvas de nivel. La separación entre los tratamientos fue de 0.50 m. El ensayo contó con un área total de 2400 m² (Anexo 1, Figura 10).

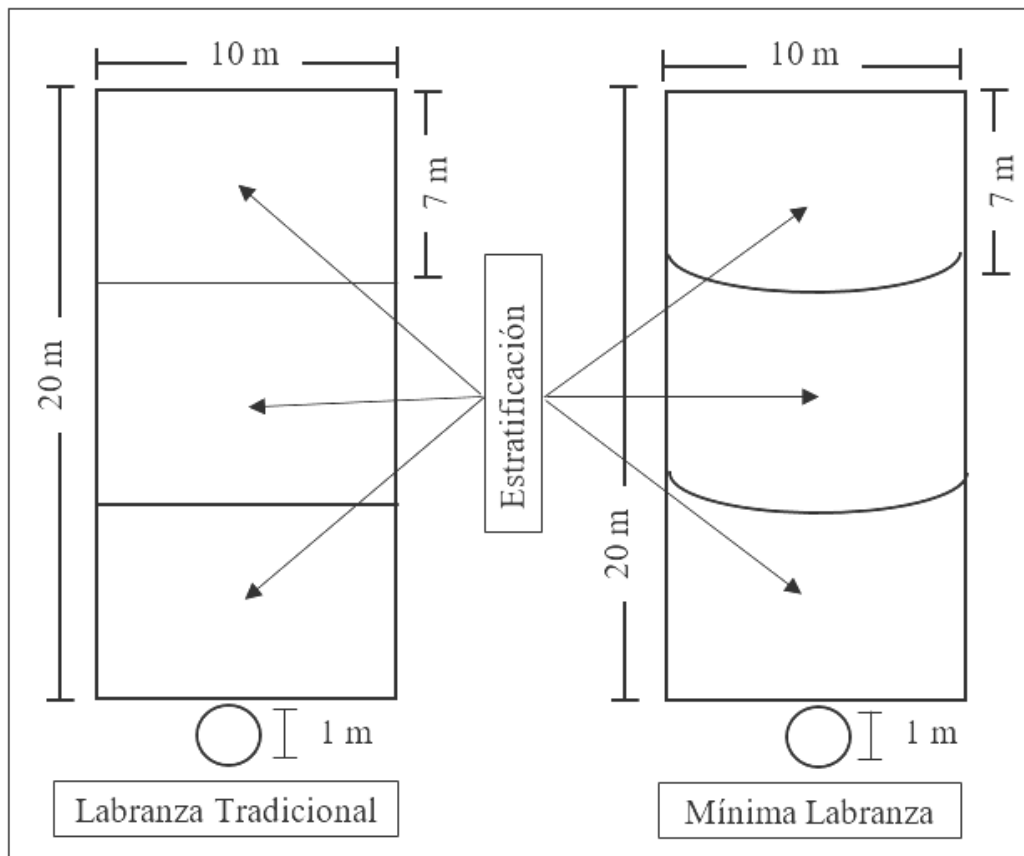


Figura 10. Modelo de las unidades experimentales, dimensiones y estratificaciones para cada sistema de labranza

3.3.5. Análisis estadístico

A continuación, se presenta el análisis de varianza (ADEVA) del diseño en bloques con parcelas divididas al azar. Se utilizó el paquete estadístico Infostat versión 2017 (Tabla 3).

Tabla 3

Esquema del ADEVA sobre la determinación de la pérdida de suelo y el escurrimiento superficial en mínima labranza y labranza tradicional.

Fuentes de variación	Grados de libertad
Bloque	2
Sistema de Labranza	1
Error	2
Total	5

3.3.6. Variables evaluadas

a) Coeficiente superficial de escurrimiento (Kr)

Después de cada evento de lluvia, se esperó un intervalo entre 24 y 48 horas hasta que cese el escurrimiento y se procedió a la medición de la esorrentía captada por los tanques colectores. El procedimiento fue el siguiente:

- Se instaló un pluviómetro en la zona de estudio para obtener datos de la precipitación, mismos que sirvieron para determinar el Kr (Figura 11).



Figura 11. Pluviómetro en la zona experimental

- Se colocó una regla graduada dentro de cada tanque colector, para determinar la altura del agua escurrida. Con este dato se calculó el volumen de agua por unidad experimental (200 m²). Este volumen (m³) se lo transformó a porcentaje de escurrimiento superficial por evento de lluvia (Figura 12).



Figura 12. Medición del volumen en el tanque colector.

- El coeficiente de escurrimiento superficial (K_r) se calculó como el porcentaje entre el escurrimiento y la precipitación mensual. Este fue igual al volumen de agua contenida en el tanque colector, en donde se relacionó la medida del volumen del tanque por hectárea y la lluvia mensual.

Para el cálculo del (K_r) se empleó la siguiente fórmula ⁽¹⁾

$$K_r = \frac{(V_e \text{ (l/parcela)} \times 100 \%) }{V_p \text{ (l/parcela)}} \quad (1)$$

Fuente: (Martínez et al., 2012)

Donde:

V_e = Volumen de agua escurrida y recolectada en el tanque (litros).

V_p = Volumen de la precipitación del evento de lluvia (litros).

En donde:

$$V_p = \frac{\text{Precipitación (mm)} \times \text{área de la unidad en estudio (m}^2\text{)} \times 1000}{100 \quad (\text{mm/m}) \quad \text{m}^3}$$

b) Pérdida de suelo

Se realizaron dos procesos para esta variable:

b.1) Proceso en campo

- Luego de terminado un evento de lluvia y tomar la medida de escurrimiento se procedió a mezclar uniformemente el contenido del tanque con una vara para homogeneizar los sedimentos de suelo con el agua escurrida (Figura 13).



Figura 13. Homogenización de muestras en campo.

- Se tomaron muestras de cada tanque colector (6 muestras), en botellas plásticas de 1 litro, y se las trasladó al laboratorio para su respectivo análisis (Figura 14).



Figura 14. Muestras colectadas después de un evento de lluvia.

b.2) Proceso en laboratorio

Las submuestras fueron sometidas a un proceso de filtración y secado, que consistió en los siguientes pasos:

- Para iniciar el proceso de infiltración, se procedió a etiquetar y tomar el peso inicial del papel filtro (Figura 15).

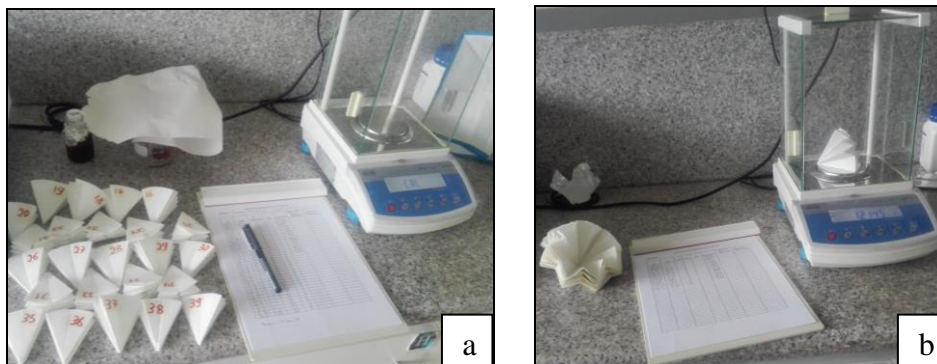


Figura 15. Proceso inicial de filtración a) Etiquetado y b) Peso inicial submuestras.

- Se colocó el papel filtro sobre un envase pequeño, se agitó la muestra contenida en la botella, y se tomó una submuestra de 50 ml en una probeta, para posteriormente verterla sobre el papel filtro para filtrar los sedimentos (Figura 16).



Figura 16. Proceso de Filtración.

- Al cabo de unos pocos minutos, se tomó el papel filtro con los restos de sedimentos que se obtuvieron luego del proceso de filtración y se lo trasladó a una estufa con temperatura de 105°C por 2 horas o hasta que el peso sea uniforme (Figura 17). Este procedimiento se lo aplicó a todas las submuestras obtenidas de la muestra inicial tomada en campo.



Figura 17. Proceso de secado de submuestras de suelo en la estufa.

- Al finalizar el secado, se volvió a colocar el papel filtro con los sedimentos secos en la balanza milimétrica para tomar el dato sobre el peso final (Figura 18).



Figura 18. Peso final submuestras suelo.

- Se aplicó la ecuación 2 para determinar la cantidad de suelo perdido por muestra (Augusto, Perdomo, Trujillo y Vargas, 2015). Este dato se lo expresó en toneladas por hectárea al año (Ton/ha/año).

Ecuación ⁽²⁾

$$\text{Pérdida de suelo} = \text{peso final} - \text{peso inicial} \quad (2)$$

c) Rendimiento del cultivo

Se estratificó en 3 secciones cada unidad experimental, el sistema de labranza tradicional se lo estratificó cada 7m, de igual manera las unidades experimentales del sistema mínima labranza fueron diferenciadas por las curvas de nivel (Figura 10).

