

**Cuantificación de la Erosión Hídrica en Función de Diferentes
Técnicas de Mecanización para Minimizar la Contaminación del Agua
por Sedimentos en la Parte Alta de la Cuenca del Río Reventazón.**

INFORME FINAL

DOCUMENTO 1

Investigadores:

Ing. Natalia Gómez Calderón

Ing. Milton Solórzano Quintana

Ing. Karolina Villagra Mendoza

Enero, 2017

TEC | Tecnológico
de Costa Rica
Escuela de Ingeniería Agrícola



Tabla de Contenidos

Tabla de contenidos	I
Lista de cuadros	IV
Lista de figuras	VI
1. Código y título del proyecto	1
2. Autores y direcciones	1
3. Resumen	1
4. Palabras Clave	1
5. Introducción	2
6. Marco Teórico	4
7. Metodología	8
7.1. Instalación de las parcelas de escorrentía	9
7.2. Tratamientos de mecanización	13
7.2.1. Capellades	15
7.2.2. Cot	16
7.2.3. Llano Grande	18
7.2.4. Potrero Cerrado	19
7.2.5. TEC 21	
7.3. Toma de datos sobre propiedades físicas del suelo	22
7.4. Estimación de la erosión:	22
7.5. Cálculo de la utilidad neta de las mecanizaciones	26
7.5.1. Cálculo de la Utilidad Neta	26

7.5.2. Supuestos y variables a emplear en el modelo	27
7.6. Pruebas de patinaje complementarias durante la mecanización de las fincas	29
8. Resultados y análisis de resultados	30
8.1. Textura de suelos	30
8.2. Índices de rendimiento de los equipos utilizados	30
8.2.1. Costos y tiempos de mecanización por implemento utilizado	31
8.2.2. Pruebas de patinaje complementarias	33
8.3. Relaciones entre la labranza y las propiedades físicas e hidráulicas del suelo	37
8.4. Análisis de correlaciones entre la tasa de suelo perdido y el tipo de labranza	50
8.5. Modelo explicativo y conceptual de pérdida de suelo e función de la mecanización	53
8.6. Modelo Conceptual de rendimientos en función de la mecanización.	54
8.7. Capacitaciones realizadas	57
9. Conclusiones y recomendaciones	58
10. Agradecimientos	62
11. Bibliografía	63
12. Apéndices	67
Apéndice 12.1. Planos topográficos y ubicación de las fincas en donde se instalaron las parcelas de escorrentía.	67
Apéndice 12.2. Imágenes de las parcelas de escorrentía instaladas.	67
Apéndice 12.3. Base de datos de las características hidráulicas, mecánicas y físicas del suelo medidas en las parcelas de escorrentía.	67
Apéndice 12.4. Base de datos de las pruebas de patinaje de llantas de tractor.	67
Apéndice 12.5. “Comparación de patinaje bajo diferentes tipos de labranza en un suelo franco arenoso en Costa Rica”, cartel presentado en el XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 2016	68

Apéndice 12.6.	Prueba de Tukey para propiedades físicas y mecánicas de suelo.	69
Apéndice 12.7.	Base de datos asociadas a la recolección y determinación de la cantidad de sedimentos y precipitaciones en las parcelas de escorrentía.	73
Apéndice 12.8.	Capacitaciones realizadas.	74
Apéndice 12.9.	Folleto Informativo	107

Lista de Cuadros

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en las pruebas de mecanización para establecer las parcelas de escorrentía en las localidades definidas.	13
Cuadro 2. Porcentaje de uso de equipos en la mecanización de las labores en la Zona Norte de Cartago.	15
Cuadro 3. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la finca de Capellades	16
Cuadro 4. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la primera mecanización en Cot	17
Cuadro 5. Ubicación de los tratamientos aplicados en la primera mecanización en Llano Grande	19
Cuadro 6. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la finca de Potrero Cerrado	20
Cuadro 7. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la finca experimental del TEC	21
Cuadro 8. Datos de textura de las fincas en estudio	30
Cuadro 9. Velocidad de avance de los implementos utilizados durante el laboreo.	30
Cuadro 10. Porcentajes de capacidad de campo promedio del suelo de cada una de las localidades con parcelas de escorrentía instaladas.	31
Cuadro 11. Tiempo y costos de mecanización para cada tratamiento de mecanización utilizado.	32
Cuadro 12. Tratamientos de mecanización recomendados según su beneficio en las propiedades mecánicas y costos, según los tipos de laboreo utilizados en las pruebas en la Zona Norte de Cartago	50
Cuadro 13. Resumen de tasas de erosión de suelos por precipitación según los tratamientos de mecanización	51
Cuadro 14. Estimado mensual y anual de pérdida de suelos en función del tratamiento de suelos utilizado.	51
Cuadro 15. Estimación de la erosión en toneladas de suelo por hectárea en terrenos con pendiente de 10-15% en función de diferentes tipos de laboreo para la Zona Norte de Cartago.	53
Cuadro 16. Relaciones para obtener Utilidad Neta según tipo de tratamiento y textura de suelos.	55
Cuadro 17. Relación entre tasa de erosión por tratamientos y tipo de suelo y utilidad neta esperada.	56
Cuadro 18. Resumen de los mejores tratamientos de mecanización en función de la tasa de erosión, tipo de suelo y utilidad neta esperada.	56
Cuadro 19. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia a la penetración en suelos franco arcillosos	69

Cuadro 20. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia al corte en suelos franco arcillosos	70
Cuadro 21. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia a la penetración en suelos franco arenosos	71
Cuadro 22. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia al corte en suelos franco arenosos	72

Lista de figuras

Figura 1.	Áreas de estudio con parcelas de escorrentía en la Zona Norte de Cartago	9
Figura 2.	Ejemplo de distribución de las parcelas de escorrentía en Potrero Cerrado	11
Figura 3.	Medición de parcelas para mecanización en Capellades.	12
Figura 4.	Proceso de instalación de las parcelas de escorrentía	12
Figura 5.	Surcado con tracción animal en Finca ubicada en Cot.	14
Figura 6.	Mecanización con arado de cincel en finca de Cot	17
Figura 7.	Mecanización con arado de discos en Llano Grande	18
Figura 8.	Mecanización con rastra rotativa en Potrero Cerrado	20
Figura 9.	Muestras recolectadas y sedimentos secados, almacenados y rotulados por localidad y fecha.	23
Figura 10.	Pasos para el proceso de medición de patinaje.	29
Figura 11.	Tiempo y costos de mecanización para cada tratamiento de mecanización utilizado.	32
Figura 12.	Comparación de la velocidad de avance y patinaje en ambos ejes de un tractor acoplado a paleadora mecánica (palín) y arado rotador en suelos franco-arenoso (Llano Grande) y franco-arcilloso (Tierra Blanca)	35
Figura 13.	Erosión en surcos a la profundidad de labranza con arado de cincel en suelo franco arenoso	38
Figura 14.	Relación de Resistencia a la Penetración y Densidad Aparente en el suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	39
Figura 15.	Relación de Resistencia a la Penetración y Densidad Aparente en el suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	40
Figura 16.	Relación de Resistencia al Corte y Densidad Aparente del suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	41
Figura 17.	Relación de Resistencia al Corte y Densidad Aparente del suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	42
Figura 18.	Relación de Resistencia a la Penetración y el contenido de humedad del suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	43
Figura 19.	Relación de Resistencia a la Penetración y el contenido de humedad del suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	44

Figura 20. Relación de Resistencia al corte y el contenido de humedad del suelo por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	45
Figura 21. Relación de Resistencia al corte y el contenido de humedad del suelo por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	46
Figura 22. Relación de Resistencia a la penetración y la conductividad hidráulica del suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	47
Figura 23. Relación de Resistencia a la penetración y la conductividad hidráulica del suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.	48
Figura 24. Valores de resistencia a la penetración con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arcillosos	69
Figura 25. Valores de resistencia al corte con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arcillosos	70
Figura 26. Valores de resistencia a la penetración con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arenosos	71
Figura 27. Valores de resistencia al corte con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arenosos	72

1. Código y Título del proyecto

5402-1421-3201 (1421007): Cuantificación de la Erosión Hídrica en Función de Diferentes Técnicas de Mecanización para Minimizar la Contaminación del Agua por Sedimentos en la Parte Alta de la Cuenca del Río Reventazón.

2. Autores y direcciones

Ing. Milton Solórzano Quintana. Coordinador, msolorzano@tec.ac.cr

Ing. Natalia Gómez Calderón, ngomez@tec.ac.cr

Ing. Karolina Villagra Mendoza, kvillagra@tec.ac.cr

3. Resumen

Los sedimentos producto de diversas actividades antropogénicas realizadas en la parte alta de Río Reventazón son causantes de la contaminación hídrica de la red de drenaje de dicha cuenca, lo cual tiene un impacto directo en la generación de energía hidroeléctrica debido a los tiempos necesarios para el mantenimiento de las plantas. El presente estudio tiene como objetivo proporcionar información en cuanto a la relación que existe entre la labranza de los cultivos agrícolas de la zona, el clima y la generación de sedimentos. Para esto, se instalaron parcelas de escorrentía en cinco fincas en la zona norte de Cartago (Llano Grande, Cot, Tierra Blanca, Capellades y sede central del TEC), con dos tipos de suelos característicos, bloqueando pendiente y cultivo. En cada finca se aplicaron cinco técnicas de mecanización con tres repeticiones y se registró en el tiempo, el comportamiento de las propiedades físicas y mecánicas del suelo y la cantidad de los sedimentos generados en cada finca por cada una de las técnicas de mecanización. Por medio de un análisis estadístico, de operación y económico se compararon los tratamientos de mecanización aplicados con respecto a la producción de sedimentos y se determinó que la combinación del arado de cincel con la azada mecánica, los cuáles son implementos de labranza vertical, son los que menos erosión ocasionan tanto en suelos franco arenosos como franco arcillosos. El análisis económico se realizó en función de las horas de operación de la maquinaria y se determinó que las técnicas que producen mayor utilidad para el productor como la combinación del arado de cincel con el arado rotador son las que ocasionan mayor pérdida del suelo.

4. Palabras clave

Palabras claves: Contaminación, erosión hídrica, suelo, erosión, labranza.

5. Introducción

Debido a su posición geográfica, Costa Rica es uno de los países más ricos en oferta hídrica en Centroamérica. Presenta una densa red de cuencas de donde se extrae agua principalmente para consumo humano (1%), para la industria (2%), para el sector agrícola (28%) y para proyectos hidroeléctricos (69%). Debido a las diversas actividades que en ellas se realizan son también las más afectadas por la contaminación por sedimentos, contaminación fecal y contaminación orgánica (UNA, 2013).

El presente estudio brinda información sobre el impacto de la aplicación de cinco técnicas de mecanización agrícola sobre las pérdidas de suelo, combinando los implementos agrícolas comúnmente utilizados en la zona norte de Cartago (arado de cincel, arado rotador, arado de discos y azada mecánica), a solicitud de la Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca del Río Reventazón (COMCURE) con el fin de establecer lineamientos al respecto.

La cuenca del Río Reventazón se caracteriza por presentar variabilidad en cuanto a topografía, cobertura, clima, uso de la tierra y formación geológica, con fuertes problemas de erosión de suelos en la zona hortícola de Cartago, principalmente en Cot y Tierra Blanca, en donde se combina una baja cobertura vegetal, pendientes muy inclinadas, incorrectas técnicas de cultivo y pobres técnicas de conservación de suelos (COMCURE, 2016). Según Van Oost, Govers y Desmet (2000), el desprendimiento de la capa arable en esta zona no solo impacta la fertilidad y productividad de los suelos, sino también se convierte en un aporte importante de sedimentos al cauce del río. Asimismo, la amenaza a las poblaciones, ubicadas en la parte media de la cuenca, se materializa en las frecuentes inundaciones, por un lado, debido a la reducción del área del cauce de los ríos (por la presencia de sedimentos) y por otro lado a la acción del hombre consolidando poblados en zonas de alto riesgo.

La erosión del suelo se puede explicar indirectamente a partir de diversas propiedades del suelo tanto físicas (textura, densidad aparente, infiltración, estructura), hidráulicas (conductividad hidráulica), química (materia orgánica) y mecánicas (resistencia a la penetración y al corte). Dichas propiedades del suelo se ven alteradas tanto positiva como negativamente por efecto de la labranza del suelo. En este sentido, la labranza se considera un agente antropogénico erosivo del suelo, ya que altera su condición de estabilidad (Mehuys, Tiessen, Villatoro, Sancho y Lobb, 2009). Por ejemplo, la labranza horizontal (implementos de disco o vertedera) contribuye a la erodabilidad del suelo, disminuye la estabilidad de agregados y genera una mayor compactación del suelo. Por otro lado, la labranza vertical (arado cincel,

azada mecánica, subsolador) tienden a mantener la estructura del suelo, reduce la ruptura de agregados, induce a una mayor aireación, infiltración y drenaje (Gómez-Calderón, 2016).

Este estudio trata de explicar la relación entre labranza, propiedades del suelo y clima con el fin de proporcionar una herramienta para la estimación de sedimentos en la cuenca, recomendando las mejores técnicas de mecanización para los dos tipos de suelo más frecuentes (franco arcilloso y franco arenoso) en la región norte de la cuenca. Adicionalmente, pretende plantear una base de conocimiento para capacitaciones a autoridades, operadores de maquinaria y productores.

El objetivo general del proyecto fue desarrollar un modelo para estimar la pérdida del suelo en función de la mecanización agrícola, y así contribuir a la reducción de la contaminación del agua, conservación de nutrientes y del recurso suelo, por arrastre de sedimentos desde la parte alta de la cuenca del Río Reventazón.

Para lograr dicho objetivo de manera específica se propuso en primer término obtener evidencia experimental del comportamiento de la erosión y escorrentía en relación a diversas técnicas de mecanización, en segundo lugar determinar profundidades de mecanización de suelos adecuadas para el cultivo sin generar pérdidas significativas del recurso, en tercer lugar determinar la velocidad de avance óptima de la maquinaria, en función de las características del suelo para minimizar las pérdidas por erosión, y consecuentemente generar ahorro energético a los productores, como cuarto término crear un modelo explicativo de transporte de sedimentos para la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, en base a técnicas de mecanización, topografía y características del suelo, en quinto lugar cuantificar el costo - beneficio de los productores de la zona norte de la cuenca, en función de las diferentes técnicas de mecanización del suelo, y en sexto y último lugar capacitar a los productores y operadores de la maquinaria, sobre las formas adecuadas de aplicación de la mecanización en las labores.

El documento está organizado de la siguiente manera; se inicia con una introducción donde se menciona la importancia de la cuantificación de los sedimentos, seguido de un marco teórico en el cual se explora la caracterización del suelo de la Cuenca del Río Reventazón, tipos de mecanización del suelo, investigaciones con parcelas de escorrentía, relaciones de propiedades mecánicas con erosión del suelo. Posteriormente un capítulo de metodología donde se indica los procedimientos que sustentan los resultados que se obtuvieron, los resultados, conclusiones y recomendaciones. Adicionalmente se incluye un apartado de apéndices para mayor abundancia del tema de la investigación|

6. Marco teórico

Erosión es el proceso donde se desprenden, se transporta y se depositan los sedimentos por la acción del viento y del agua (Lal, 2001). Al proceso de deposición de sedimentos que se encuentran en suspensión se le denomina sedimentación. La movilización de sedimentos es un proceso natural de las cuencas, sin embargo, la intensa actividad del hombre (agricultura, deforestación, urbanización y minería) se ha encargado de alterar y acelerar este proceso hasta el punto de modificar el régimen de los ríos y la cantidad de sedimentos que estos transportan. Según Castilla (2013), la tasa de pérdida de suelo aceptable es de 12 toneladas por hectárea por año.

Según Henry y Heinke (1999), los efectos de los cambios en erosión y sedimentación tienen consecuencias físicas y químicas en la calidad del agua y los ecosistemas que en ellos se dan. La dimensión física es donde se pierde la capa arable y genera niveles excesivos de turbidez de las aguas receptoras, creando impactos negativos no sólo en la ecología sino también problemas en embalses por deposición de sedimentos, además de favorecer las inundaciones por la reducción en la capacidad de flujo de agua en las redes de drenaje. En la dimensión química, los sedimentos son transportadores de nutrientes (principalmente nitrógeno y fósforo) cuyo origen se encuentra en fertilizantes y excremento animal los cuales al alcanzar los cuerpos de agua contribuyen al aumento de la biomasa, proliferación de algas y creación de un medio anóxico (carencia de oxígeno) lo cual atenta contra la biodiversidad acuática, lo que se conoce como eutroficación (Henry y Heinke, 1999).

En la parte norte de la cuenca del Río Reventazón, la actividad agropecuaria se desarrolla en suelos volcánicos profundos (5-8 m) muy fértiles (Astorga, 2007; Cortés, 1993), donde el 85% de las pendientes son menores al 30% con niveles de erosión moderadas, con un inadecuado uso del suelo donde el 75% de áreas de producción son no aptas para cultivos y se encuentran cerca de las márgenes de cauces de ríos y quebradas, y precipitaciones intensas (Astorga, 2007; Ramírez, Alvarado, Pujol, y Brenes, 2008; Ramírez, Alvarado, Pujol, McHugh, y Brenes, 2008). Estos estudios han revelado que existe una sobreexplotación de los suelos con una alta susceptibilidad a la degradación. Brenes y Vargas (2004) añaden que más de la mitad de la cuenca del Río Reventazón (donde existen pendientes mayores al 50%) se encuentra vulnerable a la erosión hídrica. A pesar de que desde hace más de 50 años en esta cuenca se han realizado proyectos de conservación y manejo de suelos, en la parte norte, solo aproximadamente el 5% del área está protegida (Astorga, 2007).

Es así como los principales problemas de la cuenca son la erosión, sedimentación y contaminación de sus aguas (Astorga, 2007). Por ejemplo, se ha identificado la parte norte de la cuenca como la mayor productora de sedimentos, aportando un 73% de estos sedimentos producidos. Al embalse Cachí llegan 1 millón de toneladas por año de sedimentos y al embalse de Angostura entre 1.5-2 millones de toneladas por año. Por lo tanto, para prevenir la disminución de la vida útil de los embalses, se realizan al menos una vez al año un desembalse, lo que significa sacar del sistema un 38% de la generación eléctrica del país lo que debe ser sustituido por fuentes más caras de energía (ICE, 2011).

El transporte de sedimentos no sólo aumenta los costos de mantenimiento de embalses. También es fuente de contaminación por el arrastre de nutrientes. Por ejemplo, el uso excesivo de fertilizantes ricos en fósforo, que se ha convertido en un agente contaminante, ya que éste alcanza los cauces de los ríos al quedar adherido a las partículas del suelo erosionado (Ramírez, Alvarado, Pujol, McHugh y Brenes, 2008), facilitando la eutrofización en cuerpos de agua (ICE, 2012).

Otro problema ocasionado es el aumento de zonas de riesgo por inundación, especialmente en las partes medias y bajas de la cuenca. Un ejemplo es el Valle de Orosi, donde un crecimiento urbano sin control aunado a las condiciones topográficas y una reducción del cauce de los ríos por la presencia de sedimentos, han generado zonas altamente vulnerables a las inundaciones (Arce, 2004).

En la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, por años, se han llevado a cabo diversos estudios cualitativos (Cortés, 1993; Cortés y Oconitrillo, 1993; Ramírez, Alvarado, Pujol, y Brenes, 2008; Ramírez et al., 2008) y otros más experimentales (Campos, 2010; Castillo y Mata, 2012; J. . Gómez, 2010) con el fin de describir, evaluar y cuantificar las pérdidas del suelo y su impacto en las redes de drenaje. En ellos se han identificado correlaciones de los procesos erosivos con variables como pendiente, cobertura vegetal, precipitación, estructura, uso de la tierra y contenido de humedad (Campos, 2010; Castillo y Mata, 2012; J. . Gómez, 2010; Hernández, 2010; Ramírez et al., 2008; Villatorio, 2012). Sin embargo, algunos autores también han relacionado la producción de sedimentos en la cuenca con: las técnicas empleadas en la preparación del terreno, uso inadecuado de técnicas de mecanización y labranza, uso intensivo del suelo, incorrectas técnicas de cultivo y conservación de suelos (Cortés y Oconitrillo, 1993; Villalobos-Araya, Guzmán-Arias, y Zúñiga-Pereira, 2009)

Estos estudios anteriores dejan al descubierto, que más allá de las características tradicionales relacionadas a los procesos erosivos (suelo, topografía, vegetación y precipitación) el problema se

magnífica con las actividades antropogénicas. Esto se ejemplifica con la coincidencia de preparación del suelo (carencia de cobertura vegetal) con el inicio de las lluvias, lo cual sumado con tractores pesados y un uso inadecuado de implementos se garantiza una mayor compactación y pulverización del suelo, facilitando el arrastre de sedimentos por escorrentía con las primeras lluvias (Cortés y Oconitrillo, 1993; Villalobos-Araya et al., 2009)

La mecanización de suelos (también llamada preparación de suelos, labranza o laboreo del suelo) es la operación de diferentes máquinas o procesos y la interacción con sus componentes en la producción agrícola con el fin de mejorar la productividad (Gómez, 2011). La mecanización en sí misma no es la que degrada el suelo, sino el mal uso de los implementos que se utilizan para este fin. Por lo tanto, se debe tener conciencia del tipo y condiciones del trabajo que debe desempeñar la máquina para evitar la degradación del suelo (Alvarado, 2004) Este autor menciona que la preparación del suelo en Costa Rica se realiza principalmente en forma convencional (se deja el suelo desnudo y se usa principalmente el arado y rastra; a pesar de que la mecanización conservacionista, también conocida como mecanización eficiente, protege más al suelo en cuanto a erosión, ahorra combustible, tiempo y dinero. La mecanización eficiente se refiere a la selección conveniente de maquinaria, de acuerdo a las condiciones de trabajo y calibración correcta, haciendo que los cultivos se desarrollen de la mejor manera, aumentando su rendimiento y calidad (Alvarado, 2004). Dentro de los implementos conservacionistas que pueden ser utilizados de acuerdo a las condiciones del terreno, Alvarado (2004) enumera al subsolador, arado de cincel, arado de vertedera, arado excavadora (pálín), entre otros.