Al final del ciclo del cultivo, luego de la floración y la formación de semilla se realizó un muestreo al azar en el ensayo por cada estratificación. Se tomó una muestra de 1m² con el uso del cuadrante metálico para determinar el rendimiento en biomasa aérea y rendimiento en grano, esta medida fue transformada a Mg ha⁻¹ (Polonia, 2011) (Figura 19).



Figura 19. Selección del rendimiento al azar mediante el cuadrante metálico en las estratificaciones.

Se usó una hoz para cortar las plantas a la altura de la superficie del suelo. Este procedimiento se realizó en las tres estratificaciones de cada unidad experimental (Figura 20).



Figura 20. Toma de muestras rendimiento cultivo a) etiquetado, b) selección muestra, c) corte de la muestra.

Se separó la semilla del resto de biomasa aérea y se tomó el peso inicial (Figura 21).



Figura 21. Peso inicial semilla y biomasa aérea, a) biomasa, b) grano.

Estas muestras se colocaron en fundas de papel (Figura 22) y se las sometió al calor de la estufa por 24 horas a 65 °C (Figura 23).



Figura 22. Empaque muestras rendimiento, a) biomasa b) grano.



Figura 23. Secado muestras rendimiento, a) temperatura estufa b) muestras dentro de la estufa.

Luego de ese lapso de tiempo se tomó el peso final de la materia seca y esa medida se transformó a Toneladas por hectárea (Figura 24).



Figura 24. Peso Final muestras rendimiento, a) peso biomasa, b) peso grano.

3.3.7. Manejo específico del experimento

- Ubicación del experimento

El ensayo se ubicó en una zona con una pendiente de un 25% en promedio, la medición se realizó a través de dos métodos, el primero con la ayuda de un teodolito y el segundo con un clinómetro (Figura 25).

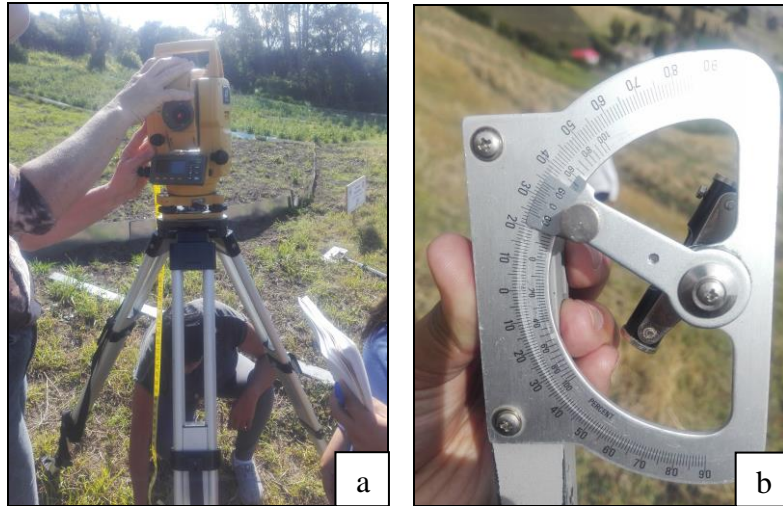


Figura 25. Herramientas de medición de la pendiente en el ensayo, a) teodolito, b) clinómetro.

Las unidades experimentales se dispusieron a favor de la pendiente (Anexo 1). En las parcelas de escorrentía en el sistema de labranza tradicional se realizaron labores culturales de la zona, mientras que en el sistema de mínima labranza se realizaron labores de conservación.

- **Análisis químico de suelos**

Antes de la instalación del ensayo se tomó una muestra de suelo para el análisis químico de los macro nutrientes esenciales (N, P, K), pH y % materia orgánica. Esto se realizó con un mes de anticipación. Con los resultados de los análisis químicos de suelo Anexo 3, se procedió a realizar los cálculos de la fertilización (Anexo 3, Figura 26).



Figura 26. Muestras de suelo.

- **Adquisición de semilla**

La densidad de siembra de avena (*Avena sativa* L.) fue de 120 kg ha⁻¹. En la presente investigación se utilizaron 14 kg de semilla para todo el ensayo (Figura 27).



Figura 27. Semilla de avena (*Avena sativa* L.).

- Preparación del área de estudio

Se tomó la medida del área de las seis unidades experimentales con el uso de flexómetro y estacas.

Labranza tradicional: se realizó dos pases con arado cincel de manera horizontal y dos de rastra (Figura 28).



Figura 28. Preparación de suelo sistema Labranza Tradicional.

Mínima Labranza: Se realizó un tolado para desmalezar la zona de estudio y se trazó dos curvas de nivel cada 7 m con la herramienta nivel en A (Figura 29).

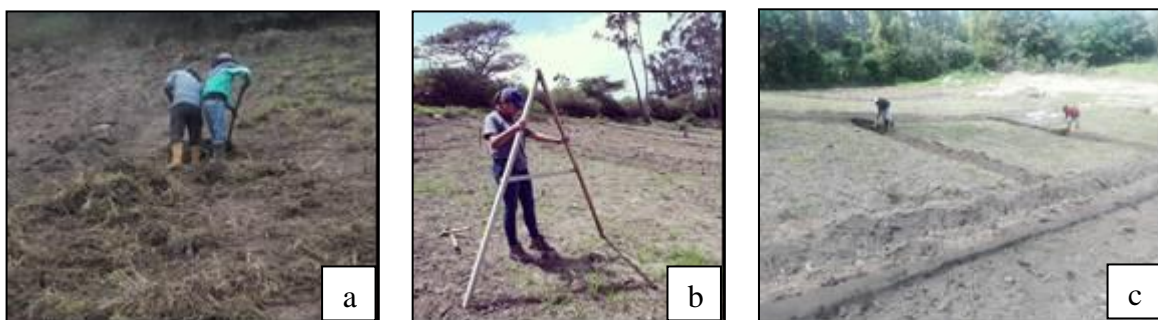


Figura 29 Instalación Curvas de nivel sistema Mínima Labranza, a) tolado, b) medición curvas de nivel, c) formación curva de nivel.

- Implementación parcelas escorrentía

Se colocaron toles metálicos en los bordes de cada parcela delimitando un área de 200 m² (20m x 10m) (Figura 30).



Figura 30. Implementación toles metálicos en cada unidad experimental.

- Tanques colectores

Se utilizaron 6 tanques colectores con capacidad de 184 litros, en los cuales se realizaron 18 orificios y uno de estos fue conectado a un segundo tanque con capacidad de 60 litros, obteniendo una capacidad total de 244 litros (Figura 31).



Figura 31. Hoyado de los tanques colectores de agua.

En la parte inferior de cada parcela se cavó una calicata de 1 m de profundidad donde se fundieron pisos de cemento nivelados para colocar dos tanques colectores (Figura 32).

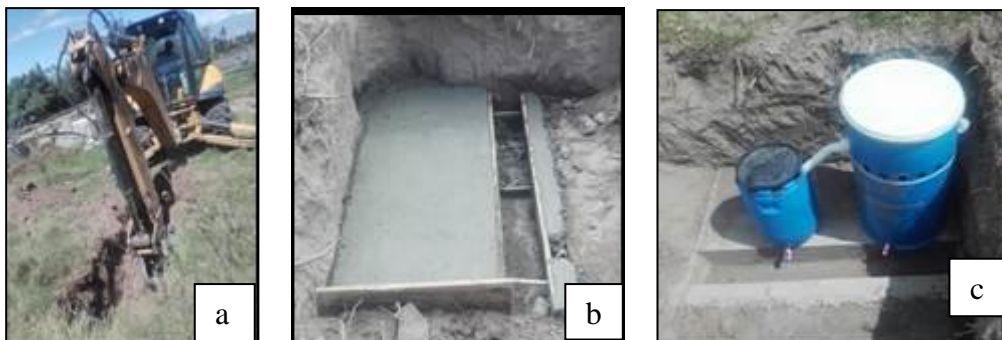


Figura 32. Por medio de un tubo PVC se realizó la conexión parcela, a) tanques, calicata, b) piso de cemento nivelado y c) colocación de tanques.

- **Pluviómetro**

Se colocó en el ensayo un pluviómetro para captar el volumen (mm) de las precipitaciones (Figura 33).



Figura 33. Instalación pluviómetro.

- **Siembra y Fertilización**

La siembra fue manual para los dos sistemas, con el uso de la surcadora se realizó una siembra en línea y a chorro continuo, luego de la siembra se realizó el cálculo de fertilizante con base en los resultados obtenidos del análisis de suelo. La fertilización es una de las acciones que los cultivos requieren para llegar a niveles deseados de producción y el nitrógeno es uno de los nutrientes que se pierde fácilmente por lixiviación o de forma gaseosa (Paladines e Izquierdo, 2007), la siembra y fertilización se realizó de igual manera para los dos sistemas de labranza en estudio.