Alvarado (2012) menciona que el uso de implementos inadecuados, la época en que se realizan las labores, la falta de uso de técnicas de conservación y el uso inadecuado de los terrenos no aptos para agricultura, son las principales causas de la degradación del suelo. Además, no recomienda el uso del arado de discos, vertedera y rotavator en suelos susceptibles a erosión, contrario al uso de subsoladores, arados de cinceles y vibrocultores los cuales degradan menos el suelo. Asimismo, menciona que existe aún desconocimiento en cuanto la aptitud de algunos implementos de preparación del suelo con los que se pueda reducir el riesgo a la erosión. Esto se refleja en la parte alta de la cuenca donde diversos estudios han identificado que en la zona la planificación de preparación del suelo y siembra no es adecuada y además, frecuentemente se utiliza maquinaria pesada, arado de discos o rastras rompedores y posteriormente el rotador (para soltar el suelo) en áreas con alta susceptibilidad a la erosión hídrica (J. . Gómez, 2010; Ramírez, Alvarado, Pujol, y Brenes, 2008; Suazo, 1995; Villalobos-Araya et al., 2009).

La literatura menciona que una adecuada mecanización consiste en una labor profunda no inferior a 25 cm. La profundidad de preparación varía de acuerdo con las condiciones físicas del suelo, por ejemplo, en suelos sueltos y arenosos se recomienda hasta 30 cm, y en suelos pesados, profundos y ricos en materia orgánica, hasta 50 cm (Villalobos-Araya et al., 2009). La magnitud del impacto de estas técnicas de labranza y las pérdidas del suelo ha sido poco cuantificada. Las investigaciones previas han estudiado el impacto de la mecanización en los procesos erosivos de forma muy generalizada. Las técnicas utilizadas se basan en la observación por largos períodos el efecto de algún implemento, como por ejemplo: el arado, o forma de mecanización con respecto al no uso (Cogo, Moldenhauer, y Foster, 1984; Lindstrom, Nelson, y Schumacher, 1992; Montgomery, 2007; Pla-Sentis y Nacci, 2001). No se tiene conocimiento de investigaciones más detalladas enfocadas con las pérdidas del suelo en función del tipo de preparación del suelo (velocidad de avance, profundidad, implemento) y a la vez tomando en cuenta condiciones topográficas, edáficas y de cultivo. Villalobos-Araya et al. (2009) realizaron un estudio para determinar las técnicas de labranza más apropiadas para mejorar la producción de papa en la zona norte de Cartago; las técnicas estudiadas fueron palín (30 cm profundidad), arado de discos (25 cm) más rastra de discos, subsolador (65 cm) más vibrorastra, vibroarado (25 cm) y arado de cincel (35 cm). En el estudio se determinó, que para esta zona el palín o azada mecánica a una profundidad de 30 cm mejora la producción y la tasa de infiltración del suelo, seguido por el arado de cincel y el vibroarado.

Con el fin de cuantificar las pérdidas del suelo por erosión hídrica productivo de las formas de mecanización a estudiar, se pueden emplear parcelas de escorrentía. Éstas son parcelas que se utilizan para recolectar los sedimentos removidos, captando conjuntamente el caudal líquido y sólido en los denominados tanques colectores. Es una de las metodologías más conocidas en la evaluación directa de la erosión del suelo (Hudson, 1993; Vega, 2008). Hudson (1993) justifica el empleo de estas parcelas: 1) para fines demostrativos, 2) para realizar estudios comparativos, y 3) para obtener datos útiles para construir o validar un modelo o ecuación destinado a predecir las pérdidas del suelo. Así mismo, A pesar de que una de las principales limitaciones del uso de parcelas de escorrentía es que la erosión producida en ellas no es transferible a otras zonas, se consideran útiles ya que son de las pocas posibilidades de cuantificar directamente en el campo y obtener tasas reales del proceso erosivo (Vahrson, 1993). Algunas investigaciones nacionales han propuesto metodologías y/o diseños para la construcción e instalación de las parcelas de escorrentía. Por ejemplo, Da Silva (2005) proporciona una metodología para diseñar parcelas de escorrentía en la zona de Guácimo; Prado y Aguilar (2007) describen una técnica con geotextil para captar los sedimentos, técnica con la que Gómez (2010), construyó parcelas de escorrentía

y erosión en la microcuenca de Platon-Pacayas para estudiar la erosión hídrica en función de tres unidades de capacidad de uso del suelo; Hudson (1993) también brinda algunas consideraciones estándar en cuanto al diseño, operación y recolección de datos de escorrentía y pérdida de suelo. Sin embargo, Lal (2001) menciona lo más importante radica en el diseño de los tanques colectores ya que estos deben tener la capacidad de recolectar la escorrentía de tormentas sin sufrir desbordamientos, por lo que además recomienda que se diseñen con periodos de retorno de 50 - 100 años.

Aparte del rol que tienen las parcelas de escorrentía en la generación de información valiosa para cuantificar las pérdidas del suelo, también han funcionado como parcelas de demostración. De esta manera es posible mostrar a los agricultores la existencia de una erosión grave o la diferencia de erosión producida en parcelas (Hudson 1993), en este caso, con diferentes técnicas de mecanización.

En este trabajo se pretendió derivar un modelo explicativo que correlacionara las pérdidas del suelo con respecto a diferentes técnicas de mecanización; tomando en cuenta la profundidad de arado.

7. Metodología

La metodología se basó en un diseño estadístico de bloques al azar de 5 x 5 x 3, estableciendo en cinco lugares, cinco tratamientos de mecanización de suelos con tres repeticiones en cada lugar. Se definieron 5 sitios (fincas) de estudio en dos tipos de suelos predominantes en la Zona Norte de Cartago (Franco arenoso y Franco arcilloso), señalados en la Figura 1, con pendientes entre el 10 y el 15%, las cuales están presentes en el 55% de las áreas de producción agrícola de la Cuenca Alta del Río Reventazón. En cada sitio se instalaron parcelas de escorrentía que fueron tratadas con cinco diferentes formas de mecanización del suelo. Las fincas produjeron cultivos representativos de la zona y cada uno de los productores estuvo en disposición a facilitar las mediciones e instalación de las estructuras para la investigación.

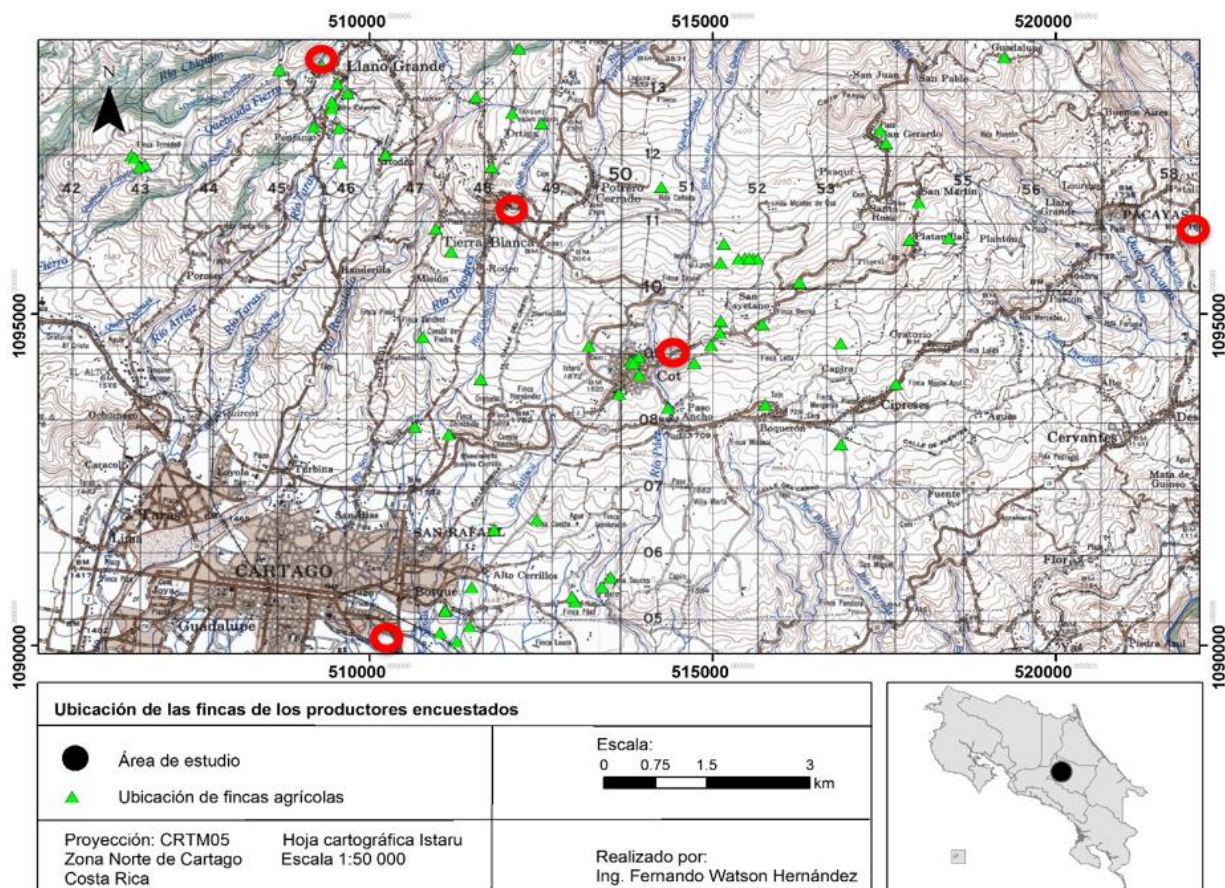


Figura 1. Áreas de estudio con parcelas de escorrentía en la Zona Norte de Cartago

7.1. Instalación de las parcelas de escorrentía

Las quince parcelas de escorrentía en cada finca, fueron temporales durante ciclos cortos de cultivos de zanahoria, papá y maíz, con un área mínima de 50m² cada parcela, en cada una de las fincas definidas para el estudio en la Zona Norte de Cartago.

Se instalaron 5 módulos de parcelas de escorrentía, en cinco sitios (fincas) representativos (pendiente, suelo, cultivo) de la forma de producción agrícola en la Zona Norte de Cartago, ubicados en Llano Grande, Cot, Tierra Blanca, Pacayas y el ITCR Sede Central, Cartago. En el Apéndice 9.1, pueden observarse los planos topográficos y ubicación de cada una de las fincas en donde se instalaron las parcelas.

Los módulos de parcelas de escorrentía, constaron de tres parcelas réplicas cada uno, cuyo diseño se hizo en bloques completamente al azar. Dichas réplicas, eran parcelas con las mismas condiciones de mecanización de suelo, una en cada línea, con el fin de obtener una mejor confiabilidad estadística de los datos.

La instalación se realizó sobre el terreno mecanizado y preparado, pues tuvo el mismo tratamiento cultural que el resto del área, con el fin de alterar lo menos posible los procedimientos de trabajo del productor. La localización específica de las parcelas de escurrimiento, se determinó de acuerdo a las siguientes variables: pendiente del suelo entre el 10% y el 15%, textura del suelo, sistema de producción y disposición del agricultor a la investigación, las cuales deben ser lo más homogéneas posibles para un mismo módulo, como ejemplo se muestra la Figura 2, que presenta la distribución de parcelas de escorrentía, con sus respectivos tratamientos de mecanización en Tierra Blanca.

En cada una de las fincas, se tomaron muestras de suelo antes y después de la mecanización y se marcaron y se instalaron las parcelas. Se registraron los cambios en las características hidráulicas, mecánicas y físicas del suelo durante el ciclo productivo del cultivo, como son la resistencia a la penetración, resistencia al corte, humedad volumétrica y gravimétrica, densidad aparente y conductividad hidráulica. Algunas medidas directamente en campo (Figura 3) y otras obtenidas en laboratorio.

En la estación seca, se marcó el área correspondiente a cada uno de los tratamientos para representar las parcelas y se midieron periódicamente propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo, ya indicadas.

Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5
Rastra Rotativa	Cinzel Rastra Rotativa Palin	Rastra Rotativa Palin	Cinzel Palin	Palin
Parcela 6	Parcela 7	Parcela 8	Parcela 9	Parcela 10
Cinzel Palin	Cinzel Rastra Rotativa Palin	Rastra Rotativa Palin	Palin	Rastra rotativa
Parcela 11	Parcela 12	Parcela 13	Parcela 14	Parcela 15
Cinzel Rastra Rotativa Palin	Palin	Rastra Rotativa Palin	Cinzel Palin	Rastra rotativa

Figura 2. Ejemplo de distribución de las parcelas de escorrentía en Potrero Cerrado

En la estación lluviosa, para cuantificar la erosión se aislaron áreas de aproximadamente 50 m² con bordes construidos con láminas metálicas con el fin de evitar la influencia del agua de escorrentía externa; en los bordes ubicados en la parte más baja y perpendicular a la pendiente se colocaron canales revestidos de plástico que conducían la escorrentía y los sedimentos arrastrados hacia un orificio colector que los llevaba por tuberías hasta los tanques recolectores, donde se tomaron las muestras de sedimentos, el Apéndice 9.2 (archivo digital adjunto al presente proyecto), presenta una serie de imágenes de las parcelas instaladas.

Estas muestras se procesaron en laboratorio de suelos determinando el peso de los sedimentos, por medio del secado con hornos a 105°C de temperatura.



Figura 3. Medición de parcelas para mecanización en Capellades.

La Figura 4 detalla el proceso de instalación de las parcelas de escorrentía en las fincas, así como ejemplos del proceso de recolección de muestras de sedimentos.

De igual manera a la estación seca, se midieron las propiedades físicas, mecánicas e hidráulicas del suelo periódicamente en la estación lluviosa.



Figura 4. Proceso de instalación de las parcelas de escorrentía

La base de datos de las características hidráulicas, mecánicas y físicas del suelo mencionadas y colectados en las diferentes parcelas a lo largo del período de ejecución del proyecto, así como obtenidas en laboratorio se han adjuntado en el Apéndice 9.3 (archivo digital adjunto al presente proyecto).

7.2. Tratamientos de mecanización

Los implementos agrícolas comúnmente utilizados por los agricultores de la parte alta de la Cuenca del Río Reventazón, se evaluaron bajo las combinaciones indicadas en el Cuadro 1. El cuadro muestra la totalidad de tipos de tratamiento realizados en todas las localidades, las cuales presentan dos tipos de suelo, Franco Arenoso (Llano Grande) y Franco Arcilloso (Tierra Blanca, Cot, Capellades y el TEC). El terreno disponible en el TEC, no es representativo de las condiciones de producción agrícola de la Zona Norte de Cartago.

El bloqueo de la pendiente y el tipo de cultivo en el diseño experimental de las parcelas de escorrentía permitió que estadísticamente las diferencias significativas se den entre los tipos de suelo y no por localidad, por lo que las tasas de erosión se presentan según tipo de suelo, lo que facilita el análisis y las capacitaciones posteriores.

Cuadro 1. Tratamientos utilizados en las pruebas de mecanización para establecer las parcelas de escorrentía en las localidades definidas.

<i>N. Tratamiento</i>	<i>Tratamiento de mecanización</i>	<i>Acrónimo</i>
1	Antes de mecanizar	Antes
2	Arado de Cincel	C
3	Arado de Cincel + Arado de discos + Palín	C+AD+P
4	Arado de Cincel + Rastra Rotativa + Palín	C+RR+P
5	Arado de Cincel + Rotador	C+R
6	Arado de Cincel + Palín	C+P
7	Arado discos + Rotador	AD+R
8	Arado discos + Palín	AD+P
9	Rastra rotativa	RR
10	Rastra rotativa + Palín	RR+P
11	Palín	P

Descripción de los implementos utilizados:

Los tratamientos de mecanización aplicados a cada finca no son comparables debido a la variación en las texturas y cobertura vegetal. Para cada zona se procuró comparar tratamientos tradicionalmente utilizados y tratamientos propuestos utilizando arado de cincel y azada mecánica (palín), con el fin de lograr diferentes combinaciones de implementos.

En el caso de las fincas ubicadas en Llano Grande, Potrero Cerrado y Cot, al finalizar la mecanización los productores surcan con tracción animal como se muestra en la Figura 5, lo que no altera las mediciones pues se hace el mismo procedimiento sobre la totalidad de los tratamientos utilizados cada vez que se mecanizó.



Figura 5. Surcado con tracción animal en Finca ubicada en Cot.

Como estudio complementario, se realizó una encuesta para detectar oportunidades de mejora en aplicaciones de Ingeniería Agrícola para el manejo y la conservación de los recursos suelo y agua en la Zona Norte de Cartago, la cual está en revisión para ser publicada en la revista Tecnología en Marcha. Ésta encuesta fue realizada a productores de la Zona Norte de Cartago con el apoyo del Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno (CACO), con un porcentaje de confianza del 95%, del que se obtuvo que el 77% de los productores de la zona en mención, utilizan tracción mecánica en las labores agrícolas, independientemente de si poseen o contratan los servicios a terceros. En el Cuadro 2, se muestran los resultados parciales de la consulta.

Cuadro 2. Porcentaje de uso de equipos en la mecanización de las labores en la Zona Norte de Cartago.

<i>Tipo de tracción</i>	<i>Porcentaje de uso</i>
Tracción animal (únicamente)	20,6%
Tracción mecánica, incluyendo uso parcial de tracción animal en surcado	77,0%
Equipos menores (monocultores)	1,20%
Herramientas manuales (únicamente)	1,20%

En cada una de las fincas se utilizaron tractores e implementos con diferentes características, que se resumen a continuación.

7.2.1. Capellades

Los equipos utilizados en la mecanización, pertenecen a contratistas de la zona de Capellades y al propietario de la finca. Del propietario se utilizó:

- Tractor SAME modelo 2010 de 95HP, con tracción 4x4 sin hidroyneado
- Arado de cincel de 70 cm de capacidad de profundidad con 5 cinceles (picos) y un ancho de trabajo de 1,77 m.
- Arado de discos de 2,10 m de ancho de trabajo, con 3 discos de 0,67 m de diámetro y un disco guía final de 0,47m de diámetro.

Por parte del contratista se utilizó:

- Tractor MF 4240-1, 85 HP, con tracción 4 x4 sin hidroyneado
- Palín (azada mecánica) SELVATICI Vangatrice, serie 150/90 de 2.02 m de ancho de trabajo y nueve azadas individuales, transmisión de una velocidad.
- Rotador NARDI, de 0,9 m de ancho de trabajo, con 42 cuchillas de 25 cm de profundidad.

En el Cuadro 3, muestra un esquema de los cinco tratamientos utilizados en la finca de Capellades. Los números indican el número de parcela y su ubicación. Las parcelas 1 al 5 tienen cinco tratamientos diferentes, y las parcelas 6 al 10; y 11 al 15, son las repeticiones con los mismos tratamientos ubicados en forma aleatoria.

Cuadro 3. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la finca de Capellades

<i>Parcela</i>	<i>Tratamiento</i>
1	Palín
2	Arado discos + Palín
3	Arado discos + Rotador
4	Cinzel + Rotador
5	Cinzel + Palín
6	Arado discos + Rotador
7	Palín
8	Arado discos + Palín
9	Cinzel + Palín
10	Cinzel + Rotador
11	Arado discos + Rotador
12	Palín
13	Arado discos + Palín
14	Cinzel + Palín
15	Cinzel + Rotador

7.2.2. Cot

Los equipos utilizados en la mecanización, son propiedad del dueño de la finca y los implementos son de COMCURE administrados por el Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno (CACO).

Del propietario se utilizó:

- Tractor SAME Explorer de 95HP, con tracción 4x4 sin hidroyneado (primera mecanización)
- Tractor New Holland TS100, 95 HP, con tracción 4x4 sin hidroyneado (segunda mecanización)
- Rotador NARDI, de 0,9 m de ancho de trabajo, con 42 cuchillas de 25 cm de profundidad
- Arado de discos de 2,10 m de ancho de trabajo, con 3 discos de 0,67 m de diámetro y un disco guía final de 0,47m de diámetro.

Por parte de COMCURE y CACO se utilizó:

- Arado de cinzel de 70 cm de capacidad de profundidad con 5 cinzeles (picos) y un ancho de trabajo de 1,77 m (Figura 6).

- Palín (azada mecánica) SELVATICI Vangatrice, serie 150/90 de 2.02 m de ancho de trabajo y nueve azadas individuales.



Figura 6. Mecanización con arado de cincel en finca de Cot

El Cuadro 4, muestra los tratamientos utilizados en las mecanizaciones de la finca en Cot. En esta finca se realizaron dos mecanizaciones con equipos propiedad de COMCURE y del dueño de la finca. Debido a que el arado de vertedera no se utiliza normalmente, en la actividad agrícola de la zona.

Cuadro 4. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la primera mecanización en Cot

<i>Parcela</i>	<i>Tratamiento</i>
01	Cincel + Rotador
02	Cincel + Arado vertedera + Palín
03	Arado vertedera + palín
04	Cincel + Palín
05	Palín
06	Arado vertedera + palín
07	Cincel + Arado vertedera + Palín
08	Cincel + Palín
09	Palín
10	Cincel + Rotador
11	Cincel + Rotador
12	Arado vertedera + palín
13	Cincel + Arado vertedera + Palín
14	Cincel + Palín
15	Palín

7.2.3. Llano Grande

Los equipos de mecanización utilizados en Llano Grande, se alquilaron a contratistas del lugar, quienes comúnmente realizan los trabajos a los productores de la zona. En las dos ocasiones se utilizaron los mismos equipos, los cuales son:

- Tractor SAME Explorer de 85 HP de potencia bruta, con la tracción 4x4 activada en todas las labores, sin hidroyneado.
- Palín (azada mecánica) SELVATICI Vangatrice, serie 150/95 de 2.02 m de ancho de trabajo y nueve azadas individuales.
- Arado de cincel de 70 cm de capacidad de profundidad con 5 cincelos (picos) y un ancho de trabajo de 1,77 m.
- Arado de discos de 2,10 m de ancho de trabajo, con 3 discos de 0,67 m de diámetro y un disco guía final de 0,47m de diámetro (Figura 7).
- Rotador NARDI, de 0,9 m de ancho de trabajo, con 42 cuchillas de 25 cm de profundidad.



Figura 7. Mecanización con arado de discos en Llano Grande

El Cuadro 5 muestra los tratamientos aplicados para las dos mecanizaciones realizadas en la localidad de Llano de Grande de Cartago. De acuerdo con el diseño experimental, se realizaron cinco tipos de labranza con tres repeticiones cada una, utilizando tres líneas de cinco tratamientos cada una en el campo.

Cuadro 5. Ubicación de los tratamientos aplicados en la primera mecanización en Llano Grande

<i>Parcela</i>	<i>Tratamiento de mecanización</i>
01	Cincel
02	Cincel + Rotador
03	Cincel + Palín
04	Cincel + Arado + Palín
05	Arado + Palín
06	Cincel + Rotador
07	Cincel
08	Cincel + Palín
09	Arado + Palín
10	Cincel + Arado + Palín
11	Cincel + Palín
12	Cincel + Arado + Palín
13	Arado + Palín
14	Cincel
15	Cincel + Rotador

7.2.4. Potrero Cerrado

Parte de los equipos de mecanización utilizados en Potrero Cerrado, son propiedad del Instituto Tecnológico de Costa Rica y otra parte de la Asociación de Productores de Tierra Blanca (ASOCAGRI). Estos últimos alquilan los equipos a los productores de la zona.

Por parte del TEC, los equipos utilizados son:

- Tractor SAME Explorer de 85 HP de potencia bruta, con la tracción 4x4 activada en todas las labores, sin hidroyneado.
- Palín (azada mecánica) SELVATICI Vangatrice, serie 150/90 de 2.02 m de ancho de trabajo y nueve azadas individuales.
- Arado de cincel de 70 cm de capacidad de profundidad con 5 cinceles (picos) y un ancho de trabajo de 1,77 m.

Por parte de ASOCAGRI:

- Rastra rotativa de 2,20m de ancho de trabajo, 6 juegos de cuchillas rectas de 40 cm de profundidad, operando a 540 rpm en la Toma de Fuerza (TDF) del tractor (Figura 8).



Figura 8. Mecanización con rastra rotativa en Potrero Cerrado

El Cuadro 6, muestra los tratamientos aplicados en la finca ubicada en Potrero Cerrado. Para este caso las parcelas se orientaron en cuatro líneas de parcelas con diferentes tratamientos de labranza.

Cuadro 6. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la finca de Potrero Cerrado

<i>Parcela</i>	<i>Tratamiento</i>
01	Rastra rotativa
02	Cíncel + Rastra rotativa + Palín
03	Rastra rotativa + Palín
04	Cíncel + Palín
05	Palín
06	Cíncel + Palín
07	Cíncel + Rastra rotativa + Palín
08	Rastra rotativa + Palín
09	Palín
10	Rastra rotativa
11	Cíncel + Rastra rotativa + Palín
12	Palín
13	Rastra rotativa + Palín
14	Cíncel + Palín

7.2.5. TEC

En las parcelas demostrativas del área de campo del TEC, se realizó la mecanización con equipo de la institución, según el Cuadro 7. Los equipos utilizados son:

- Tractor SAME Explorer de 85 HP de potencia bruta, con la tracción 4x4 activada en todas las labores, sin hidroyneado.
- Palín (azada mecánica) SELVATICI Vangatrice, serie 150/90 de 2.02 m de ancho de trabajo y nueve azadas individuales.
- Arado de cincel de 70 cm de capacidad de profundidad con 5 cinceles (picos) y un ancho de trabajo de 1,77 m.
- Rotador NARDI, de 0,9 m de ancho de trabajo, con 42 cuchillas de 25 cm de profundidad.

Cuadro 7. Esquema de ubicación de los tratamientos aplicados en la finca experimental del TEC

<i>Parcela</i>	<i>Tratamiento</i>
1	Arado discos + Palín
2	Arado cincel + Palín
3	Arado cincel + Rotador
4	Arado cincel + Rotador
5	Arado cincel + Palín
6	Arado discos + Palín
7	Arado cincel + Rotador
8	Arado discos + Palín
9	Arado cincel + Palín
10	Arado cincel + Rotador
11	Arado cincel + Rotador
12	Arado cincel + Palín
13	Arado discos + Palín
14	Arado cincel + Rotador
15	Arado discos + Rotador

7.3. Toma de datos sobre propiedades físicas del suelo

Para evaluar las diferentes mecanizaciones realizadas, se hicieron tres repeticiones de muestreo en cada parcela. El tipo y frecuencia de muestreo fue la siguiente:

a. Muestreo único al inicio del estudio:

✓ Textura del suelo, obtenido por el método de Bouyoucos

b. Muestreo de propiedades físicas del suelo 1) antes de la preparación del suelo, 2) inmediatamente después de la preparación, 3) a la mitad del periodo de crecimiento del cultivo, 4) antes de la cosecha, y 5) después de la cosecha:

✓ Materia Orgánica del suelo, por el método de ignición a 450°C.

✓ Densidad aparente y real, por métodos gravimétricos.

✓ Conductividad hidráulica saturadas (Ksat)

✓ Resistencia a la Penetración, utilizando penetrolger Eijkelkamp en el campo.

✓ Resistencia al corte, utilizando el método de veleta en el campo.

✓ Contenido de humedad del suelo, con sensor TDR y métodos gravimétricos.

c. Muestreo después de una tormenta:

✓ En el área de medición:

○ Sólidos en suspensión.

○ Volumen escorrentía

d. Muestreo diario:

✓ Altura de precipitación (del pluviómetro que se instala en cada finca). También se utilizaron los datos climatológicos de estaciones meteorológicas cercanas a cada finca en estudio.

Para determinar el efecto de los diferentes tratamientos de mecanización en las propiedades físicas del suelo a diferentes profundidades, se analizaron los promedios y sus respectivas desviaciones estándar durante el tiempo del cultivo. Con el fin de comparar las propiedades físicas del suelo entre los diferentes tratamientos de mecanización, se realizó una prueba de Tukey (utilizando Minitab®) para crear intervalos de confianza para todas las diferencias entre las medias de los datos.

7.4. Estimación de la erosión:

Para cuantificar la erosión hídrica del suelo en función de diferentes técnicas de mecanización, se instalaron parcelas de escorrentía en localidades diferentes de la Zona Norte de Cartago, con el fin de coleccionar los sedimentos arrastrados después de eventos de precipitación.

Después de cada lluvia durante el ciclo de cultivo establecido en cada localidad, se recolectaban los sedimentos remanentes de los canales laterales de las parcelas (Figura 9). Se tomaron tres muestras y se midió la altura del nivel de los tanques de recolección de cada parcela de escorrentía, previamente agitado. Después de cada medición, el sistema se reiniciaba de forma que estuviese limpio y vacío para captar los datos de la siguiente lluvia.

La información de sedimentos remanentes y suelo en suspensión de las muestras de los tanques recolectores, se obtuvo después de secarlas a 105°C y conocer el peso seco de suelo arrastrado por parcela (Figura 9), correspondientes a los datos de erosión ocasionados por las lluvias, bajo cinco diferentes tipos de mecanización de suelo, considerando pendientes en un rango de 10 a 15%.



Figura 9. Muestras recolectadas y sedimentos secados, almacenados y rotulados por localidad y fecha.

Se construyó la base de datos indicando la fecha o intervalo de fechas de medición, la localidad, el tratamiento de mecanización, el número de la parcela, el tipo de suelo, la cantidad de sedimento y la precipitación que ocasionó el transporte del suelo medido por cada parcela de escorrentía. Esta base de datos puede observarse en el Apéndice 9.7 (archivo digital adjunto al presente informe).

Una vez capturada la información en el campo, se procede a calcular el peso de suelo removido, a partir de la muestra obtenida de 1 litro. Para obtener el peso de suelo seco (gss), se utiliza el método gravimétrico, que consiste en pasar la muestra por una membrana de 0.45 μm , para luego secarla a 105°C por 24 horas (o hasta tener un peso constante).

$$g_{sp} = A * g_{ss} * r^2 * h$$

donde:

g_{sp} = peso de suelo perdido (g)

A = área de la parcela de escorrentía (m²)

g_{ss} = peso de suelo seco (g) en 1 L, 24 horas a 105°C, tamizado en membrana de 0,45 μm

r = radio del tanque recolector (m)

h = altura del agua contenida en tanque recolector (m)

Además para la medición de variables, se utilizará una hoja de cálculo en Excel, donde se generará la base de datos del proyecto, conteniendo para cada codificación de finca y módulo, las variables de las dimensiones en estudio. En cada parcela se miden las siguientes variables:

- ✓ Dimensión climatológica:
 - Lluvia
 - Intensidad
 - Temperatura
 - Viento
 - Radiación solar
- ✓ Dimensión de preparación del suelo:
 - Implemento
 - Profundidad
 - Velocidad avance
 - Densidad aparente y real
 - Textura
 - Porosidad
 - Materia orgánica
 - Estructura
 - Contenido de humedad
- ✓ Dimensión de respuesta de parcela:
 - Cantidad sedimentos

El rango de pendientes establecida para el estudio (entre el 10 y el 15%) y la potencia de operación comúnmente disponibles en los equipos agrícolas de la zona, condicionan que la profundidad de labranza sea la que brinda el implemento utilizado, debido a que se requiere mayor potencia de tracción para lograr mayores profundidades de preparación del suelo. Ya que los equipos son más susceptibles de volcamiento en el rango de pendientes mencionado y a solicitud de COMCURE, el procedimiento utilizó las prácticas de labranza mecanizada realizadas con los implementos utilizados por el 77% de los agricultores, porcentaje que corresponde a la cantidad de productores que utilizan algún equipo de mecanización de suelos.

Se realizaron las mecanizaciones a las velocidades que cada implemento permite según normativas e indicaciones de los fabricantes y se validaron en función de las pruebas de patinaje (punto 7.6 de este apartado) para determinar el balanceo estático requerido para que el avance de maquinaria sea eficiente en las condiciones de producción reales de la Zona Norte de Cartago.

Los datos obtenidos permitieron la correlación estadística de las variables medidas con el fin de obtener un modelo explicativo inicial de transporte de sedimentos para la parte alta de la cuenca del Río Reventazón.

La información se digitó en la hoja de cálculo con el fin de generar un archivo de datos, y posteriormente se hicieron los análisis estadísticos correspondientes con el apoyo del software R. Se adjunta la figura 5, donde se visualiza la hoja propuesta.

Para cuantificar los sedimentos arrastrados en función de los diferentes tratamientos de mecanización, se analizaron los promedios del peso del suelo por cada milímetro de precipitación correspondiente al evento de la fecha de medición durante el tiempo del cultivo. La correlación entre la lluvia y la cantidad de sedimentos, para cada tipo de pendiente y tratamiento de mecanización, se evaluó por medio del coeficiente de Pearson. El coeficiente de correlación de Pearson (R) permite establecer el grado de dependencia entre dos variables, asumiendo que cuando su valor es igual a 1, hay una gran dependencia de la variable dependiente de la independiente, el signo de la relación indica si ésta es directamente proporcional en caso de ser positiva o inversamente proporcional si es negativa.

7.5. Cálculo de la utilidad neta de las mecanizaciones

7.5.1. Cálculo de la Utilidad Neta

Con el fin de establecer una metodología para establecer el costo y consecuente beneficio que los productores de la zona norte de la cuenca obtienen a partir de las diferentes técnicas de mecanización del suelo, que a su vez permita una posterior transferencia y capacitación a los productores y operadores de maquinaria sobre las formas más rentables de realizar operaciones de labranza a partir de los resultados obtenidos en el proyecto, se partió de conceptos administrativos básicos, cuyo cálculo se basa en la aplicación práctica de conceptos administrativos evidentes.

Dentro de esta metodología el primer paso consiste en tomar el número absoluto de ventas y restarle las devoluciones, con lo que obtendremos las ventas netas:

$$\text{Ventas Netas} = \text{Ventas Totales} - \text{Devoluciones}, \quad (1)$$

A esta cantidad se le restan a continuación los costos directos del proceso de venta, obteniendo así la utilidad bruta de ventas:

$$\text{Utilidad bruta de ventas} = \text{Ventas Netas} - \text{Costos de Ventas}, \quad (2)$$

Seguidamente, se descuentan los gastos operacionales, es decir, los que tienen que ver directamente con el proceso de venta o distribución. En estas dos primeras operaciones se descuentan principalmente los salarios y costos de explotación de las posibles instalaciones físicas, y se obtienen la utilidad de operación:

$$\text{Utilidad de Operación} = \text{Utilidad bruta} - \text{Gastos de Operación}, \quad (3)$$

Los gastos e ingresos no operacionales son aquellos que se producen al margen del negocio principal o colateralmente, y podrían englobar la publicidad o cualquier otro tipo de acción que genere ventas o gastos. Dependiendo del tipo de negocio, este aspecto podrá presentar cifras positivas (que se sumarán a la utilidad operacional) o negativas (que, obviamente, se restarán).

La cantidad obtenida será la utilidad antes de impuestos y reservas, también conocida como utilidad bruta. Esta es la cifra necesaria para extraer la utilidad neta:

$$\text{Utilidad bruta} = \text{Utilidad de Operación} + \text{Ingresos no operacionales} - \text{Gastos no operacionales}, \quad (4)$$

Para finalizar, se toma el dato bruto de utilidad y se le resta el impuesto correspondiente, que fluctúa según cada país y según la actividad, pudiendo incluso ser exenta de impuesto. En algunos casos es posible que deba restarse una reserva legal, cuya cuantía es también variable pero que rara vez supera el 10%. El resultado de esta última operación arrojará la utilidad neta, que puede ser negativa.

$$\text{Utilidad Neta} = \text{Utilidad bruta} - \text{Impuestos} - \text{Reserva legal}, \quad (5)$$

7.5.2. Supuestos y variables a emplear en el modelo

Con el fin de establecer el modelo que permita establecer el modelo para definir el rendimiento por medio de la utilidad se debió partir de los siguientes supuestos:

1. La utilidad bruta por ventas es el producto de las unidades vendidas por el precio de venta de la cosecha. Se asumió que las unidades vendidas ya descontaban posibles devoluciones y además el precio de venta podía ser variable según la calidad del producto o las condiciones de entrega (como en realidad sucede en las operaciones de venta en la Zona Norte de Cartago). Cabe señalar que los agricultores contactados para hacer el presente estudio si bien estuvieron anuentes a permitir la recolección de datos de suelos y evidencias de sedimentos, en la generalidad (y con diferentes excusas), no compartieron los datos de producción de cada parcela, por lo que se no fue posible establecer si existe producción con diferencias significativas para cada uno de los tratamientos.
2. Los gastos de operación (salvo los relacionados a costos de mecanización) fueron considerados iguales para todos los tratamientos.
3. La diferencia entre ingresos y gastos no operacionales fueron considerados iguales para todos los tratamientos.
4. Se asumió lo mismo para el monto de los impuestos.
5. En el estudio sobre la encuesta para detectar oportunidades de mejora en aplicaciones de Ingeniería Agrícola para el manejo y la conservación de los recursos suelo y agua en la Zona Norte de Cartago” reveló que casi el 90% de los productores de la zona contrata el servicio de mecanización de suelos, por lo tanto, el cálculo de este gasto se obtuvo multiplicando el tiempo requerido para mecanizar por unidad de área por el área correspondiente.

Partiendo de estos supuestos, se generan las variables del modelo:

UN = Utilidad neta, unidad: moneda (colones, dólares, etc.)

UBv = Utilidad bruta por ventas.

Unidad: moneda (colones, dólares, etc.)

Qv = Cantidad vendida,

Unidad: Según tipo de producción, (unidades de producto, peso, área producida, etc.)

PU = Precio unitario.

Unidad: Moneda/Unidades de producción (¢/unidad, US\$/kg, ¢/Ha, etc.)

GO = Gastos Operativos, unidad: moneda (colones, dólares, etc.)

Δ NO = Diferencia entre ingresos y gastos no operacionales.

Unidad: moneda (colones, dólares, etc.)

I = Impuestos (si lo hubiese), unidad: moneda (colones, dólares, etc.)

CM = Costo de mecanización = TM X PUM X A.

Unidad: moneda (colones, dólares, etc.)

TM = Tiempo para mecanización por unidad de área (horas/Hectárea.).

A = Área de mecanización (Hectáreas, de lo contrario hay que hacer la conversión).

PUM = Precio unitario de mecanización (moneda/hora).

De los supuestos y variables anteriores se derivó que la ecuación (1) es obviada, y la ecuación (3) toma la siguiente forma:

$$UBv = Qv \times PU, \quad (6)$$

Y las ecuaciones (5), (6) y (7) pueden fundirse de la siguiente manera:

$$UN = UBv - (GO + \Delta NO + I) - CM, \quad (7)$$

Dado que la Utilidad bruta de ventas y los gastos de operación (diferentes a los gastos por mecanización) fueron consideradas como iguales para cualquiera de los tratamientos, se definió una constante para todos los tratamientos (Kt), dada por la siguiente relación:

$$Kt = UBv - (GO + \Delta NO + I), \quad (8)$$

Además, al considerar el costo por mecanización (CM), según la relación establecida en las variables, se obtuvo la siguiente relación:

$$UN = Kt - (TM \times PUM \times A), \quad (9)$$

7.6. Pruebas de patinaje complementarias durante la mecanización de las fincas

Se determinó la textura del suelo de cada terreno, la humedad volumétrica, la profundidad de medición de humedad volumétrica y la profundidad de labranza.

El procedimiento para realizar las pruebas se resume en la Figura 10, donde se muestra un diagrama de las acciones realizadas.

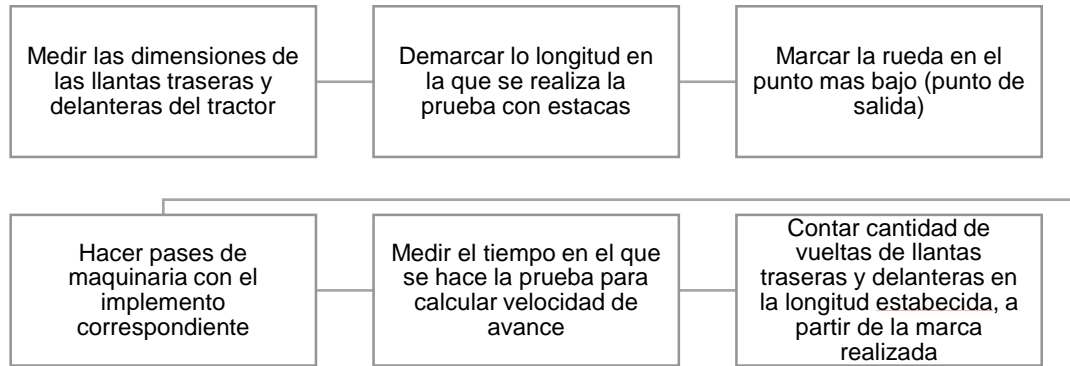


Figura 10. Pasos para el proceso de medición de patinaje.

Durante la aplicación de cada implemento, se midió la distancia de recorrido de las llantas tanto del eje trasero como delantero, lo cual estuvo en función del diámetro externo y las vueltas de las mismas en la longitud definida para la prueba. Se calculó la velocidad de avance con cada uno de los implementos agrícolas en función del tiempo y la distancia de la prueba. Por último, se calculó el porcentaje de patinaje, definido por la siguiente fórmula:

$$\% \text{Patinaje} = 100 \left(1 - \frac{L}{R} \right), \quad (1)$$

Donde L es la longitud de la prueba (m), y R es el recorrido de la llanta (m).

Para el recorrido de la llanta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = 2 * \pi * r * n, \quad (2)$$

Donde r es el radio externo de la llanta evaluada (m), y n es la cantidad de vueltas de la llanta evaluada en la longitud de la prueba.

Una vez realizado el experimento, el análisis se llevó a cabo tomando en cuenta los promedios de cada una de las pruebas, así mismo la desviación estándar de dichos promedios. A pesar de que se realizaron

cinco tratamientos de mecanización diferentes, las pruebas de patinaje se realizaron en forma individual para los dos implementos comparados en el sitio.

8. Resultados y análisis de resultados

8.1. Textura de suelos

La Zona Norte de Cartago posee orden de suelo andisol. Cada finca tiene características diferentes de textura, variable importante para explicar la erosión. En el Cuadro 8, se presenta la textura promedio de cada finca. Se observa que Llano Grande presenta los suelos más arenosos, además, el primer horizonte es profundo. Potrero Cerrado, Cot y Capellades, presentan texturas similares.

Cuadro 8. Datos de textura de las fincas en estudio

<i>Finca</i>	<i>Textura</i>
Llano Grande	Franco-Arenosa
Potrero Cerrado	Franco-Arcillosa
Cot	Franco-Arcillosa
Capellades	Franco-Arcillosa
TEC	Arcilloso

8.2. Índices de rendimiento de los equipos utilizados

Al realizar las labores de mecanización en las distintas localidades, se midieron parámetros de operación de los equipos, tales como velocidad de avance (Cuadro 9), porcentaje de patinaje, profundidad de la labranza y contenido de humedad del suelo, con el fin de verificar que las labores se hacían a las velocidades recomendadas por los fabricantes de los implementos, lo cual se cumplió. Además, según el tipo de suelo, se midió el contenido de humedad en el momento de realizar la mecanización con un sensor de Reflectometría en espacio y tiempo (TDR, por sus siglas en inglés) la cuál debía ser cercana a la capacidad de campo, es decir la humedad retenida a 33 MPa (Cuadro 10), con el fin de que se realizara en condiciones similares en todas las localidades.

La capacidad de campo fue determinada con ollas de succión en el laboratorio de suelos, a partir de muestreos previos a la mecanización del terreno.

Cuadro 9. Velocidad de avance de los implementos utilizados durante el laboreo.

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Implemento</i>	<i>Velocidad de avance (km/h)</i>	<i>Desviación estándar (km/h)</i>
Franco arenoso (Fa)	Arado de cincel	11,13	0,60
	Arado de discos	23,87	0,73
	Palín	4,61	0,35
	Rotador	6,18	0,53
Franco Arcilloso (FA)	Arado de cincel	3,92	0,67
	Palín	3,20	0,16
	Rastra rotativa	5,01	0,98
	Rotador	4,83	0,17

Cuadro 10. Porcentajes de capacidad de campo promedio del suelo de cada una de las localidades con parcelas de escorrentía instaladas.

<i>Localidad</i>	<i>Tipo de suelo</i>	<i>Contenido de humedad promedio a capacidad de campo (33 MPa), 20 cm de profundidad</i>	<i>Desviación estándar</i>
Cot	FA	24,5 %	1,5%
Tierra Blanca	FA	22,4 %	1,8%
Llano Grande	Fa	18,9 %	1,9%
Capellades	FA	25,2 %	1,1%
TEC	A	35,8 %	2,1%

También se complementó con la medición del patinaje de los ejes delanteros o traseros del tractor utilizado, en las cuatro ruedas en todos los pases de los equipos, para determinar si los equipos requerían balanceo de pesos, lo que influye en la compactación del suelo y en la eficiencia de la operación de labranza de suelos y hacer recomendaciones de operación y fundamentar las propuestas de capacitación a los productores.

8.2.1. Costos y tiempos de mecanización por implemento utilizado

Para determinar los costos de la mecanización del suelo, se consideró la velocidad de avance y el ancho de trabajo de cada implemento utilizado en la labranza de las parcelas de escorrentía, con el fin de inferir el costo y velocidad de laboreo para una hectárea a partir del área mecanizada. Para estimar el costo del tratamiento de mecanización aplicado, se acumularon los tiempos y costos de mecanización de los implementos involucrados. En el Cuadro 11 y la Figura 11, se muestra el costo total por tratamiento

aplicado y el tiempo de duración, basado en los promedios de velocidad de avance para los implementos. El costo se expresa en dólares (USD), utilizando un tipo de cambio de 560 colones/USD.