Como lo indican Bonifaz, León, y Gutiérrez (2018), las aplicaciones de fertilizantes se deben realizar en dos aplicaciones, la primera sirve como un correctivo de los nutrientes deficientes en el suelo y la segunda es de mantenimiento para el desarrollo e incremento de biomasa en el desarrollo del cultivo, por este motivo la fertilización en el ensayo se realizó en dos etapas, la primera luego de la siembra con la aplicación de urea y la segunda aplicación al mes y medio del ciclo del cultivo con carbonato de calcio más urea respondiendo a las deficiencias de calcio y nitrógenos en el suelo y a la demanda de nutrientes del cultivo según el análisis de suelo previamente realizado y el cálculo del fertilizante (Figura 34).

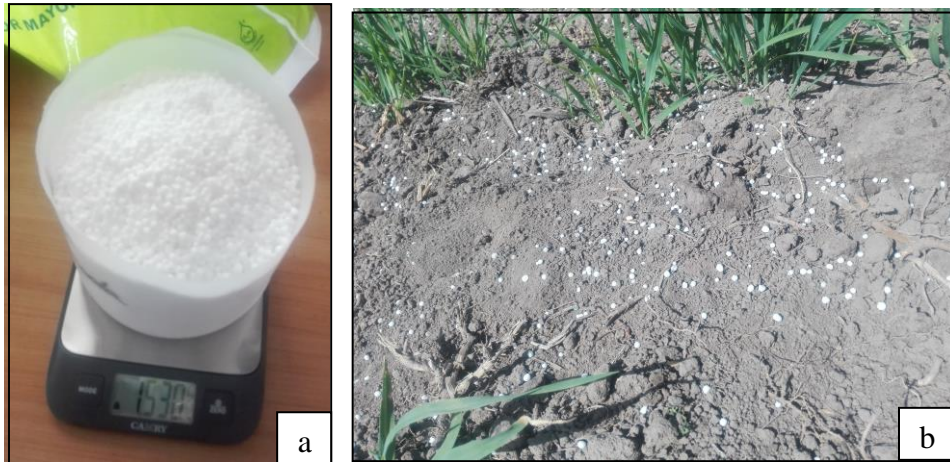


Figura 34 Fertilización a) Peso del fertilizante b) aplicación a las unidades experimentales de ML y LT.

- **Cultivo:**

Durante el ciclo del cultivo se realizaron las respectivas labores culturales para los sistemas de Labranza Tradicional como limpieza de malezas y aporque con azadón del cultivo de avena (*Avena sativa* L.) y en el sistema de Mínima Labranza la deshierba fue realizada a mano (Figura 35).



Figura 35. Manejo del cultivo, a) limpieza malezas, b) aporque y c) parcelas de escorrentía.

CAPÍTULO IV

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La erosión hídrica es una de las principales causas de degradación de los suelos agrícolas debido a la influencia de las fuertes pendientes y lluvias intensas. Los resultados de la investigación se presentan a continuación:

4.1 Coeficiente de Escurrimiento (Kr)

Camas et al., (2012) realizaron un estudio con características semejantes al área del experimento de la presente investigación y determinaron que precipitaciones mayores a 40 mm causan escurrimiento superficial. En el presente ensayo se obtuvieron 10 eventos de lluvia que produjeron escurrimiento superficial desde el mes de enero hasta julio del 2018, en la Tabla 4 se puede observar que precipitaciones mayores a 8 mm produjeron escurrimiento superficial en la zona con una pendiente promedio de un 25 %.

Tabla 4

Coeficiente de escurrimiento superficial (Kr) según el evento de lluvia en los sistemas ML y LT.

Eventos de lluvia	Fecha	Precipitación (mm)	Kr (%)	
			ML	LT
1	15-01-18	13	0.53	0.33
2	17-01-18	8	0.060	0.03
3	24-02-18	33	0.03	0.03
4	27-03-18	12	0.010	0.02
5	12-04-18	73	0.07	0.09
6	04-05-18	60	0.25	0.52
7	05-05-18	47	7.15	14.85
8	10-05-18	56	0.14	1.82
9	18-05-18	18	0.25	8.22
10	02-07-18	13	0.061	0.050

El análisis de varianza sobre la variable coeficiente de escurrimiento muestra que existe interacción entre el escurrimiento superficial y los sistemas de labranza ($F= 28.12$; $Gl= 9.158$; $P < 0.0001$). Es decir que el coeficiente de escurrimiento superficial depende del sistema de labranza que se emplee (Tabla 5).

Tabla 5

Esquema del ADEVA de la variable coeficiente de escurrimiento superficial (Kr) en relación al sistema de labranza.

	GL T	GL E	Valor de F	Valor de P
Escurrecimiento	9	158	77.40	<0.0001
Sistema de Labranza	1	158	0.29	0.5899
Escurrecimiento: Sistema de Labranza	9	158	28.12	<0.0001**

GLT: Grados de libertad total

** : Significativo al 5 %

GLE: Grados de libertad del error

Como lo indica Murillo (2010), el coeficiente de escurrimiento superficial varía en dependencia del manejo agrícola, duración y cantidad de lluvia y las condiciones del suelo, como se muestra en los resultados eventos de lluvia fuertes con mayor cantidad de escurrimiento fueron obtenidos en el sistema de labranza tradicional (Tabla 4).

Tabla 6

Coeficiente de escurrimiento superficial (Kr) mensual en los sistemas ML y LT.

Fecha	Precipitación (mm)	Coeficiente de escurrimiento superficial (I)	
		ML	LT
Enero	20	0.053	0.033
Febrero	33	0.039	0.033
Marzo	12	0.010	0.54
Abril	73	0.15	0.24
Mayo	181	2.90	7.87
Julio	13	0.061	0.050

Los eventos de lluvia que provocaron mayor escurrimiento superficial ocurrieron en el mes de mayo del 2018 con una precipitación acumulada de 181 mm (Tabla 6), presentando un coeficiente de escurrimiento superficial de 2.90 % para el sistema de mínima labranza mientras que el sistema de labranza tradicional tuvo un mayor coeficiente de escurrimiento de 7.87 %. La labranza convencional o tradicional favorece un mayor escurrimiento debido a la disminución de la tasa de infiltración, aumentando los efectos erosivos por la mayor energía cinética del agua en la superficie del suelo (FAO, 2000).

El sistema de labranza tradicional (LT) presentó un porcentaje de Kr superior comparado al sistema de mínima labranza (ML) (Figura 36) en un 27 %. En el estudio realizado por Rodríguez, Ruz, Valenzuela y Belmar (2000) muestran que el sistema de labranza convencional presentó la menor capacidad de retención de agua, generando una tasa de escurrimiento casi cuatro veces mayor que el sistema de siembra directa.