Cuadro 11. Tiempo y costos de mecanización para cada tratamiento de mecanización utilizado.

<i>Tratamiento de mecanización</i>	<i>Textura</i>	<i>Horas de mecanización por hectárea (h/ha)</i>	<i>Costo de mecanización por hectárea (USD/Ha)</i>
Cinzel + Rastra rotativa + Palín	Franco Arcilloso	16,26	439,06
Cinzel + Arado + Palín	Franco Arenoso	11,66	314,95
Cinzel + Rotador	Franco Arenoso	11,44	291,05
Cinzel + Palín	Franco Arenoso	11,38	301,76
Arado discos + Rotador	Franco Arcilloso	10,52	283,95
Rastra rotativa + Palín	Franco Arcilloso	9,59	258,98
Arado discos + Palín	Franco Arenoso	7,88	227,97
Palín	Franco Arcilloso	4,97	134,29
Rastra rotativa	Franco Arcilloso	4,62	124,69
Cinzel	Franco Arenoso	2,36	63,65

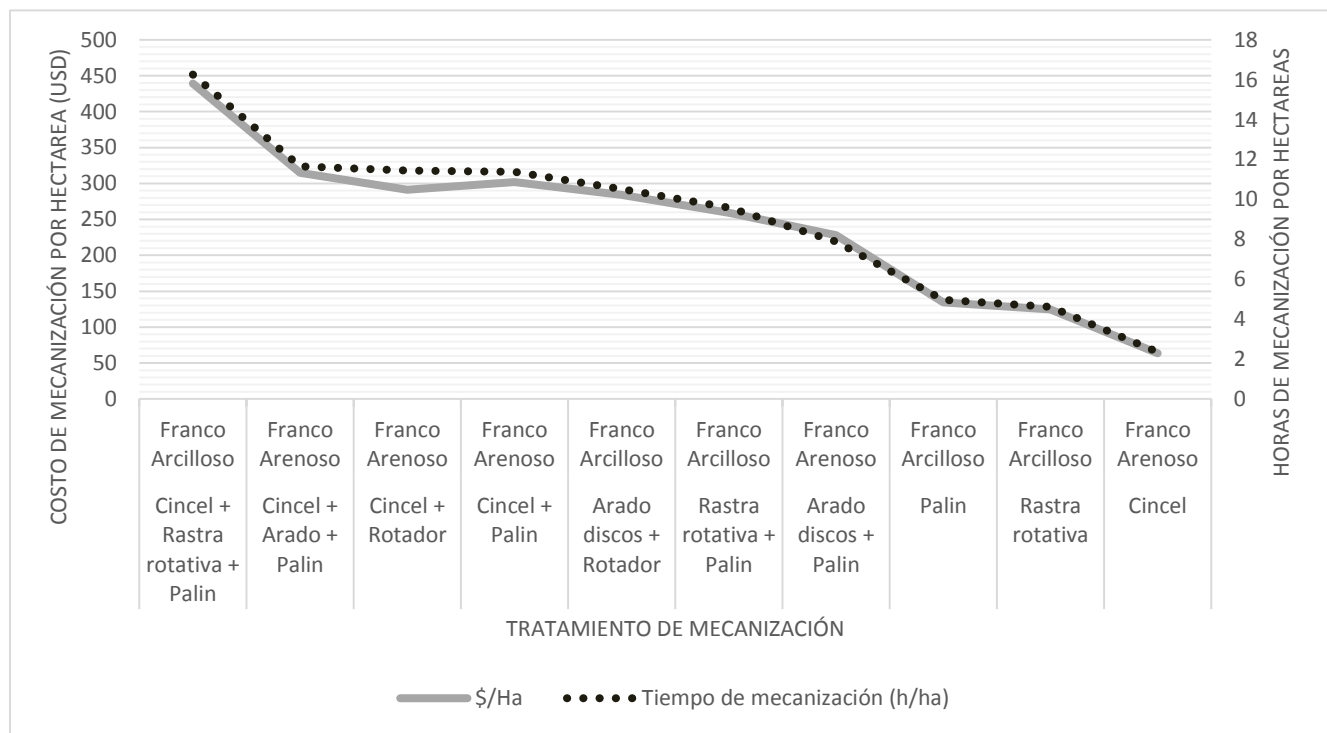


Figura 11. Tiempo y costos de mecanización para cada tratamiento de mecanización utilizado.

8.2.2. Pruebas de patinaje complementarias

El empleo de equipos de labranza de suelo sin contrapesos adecuados y desbalances estáticos es un tema al que hay que prestar especial cuidado principalmente en terrenos con pendientes pronunciadas como en la Zona Norte de Cartago.

Las pruebas fueron realizadas antes de empezar las labores de mecanización con el fin de determinar el porcentaje de patinaje de un tractor operando azada mecánica (palín) y arado rotador sobre los dos tipos de suelo predominantes en el estudio y en condiciones reales de producción.

Las pruebas incluyeron el uso de azada mecánica y arado rotador con profundidades de trabajo de 0,40 m y 0,25 m, respectivamente. Se utilizó el mismo tractor con tracción asistida de 85 HP. Se determinó que el uso de la azada mecánica presenta valores de patinaje por encima del recomendado (15%), siendo el mayor valor en el eje trasero del tractor (32,41%) en suelo franco arenoso, mientras que para el eje delantero, el comportamiento del patinaje es similar en ambos tipos de suelo con el mismo implemento (21%). Se recomienda evitar el uso de la azada mecánica en suelos franco arenosos, ya que el lastre necesario para aumentar la adherencia al suelo, aumentaría en un 20% en peso del tractor.

El patinaje crea pérdidas considerables de energía en el tractor agrícola, lo cual está definido como el giro en falso de la rueda motriz sobre el suelo. Una deformación del suelo horizontal, hace que las ruedas corten transversalmente el suelo en contacto y lo desplacen (Deere y Company, 2016). Al momento de desarrollar la fuerza de tracción, los elementos tractivos del tractor generan patinaje debido a las condiciones de adherencia entre la rueda y el suelo (Moreno et al., 2009).

La potencia disponible se reduce de manera considerable cuando el patinaje de las ruedas está por debajo del mínimo recomendado. El porcentaje ideal de patinaje varía del 8 al 15 % dependiendo del tipo de tracción del tractor (Cairó, 2007; Deere y Company, 2009). Así mismo el lastrado debe elegirse de manera que estas puedan patinar dentro del rango del porcentaje permisible, se ha demostrado que en estas condiciones se obtiene la máxima fuerza de trabajo (Deere y Company, 2009).

Entre los factores desencadenantes de la degradación física del suelo se encuentra la compactación, el desplazamiento por laboreo y el tránsito de maquinaria agrícola (Cueto, Coronel, y Suárez, 2009), el patinaje es un agente directo de compactación y desplazamiento.

Adicionalmente, debido a las limitaciones físicas de la maquinaria agrícola convencional, los paisajes vulnerables cuando la pendiente supera el 20%, se convierten en lugares donde sistemáticamente se aplican los patrones de laboreo que producen una mayor degradación de suelo (Alonso, 2000)

La comparación del patinaje entre los implementos utilizados se muestra en la Figura 12, donde se resumen los valores obtenidos en la medición de las labranzas, tal y como la realizan los agricultores, en suelos franco arcilloso en Tierra Blanca, y franco arenoso en Llano Grande.

Los resultados de patinaje para la azada mecánica (palín) en ambos ejes, está por encima del porcentaje óptimo de operación para ambos tipos de suelo, lo que indica que, con dicho implemento, la capacidad de tracción está minimizada y la labor no es eficiente en detrimento de un posible aumento del desplazamiento del suelo. Esto debido a que el palín es un implemento roturador del suelo que opone un mayor esfuerzo ante la resistencia al corte del suelo, y el suelo franco – arenoso al presentar menor cohesión estructural, no permite que las azadas aprovechen el área de contacto con el perfil del suelo como apoyo a la tracción, ya que se reduce el esfuerzo (relación de Fuerza/Área) y con ello la tracción de los ejes del tractor agrícola.

En el caso de la aplicación del palín en el suelo franco-arcilloso, el patinaje está dentro del rango recomendado. Para el caso del arado rotador, el efecto negativo se refleja en arrastre en el eje delantero sobre suelo franco - arenoso, mientras que el eje trasero opera en condiciones favorables de tracción, por lo que se recomienda un análisis de contrapesos (lastrado) en el eje delantero.

Lo anterior comprueba que la azada mecánica o palín es deficiente en suelos pobres en estructura.

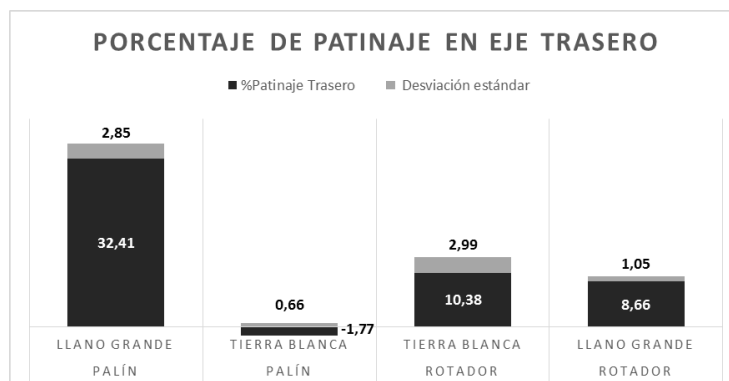
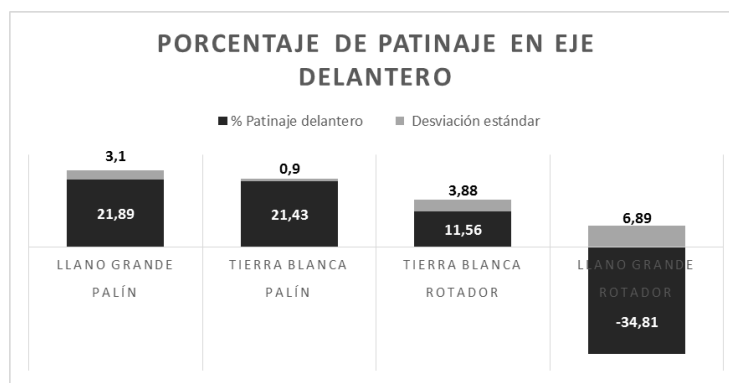
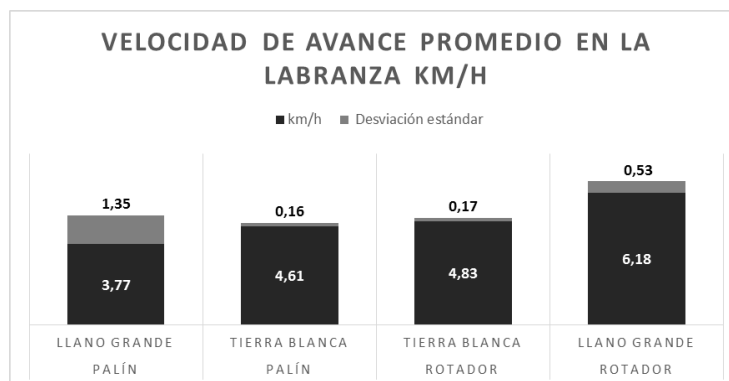


Figura 12. Comparación de la velocidad de avance y patinaje en ambos ejes de un tractor acoplado a paleadora mecánica (palín) y arado rotador en suelos franco-arenoso (Llano Grande) y franco-arcilloso (Tierra Blanca)

Para el uso de ambos implementos antes de cada prueba, es necesario garantizar los siguientes aspectos para su adecuada operación:

- a) Posición adecuada del control de sensibilidad del sistema hidráulico de levante del tractor.
- b) Verificar que efectivamente está activada la transmisión de potencia (4x4) en ambos ejes.
- c) Comprobar que la prueba de patinaje se realice colocando los contrapesos frontales del tractor y en los aros.
- d) Mantener la proporción de peso estático 40% - 60% (delantero y trasero) con el fin de conservar el centro de gravedad de diseño de la máquina.

Si se utiliza el hidroyneflado se debe hacer escalonado (empezar en 10%) y hacer pruebas de patinaje con el fin de aumentar área de contacto del rodaje con el terreno sin que el peso sea excesivo y aumente la compactación, desgastes prematuros en el sistema de transmisión o aumento en el consumo de combustible.

En última instancia y de persistir el patinaje, se deben sustituir las llantas convencionales por llantas de flotación o bien, aumentar la potencia, es decir, hacer un cambio de tractor (solución menos viable si el tractor ya ha sido seleccionado). Se debe valorar el aumentado el riesgo de compactación del suelo y consecuentemente la erosión del terreno, ya que la compactación superficial se produce por la presión en la zona de contacto rueda-suelo, pero la compactación subsuperficial es producida por todo el peso del equipo; por lo tanto si un eje no sobrepasa los 49kN de peso, solo compactará los primeros 30 cm del perfil del suelo (Terminiello, Balbuena, Claverie, y Casado, 2000), así que el lastrado debe considerarse una limitante en beneficio de un manejo del suelo adecuado.

Las pruebas se realizaron a las velocidades de avance recomendadas teóricamente para cada implemento en suelos arenosos, por lo que no se identifica la relación entre el patinaje y la velocidad de avance. De igual forma, el suelo presentaba condiciones de friabilidad al momento de hacer la labranza en cada sitio, de acuerdo a la capacidad de retención determinada previamente. La totalidad de los valores obtenidos para cada prueba pueden consultarse en el Apéndice 9.4 (Archivo digital adjunto al presente proyecto).

Además, se adjunta en el Apéndice 9.5 el cartel (póster) presentado en el XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 2016: “Comparación de patinaje bajo diferentes tipos de labranza en un suelo franco arenoso en Costa Rica”, que resume parte del proceso llevado a cabo para realizar las pruebas descritas. Adicionalmente se presentó en el XXI Congreso Latinoamericano de Suelos, una

ponencia sobre el “Patinaje De Tractor Con Dos Implementos De Labranza En Dos Tipos De Suelo En Costa Rica”, el cual se adjunta como publicación.

En síntesis, las pruebas de patinaje son necesarias para comprobar la buena calidad de la operación en la mecanización de la agricultura, debido a que brindan información acerca de las condiciones de trabajo, lo que puede incidir en una reducción de efectos negativos en el suelo.

8.3. Relaciones entre la labranza y las propiedades físicas e hidráulicas del suelo

Tal y como se había señalado en la sección de preparación de las parcelas de esorrentía, las propiedades físicas del suelo que se midieron periódicamente durante los ciclos de los cultivos fueron las siguientes:

- a) Resistencia a la penetración.
- b) Resistencia al corte.
- c) Humedad.
- d) Densidad aparente.
- e) Conductividad hidráulica.

Esto con el fin de determinar las variaciones en el tiempo de dichas propiedades en función de las combinaciones de los implementos utilizados.

Se relacionó la resistencia a la penetración (RP) y al corte (RC), con la densidad aparente (Da) y la humedad del suelo (Hv), pues la resistencia mecánica del suelo es proporcional al contenido de humedad del suelo y el grado de compactación que tenga a 25 cm de profundidad. Un valor alto en las relaciones RP/Da representan mayores valores de resistencia a la penetración, por lo que los tratamientos de mecanización recomendables poseen valores bajos en esta relación, así como valores bajos de la relación RP/Hv. Por otro lado, en el caso de las relaciones RC/Da y RC/Hv, los valores altos se pueden relacionar con una mejor estructura del suelo.

Las relaciones con respecto a la densidad aparente, se mantienen en el tiempo debido a la recuperación de la matriz del suelo después de la mecanización, mientras que con respecto a la humedad del suelo con puntuales al momento de la medición.

Con respecto a la densidad aparente, en el suelo franco arcilloso la labranza realizada con combinaciones de arado de cincales, rastra rotatoria y palín, reduce la resistencia a la penetración (Figura 14) y aumentan

la resistencia al corte del suelo (Figura 16), por lo cual se infiere que el uso del palín es un buen tratamiento para el suelo en combinación con otros implementos de labranza vertical. Los datos mostraron que para el suelo franco arenoso, el uso de arado de cinceles en combinación con cualquier implemento de labranza convencional (especialmente con rotador) dio como resultado un aumento a la resistencia a la penetración a cualquier profundidad (Figura 13) mientras que la resistencia a la penetración con relación a la humedad del suelo no muestra diferencias significativas en este tipo de suelo (Figura 18). Por otro lado, el uso del arado de cinceles desestructura la capa arable y es recomendado solamente en época seca en suelos franco arenosos. Lo anterior debido a que en pruebas realizadas en época lluviosa, es notoria la erosión en surcos a la profundidad de la mecanización (60 cm) en ese tipo de suelo (Figura 13) en la localidad de Llano Grande.



Figura 13. Erosión en surcos a la profundidad de labranza con arado de cincel en suelo franco arenoso

En la Figura 14, se muestran las medianas de las relaciones entre la resistencia a la penetración y la densidad aparente del suelo antes de mecanizar (1), y para cada uno de los tratamientos que se realizaron en las localidades con tipo de suelo franco arcilloso con arado de cincel, rastra rotativa y palín (4), arado de cincel y rotador (5), arado de cincel y palín (6), arado de discos y rotador (7), arado de discos y palín (8), solamente rastra rotativa (9), rastra rotativa y palín (10) y solamente palín (11).

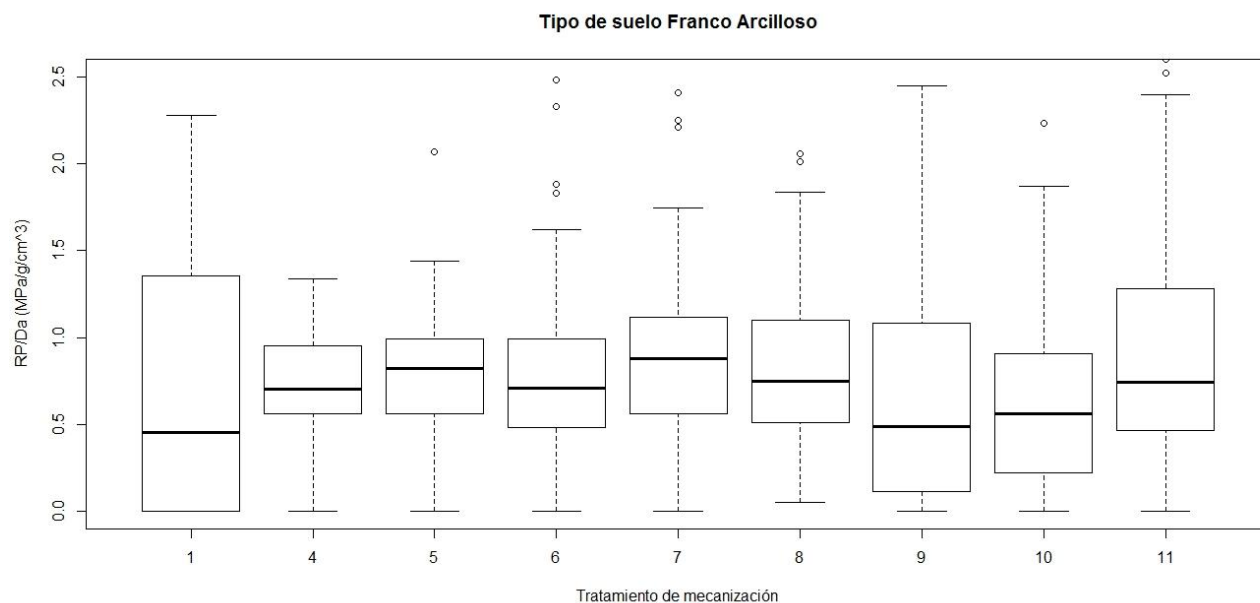


Figura 14. Relación de Resistencia a la Penetración y Densidad Aparente en el suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

En la Figura 15, se muestran las medianas de las relaciones entre la resistencia a la penetración y la densidad aparente del suelo antes de mecanizar (1), y para cada uno de los tratamientos que se realizaron en las localidades con tipo de suelo franco arenoso con solamente arado de cincel (2), arado de cincel, arado de discos y palín (3), arado de cincel y rotador (5), arado de cincel y palín (6), arado de discos y palín (8).

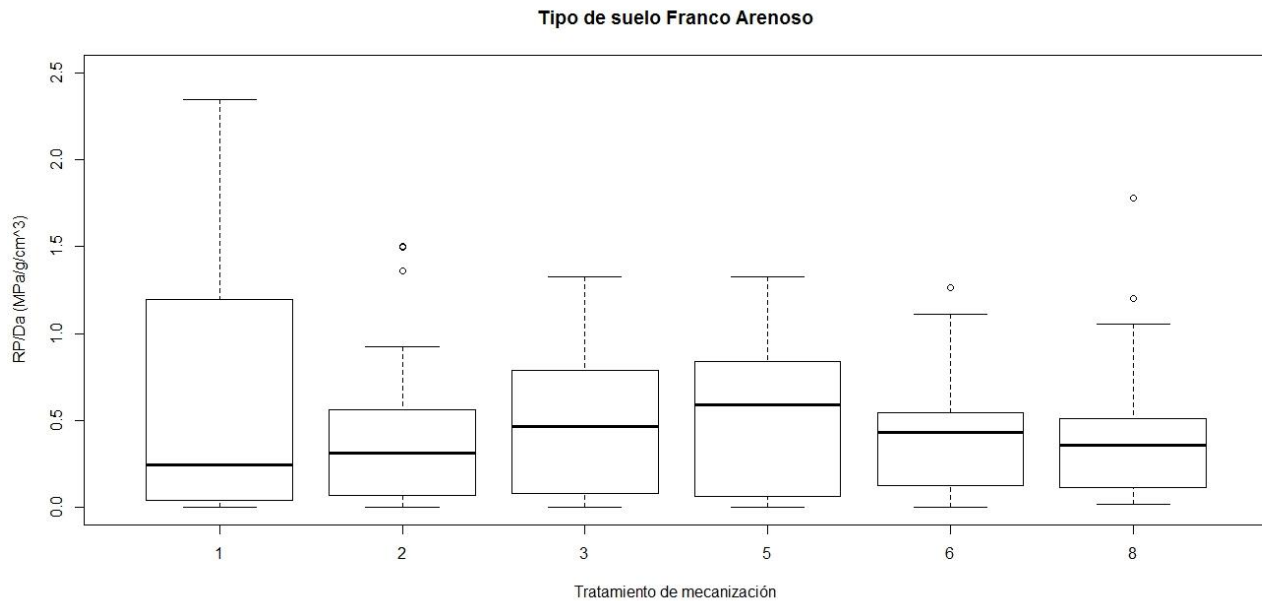


Figura 15. Relación de Resistencia a la Penetración y Densidad Aparente en el suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

En cuanto a las propiedades mecánicas relacionadas con la humedad (Figuras 18 y 19), se muestran las medianas de las relaciones entre la resistencia a la penetración y la densidad aparente del suelo antes de mecanizar (1), y para cada uno de los tratamientos que se realizaron en las localidades con tipo de suelo franco arcilloso y franco arenoso solamente arado de cincel (2), arado de cincel, arado de discos y palín (3), arado de cincel, rastra rotativa y palín (4), arado de cincel y rotador (5), arado de cincel y palín (6), arado de discos y rotador (7), arado de discos y palín (8), solamente rastra rotativa (9), rastra rotativa y palín (10) y solamente palín (11).