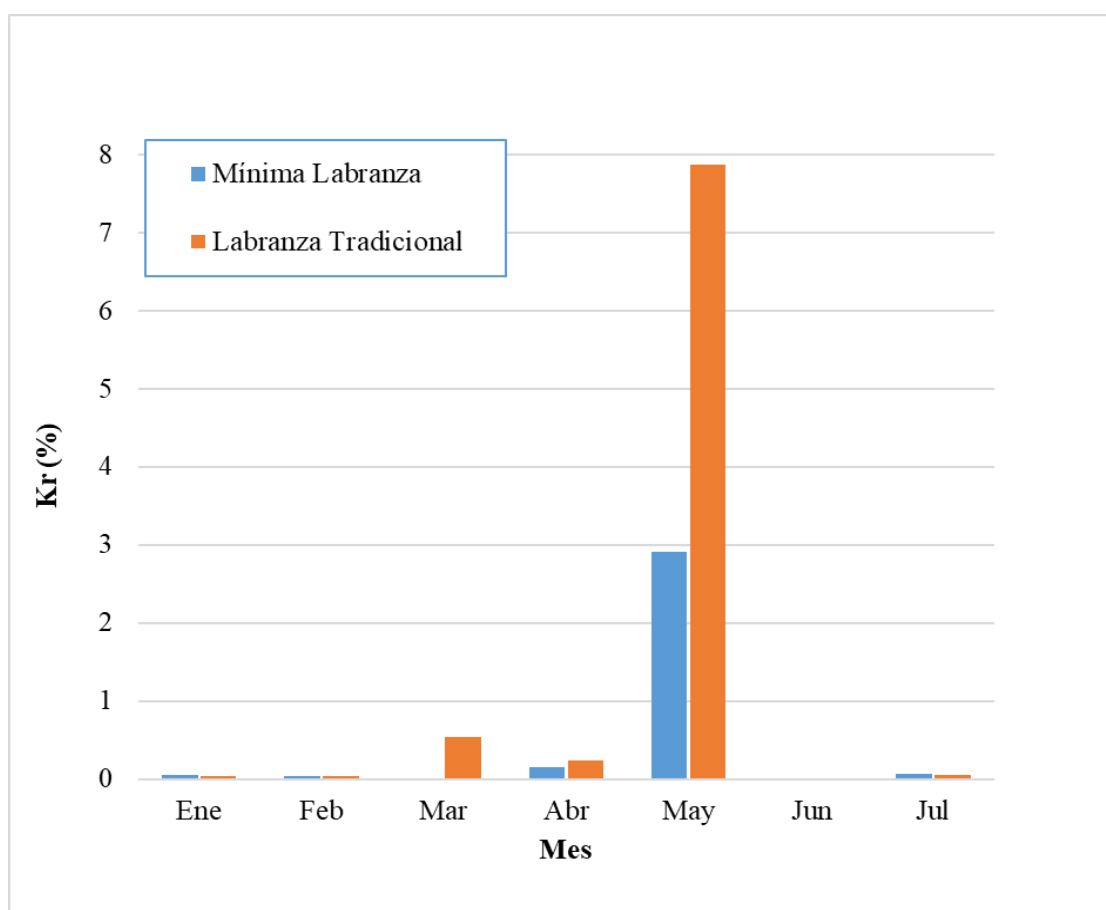


Figura 36. Cálculo del coeficiente de escurrimiento superficial (Kr) mensual durante el año 2018.

Maderey y Jiménez (2005) explican que los factores que afectan directamente el escurrimiento superficial son de tipo climático como las precipitaciones, duración y cantidad de lluvia que afectarán la capacidad de retención de agua en el suelo. El segundo factor se relaciona con el tipo de suelo, topografía, estructura, textura entre otras características que definen el movimiento del agua, y como tercer factor hace énfasis en el uso y manejo de suelos agrícolas.

Se puede garantizar una menor cantidad de escurrimiento al evitar remover la tierra, la densa cobertura de material vegetal presente en la superficie protege al suelo del impacto de las gotas de lluvia (Castilla, 2013). Sasal citada por (Castilla, 2013) explica que las prácticas adoptadas por labranza tradicional reducen la cantidad de macroporos en suelo y su estabilidad favoreciendo la formación de una estructura laminar que restringe el ingreso de agua al suelo ocasionando pérdidas de agua.

Cisneros et al., (2012) y Ares, Varni, y Chagas (2014), incentivan a realizar prácticas agronómicas como cubrir el suelo con rastrojos y rotaciones de cultivo ya que establecer sistemas de siembra en zonas con lluvias intensas y pendientes superiores a un 20 % constituye un reto para la agricultura puesto que son propensos a erosionarse, como se muestra en los resultados obtenidos en el ensayo. La utilización de sistemas conservacionistas tales como reducción de la labranza, empleo de curvas de nivel, terrazas y barreras vivas de suelo ayudan al control y mitigación de los procesos erosivos (López, 2010; Alonso, Alcázar, Cermeño y Barbero, 2011).

Arnáez et al., (2012) y González, Iglesias, y Herrera (2009) consideran que en suelos compactados, el uso inadecuado de maquinaria provoca compactación en la capa arable del suelo en vista de que la presión que ejercen las maquinarias sobre la superficie del suelo se ve reflejado con el aumento del escurrimiento superficial y la reducción en los espacios porosos que son esenciales para la retención de agua y la velocidad de infiltración.

4.2 Pérdida de Suelo

El análisis de varianza para la variable pérdida de suelo muestra que existe una interacción entre los factores evento de lluvia y sistema de labranza ($F= 6.72$; $Gl= 9.158$; $P < 0.0001$), lo

cual indica que el sistema de labranza y el evento de lluvia influyeron directamente en la pérdida de suelo (Tabla 7).

Tabla 7

Esquema del ADEVA sobre la variable pérdida de suelo.

	GL T	GL E	Valor de F	Valor de P
Evento de lluvia	9	158	36.03	<0.0001
Sistema de Labranza	1	158	6.72	0.0104
Evento: Sistema de Labranza	9	158	6.56	<0.0001**

GLT: Grados de libertad total

** : Significativo al 5 %

GLE: Grados de libertad del error

El evento de lluvia número 7 dado en el día 05 del mes de mayo del 2018, fue el evento que causó mayor erosión hídrica. Con una pérdida de suelo en LT de 1 550.3 Kg ha⁻¹ y de ML de tan solo 212.5 Kg ha⁻¹ (Tabla 8) Se realizó un acumulado en los datos de esta variable el cual indica que el sistema LT fue mayor en un 90 % que el sistema de ML, presentando una pérdida de suelo de 2 173.9 y 222.8 Kg ha⁻¹ respectivamente (Figura 37).

Tabla 8

Pérdida de sedimentos según el evento de lluvia en los sistemas ML y LT.

Eventos de lluvia	Fecha	Pérdida de suelo (Kg ha ⁻¹)	
		ML	LT
1	15/01/2018	0.031	0.032
2	17/01/2018	0.009	0.022
3	24/02/2018	0.188	0.167
4	27/03/2018	0.031	0.078
5	12/04/2018	0.546	1.700
6	04/05/2018	5.3	15.0
7	05/05/2018	212.5*	1550.3*
8	10/05/2018	1.7	312.6
9	18/05/2018	2.3	293.7
10	02/07/2018	0.2	0.3

Nota: *: datos con mayor pérdida de suelo; ML: Mínima Labranza; LT: Labranza Tradicional.

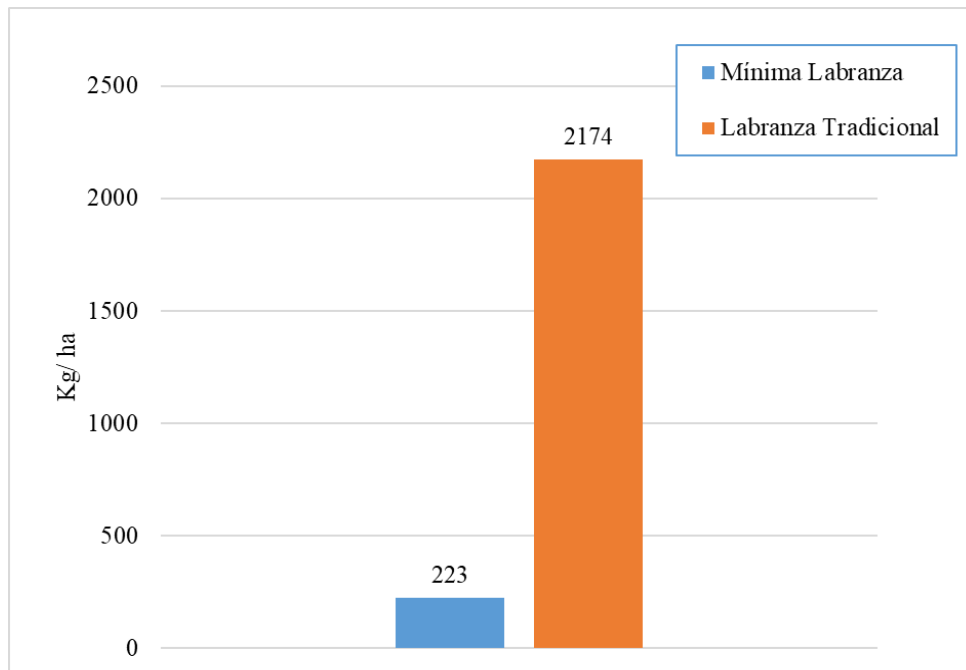


Figura 37 Pérdida de suelo acumulada (Kg ha^{-1}) desde enero hasta julio 2018.

Camas et al., (2012) obtuvieron los valores más bajos de pérdida de suelo en los sistemas de conservación, sus resultados para el sistema convencional fueron 37 % menores en el sistema conservacionista con un valor de 16.8 Kg ha^{-1} . La erosión se ve potenciada por distintos factores, especialmente por el sistema de labranza, el uso inadecuado de la maquinaria agrícola que consiste en invertir el suelo en zonas de pendientes, contribuyen a que el suelo se erosione rápidamente, así como las lluvias intensas (Campaña, 2015).

Rodríguez et al., (2000) y Augusto et al., (2015) alcanzaron las mayores pérdidas de suelo en el sistema convencional, mientras que el sistema conservacionista redujo significativamente las pérdidas de suelo tres veces más, su sistema de labranza convencional alcanzó una pérdida de suelo de $20 \text{ Kg ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$, esto es 4 o 5 veces mayor que otros sistemas en evaluación, Cruz et al., (2010) muestra en sus resultados que el arrastre de suelo, por efecto de la erosión hídrica se relaciona con el manejo de los sistemas de producción, consiguiendo un impacto benéfico al emplear técnicas conservacionistas que disminuyeron las tasas de pérdida de suelo (Gaspari, Delgado, y Denegri, 2008).