La relación de resistencia al corte con respecto a la densidad aparente en el suelo franco arcilloso (Figura 16), muestra relaciones favorables para los tratamientos donde el palín se usó en combinación con otros implementos de labranza vertical, mientras que para el suelo franco arenoso, cuando solamente se mecanizó con arado de cincel, muestra la mejor relación debido a que es un implemento que no desestructura el suelo. Para los suelos franco arenosos, los valores de resistencia al corte son bajos debido a la carencia de estructura, aunado a que los valores de contenido de materia orgánica de la localidad, no sobrepasan el 1,5%

Tipo de suelo Franco Arcilloso

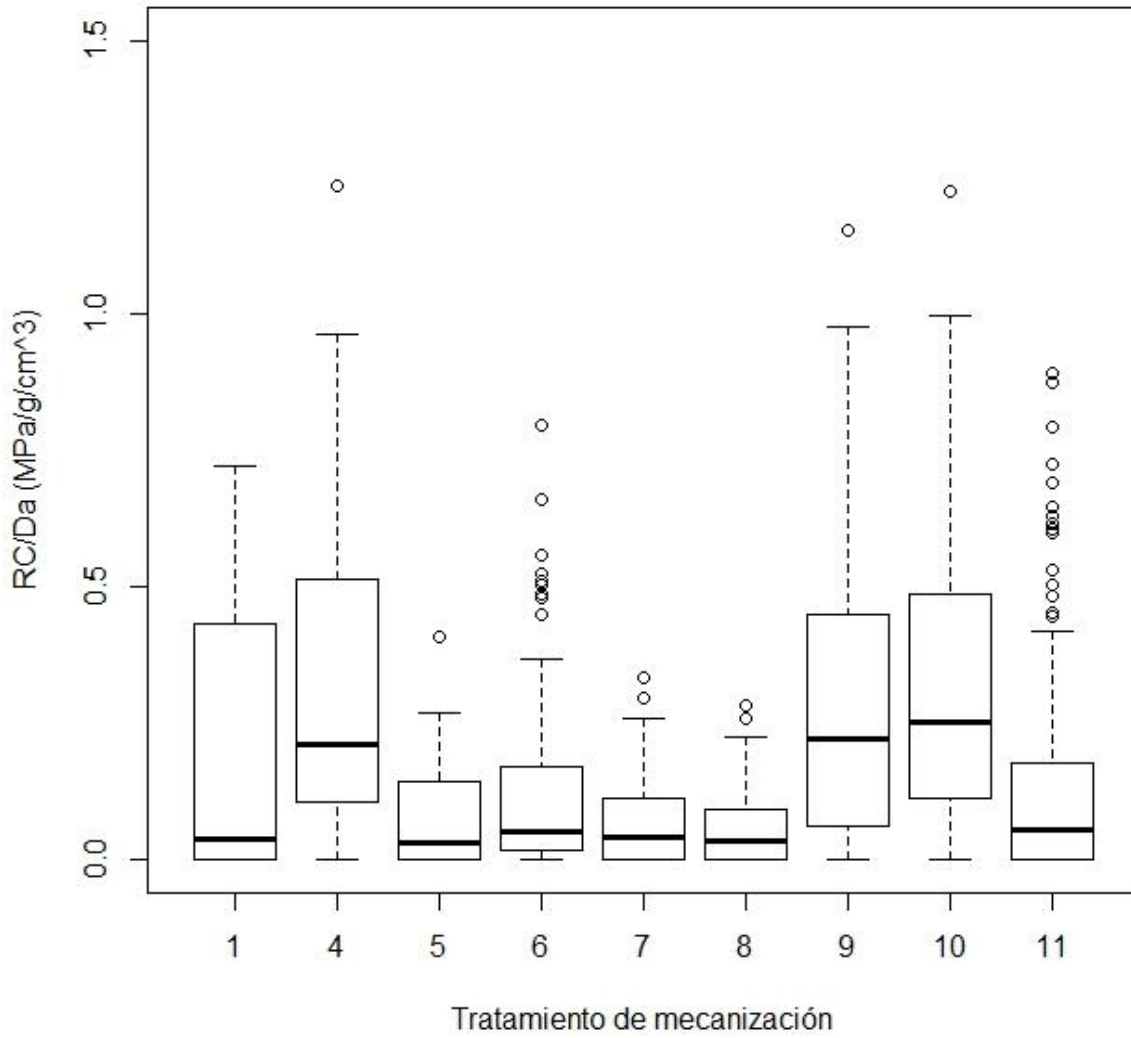


Figura 16. Relación de Resistencia al Corte y Densidad Aparente del suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

Tipo de suelo Franco Arenoso

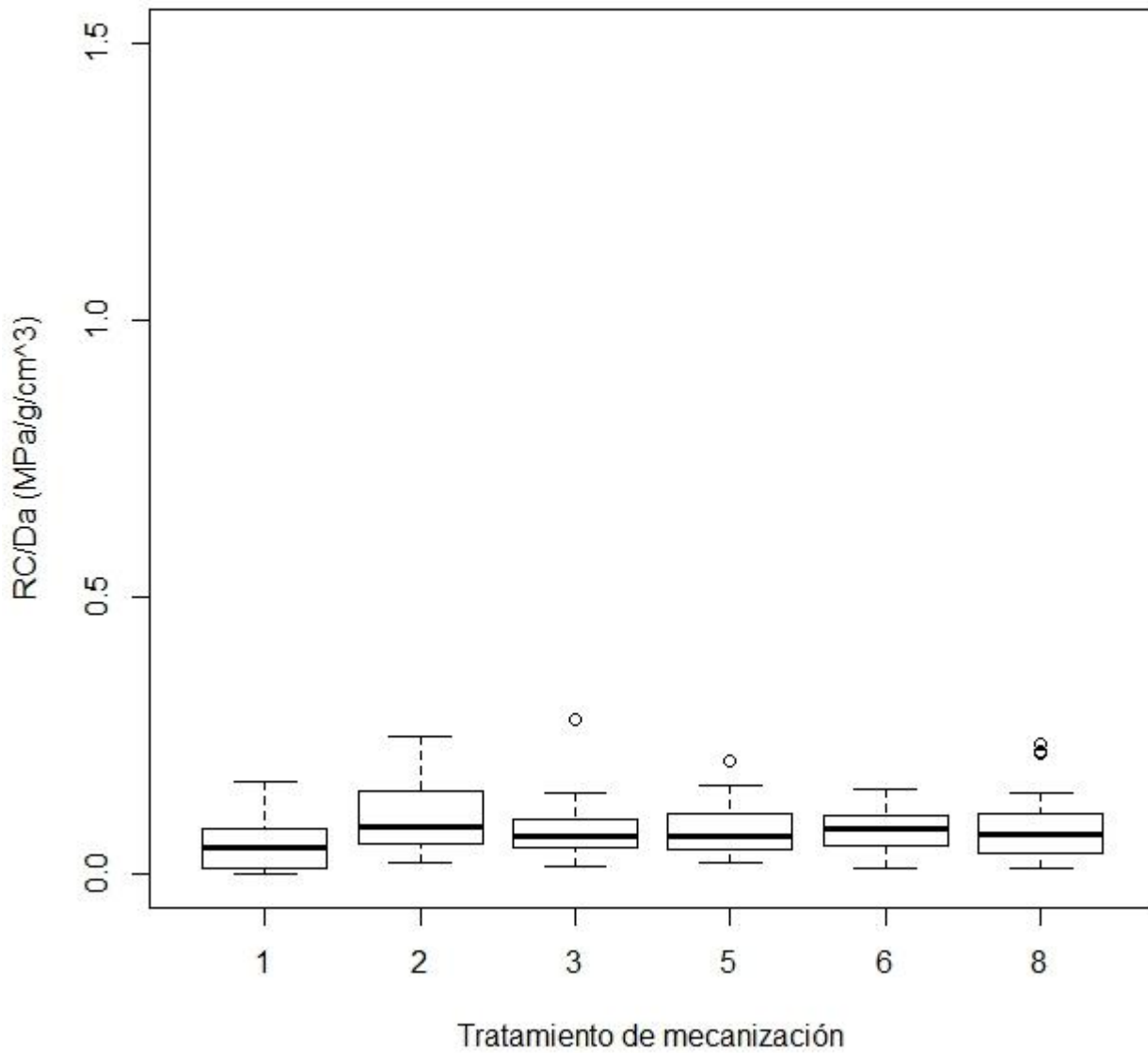


Figura 17. Relación de Resistencia al Corte y Densidad Aparente del suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

Con respecto a la humedad, los mayores valores de resistencia a la penetración fueron obtenidos para los implementos de labranza vertical y las combinaciones entre ellos en los suelos franco arcillosos (Figura 18) y en la labranza con arado de cincel en el suelo franco arenoso (Figura 19), en coincidencia con la percepción del agricultor de dureza cuando se realizaron labores culturales.

Tipo de suelo Franco Arcilloso

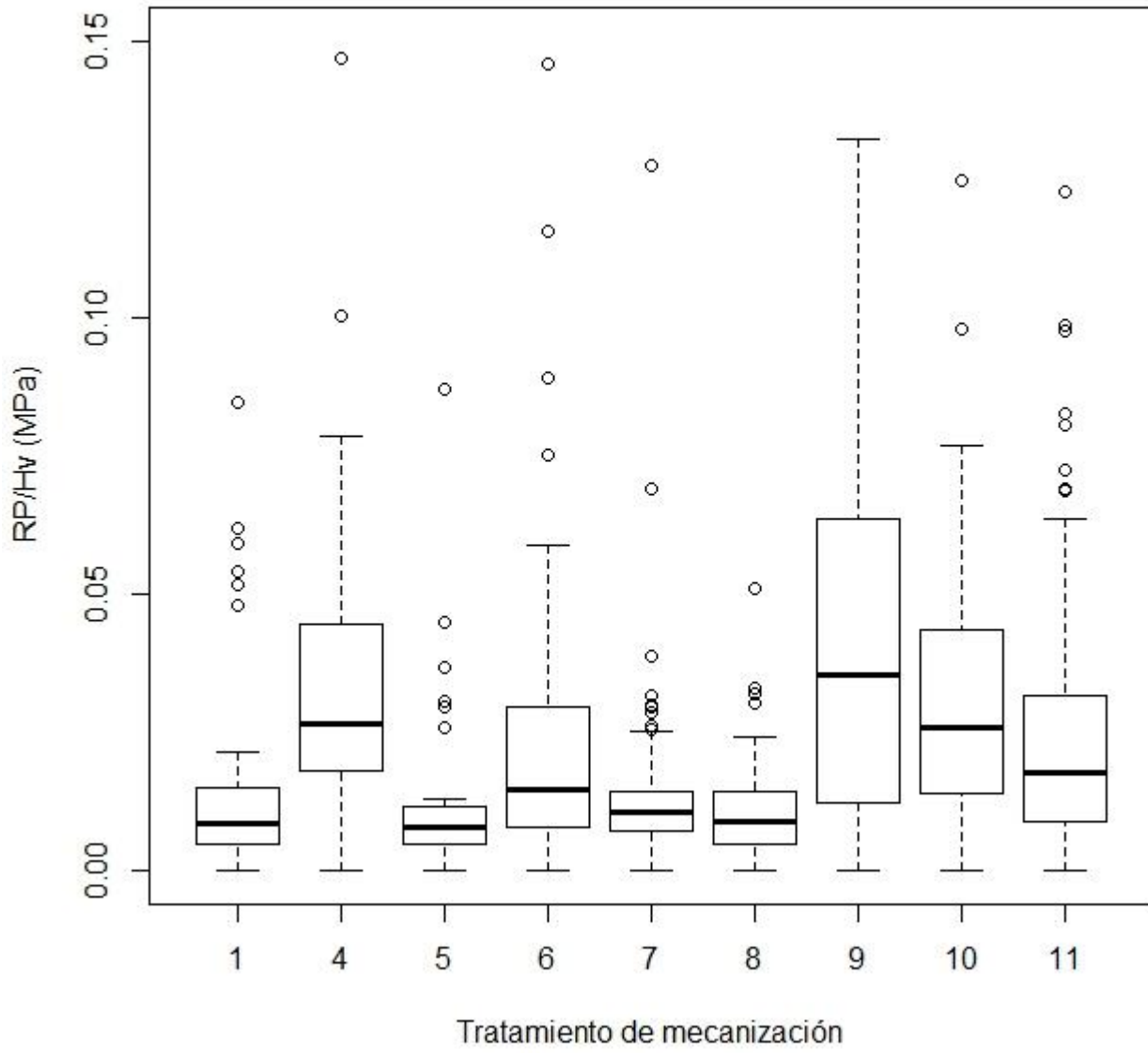


Figura 18. Relación de Resistencia a la Penetración y el contenido de humedad del suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

Tipo de suelo Franco Arenoso

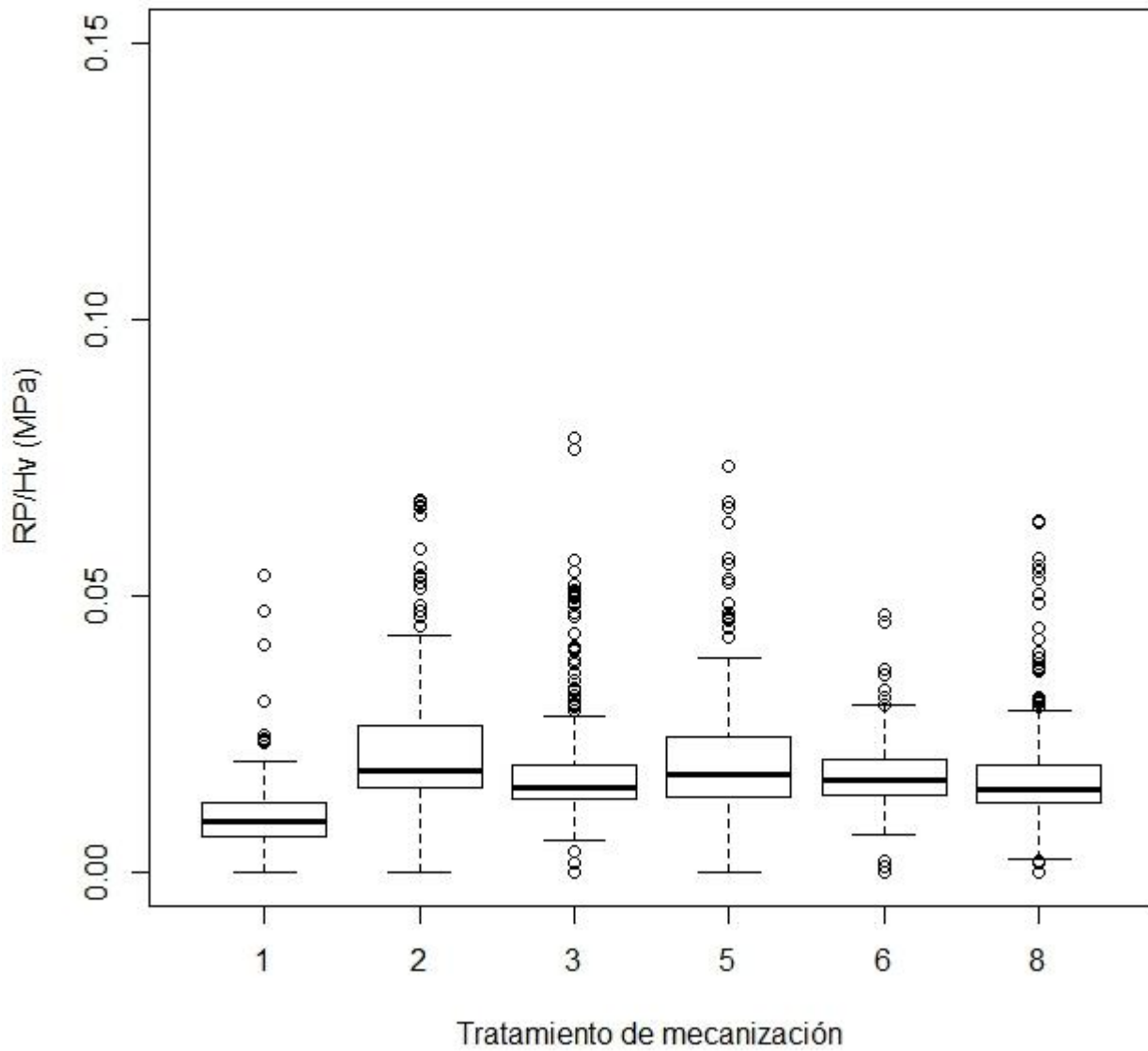


Figura 19. Relación de Resistencia a la Penetración y el contenido de humedad del suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

Los tratamientos que mantuvieron los valores más altos (mejores) de las relaciones en la resistencia al corte y el contenido de humedad del suelo son los mismos que en el suelo franco arcilloso tienen valores más altos de resistencia a la penetración (Figuras 20 y 21).

Tipo de suelo Franco Arcilloso

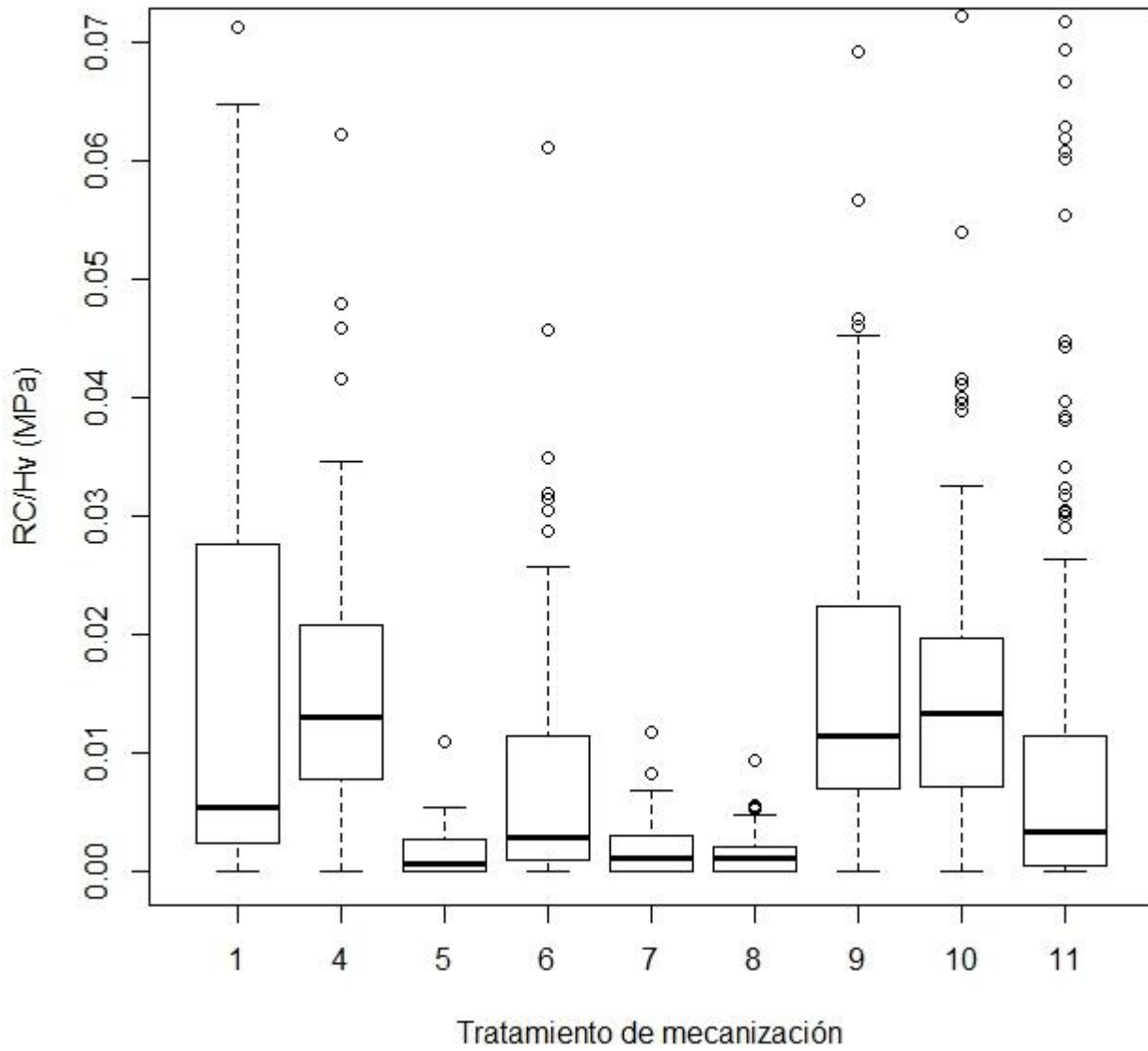


Figura 20. Relación de Resistencia al corte y el contenido de humedad del suelo por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