Según Castro (2013), la erosionabilidad de los suelos se ve influenciada por propiedades como distribución del tamaño de partículas, materia orgánica, estructura, contenido de humedad y procesos de humedecimiento y secado. La topografía del terreno donde se

desarrolla la agricultura afecta el proceso de erosión, aumentando la degradación en función de la longitud del terreno en sentido de la pendiente teniendo como resultado que la capacidad de infiltración dependa de las características mencionadas y de las acciones antrópicas empleadas en el suelo (Maderey y Jiménez, 2005).

En Argentina, provincia de Córdoba las prácticas como monocultivo y siembra convencional se incrementan en el tiempo, evidenciándose el deterioro de la calidad del suelo, lo que indica que el primer horizonte de suelo se reduce por este tipo de prácticas (Campitelli, Aoki, Gudelj, Rubenacker, y Sereno, 2010). Esta situación favorece la degradación de los recursos suelo y agua por el uso inadecuado de suelos sin prácticas de conservación.

Alonso et al., (2011) informa que toma como referencia al límite máximo de tolerancia en pérdida de suelo anual al valor de 11.2 Kg ha⁻¹, esta cantidad concierne a una capa de suelo de 1 mm de espesor. Orsag (2009) y Cotler, López, y Martínez (2011) mencionan que el incremento de la población contribuye a esta degradación, ya que aumentan sus necesidades alimentarias provocando una parcelación excesiva en la tierra y a pesar del alto costo que resulta para el país la pérdida de este capital natural.

4.3 Rendimiento del Cultivo

4.3.1 Rendimiento en grano

Las pruebas de medias de Fisher al 5% indican que el sistema de mínima labranza tuvo un rendimiento en grano mayor que el sistema de labranza tradicional con una media de 1.35 y de 0.55 Mg ha⁻¹ respectivamente (Tabla 9).

Tabla 9

Prueba de medias LSD Fisher (Alfa=0.05) Rendimiento en grano según el sistema de labranza.

Labranza	Medias	E.E	
Mínima Labranza	1.35	0.30	A
Labranza Tradicional	0.55	0.32	B

Como se observa en la figura 38 el rendimiento en grano del sistema de mínima labranza fue un 62 % mayor comparado al sistema de labranza tradicional. Ramírez, Figueroa, Ordaz y Volke (2006) añaden que los suelos sometidos a sistemas de labranza cero presentan una mayor fertilidad en la capa superficial (0 a 10 cm de profundidad) en donde observó que la labranza convencional presentó valores inferiores que el sistema conservacionista.

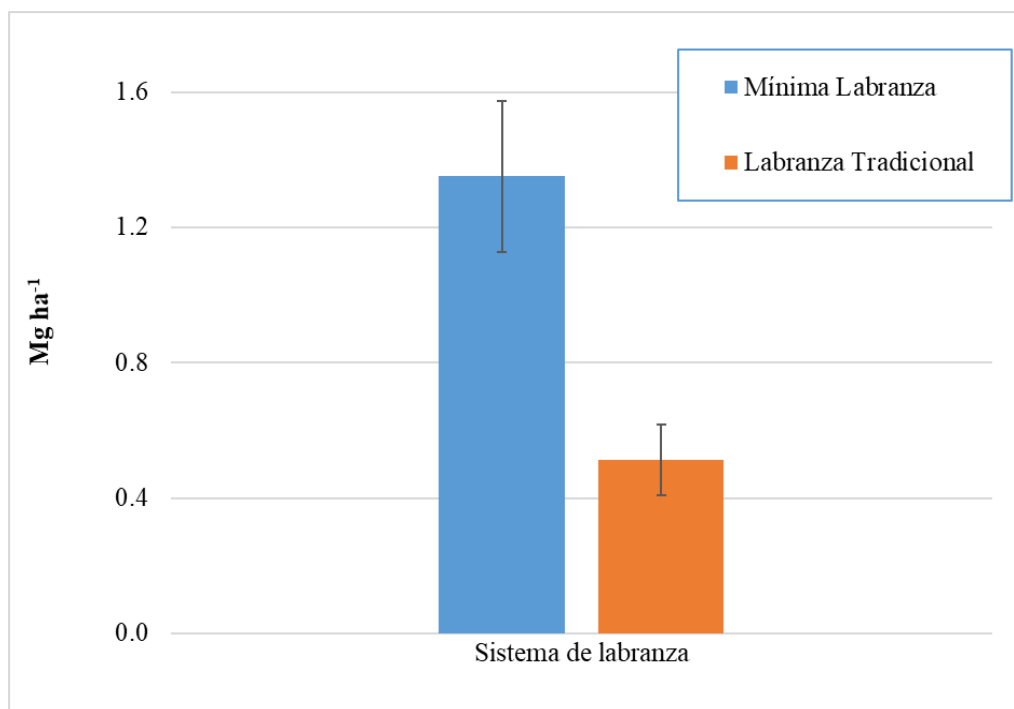


Figura 38. Rendimiento en grano según el sistema de labranza.

4.3.2 Rendimiento en biomasa aérea

El sistema labranza tradicional tuvo un rendimiento en biomasa aérea 50% menor que el sistema de mínima labranza con medias de 5.25 Mg ha⁻¹ para ML y de 2.07 Mg ha⁻¹ en LT (Tabla 10 y Figura 39).

Tabla 10

Prueba LSD Fisher (Alfa=0.05) Rendimiento en biomasa aérea según el sistema de labranza.

Labranza	Medias	E.E	
Mínima Labranza	5.25	0.92	A
Labranza Tradicional	2.03	0.97	B

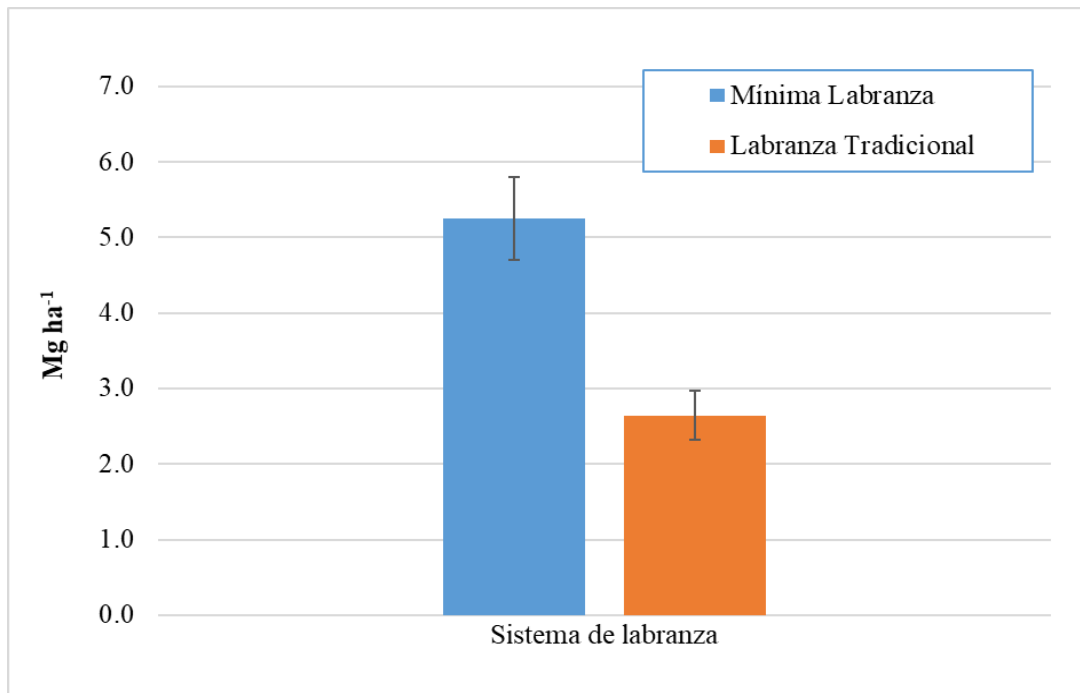


Figura 39. Rendimiento en biomasa aérea según el sistema de labranza.

El sistema de mínima labranza tuvo un rendimiento mayor que la labranza tradicional en producción de biomasa aérea y grano con porcentajes de 50 y 62 % respectivamente. Vidal, Etchevers y Anthony (2002), obtuvo los mejores resultados con la aplicación de mínima labranza cuando la disponibilidad de agua fue limitada, y concluye que en condiciones de estrés hídrico el tipo de manejo que tiene este sistema permite reducir las pérdidas de agua, favoreciendo la disponibilidad de ésta para el cultivo.

Salazar et al., (2003) obtuvo resultados similares, con una producción superior de materia verde de avena en las parcelas de labranza cero (19 Mg ha⁻¹) y argumenta que este tipo de labranza puede ser una alternativa viable para la producción de este cultivo. Crovetto, 1992 citado por Rodríguez et al., (2000), explica que el aumento en el rendimiento podría estar relacionado con la disponibilidad de agua en el tratamiento permitiendo una mayor infiltración y retención de humedad en comparación con aquellos que alteran el horizonte superficial.

Villar, Tosquy, López, Esqueda y Palacios (2013), indican que la fertilidad y retención de agua en el suelo son significativamente inferiores en el sistema convencional, además demuestra que en el sistema de conservación el agua infiltra de mejor manera manteniendo los nutrientes a disponibilidad de la planta incrementando el rendimiento. Un buen manejo

contribuye al aumento del rendimientos en los cultivos principalmente porque ayuda a mantener disponibles los nutrientes necesarios para el desarrollo del cultivo (Basanta y Álvarez, 2015).

En condiciones de secano, el cultivo pierde vigorosidad afectando la tasa de crecimiento, una buena utilización de sistemas agrícolas con técnicas conservacionistas servirían como herramientas para programar estrategias de usos de suelo y ser usados como reservorio de agua para los momentos críticos del cultivo (Dellacanáica, Bermejillo, y Morabito, 2014). La alta compactación del suelo afecta directamente el rendimiento en el sistema de labranza, otro factor para el desaprovechamiento de agua de lluvia es su intensidad. En un año de bajas precipitaciones, el cultivo bajo cero labranza con subsolado (sistema conservacionista) mejoró la eficiencia del uso del agua del cultivo, lo que se tradujo en rendimientos significativamente superiores en la cero labranza, mencionado por Loredó, Beltrán, Moreno, y Casiano, (2007) y Martínez et al., (2012).

El efecto benéfico de los sistemas conservacionistas sobre las características del suelo se basa en el aprovechamiento y retención de agua, una baja compactación y una mejora en las características biológicas del suelo. Si predomina el uso inadecuado de suelos agrícolas ubicados en zonas con pendientes los efectos erosivos en campos causarían un grave impacto en la pérdida de suelo según los criterios de Salminis, Demo, y Geymonat (2007); Roncallo, Barros, Bonilla, Murillo y Del Toro (2009); Ramírez, Domínguez, Salmerón, Villalobos y Ortega (2013); Calvache y Baque (2018).

CAPÍTULO V

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 Conclusiones

En los eventos de lluvia analizados, el sistema de labranza tradicional presentó un mayor coeficiente de escurrimiento superficial en comparación al sistema de mínima labranza, provocando una mayor erosión hídrica. Además, se observó que el escurrimiento superficial estuvo relacionado con la frecuencia de precipitaciones y el sistema de labranza.

La pérdida de suelo acumulada durante el periodo de estudio fue superior en un 90% en el sistema de labranza tradicional en comparación al sistema de mínima labranza. La mayor pérdida ocurrió durante el mes de Mayo con una precipitación de 181 mm, lo que ocasionó una pérdida de suelo de 2.171,6 kg ha⁻¹.

El sistema de mínima labranza logró incrementar el rendimiento del cultivo de avena (*Avena sativa* L) con valores superiores en un 50% en grano y en un 62% en rendimiento de biomasa aérea. El menor escurrimiento superficial en mínima labranza permitió incrementar el contenido de agua en el suelo, lo que pudo ser aprovechado por el cultivo para una mayor producción en granos, lo que demuestra un beneficio económico para los agricultores de la zona de estudio.

5.2 Recomendaciones

Se sugiere continuar este estudio a largo plazo, debido a que no todos los años presentan las mismas precipitaciones y no todos los eventos de lluvia son erosivos.

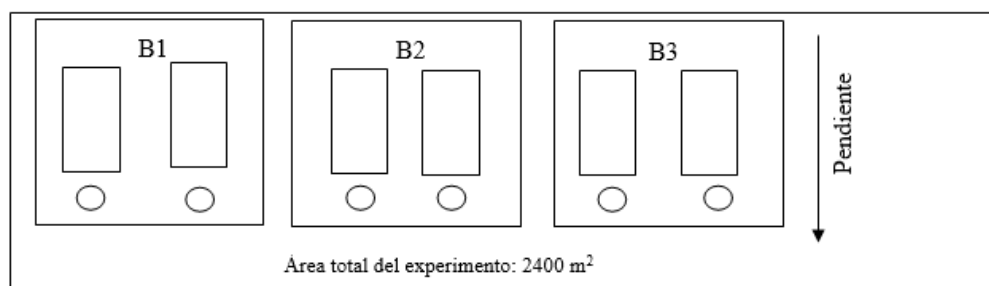
Considerar nuevas variables como intensidad y duración del evento de lluvia, estado de humedad del suelo, cobertura vegetal, infiltración entre otros.

Debido a la topografía en ciertas zonas del Ecuador y la expansión de la frontera agrícola hacia sectores que presentan pendientes superiores a un 25 % o más, se recomienda realizar una labranza mínima, utilizando estructuras conservacionistas que ayuden a la mitigación de la erosión de los suelos.

Se recomienda el uso de parcelas de escorrentía y tanques colectores para este tipo de investigaciones ya que demostraron ser una técnica efectiva para cuantificar los procesos erosivos en la provincia de Imbabura.

ANEXOS

Anexo 1. Diseño de bloques y parcelas divididas en campo.



Anexo 2. Precipitaciones que ocasionaron escurrimiento en los meses enero – julio 2018.

Eventos de lluvia	Fecha	Precipitación (mm)
1	15/01/2018	13
2	17/01/2018	8
3	24/02/2018	33
4	27/03/2018	12
5	12/04/2018	73
6	04/05/2018	60
7	05/05/2018	47
8	10/05/2018	56
9	18/05/2018	18
10	02/07/2018	13

Anexo 3. Análisis de suelos del sitio experimental en La Granja Experimental La Pradera – Chaltura.



AGRARPROJEKT S.A.
Urb. El Condado Calle V # 941 y Avda. A
Telfs.: 2490575 / 2492148
Quito Ecuador
E-mail: agrarprojekt@cablemodem.com.ec
www.agrarprojekt.com

Reporte Análisis de Suelo

Cliente: Carolina Velastegui
Att.:
Cultivo: Avena (Avena sativa)
Muestras: 2 muestras de suelo

Fecha, toma de muestra: 12/12/2017
Fecha, recibo de muestra: 13/12/2017
Fecha, informe: 28/12/2017
Número de reporte: CVelastegui-S-Avena-13-12-17
Análisis certificado por: Dr. Karl Sponagel

Métodos de Análisis utilizados para la medición del pH y Conductividad Eléctrica (C.E.):

pH: en H₂O y KCl, Método Volumen 1:2
C.E.: Método Volumen 1:2

Métodos de Análisis utilizados para la determinación de los macro- y micronutrientes:

Secado → Tamizar para excluir partículas mayores y desmenuzar terrones → Mezcla homogénea → Extracción con CaCl₂ y NaCl 0.05 M para NO₃, NH₄, K, Ca y Mg, Extracción con DTPA + CaCl₂ para Fe, Mn, Zn y Cu; Extracción con NaHCO₃ 0,5 M (Método Olsen) para P, Extracto Agua Volumen 1:2 para SO₄, Na, Cl y B → Determinación de macro- y micronutrientes según las normas DIN (Alemania), EPA (EE.UU.) e ISO:

Nitrato: Método "Dimethylphenol" (DIN 38405 D9-2, ISO 7890-1-2); **Amonio:** Método "Indophenol" (EPA 359.1, ISO 7150/1, DIN 38406EF); **Fosfato:** Método "Vanadomolybdophosphoric Acid" (ISO 6878-1); **Potasio y Sodio:** Fotómetro de Llama (ISO 9964-3); **Calcio, Magnesio, Hierro, Manganeso, Zinc, Cobre y Molibdeno:** Espectrómetro de Absorción Atómica, Llama/Horno de Grafito (DIN 38406); **Boro:** Método "Azomethin" (DIN 38405-D17); **Cloruros:** Método "Thiocyanate" (EPA 325.1, DIN 38405-D1-2); **Bicarbonatos:** Método "Titulación Potenciométrica (US Standard Methods 2320 B); **Sulfatos:** Método "Turbidimétrico with BaCl₂" (DIN 38405-D5-1) **Nitrógeno Total Kjeldahl:** Método "Semi-Micro-Kjeldahl (US Standard Methods 4500-NorgC)

Métodos de Análisis utilizados para la determinación de Materia Orgánica, Capacidad de Intercambio Catiónico, Fracción de Partículas:

Materia Orgánica: Método LOI ("Loss of Ignition"); **Capacidad de Intercambio Catiónico:** Método "Acetato de Sodio / Acetato de Amonio"
Fracción de Partículas/Textura: Análisis de la Fracción de Partículas ejecutado según el Método Combinado de Andreasen respectivamente ISO 11277.
Método de tamizado para la fracción de arena y Método de pipeta o de levigado para las fracciones de limo y arcilla.
Clasificación de la textura según el diagrama triangular usando los resultados de la Fracción de Partículas.