Tipo de suelo Franco Arenoso

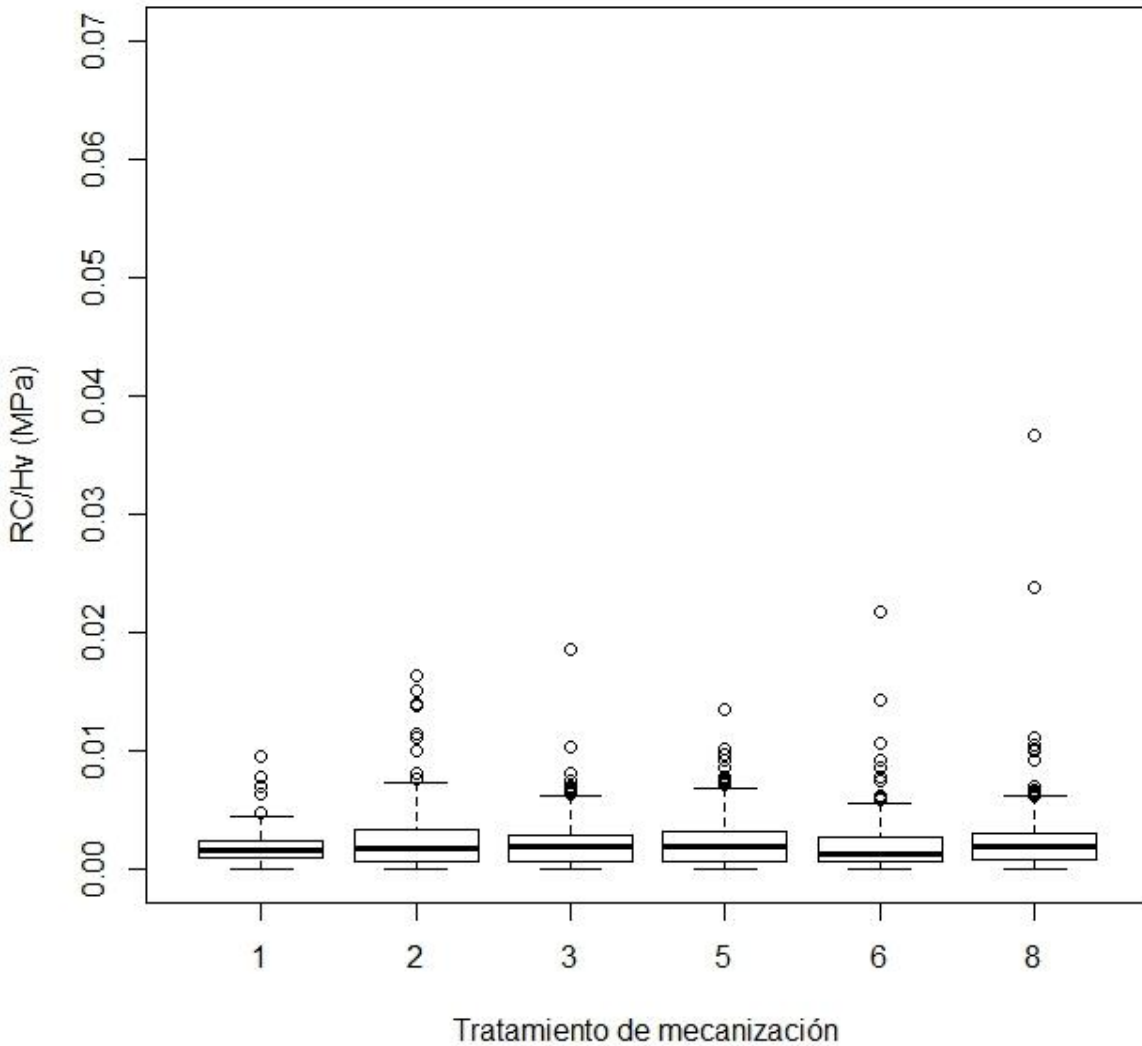


Figura 21. Relación de Resistencia al corte y el contenido de humedad del suelo por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

En las Figuras 22 y 23, se muestran las medianas de las relaciones entre la resistencia a la penetración y la conductividad hidráulica del suelo antes de mecanizar (1), y para cada uno de los tratamientos que se realizaron en las localidades con tipo de suelo franco arcilloso y franco arenoso, solamente arado de cincel (2), arado de cincel, arado de discos y palín (3), arado de cincel, rastra rotativa y palín (4), arado de cincel y rotador (5), arado de cincel y palín (6), arado de discos y rotador (7), arado de discos y palín (8), solamente rastra rotativa (9), rastra rotativa y palín (10) y solamente palín (11).

Para el suelo arenoso no hay diferencias significativas debido a su alta capacidad hidráulica. En el suelo franco arcilloso, el tratamiento que menor relación presenta es la combinación de arado de discos con palín, es decir es el que mejora las características hidráulicas del suelo

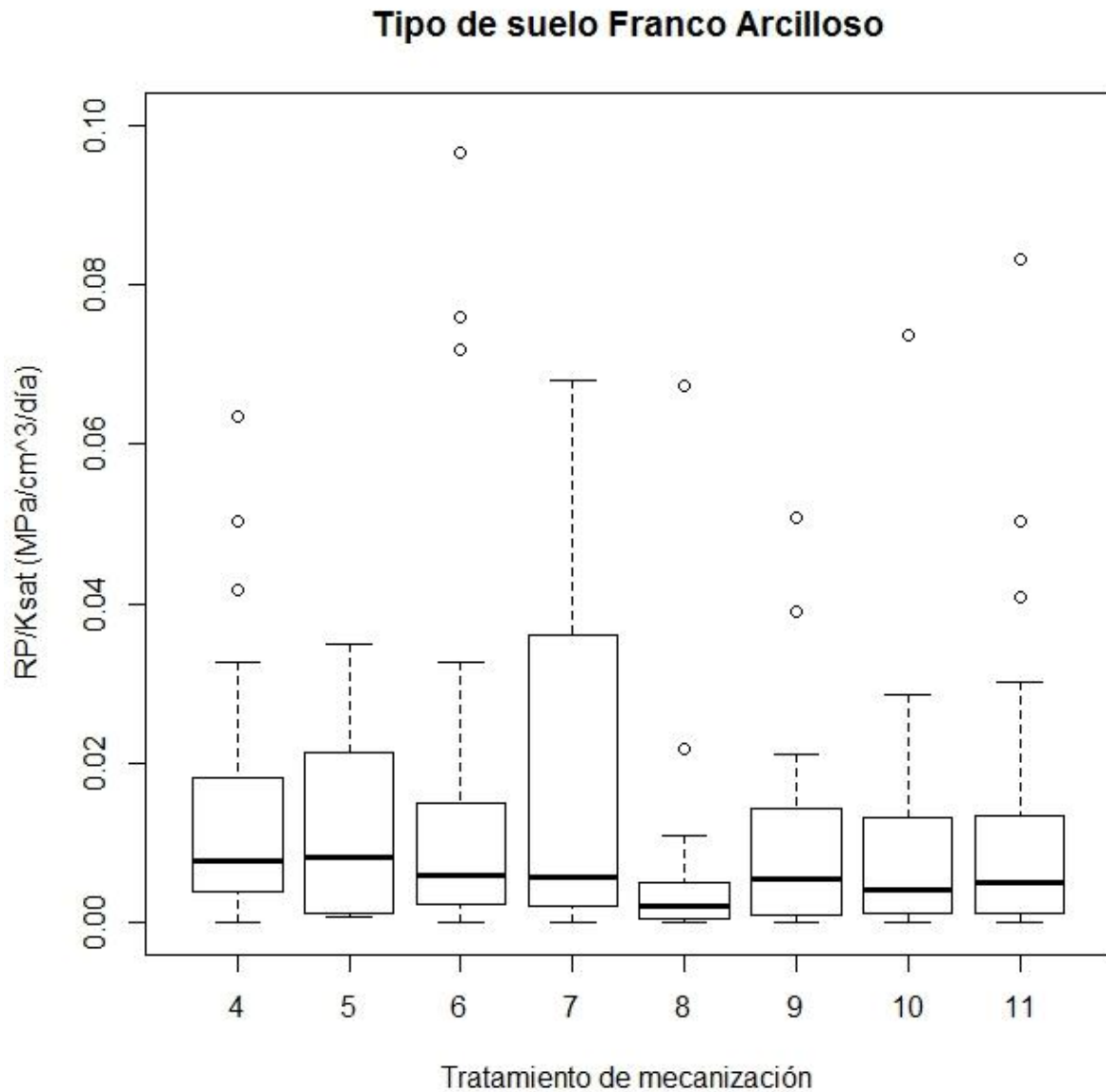


Figura 22. Relación de Resistencia a la penetración y la conductividad hidráulica del suelo franco arcilloso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

Tipo de suelo Franco Arenoso

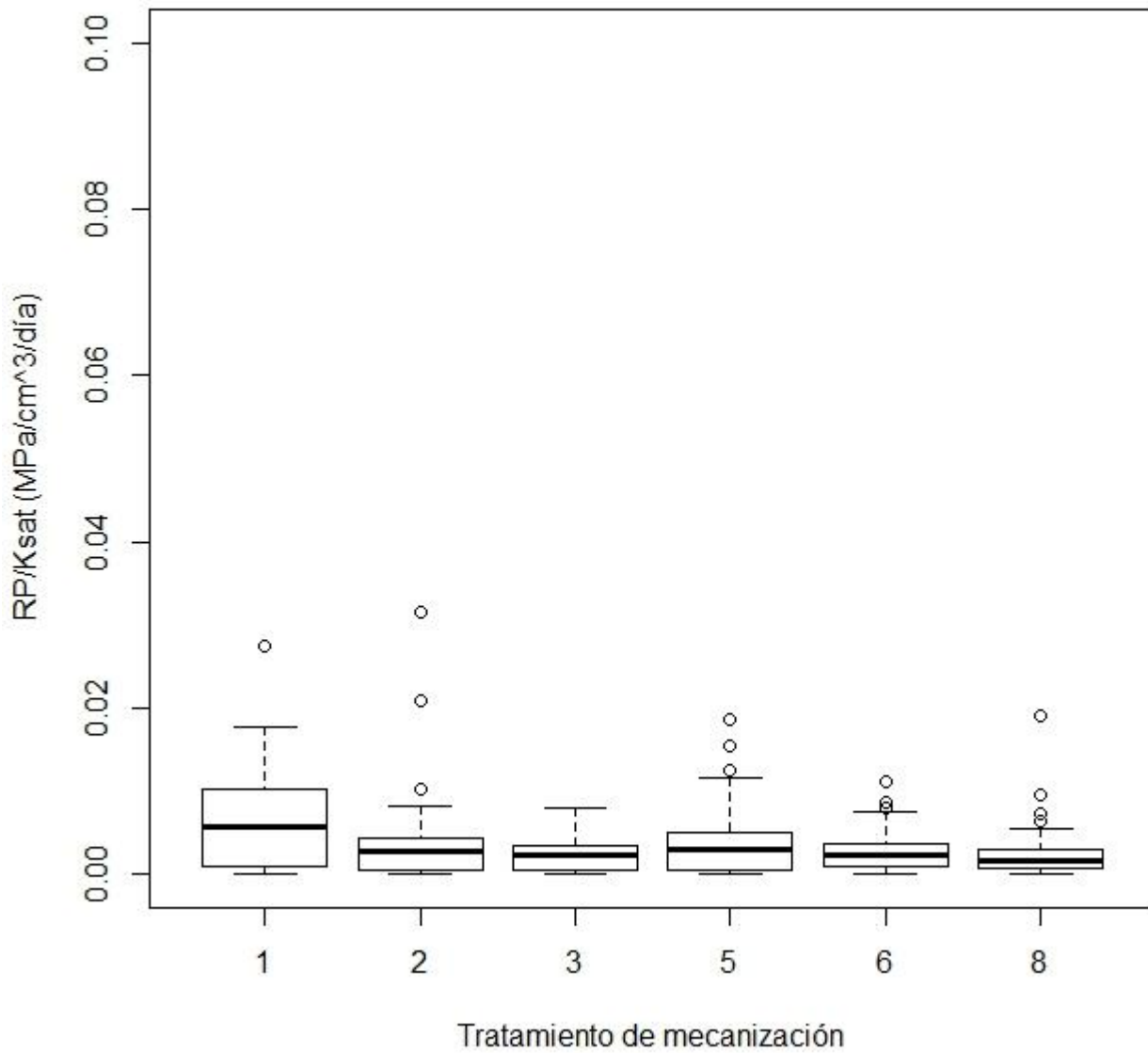


Figura 23. Relación de Resistencia a la penetración y la conductividad hidráulica del suelo franco arenoso por tratamiento de mecanización a 25 cm de profundidad.

Los datos de propiedades mecánicas y físicas del suelo, fueron valorados una matriz de calificación cada tratamiento de mecanización según el tipo de suelo con el fin de balancear los beneficios de cada tratamiento de laboreo en las propiedades, incluyendo el costo por hectárea.

En los suelos franco arcillosos, el índice de la resistencia a la penetración que se muestra (RP/Da) contribuye a entender la condición del suelo tanto en porosidad como en intercambio de solutos en el suelo. Valores cercanos a 1 pueden indicar un impacto en el un aumento de los volúmenes del suelo y deformación del mismo. Esto genera una disminución en la macroporosidad del suelo y una reducción del intercambio líquido y gaseoso en el mismo.

Al comparar la relación de la resistencia a la penetración y densidad aparente (RP/Da) con respecto a los tratamientos aplicados en suelos franco arcillosos, se observa que no hay evidencia de diferencias significativas entre los tratamientos utilizados. Sin embargo, se observa que para la mayoría de los tratamientos, los valores del índice RP/Da tiende a 1.

La resistencia al corte se refiere al máximo estrés que se le puede aplicar al suelo (o la ladera) antes de que causar alguna deformación física del suelo (en alguna forma de erosión evidente). La importancia de la resistencia al corte es que ayuda a explicar el crecimiento radicular, estabilidad de agregados, erodabilidad, estabilidad de laderas, entre otros. Las ventajas de los valores altos de resistencia al corte radican en la resistencia que pueden tener los suelos a la compactación y fuerzas erosivas. Asimismo, valores altos de resistencia al corte pueden tener algunas desventajas, como mayores requerimientos en la potencia de los tractores, pobre crecimiento radicular y por lo tanto pobre capacidad de sostén de los cultivos (Lal y Shukla, 2004). En suelos franco arcillosos se observa que en general la resistencia al corte con respecto a la densidad aparente es mayor en tratamientos como rastra rotativa + palín, cincel + rastra rotativa + palín, y rastra rotativa.

En el suelo franco arenoso, no se observa diferencias significativas entre los tratamientos con respecto a la resistencia a la penetración. Con respecto a la resistencia al corte, la prueba de Tukey indica que las principales diferencias significativas de resistencia al corte se encuentran entre la condición del suelo antes de mecanizar y el tratamiento con arado de cincel, tratamiento con el cual aumenta la resistencia al corte. Sin embargo, se observa que la resistencia al corte es menor en suelos arenosos que en los arcillosos. Esto indica que los primeros presentan una mayor susceptibilidad a presentar algún tipo de erosión ante los tratamientos utilizados, pero por otro lado, el crecimiento de los cultivos es más favorable.

En el Apéndice 9.6, se muestran los análisis de Tukey de las variables anteriormente mencionadas.

En el Cuadro 12 se muestra el orden de mecanizaciones de mejor calificadas a peor calificadas, considerando los costos, la resistencia al corte, la resistencia a la penetración y la densidad aparente, para resumir los tipos de labranza más recomendables a menos recomendables para los suelos de la Zona Norte de Cartago, en una escala de 0 a 10, donde 0 es el nivel más bajo y 10 es la calificación más alta.

Cuadro 12. Tratamientos de mecanización recomendados según su beneficio en las propiedades mecánicas y costos, según los tipos de laboreo utilizados en las pruebas en la Zona Norte de Cartago

<i>Tipo de suelo</i>	<i>Tratamiento recomendado en orden descendente</i>	<i>Calificación total</i>
Franco arenoso	Arado de Cincel	7
	Arado discos + Palín	5
	Arado de Cincel + Palín	4
	Arado de Cincel + Rotador	3
	Arado de Cincel + Arado de discos + Palín	3
Franco arcilloso	Rastra rotativa	8
	Rastra rotativa + Palín	7
	Palín	6
	Arado de Cincel + Palín	4
	Arado de Cincel + Rastra Rotativa + Palín	4
	Arado de discos + Palín	4
	Arado discos + Rotador	3
	Arado de Cincel + Rotador	2

8.4. Análisis de correlaciones entre la tasa de suelo perdido y el tipo de labranza

A partir de los datos de sedimentos colectados de las parcelas de escorrentía. Se obtuvo la tasa de erosión para cada fecha de lluvia y parcela, y extrapolando a toneladas por hectárea para una determinada precipitación. Para posibilitar la comparación entre tratamientos la tasa de erosión se dividió entre la lluvia, para tener un coeficiente de erosión de toneladas de suelo por hectárea perdidas por cada milímetro de lluvia, y poder usarla en las relaciones posteriores.

En el Cuadro 13 se muestra un resumen de las tasas de erosión por cada milímetro de lluvia.

Cuadro 13. Resumen de tasas de erosión de suelos por precipitación según los tratamientos de mecanización

<i>Localidades</i>	<i>Tratamiento de mecanización</i>	<i>Promedio de Tasa de erosión (Ton/ha/mm)</i>	<i>Desviación de Tasa de erosión (Ton/ha/mm)</i>
Capellades	Arado discos + Palín	0,0331	0,0160
	Arado discos + Rotador	0,0450	0,0071
	Cíncel + Palín	0,0064	0,0027
	Cíncel + Rotador	0,0475	0,0056
	Palín	0,0299	0,0028
Llano Grande	Arado + Palín	0,0202	0,0003
	Cíncel	0,0184	0,0007
	Cíncel + Arado + Palín	0,0326	0,0012
	Cíncel + Palín	0,0076	0,0002
	Cíncel + Rotador	0,0084	0,0002
Tierra Blanca - Cot	Cíncel + palín	0,0091	0,0014
	Cíncel + Rastra rotativa + palín	0,0164	0,0024
	Palín	0,0150	0,0016
	Rastra rotativa	0,0084	0,0013
	Rastra rotativa + palín	0,0190	0,0030

Con el fin de hacer un estimado mensual de erosión con el promedio de precipitación mensual y anual de la Zona Norte de Cartago, considerando seis meses de época lluviosa, para dimensionar la pérdida del recurso, se muestra el Cuadro 14, en el cual se simula la situación de la erosión, si durante la época lluviosa el terreno permaneciera con los tratamientos de mecanización indicados por tipo de suelo.

Cuadro 14. Estimado mensual y anual de pérdida de suelos en función del tratamiento de suelos utilizado.

<i>Tratamiento de mecanización</i>	<i>Tipo de suelo</i>	<i>Tasa de erosión mensual ¹ (Ton/ha)</i>	<i>Tasa de erosión anual ² (Ton/ha)</i>
Cinzel + Palín	Franco arenoso	1,526792	9,160751
Cinzel + Palín	Franco arcilloso	1,546155	9,276929
Cinzel + Rotador	Franco arenoso	1,671159	10,026956
Rastra rotativa	Franco arcilloso	1,678618	10,071710
Cinzel + Rastra rotativa + Palín	Franco arcilloso	3,254893	19,529359
Cinzel	Franco arenoso	3,681287	22,087723
Rastra rotativa + Palín	Franco arcilloso	3,790701	22,744208
Arado + Palín	Franco arenoso	4,041567	24,249400
Palín	Franco arcilloso	4,498875	26,993248
Cinzel + Arado + Palín	Franco arenoso	6,520681	39,124084
Arado discos + Palín	Franco arcilloso	6,613126	39,678753
Arado discos + Rotador	Franco arcilloso	9,005589	54,033532
Cinzel + Rotador	Franco arcilloso	9,492290	56,953739

^{1/} Para el cálculo de la tasa de erosión mensual se considera una precipitación promedio mensual de 200 mm.

^{2/} Precipitación anual considerando 6 meses de época lluviosa.

La tasa máxima permisible de erosión de suelos es de 12 toneladas por hectárea por año (Castilla, 2013), por lo que los tratamientos recomendables son cinzel con palín y rastra rotativa en los suelos franco arcillosos y la combinación de cinzel con palín para los franco arenosos. Es necesario combinar los implementos haciendo pases a contorno, considerando el trazo de canales que corten la velocidad erosiva del agua de escorrentía. En el caso del rotador, no se recomienda para suelos de texturas finas debido a la desestructuración que ocasiona a nivel superficial del suelo, lo cual se evidencia en las altas tasas de erosión determinadas para los suelos franco-arcillosos de la Zona Norte de Cartago.

8.5. Modelo explicativo y conceptual de pérdida de suelo e función de la mecanización

Con el fin de facilitar una estimación de la tasa de erosión en los tipos de suelo de la Zona Norte de Cartago, con pendientes entre el 10% y el 15% con mecanizaciones realizadas con los implementos utilizados en las pruebas de laboreo, se presenta el Cuadro 15 como guía de estimación de la erosión en toneladas de suelo por hectárea para la precipitación de un evento o un rango de tiempo. La verificación de las ecuaciones expuestas queda sujeta a más pruebas, en años más lluviosos. Los datos de erosión obtenidos son puntuales para los ciclos de cultivo medidos y permitieron determinar cuáles tipos de mecanización son más favorables para evitar pérdidas de suelo.

Cuadro 15. Estimación de la erosión en toneladas de suelo por hectárea en terrenos con pendiente de 10-15% en función de diferentes tipos de laboreo para la Zona Norte de Cartago.

<i>Tratamiento de mecanización</i>	<i>Tipo de suelo</i>	<i>Erosión estimada¹</i>	<i>R</i>
Arado discos + Palín	Franco arcilloso	$E = 0,0331 * P$	0,97
Arado discos + Rotador	Franco arcilloso	$E = 0,0450 * P$	0,96
Cinzel + Palín	Franco arcilloso	$E = 0,0064 * P$	0,95
Cinzel + Rotador	Franco arcilloso	$E = 0,0475 * P$	0,93
Palín	Franco arcilloso	$E = 0,0299 * P$	0,93
Arado + Palín	Franco arenoso	$E = 0,0202 * P$	0,93
Cinzel	Franco arenoso	$E = 0,0184 * P$	0,92
Cinzel + Arado + Palín	Franco arenoso	$E = 0,0326 * P$	0,93
Cinzel + Palín	Franco arenoso	$E = 0,0076 * P$	0,94
Cinzel + Rotador	Franco arenoso	$E = 0,0084 * P$	0,94
Cinzel + palín	Franco arcilloso	$E = 0,0091 * P$	0,92
Cinzel + Rastra rotativa + palín	Franco arcilloso	$E = 0,0163 * P$	0,92
Palín	Franco arcilloso	$E = 0,0151 * P$	0,93
Rastra rotativa	Franco arcilloso	$E = 0,0084 * P$	0,93
Rastra rotativa + palín	Franco arcilloso	$E = 0,0189 * P$	0,88

^{1/}Donde, E: Erosión en Ton/ha.

P: Precipitación acumulada en mm.

R: Coeficiente de correlación de Pearson

En el caso en estudio, en la generalidad de las relaciones desarrolladas los valores del coeficiente de Pearson se acercan a 1, lo cual indica una gran dependencia entre la erosión (E) y la precipitación acumulada (P), por lo que hay una alta relación entre las variables, es decir, cuando una de ellas aumenta, la otra también lo hace en proporción constante.

8.6. Modelo Conceptual de rendimientos en función de la mecanización.

La utilidad neta es el rendimiento económico generado por una operación durante un periodo de tiempo concreto; es el resultado de restar todos los gastos, operacionales y no operacionales, a los ingresos brutos generados durante dicho periodo de tiempo.