Resultados:

A continuación

Empresa: Carolina Velastegui
Cultivo: Avena (Avena sativa)
Fecha: 13/12/2017



Contenido de macro- y microelementos en mg / kg de suelo seco

	Método de Análisis	Unidad de Expresión	Nivel Optimo para Avena - Cultivo Intensivo	# 1	# 2
				M1, Huerto	M2, Terreno
				Suelo, Avena	Suelo, Avena
C.E.	Vol. 1:2	mS/cm	0.2 - 0.4	0.23	0.21
	Vol. 1:2			7.7	6.5
	Vol. 1:2		5.8 - 6.8	6.9	6.5
Macronutrientes	Nitrato (NO ₃ -N)	CaCl ₂ 0.01 M	mg/kg	18.8	9.8
	Amonio (NH ₄ -N)	CaCl ₂ 0.01 M	mg/kg	2.0	2.2
	(NO ₃ +NH ₄)-N	CaCl ₂ 0.01 M	mg/kg	20.8	12.0
	Fósforo (P)	NaHCO ₃ 0.5M	mg/kg	48.4	24.8
	Potasio (K)	CaCl ₂ 0.01 M	mg/kg	110 - 180	225
	Magnesio (Mg)	CaCl ₂ 0.01 M	mg/kg	50 - 120	121
	Calcio (Ca)	NaCl 0.05 M	mg/kg	400 - 1000	286
	Azúfre (SO ₄ -S)	Extracto Agua	mg/kg	10 - 15	3.6
Micronutrientes	Hierro (Fe)	DTPA/CaCl ₂	mg/kg	20 - 50	15.6
	Manganeso (Mn)	DTPA/CaCl ₂	mg/kg	6 - 30	16.1
	Cobre (Cu)	DTPA/CaCl ₂	mg/kg	1.0 - 4.0	2.4
	Zinc (Zn)	DTPA/CaCl ₂	mg/kg	1.2 - 6.0	3.5
	Boro (B)	Extracto Agua	mg/kg	0.15 - 0.60	1.0
Peligro Salinidad	Sodio (Na)	Extracto Agua	mg/kg	< 140	7.8
	Cloruro (Cl ⁻)	Extracto Agua	mg/kg	< 210	13.0
	Salas Totales	Extracto Agua	mg/kg	< 2000	192

Anexo 4. Prueba LSD Fisher (Alfa=0.05) Porcentaje de escurrimiento superficial según el sistema de labranza.

T	Medias	E.E	
LT	2.60	0.15	A
ML	0.80	0.15	B

Anexo 5. Glosario de Términos

Siglas	Significado
FAO	Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura
GIASSA	Grupo de Investigación Agrobiodiversidad, Seguridad y Soberanía Alimentaria
INIAP	Instituto Nacional de Investigaciones Agropecuarias
ISRIC	Centro Internacional de Información y Referencia en suelo
Kg	Kilogramos
Kr	Coefficiente de escurrimiento superficial
Ha	Hectáreas
LT	Labranza Tradicional
MAG	Ministerio de Agricultura
Mg	Mega gramos
ML	Mínima Labranza
N	Nitrógeno
OEA	Organización de los Estados Americanos
ORSTOM	Instituto Francés de Investigación Científica
P	Fósforo
pH	Coefficiente de grado de acidez o basicidad de una solución
UTN	Universidad Técnica del Norte

BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, M. y Reyes, T. (2013). Evaluación de la erodabilidad de los suelos typic dystrodepts, typic hapludands y andic dystrodepts mediante simulador de lluvia en la microcuenca la centella (dagua – valle del cauca), 49.57.
- Albornoz, V. (2011). La población del Ecuador 1950 - 2010. *Carta Económica*, 6.
- Almorox, J., López, F. y Rafaelli, S. (2010). *La degradación de los suelos por erosión hídrica*. (E. De la U. De Murcia, Ed.). España.
- Alonso, S., Alcázar, M., Cermeño, F. y Barbero, F. (1011). Erosión y Manejo del Suelo. Importancia del Laboreo ante los Procesos Erosivos Naturales y Antrópicos. *Instituto de Geociencias (CSIC-UCM). Dpto. Geodinámica, Universidad Complutense de Madrid.*, 26.
- Ares, M. G., Varni, M. y Chagas, C. (2014). Erosión hídrica en una microcuenca agrícola bajo siembra directa del centro de la Provincia de Buenos Aires. *Ciencia Del Suelo*, 32(2), 259–270.
- Arnáez, J., Ruiz, P., Lasanta, T., Ortigosa, L., Llorente, J. A., Pascual, N. y Lana, N. (2012). Efectos de las rodadas de tractores en la escorrentía y erosión de suelos en laderas cultivadas con viñedos. *Cuadernos de Investigación Geográfica*, 38(1), 115–120.
- Asamblea Nacional Constituyente. (2008). Constitución de la República del Ecuador. *Registro Oficial*.
- Augusto, C., Perdomo, A., Trujillo, A. T. y Vargas, A. (2015). Evaluación comparativa de pérdidas de suelo en el corredor biológico entre parques nacionales Puracé y Cueva de los Guácharos en el Huila. *Revista Colombiana de Investigaciones Agroindustriales*, 2, 41–52. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.23850/24220582.168>
- Basanta, M. y Álvarez, C. (2015). Manejo sustentable de sistemas agrícolas en la región central de Córdoba: una experiencia de largo plazo en INTA EEA Manfredi. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 41(2), 215–222.
- Boix, C., Martínez, M., Arnau, E., Calvo, A., Castillo, V. y Albaladejo, J. (2006). Measuring soil erosion by field plots: Understanding the sources of variation. *Earth-Science Reviews*, 78(3–4), 267–285. <https://doi.org/10.1016/j.earscirev.2006.05.005>
- Bonifaz, N., León, R. y Gutiérrez, F. (2018). Pastos y forrajes del Ecuador. Cuenca.
- Calvache, A. y Baque, A. (2018). *Libro ciencias agropecuarias Galápagos*.
- Camas, R., Fernández, A., Cortes, J., Livera, M., González, A., Villar, B. y Cadena, P. (2012). Erosión del suelo, escurrimiento y pérdida de nitrógeno y fósforo en laderas bajo

- diferentes sistemas de manejo en Chiapas, México* Soil erosion, runoff and nitrogen and phosphorus losses in hillsides as affected by soil management system in Chiapas, México. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas*, 3, 231–243.
- Campaña, F. (2015). *Aplicación del modelo usle para el cálculo de erosión Quito-Ecuador*. (Tesis de pregrado). Universidad Central del Ecuador. Quito.
- Campitelli, P., Aoki, A., Gudelj, O., Rubenacker, A. y Sereno, R. (2010). Selección de indicadores de calidad de suelo para determinar los efectos del uso y prácticas agrícolas en un área piloto de la región central de Córdoba. *Ciencia Del Suelo*, 28(2), 223–231.
- Castilla, F. (2013). La elegida para conservar el suelo. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(2), 118–123. <https://doi.org/10.14718/revarq.2013.15.1.9>
- Castro Mendoza, I. (2013). Estimación de pérdida de suelo por erosión hídrica en microcuenca de presa Madín, México. *Ingeniería Hidráulica y Ambiental*, 34(2), 3–16.
- Chagas, C. I. e Ignacio, C. (2018). Esguerrimiento, erosión del suelo y contaminación de los recursos hídricos superficiales por sedimentos asociados a la actividad agropecuaria extensiva: algunos elementos para su análisis.
- Cisneros, J., Cholaky, C., Cantero, A., González, J., Reynero, M., Diez, A. y Bergesio, L. (2012). *Erosión Hídrica. Principios y técnicas de manejo*. Argentina: Universidad Nacional del Río Cuarto.
- Comunidades Europeas. (2009). Relaciones entre los procesos de degradación del suelo, las prácticas agronómicas no perjudiciales para el suelo y las medidas adoptadas en relación con ello.
- Córdoba, J. y Valverde, F. (2008). Evaluación de la erosión causada por la labranza con arado y rastra en Carchi - Ecuador. *Iniap*, 12, 10. <https://doi.org/10.1017/CBO9781107415324.004>
- Cotler, H., López, C. A. y Martínez-Trinidad, S. (2011). ¿Cuánto nos cuesta la erosión de suelos? Aproximación a una valoración económica de la pérdida de suelos agrícolas en México. *Investigación Ambiental*, 3(2), 31–43.
- Cruz, E., Chela, E., Monar B, C., Valverde, F., Cartagena, A. y Yamil, E. (2010). Evaluación de la pérdida productiva y económica por la erosión hídrica en tres sistemas de producción en la microcuenca del río Alumbre, provincia Bolívar, Ecuador. *XII Congreso Ecuatoriano de La Ciencia Del Suelo*, 17–19. <https://doi.org/10.1021/np200906s.Natural>
- Cruzatty, G., Luz, C., Vollmann, S. y Juan, E. (2012). Caracterización de suelos a lo largo de

- un gradiente altitudinal en Ecuador Soil characterization along an altitudinal gradient in Ecuador. <https://doi.org/10.5039/agraria.v7i3a1736>
- De Alba, S., Benito, G. y Pérez, A. (2002). Parcelas experimentales para el estudio de la erosión hídrica. Finca experimental la idgueruela. *Cuaderno Sociedad Española de Ciencias Forestales*, 13, 45–53.
- De Noni, G. y Trujillo, G. (1986). Degradación del suelo en el Ecuador: principales causas y algunas reflexiones sobre la conservación de este recurso, (January), 383–394.
- Dellacaná, C., Bermejillo, A. y Morabito, J. (2014). *Rendimiento y calidad de un cultivo de avena (Avena sativa L.), bajo distintas láminas de riego en el noroeste de Chubut (Argentina)*.
- FAO, ISRIC y SICS. (1999). Base Referencial Mundial Del Recurso Suelo. *Informes sobre recursos mundiales de suelos* (Vol. 84).
- FAO. (1991). *Manual de sistemas de labranza para américa latina*. Argentina: Boletín de suelos de la FAO.
- FAO. (2000). Manual de prácticas integradas de manejo y conservación de suelos. *Boletín de Tierras y Aguas de La FAO*, 8.
- FAO. (2009). Guía para la descripción de suelos. *Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación*, 100.
- FAO Y GTIS. (2014). *Estado Mundial del Recurso Suelo (EMRS)*. Roma.
- Gaspari, F., Delgado, M. y Denegri, G. (2008). Estimación espacial, temporal y económica de la pérdida de suelo por erosión hídrica superficial. *Terra latinoamericana*, 27, 43–51.
- Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal de Antonio Ante. (2015). *Actualización Plan de Desarrollo de Ordenamiento Territorial de la parroquia San José de Chaltura 2015 – 2030*. 42–50.
- González, Ó., Iglesias, C. y Herrera, M. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 18(2), 57–63.
- Ibáñez, J. (2008). Erosión, transporte y sedimentación. Recuperado de <http://www.madrimasd.org/blogs/universo/2008/08/15/98822>
- INIAP. (2004). *Sistemas de labranza de conservación de suelos y fertilización fosfórica en maíz*. Quito.
- Knapen, A., Poesen, J., Govers, G., Gyssels, G. y Nachtergaele, J. (2007). Resistance of soils to concentrated flow erosion: A review. *Earth-Science Reviews*, 80(1–2), 75–109. <https://doi.org/10.1016/J.EARSCIREV.2006.08.001>

- López, R. (2010). *Laboreo de Conservación: Efectos a corto y largo plazo sobre la calidad del suelo y el desarrollo de los cultivos*. (Tesis doctoral). Universidad de Sevilla. Sevilla.
- Loredo, C., Beltrán, S., Moreno, F. y Casiano, M. (2007). *Riesgo a la erosión hídrica y proyección de acciones de manejo y conservación del suelo en 32 microcuencas de san Luis potosí*. México.
- Maderey, L. y Jiménez, A. (2005). Principios de Hidrogeografía, estudio del ciclo hidrológico. *Instituto de Geografía para el siglo XXI*. Universidad Nacional Autónoma de México. (pp. 67–69).
- Martínez, I. G., Prat, C., Ovalle, C., del Pozo, A., Stolpe, N. y Zagal, E. (2012). Subsoiling improves conservation tillage in cereal production of severely degraded Alfisols under Mediterranean climate. *Geoderma*, 189–190, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.geoderma.2012.03.025>
- Mena, P. y Medina, G. (2000). *Los suelos del páramo*. Quito.
- Ministerio de Agricultura y Ganadería. (2017). Ecuador Continental – Mapa de Suelos – Variable Pendiente, año 2003. Geoportal del agro ecuatoriano. Recuperado de <http://fliphtml5.com/wtae/djpo/basic>
- Murillo Illanes, M. (2010). Manual técnico. *Manual Técnico Viceministerio de Desarrollo Rural y Tierras*, 1–26.
- Neder, V., Busnelli, J. y Sampietro, M. (2010). Por Acciones Antropogénicas y Variaciones Climáticas, Tucumán, 66(4), 499–504.
- Núñez Solís, J. (2001). *Manejo y conservación de suelos*. (E. (Editorial U. E. A Distancia), Ed.). Costa Rica.
- OEA, O. De los E. A. (1978). *Proyecto de Desarrollo Integrado de la Región Oriental de Panamá - Darién*. (U. T. Del P. P.- Darién, Ed.) (1st ed.). Panamá.
- Orsag, V. (2009). Degradación de suelos en el altiplano boliviano. *Análisis, Instituto Boliviano de Economía y Política Agraria*, 1(3), 27–30.
- Paladines, O. e Izquierdo, F. 2007. *Fertilización de Pasturas en el Centro Norte de la Sierra Ecuatoriana*. Facultad de Ciencias Agropecuarias, Universidad Central del Ecuador. 21p.
- Plan Nacional De Desarrollo 2017 - 2021 - Toda una Vida. (2017). Plan Nacional De Desarrollo 2017 - 2021 - Toda una Vida. *Plan Nacional De Desarrollo 2017 - 2021*, 1–148.
- Polonia, J. (2011). Identificación de características morfofisiológicas asociadas a la adaptación a sequía para ser usadas como criterios de selección en mejoramiento de frijol

- común *Phaseolus vulgaris* L. *Tesis Pregrado Universidad Nacional de Colombia*, 84.
- Ramírez, E., Figueroa, B., Ordaz, M. y Volke, V. (2006). Effect of No-tillage System in a Vertisol. *Terra Latinoamerica*, 24(1), 109–118.
- Ramírez, S.; Domínguez, D.; Salmerón, J.; Villalobos, G.; y Ortega, J. (2013). Producción y calidad del forraje de variedades de avena en función del sistema de siembra y de la etapa de madurez del corte. *Tototecnia Mexicana*, 36(4), 395–403.
- Robinson, D. y Woodun J. (2008). An experimental study of crust development on chalk downland soils and their impact on runoff and erosion. *European Journal of Soil Science* 59:784-798.
- Rodríguez, N., Ruz, E., Valenzuela, A. y Belmar, C. (2000). Efecto del sistema de laboreo en las pérdidas de suelo por erosión en la rotación trigo-avena y praderas en la precordillera andina de la región centro sur. *Agricultura Técnica*, pp. 259–269. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072000000300006>
- Romero, A., Ruiz, J. y Serrato, F. (2011). Tasas de erosión hídrica en la región de Murcia. *Boletín de La Asociación de Geógrafos Españoles*, 56, 129–154.
- Roncillo, B., Barros, J., Bonilla, R., Murillo, J. y Del Toro, R. (2009). Evaluación de arreglos agrosilvopastoriles en explotaciones ganaderas de la microrregión Bajo. *Revista Corpoica*, 10(1), 60–69.
- Salazar, E., Beltrán, A., Fortis, M., Leos, J., Cueto, J. y Vázquez, C. (2003). Maíz forrajero con tres sistemas de labranza, Nitrogen Mineralization in the Soil and Corn Forage Production under Three Tillage Systems. *Terra Latinoamericana*, 21, 569–575.
- Salminis, J., Demo, C. y Geymonat, M. (2007). Sustentabilidad socioeconómica y ambiental en sistemas agrícolas y agrícola-ganaderos Trabajo de Investigación. *Asociación Argentina de Economía Agraria*, (5800), 1–17.
- Sánchez, A. y Gándara. (2001). Conceptos básicos de gestión ambiental y desarrollo sustentable (Primera ed). México: enero de 2011.
- Schlegel, F. y FAO. (1996). EL SUELO. In FAO (Ed.), *Ecología y enseñanza rural: nociones ambientales básicas para profesores rurales y extensionistas* (Vol. 131, p. 187).
- Valladares, F. (2004). *Ecología del bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Madrid: Ministerio de Medio Ambiente, EGRAF, S. A.
- Vidal, I., Etchevers, J. y Anthony, F. (2002). Dynamics of nitrogen under different rotations, tillage systems and residue management in wheat. *Agricultura Técnica*, 6, 121–132. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.4067/S0365-28072002000100012>

- Villar, B., Tosquy, O., López, E., Esqueda, V. y Palacios, G. (2013). Impacto de la pendiente y tres sistemas de producción sobre el escurrimiento, la erosión y el rendimiento de maíz. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*, 16(3), 497–504.
- Zachar, D. (2011). *Soil Erosion*. *Soil Science* (Vol. 10).