Villalvilla (2014), señala que el cálculo de la utilidad neta ocupa un lugar preferente entre los muchos términos y conceptos específicos de la ciencia económica y empresarial, ya que está orientado a hallar el rendimiento definitivo de todos los procesos resultantes de la explotación de una serie de activos, que se utiliza en cualquier actividad económica en la que se desee comprobar los resultados netos de explotación o bien, repartirse los beneficios.

Dado que de las pruebas realizadas durante la mecanización de los tratamientos se obtuvieron las horas de mecanización por hectárea para cada tratamiento en cada uno de los tipos de suelo, es posible, establecer una relación que defina la utilidad a obtener según el tiempo de mecanización, según se muestra en el Cuadro 16.

Cuadro 16. Relaciones para obtener Utilidad Neta según tipo de tratamiento y textura de suelos.

<i>Tratamiento de mecanización</i>	<i>Textura</i>	<i>Relación para obtener Utilidad Neta (UN)</i>
Cinzel	Franco Arenoso	$Kt - (2,36 \times PUM \times A)$
Rastra rotativa	Franco Arcilloso	$Kt - (4,62 \times PUM \times A)$
Palín	Franco Arcilloso	$Kt - (4,97 \times PUM \times A)$
Arado discos + Palín	Franco Arenoso	$Kt - (7,88 \times PUM \times A)$
Rastra rotativa + Palín	Franco Arcilloso	$Kt - (9,59 \times PUM \times A)$
Arado discos + Rotador	Franco Arcilloso	$Kt - (10,52 \times PUM \times A)$
Cinzel + Palín	Franco Arenoso	$Kt - (11,38 \times PUM \times A)$
Cinzel + Rotador	Franco Arenoso	$Kt - (11,44 \times PUM \times A)$
Cinzel + Rastra rotativa + Palín	Franco Arcilloso	$Kt - (16,26 \times PUM \times A)$
Cinzel + Arado + Palín	Franco Arenoso	$Kt - (16,26 \times PUM \times A)$

UN: Utilidad neta (colones) / **Kt:** Sumatoria de gastos operativos y no operativos (colones)

PUM: Precio por hora de alquiler de maquinaria (Colones/hora) / **A:** Área (Hectáreas)

Cabe señalar que las unidades de las constantes para cada tratamiento están en horas/hectárea, por lo que, de tenerse un valor de área en otras unidades, deber realizarse la conversión correspondiente para que el valor sea efectivo.

Si bien no es posible garantizar la exactitud del valor obtenido de utilidad neta mediante las relaciones establecidas ya que fueron elaboradas en función de las pruebas realizadas en las condiciones del proyecto, si es posible afirmar que si la producción es la misma para los tratamientos establecidos en los tipos de suelos señalados, y los gastos son iguales también, la utilidad generada será mayor para los tratamientos ubicados en la parte superior del Cuadro 16 que los que están en las parte superior.

Al comparar los resultados del Cuadro 14 con los del Cuadro 16, es evidente que dos los tres tratamientos que tienen tasa de erosión aceptable (menor a 12 Ton/ha), están en el grupo de tratamientos cuya utilidad, según los supuestos establecidos, es menor, según puede notarse en el Cuadro 17, en el cual se han oscurecido los tratamientos cuyas tasas erosivas superan el valor teórico aceptable.

De dicha tabla es posible concluir que para suelos franco arcillosos es tratamiento recomendado por producir menor erosión y mayor utilidad es la rastra rotativa, y en el caso de suelos arenosos se recomienda la combinación de cincel con palín por producir una menor tasa de erosión con una utilidad neta esperada mayor. El Cuadro 18 muestra un resumen de los mejores tratamientos considerando utilidades y tasas de erosión.

Cuadro 17. Relación entre tasa de erosión por tratamientos y tipo de suelo y utilidad neta esperada.

<i>Tratamiento de mecanización</i>	<i>Tipo de suelo</i>	<i>Tasa de erosión anual² (Ton/ha)</i>	<i>Relación para obtener Utilidad Neta</i>
Cincel + Palín	Franco arenoso	9,160751	Kt – (11,38 X PUM X A)
Cincel + Rotador	Franco arenoso	10,026956	Kt – (11,44 X PUM X A)
Rastra rotativa	Franco arcilloso	10,071710	Kt – (4,62 X PUM X A)
Cincel + Rastra rotativa + Palín	Franco arcilloso	19,529359	Kt – (16,26 X PUM X A)
Cincel	Franco arenoso	22,087723	Kt – (2,36 X PUM X A)
Rastra rotativa + Palín	Franco arcilloso	22,744208	Kt – (9,59 X PUM X A)
Arado + Palín	Franco arenoso	24,249400	Kt – (7,88 X PUM X A)
Palín	Franco arcilloso	26,993248	Kt – (4,97 X PUM X A)
Cincel + Arado + Palín	Franco arenoso	39,124084	Kt – (16,26 X PUM X A)
Arado discos + Rotador	Franco arcilloso	54,033532	Kt – (10,52 X PUM X A)

Cuadro 18. Resumen de los mejores tratamientos de mecanización en función de la tasa de erosión, tipo de suelo y utilidad neta esperada.

<i>Tratamiento de mecanización mejor calificado</i>	<i>Tipo de suelo en Zona Norte de Cartago (pendientes del 10 al 15%)</i>	
	<i>Franco arcilloso</i>	<i>Franco arenoso</i>
Cincel + Palín	Tasa de erosión aceptable	Tasa de erosión aceptable
	Utilidad no aceptable	Utilidad aceptable
Cincel + Rotador	No recomendado	Tasa de erosión aceptable
		Utilidad aceptable
Rastra rotativa	Tasa de erosión aceptable	Se debe evaluar
	Utilidad aceptable	

Es evidente la necesidad de un estudio más profundo que defina la producción para establecer los ingresos imputables estadísticamente a cada tratamiento de mecanización, así como una consideración de costos fijos y variables de las actividades estudiadas con el fin de hacer que el modelo sea más dinámico al considerar otras variables que no sea únicamente el costo de mecanización, y de ésta manera se pueda definir con mayor criterio los tratamientos de mecanización que con menores valores de erosión garanticen un ingreso mayor a los agricultores de la zona.

8.7. Capacitaciones realizadas

Es evidente que un proceso de capacitación es precedido por las conclusiones y resultados expuestos a éste momento. Pese a ello, con los resultados obtenidos en las etapas previas se prepararon dos sesiones de capacitación. La primera se realizó mediante una visita coordinada con el Colegio Agro Ambiental de Parismina, en el cantón de Siquirres, de la provincia de Limón, ubicada en la desembocadura del Río Reventazón, el 18 de mayo del año 2015.

Durante esa visita se realizó un recorrido con 15 estudiantes del último nivel de la Escuela de Ingeniería Agrícola, por la desembocadura del río, en la que se les mostró técnicas para la recolección de sedimentos, posteriormente se hizo una capacitación a un grupo de estudiantes, que junto al personal docente de la institución sumaron un total de 48 personas.

Por otro lado, en la empresa HORTIFRUTI, empresa agroindustrial dedicada a la comercialización de alimentos procesados, principalmente hortalizas, al conocer acerca del proyecto de investigación que se realizaba solicitó una capacitación para los ingenieros agrónomos encargados de realizar la labor de supervisión a los productores de la Zona Norte de Cartago, con el fin de mostrarles cómo realizar obras de conservación y con ello disminuir el aporte de sedimentos a los cursos de agua; la capacitación se realizó el 1 de abril del 2016.

La presentación de resultados se realizó el 16 de diciembre del 2016 ante la Junta Directiva de COMCURE, y el 9 de febrero del 2017 ante la comisión técnica de COMCURE, integrada por las agencias de extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), Instituto Costarricense de Electricidad (ICE), el Servicio Fitosanitario del Estado (SFE), y un representante del Banco Nacional de Costa Rica (BNCR)

En el Apéndice 9.8, se puede visualizar la descripción correspondiente a cada actividad, la agenda desarrollada, los contenidos de cada una de las capacitaciones, la hoja de asistencia y las presentaciones utilizadas en cada capacitación. Cabe señalar que en el caso del Colegio Agro Ambiental de Parismina la lista de asistencia solo incluye a los funcionarios y estudiantes de la institución y no contempla a los estudiantes de Ingeniería Agrícola del TEC, también presentes en dicha actividad.

De más está señalar que es el compromiso de éste equipo es no sólo generar nuevas correlaciones con la gran cantidad de datos obtenidos, sino propiciar de manera independiente como institución de educación superior de la región, y además en conjunto con COMCURE, las capacitaciones que garanticen el impacto de los resultados y conclusiones del proyecto entre los usuarios del recurso suelo de la parte alta de la cuenca del Río Reventazón. En el apéndice 9.9 se muestra un folleto informativo con los principales resultados del proyecto.

9. Conclusiones y recomendaciones

Con el fin de obtener la evidencia experimental del comportamiento de la erosión y escorrentía en relación a diversas técnicas de mecanización, se establecieron parcelas de escorrentía con cinco diferentes tipos de tratamiento de suelo y tres repeticiones en cinco diferentes áreas de la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, para un total de casi 70 parcelas de escorrentía que permitieron cuantificar la mecanización como agente erosivo.

Aunque todos los estudios se hicieron en diferentes áreas, el resultado de comparación de los promedios de cada una de ellas permitió establecer una relación entre los tratamientos según tipos de suelo característicos de la zona por encima de los sitios de ubicación de los parcelas de escorrentía.

De esa manera se concluyó que considerando precipitaciones promedio mensuales de 200 mm y una época lluviosa de seis meses, los tratamientos de mecanización *arado de cincel con palín* y *arado de cincel con rotador* en el suelo *franco arenoso*, y los tratamientos *arado de cincel con palín* y solamente *rastra rotativa* en los suelos *franco arcillosos*, son los que presentan tasas de erosión menores a la recomendada de 12 Ton/ha/año.

Cabe destacar que en el otro extremo el tratamiento de suelos *franco arenosos* que produce mayor tasa de erosión para la condición establecida es la combinación de *arado de cincel con arado de discos y palín* (26,99 ton/ha/año). Y para suelos *franco arcillosos* el tratamiento que produce la mayor tasa de erosión es la combinación de *arado de cincel con rotador* (56,95 Ton/ha/año).

Las mediciones realizadas en las parcelas de escorrentía permiten establecer que el rotador, no se recomienda para suelos de texturas finas debido a la desestructuración que ocasiona a nivel superficial del suelo, lo cual se evidencia en las altas tasas de erosión determinadas para los suelos franco-arcillosos de la Zona Norte de Cartago.

Por otro lado las propiedades físicas y mecánicas del suelo son afectadas por las diferentes técnicas de mecanización, destacándose que en suelos franco arcillosos se observa que en general la resistencia al corte con respecto a la densidad aparente es mayor en tratamientos como rastra rotativa con palín, cincel con rastra rotativa y palín, y solamente rastra rotativa. La resistencia al corte es menor en los suelos arenosos, lo que indica que presentan una mayor susceptibilidad a presentar algún tipo de erosión ante los tratamientos utilizados.

La cuantificación de la erosión mediante parcelas de escorrentía es un método que requiere una logística elaborada para la recolección de datos con la confiabilidad suficiente para una determinación adecuada de valores de erosión. Involucra una inversión inicial relativamente alta en materiales, así como en horas laborales durante todo el tiempo de medición, y además demanda de tiempo para procesamiento de muestras en laboratorio, por lo que como recomendación y en el marco del presente proyecto se elaboró de manera paralela una actividad de fortalecimiento de la investigación en busca de otro métodos con mayor tecnificación de estudio de la erosión, utilizando tecnologías que permitan menor impacto en la zona de producción de los agricultores y cuya operación demande una logística menos compleja.

Con este fin se realizó una actividad de fortalecimiento para la investigación con el fin de determinar la factibilidad de la utilización de vehículos aéreos no tripulados (UAVs, por sus siglas en inglés) y fotogrametría que logró determinar las ventajas financieras y operacionales de utilizar para la medición estos dispositivos; lo que a su vez permitió el desarrollo del proyecto “Cuantificación de la erosión hídrica en función de diferentes técnicas de mecanización utilizando vehículos aéreos no tripulados (UAV’s) en la parte alta de la cuenca del Río Reventazón”, actualmente en ejecución, que representa un método alternativo en vías de validación.

Para determinar profundidades de mecanización de suelos adecuadas para el cultivo sin generar pérdidas significativas del recurso, se siguió la solicitud de la Comisión de manejo de la cuenca del Río Reventazón (COMCURE), copatrocinadora de éste proyecto, que solicitó que para cuantificar la erosión en condiciones reales de producción, se utilizaran las prácticas de labranza mecanizada realizadas por los agricultores, por lo que se determinó que la mecanización adecuada de suelo para el cultivo correspondía a la profundidad de labranza de los aperos utilizados en la Zona Norte de Cartago, según las condiciones topográficas y de la potencia de operación comúnmente disponibles en los equipos agrícolas de la zona en estudio.

Con el fin de determinar la velocidad de avance óptima de la maquinaria, en función de las características del suelo para minimizar las pérdidas por erosión, y consecuentemente generar ahorro energético a los productores, se realizaron pruebas de patinaje mientras se realizaban las labores de mecanización a las velocidades establecidas según normativa vigente, así como recomendaciones del fabricante para determinar el balanceo estático requerido para que el avance de maquinaria sea eficiente en las condiciones de producción reales de la Zona Norte de Cartago.

Dichas pruebas permiten concluir que el patinaje de un tractor agrícola constituye un parámetro que se debe considerar en un buen manejo de suelos en agricultura mecanizada. Debido a las características de estructura deficiente del suelo franco arenoso, se requiere lastre en el tractor en el uso de azada mecánica (palín) lo que puede ser contraproducente en el suelo.

Es recomendable utilizar pruebas de patinaje en la durante la labranza con el fin de utilizar los implementos y determinar el lastre adecuado para un buen manejo de suelos.

Para crear un modelo explicativo de transporte de sedimentos para la parte alta de la cuenca del Río Reventazón, en base a técnicas de mecanización, topografía y características del suelo, el procedimiento seguido permitió obtener un modelo de erosión para estimar la tasa de erosión (Ton/ha) según la precipitación, que varía para cada tipo de suelo estudiado y técnica de mecanización empleada, para rangos de pendientes del terreno entre el 10 y 15%.

Las conclusiones expuestas al inicio del presente apartado con respecto a las tasas de erosión anual considerando un período de lluvia de medio año y una determinada precipitación mensual, parten de los coeficientes de erosión de los modelos establecidos para éste objetivo.

Al cuantificar el costo - beneficio de los productores de la zona norte de la cuenca, en función de las diferentes técnicas de mecanización del suelo, se concluyó que para suelos *franco arcillosos* el tratamiento recomendado por producir menor erosión y mayor utilidad es la *rastra rotativa*, y en el caso de *suelos franco arenosos* se recomienda la combinación de *cinzel con palín* por producir una menor tasa de erosión con una utilidad neta esperada mayor.

Debido a que dos de los tres tratamientos de mecanización de suelos que tienen una tasa de erosión aceptable (menor a 12 Ton/ha), están en el grupo de tratamientos cuya utilidad, según los supuestos establecidos, es menor, se recomienda establecer un plan de incentivos para los agricultores, con el fin de que migren a los sistemas de labranza recomendados.

Todos los sistemas de labranza de suelos recomendados, son sistemas de labranza vertical de suelos. Se recomienda iniciar un plan de capacitación sobre el efecto de la mecanización en la erosión con las autoridades que ejecutan la Ley 7779 (Ley de uso, manejo y conservación de suelos), la cual regula estos aspectos que coinciden con las conclusiones del presente proyecto.

Al margen de las capacitaciones realizadas a diferentes actores en la cuenca (algunas de ellas citadas en el apéndice correspondiente del presente documento), y con el objetivo específico de capacitar a los productores y operadores de la maquinaria, sobre las formas adecuadas de aplicación de la mecanización en las labores, al momento se ha realizado la presentación de resultados del proyecto al personal de las agencias de extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG) en la Zona Norte de Cartago, así como al Comité Técnico de la provincia, que a su vez ha generado que antes de la conclusión del mes de marzo del 2017 se realice la primera capacitación masiva y directa tanto a productores como operadores de maquinaria en coordinación con el Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno (CACO) inicialmente en Tierra Blanca de Cartago.

Por otro lado mediante la autoridad que la ley 7779 de uso, manejo y conservación de suelos confiere a los entes reguladores de las cuencas, al momento de realizar la presente redacción se conjugan esfuerzos con COMCURE para que en coordinación con las municipalidades se establezcan incentivos y sanciones que garanticen la preservación del recurso suelo.

10. Agradecimientos

El equipo investigador desea expresar su sincero agradecimiento a la Junta Directiva de la Comisión para el Ordenamiento y Manejo de la Cuenca Río Reventazón (COMCURE), y a la Vicerrectoría de Investigación y Extensión del Instituto Tecnológico de Costa Rica (VIE) por su convicción en la importancia que reviste el presente proyecto que los llevó a respaldar su ejecución.

A la Junta Directiva del Centro Agrícola Cantonal de Oreamuno y de manera especial a Viviana Carpio, por su invaluable disposición para enlazar los objetivos de éste proyecto con los productores de la Zona Norte de Cartago.

A los señores Alfredo Meneses, Asdrúbal Sanabria, Gilbert Masís y Sadí Laporte, por su disposición para ceder de su tiempo, sus labores y aún exponer sus recursos para hacer posible la ejecución del presente proyecto.

A los señores Jaime Brenes, Arnaldo Gómez, Fernando Watson, Héctor Fuentes y el Dr. Edgard Ortíz por su apoyo logístico e indispensable asesoría profesional durante las diferentes etapas del proyecto.

Al personal de las Agencias de Extensión del Ministerio de Agricultura y Ganadería e Cartago por su desinteresado soporte.

A los Estudiantes asistentes y voluntarios de la Escuela de Ingeniería Agrícola del TEC por su disposición, disciplina y madurez para realizar las labores que les fueron encomendadas.

*“Por tanto, al Rey de los siglos, inmortal, invisible, al único y sabio Dios,
sea honor y gloria por los siglos de los siglos. Amén.”*

1 Timoteo 1:17

11. Bibliografía

- Alonso, S. D. A. (2000). Redistribución del suelo por las prácticas de laboreo. *Edafología*, 7(2), 75–90.
- Alvarado, A. (2004). *Maquinaria y Mecanización Agrícola*. (S. Delome, Ed.) (Primera ed). San José, Costa Rica: EUNED.
- Alvarado, A. (2012). Mecanización Agrícola, Deterioro o Conservación del Suelo? *Tecnología En Marcha*, 19(1), 56–60.
- Arce, R. (2004). Resumen Diagnóstico Cuenca Reventazón. Retrieved March 1, 2013, from <http://www.cne.go.cr/CEDO-Riesgo/docs/2655/2655.pdf>
- Astorga, Y. (2007). Diagnóstico de la Microcuenca del Río Purires. Retrieved January 1, 2013, from <http://compurires.blogspot.com/2010/10/diagnostico-de-la-micro-cuenca-incluye.html>
- Brenes, E., & Vargas, A. (2004). *Evaluación de los Factores de Influencia en la Producción de Sedimentos en la Parte Baja del Cauce del Río Reventazón*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Cairó, G. (2007). Medición Manual del Patinaje de las Ruedas.
- Campos, C. . (2010). *Análisis de los Cambios de Cobertura de la Cuenca Alta y Media del Río Reventazón, Costa Rica, Periodo 2000-2010*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Castilla, F. (2013). Siembra Directa. La elegida para conservar el suelo: Una decisión agronómica que combina rotación de cultivos, fertilizantes y agricultura de precisión para aumentar la producción y preservar los recursos naturales. *RIA. Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 39(2), 118–123.
- Castillo, M., & Mata, R. (2012). Determinación y Cuantificación de la Tasa de Erosión en un Ciclo del Cultivo de la Papa en la zona de Pacayas de Alvarado, Cartago. In *Memoria VII Congreso Nacional de Suelos, del 6 al 8 de noviembre. San José, Costa Rica*.
- Cogo, N. ., Moldenhauer, W. ., & Foster, G. . (1984). Soil Loss Reductions from Conservation Tillage Practices. *Soil Science Society of America*, 48(2), 368–373.
- COMCURE. (2016). Generalidades de la Cuenca del Río Reventazón - Parismina. Retrieved August 8, 2016, from <http://comcure.go.cr/la-cuenca/generalidades>

- Cortés, V. M. (1993). Desgaste Vertical de los Suelos Hortícolas en el Flanco Occidental del Volcán Irazú. *Ciencias Sociales*, 62, 83–91.
- Cortés, V. M., & Oconitrillo, G. (1993). Factores Socioculturales Asociados a la Erosión Hídrica en un Sistema Hortícola: el Caso de Cot y Tierra Blanca de Cartago, Costa Rica. *Anuario de Estudios Centroamericanos*, UCR, 19(1), 79–90.
- Cueto, O. G., Coronel, C. E. I., & Suárez, M. H. (2009). Análisis de los factores que provocan compactación del suelo agrícola Analysis of the factors that cause soil compaction, 18, 57–63.
- Da Silva, R. (2005). *Propuesta Metodológica para Medir la Escorrentía en Sistemas Agropecuarios del Catón de Guácimo*. Universidad Earth. Guácimo, Costa Rica.
- Deere & Company. (2009). Manual del operador. Tractor 6425. EUROPEAN OFFICE MANNHEIM.
- Deere & Company. (2016). Cuándo elegir un tractor con doble tracción.
- Gómez, J. . (2010). *Determinación de las Cantidades de Suelo Removido por Efecto de Erosión Hídrica de Tres Unidades de Capacidad de Uso del Suelo en el Cultivo de Papa, en la Microcuenca Planton-Pacayas, Cartago, Costa Rica*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- Gómez, N. (2011). *Gestión de activos: maquinaria agrícola*. Instituto Tecnológico de Costa Rica.
- GÓMEZ-CALDERÓN, N. (2016). *Fundamentos de maquinria agrícola* (Primera ed). San José, Costa Rica: EUNED.
- Henry, G., & Heinke, G. (1999). *Ingeniería Ambiental* (2da Edició). Mexico: Prentice Hall.
- Hernández, A. (2010). Dinámica Erosión/Sedimentación: Diseño y Aplicación del Modelo de Erosión/Sedimentación para la Cuenca del Río Nosara (MES). *Tecnología En Marcha*, 23(4), 29–46.
- Hudson, N. . (1993). *Field Measurement of Soil Erosion and Runoff*. *FAO Soils Bulletin* 68. Rome, Italy.

- ICE. (2011). Postulación al Reconocimiento a Prácticas Promisorias en la Gestión Pública. Retrieved January 1, 2013, from [http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/a0bb2ec4-f35a-42fb-9960-ffce2dca5079/Postulaci%C3%B3n ICE - Cuenca Reventaz%C3%B3n al RPP.pdf](http://documentos.mideplan.go.cr/alfresco/d/d/workspace/SpacesStore/a0bb2ec4-f35a-42fb-9960-ffce2dca5079/Postulaci%C3%B3n%20ICE%20-%20Cuenca%20Reventaz%C3%B3n%20al%20RPP.pdf)
- ICE. (2012). Proyecto Hidroeléctrico Reventazón: Estudios Ambientales Adicionales. Parte B: Estudio de Calidad del Agua.
- Lal, R. (2001). Soil Degradation by Erosion. *Land Degradation and Development*, 12, 519–539.
- Lal, R., & Shukla, M. (2004). *Principles of Soil Physics*. (The Ohio State University, Ed.). Columbus, Ohio, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Lindstrom, M. ., Nelson, W. ., & Schumacher, T. . (1992). Quantifying Tillage Erosion Rates due to Moldboard Plowing. *Soil and Tillage Research*, 24(3), 243–255.
- Mehuys, G. R., Tiessen, K. H. D., Villatoro, M., Sancho, F., & Lobb, D. A. (2009). EROSIÓN POR LABRANZA CON ARADO DE DISCO EN SUELOS VOLCÁNICOS DE LADERA EN COSTA RICA. *Agronomía Costarricense*, 33(2), 205–215.
- Montgomery, D. (2007). Erosion and Agricultural Sustainability. In *Proceedings of the National Academy of Sciences Soil* (pp. 13268–13272).
- Moreno, Á. M., Kriuchkova, E. R., Ruelas, J. G. G., Carlos, A., & Perea, V. (2009). Fuerzas de Tracción de las Ruedas del Tractor, 1(2), 77–84. <http://doi.org/10.5154/r.inagbi.2009.07.015>
- Pla-Sentis, I., & Nacci, S. (2001). Impacts of Mechanization on Surface Erosion and Mass Movements in Vineyards of the Anoia-Alt-Penedés Area (Cotalonia-Spain). In *Proceedings of the 10th International Soil Conservation Organization*. USA.
- Prado, R., & Aguilar, J. . (2007). Manual de Instalación de Barreras con Geotextil “Silt Fence” para la Medición de la Erosión en Parcelas Experimentales. *Documento Técnico No.4 Área Suelo Y Aguas, Instituto Nacional En Innovación Y Transferencia En Tecnología Agropecuaria Y Universidad de Costa Rica*.

- Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., & Brenes, L. . (2008). Caracterización Física de la Cuenca Media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense*, 32(2), 73–92.
- Ramírez, L., Alvarado, A., Pujol, R., McHugh, A., & Brenes, L. . (2008). Indicadores para Estimar la Sostenibilidad Agrícola de la Cuenca Media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica. *Agronomía Costarricense* 32(2):, 32(2), 93–118.
- Suazo, M. S. (1995). *Caracterización y Sistematización de las Tecnologías sobre Prácticas y Obras de Conservación de Suelos en la Cuenca Media del Río Reventado, Cartago, Costa Rica*. Centro Agronómico Tropical.
- Terminiello, A. M., Balbuena, R. H., Claverie, J. A., & Casado, J. P. (2000). Compactación inducida por el tránsito vehicular sobre un suelo en producción hortícola. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 4(2), 290–293.
- UNA. (2013). Programa Interdisciplinario de Investigación y Gestión del Agua. Retrieved from <http://www.priga.una.ac.cr/index.php/81-investigacion-y-gestion-del-recurso-hidrico/101-investigacion-y-gestion-del-recurso-hidrico-en-la-una>
- Vahrson, W. . (1993). Erosión y Conservación de Suelos en Costa Rica. Algunos resultados del Taller de Erosión de Suelos. *Revista Geográfica de América Central*, 27, 187–196.
- Van Oost, K., Govers, G., & Desmet, P. (2000). Evaluating the effects of changes in landscape structure on soil erosion by water and tillage. *Landscape Ecology*, 15, 577–589.
- Vega, L. (2008). *Evaluación de la Erosión Hídrica Superficial por Parcelas Experimentales en Suelos Desnudos de la Región de Coquimbo*. Universidad de Talca, Chile.
- Villalobos-Araya, M., Guzmán-Arias, I., & Zúñiga-Pereira, C. (2009). Evaluación de tres tipos de labranza en el cultivo de la papa (*Solanum tuberosum*). *Tecnología En Marcha*, 22, 40–50.
- Villalvilla. (2014). *Empresa y Economía*. Pearson-Prentice Hall.
- Villatorio, M. (2012). Erosión Hídrica en Café (*Coffea arabica*) bajo Sombra de Poró (*Erythrina* sp.) en Alta Pendiente. Cuenca Pirrís, Costa Rica. In *VII Congreso Nacional de Suelos, del 6 al 8 de noviembre. San José, Costa Rica*.

12. Apéndices

Apéndice 12.1. Planos topográficos y ubicación de las fincas en donde se instalaron las parcelas de escorrentía.

(Ver Archivo digital)

Apéndice 12.2. Imágenes de las parcelas de escorrentía instaladas.

(Ver Archivo digital)

Apéndice 12.3. Base de datos de las características hidráulicas, mecánicas y físicas del suelo medidas en las parcelas de escorrentía.

(Ver Archivo digital)

Apéndice 12.4. Base de datos de las pruebas de patinaje de llantas de tractor.

(Ver Archivo digital)

Apéndice 12.5. “Comparación de patinaje bajo diferentes tipos de labranza en un suelo franco arenoso en Costa Rica”, cartel presentado en el XII Congreso Latinoamericano y del Caribe de Ingeniería Agrícola, 2016



COMPARACIÓN DE PATINAJE BAJO DIFERENTES TIPOS DE LABRANZA EN UN SUELO FRANCO ARENOSO EN COSTA RICA

Braulio Arrazate Oropeza
Estudiante pasante, Ingeniería Mecánica Agrícola, Universidad Autónoma de Chapingo, México

Natalia Gómez Calderón
Karolina Villagra Mendoza
Investigadoras, Escuela de Ingeniería Agrícola, Tecnológico de Costa Rica

Objetivo General

Determinar el porcentaje de patinaje presente en diferentes condiciones de labranza en un suelo franco arenoso para dar recomendaciones de uso eficiente de los equipos.

Metodología

- Se seleccionó un terreno con una pendiente promedio de 25% y una textura de suelo franco-arenoso.
- Se dividió en 15 parcelas de 10 m x 8 m cada una con un callejón entre cada línea.
- Se estableció un diseño estadístico de bloques al azar con 5 diferentes combinaciones de mecanización y 3 repeticiones cada una.
- En cada labranza se combinó el arado de cincel, arado de discos, azada mecánica y el arado rotador con profundidades de trabajo de 0.60 m, 0.40 m, 0.25 m y 0.25 m, respectivamente.
- Se utilizó un tractor con doble tracción de 85 HP.
- Se calculó el porcentaje de patinaje, según:

$$\% \text{Patinaje} = 100 \left(1 - \frac{L}{R} \right), (1)$$

Donde L es la longitud de la prueba (m), y R es el recorrido de la llanta (m).

Para el recorrido de la llanta, se utilizó la siguiente fórmula:

$$R = 2 * \pi * r * n, (2)$$

Donde r es el radio externo de la llanta evaluada (m), y n es la cantidad de vueltas de la llanta evaluada en la longitud de la prueba.

- El análisis se llevó a cabo con los promedios de cada una de las pruebas y sus desviaciones estándar
- Las pruebas de patinaje se realizaron en forma individual para cada uno de los 4 implementos utilizados.
- La distribución de las parcelas es la siguiente:

Número de parcela	3	4	5	2	1
Primer implemento	Cincel	Cincel	Cincel	Cincel	Cincel
Segundo implemento	Arado	Arado	Arado	Arado	Arado
Tercer implemento	Palín	Palín	Palín	Palín	Palín
Cuarto implemento				Rotador	
Número de parcela	10	9	8	7	6
Primer implemento	Cincel	Cincel	Cincel	Cincel	Cincel
Segundo implemento	Arado	Arado	Arado	Arado	Arado
Tercer implemento	Palín	Palín	Palín	Palín	Palín
Cuarto implemento					Rotador
Número de parcela	13	14	15	11	12
Primer implemento	Cincel	Cincel	Cincel	Cincel	Cincel
Segundo implemento			Arado	Arado	
Tercer implemento			Palín	Palín	
Cuarto implemento	Rotador				

Apéndice 12.6. Prueba de Tukey para propiedades físicas y mecánicas de suelo.

1. Suelos tipo Franco arcilloso

1.1 Resistencia a la penetración

Cuadro 19. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia a la penetración en suelos franco arcillosos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Promedio</i>	<i>Grupo</i>
Palin	108	0.9092	A
Discos +Rotador	72	0.8843	A
Discos+Palin	72	0.8333	A
Cinzel+Rotador	24	0.8233	A
Cinzel+Palin	74	0.7907	A
Antes	20	0.754	A
Cinzel+Rastra+Palin	39	0.7230	A
Rastra	26	0.695	A
Rastra+Palin	39	0.6172	A

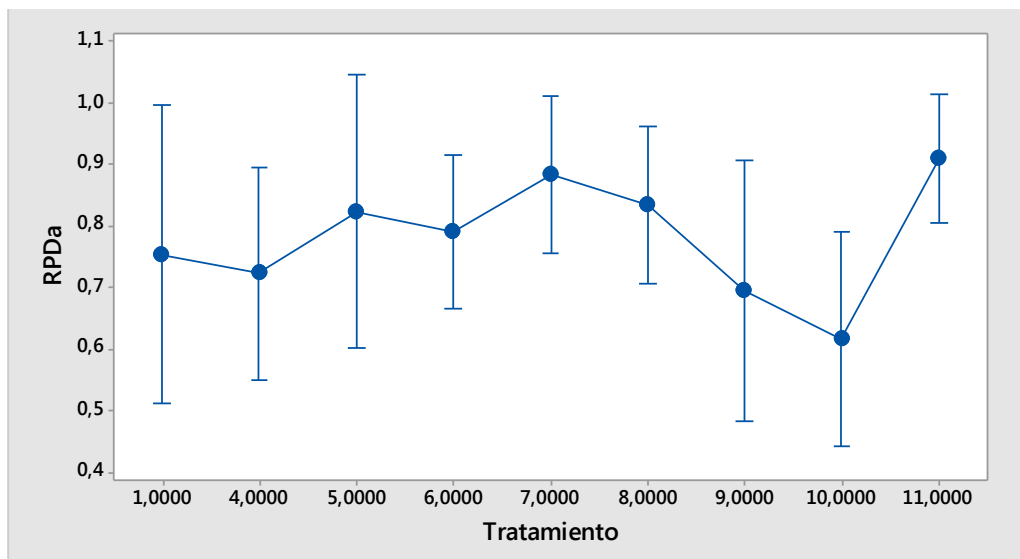


Figura 24. Valores de resistencia a la penetración con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arcillosos

1.2. Resistencia al corte

Cuadro 20. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia al corte en suelos franco arcillosos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Promedio</i>	<i>Grupo</i>
Rastra+palin	39	0.3534	A
Cinzel+rastra+palin	39	0.3137	A
Rastra	26	0.2984	A
Antes	20	0.2152	A B C
Palin	108	0.1532	B
Cinzel+palin	74	0.1387	B C
Cinzel+rotador	24	0.0848	B C
Discos+rotador	72	0.0684	B C
Discos+palin	72	0.0576	C

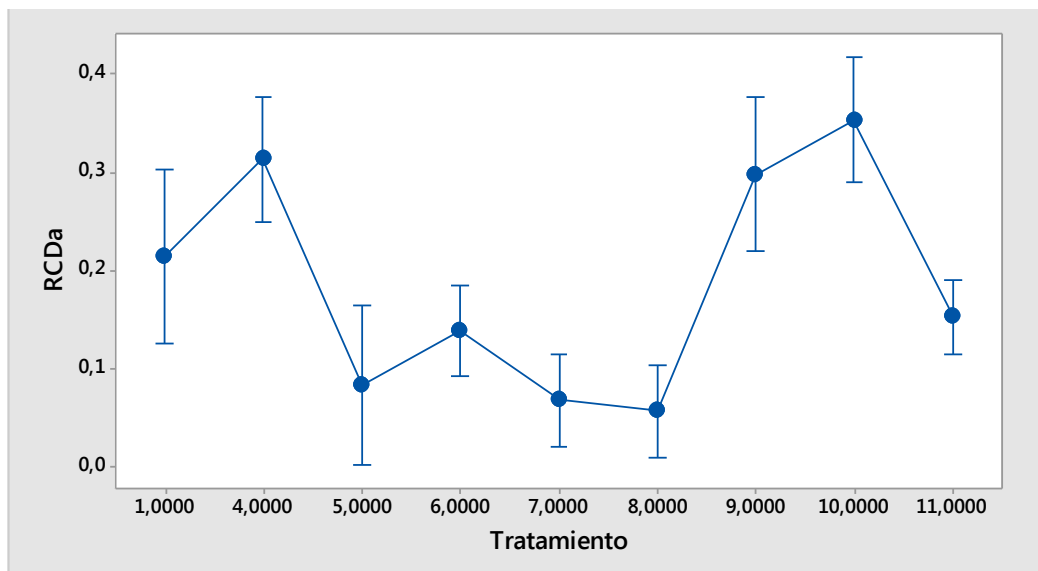


Figura 25. Valores de resistencia al corte con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arcillosos

2. Suelos tipo Franco arenoso

2.1 Resistencia a la penetración

Cuadro 21. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia a la penetración en suelos franco arenosos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Promedio</i>	<i>Grupo</i>
Antes	18	0.637	A
Cinzel+rotador	32	0.5245	A
Cinzel+discos+palin	35	0.4590	A
Cinzel	23	0.4507	A
Cinzel+palin	26	0.4232	A
Discos+palin	52	0.4043	A

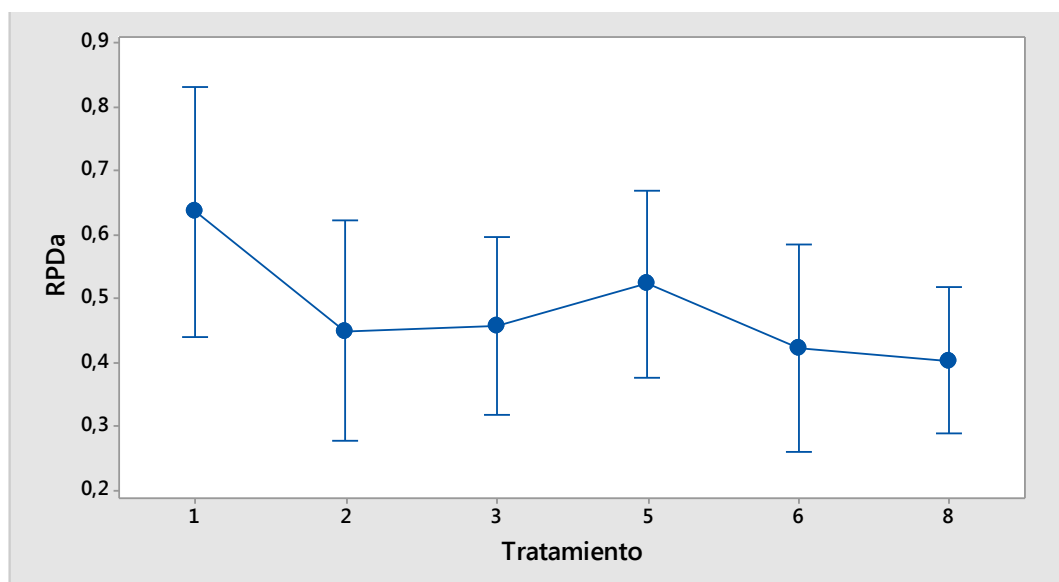


Figura 26. Valores de resistencia a la penetración con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arenosos

2.2. Resistencia al corte

Cuadro 22. Prueba de Tukey de la relación de los tratamientos con respecto a la resistencia al corte en suelos franco arenosos

<i>Tratamiento</i>	<i>N</i>	<i>Promedio</i>	<i>Grupo</i>
Cincel	23	0.1027	A
Cincel+palin	26	0.0816	A B
Cincel+rotador	32	0.0789	A B
Discos+palin	52	0.0775	A B
Cincel+discos+palin	35	0.0767	A B
Antes	18	0.0554	B

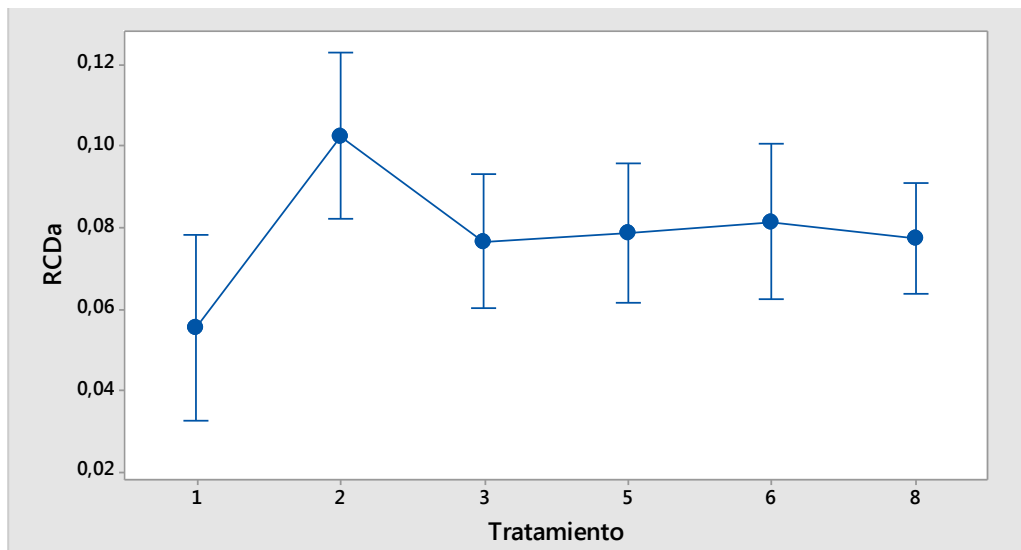


Figura 27. Valores de resistencia al corte con respecto a los tratamientos utilizados en suelos franco arenosos

Apéndice 12.7. Base de datos asociadas a la recolección y determinación de la cantidad de sedimentos y precipitaciones en las parcelas de esorrentía.

(Ver archivo digital)

Apéndice 12.8. Capacitaciones realizadas.

Visita a desembocadura del Río Reventazón Colegio de Parismina, Siquirres, Limón

Fecha: 18/05/2015

Agenda de la actividad:

Actividad	Hora inicial	Hora final
Llegada a la Barra del Parismina y recorrido por la desembocadura del río	9 am	9:30 am
Toma de muestras de sedimentos del río	9:30 am	9:45 am
Capacitación para estudiantes y personal docente del Colegio de Parismina	10 am	1 pm
Reunión con JACANA	2 pm	3 pm
Retorno	3:15 pm	

Contenidos de la capacitación:

1. Definición general de cuenca hidrológica
2. Definición general de hidrográfica
3. Características de la Cuenca del Río Reventazón
4. Importancia de la Cuenca del Río Reventazón y de COMCURE
5. Deterioro de la Cuenca del Río Reventazón por arrastre de sedimentos
6. Contaminación del agua por arrastre de sedimentos
7. Explicación de la erosión de suelos cuando el causante es la labranza
8. Medición de la erosión con parcelas de escorrentía
9. Parámetros en medición dentro de las parcelas de escorrentía
10. Concientización sobre el manejo y conservación de suelos y aguas

Material

1. Se entrega panfleto y material relacionado al personal del colegio
2. Presentación y motivación con filminas de power point

Hojas de asistencia

Divulgación Proyecto "cuantificación de la erosión hídrica en función de diferentes técnicas de mecanización para minimizar la contaminación del agua por

Colegio de Parismina
18 de mayo del 2015

Orden	Nombre	Nivel	Correo electrónico
1	Andy Egan Mayers	11	
2	Jeremy Tucker V	9	
3	DaniSan Ramirez D	11	
4	VOSTIN Duarte B	11	
5	Hendall Roberto D	10	
6	Alan Gusman Vasquez	7	
7	Jarald Ordóñez	7	
8	AXEL LÓPEZ C	8	
9	Whney Morales González	11	
10	Jafeth Alfaro M	11	
11	Ezequiel Smith B	7	
12	Rachell Mairena W.	7	
13	Sharon Medina Ch.	7	
14	Steven Fonseca R.	8	
15	Joseph Abelle M	7	
16	Demis Angulo	7	
17	Sharlun Torres Erree.	8	
18	Carlos Varegas Roque	7	
19	Cristófer	8	
20	Adrián Gómez varegas		
21	Charly Smith H	10°	
22	Nicole Sánchez G	8°	
23	Edith Betancourt D	8	
24	Yarlin Díaz C.	7°	
25	Melanni González G.	9°	
26	Ariel Gómez varegas		
27	Ashley Torres Gutierrez	7	
28	Diana Bell McKenzie Glez	10°	
29	Cristopher Gonzalez Gonzalez	10°	
30	Steve Garcia Duarte	7°	
31	Jorge Roque	8	
32	Caripiz Gonzalez Alfaro	7	
33	Elian Valverde Alvarado	9°	
34	Audín ox.	9°	
35	Dyanne Mairena T	10°	
36	Eddie Valverde A.	10°	
37	Isaac Garcia Diaz		
38	Devko Diaz Irias	8	
39	Laticiana Rodriguez	9°	

Divulgación Proyecto "cuantificación de la erosión hídrica en función de diferentes técnicas de mecanización para minimizar la contaminación del agua por

Colegio de Parismina
18 de mayo del 2015

Orden	Nombre	Nivel	Correo electrónico
40	Melany S Cortes	9º	
41	Jany Danel Fletes Trías	8º	
42	Maria Esmeralda Gonzalez	7º	
43	Anderson Quires Flores	7º	
44	Roxivi Medina Ch...	9º	
45	Meylin Vanegas Villarreal	8º	
46	Greivin Tob S...	8º	
47			
48			
49			
50			
51			
52			
53			
54			
55			
56			
57			
58			
59			
60			
61			
62			
63			
64			
65			
66			
67			
68			
69			
70			
71			
72			
73			
74			
75			
76			
77			
78			

Presentación didáctica utilizada en la capacitación:



INFORMACIÓN

- Se ubica en la vertiente Atlántica de CR
- Área de 2953 km²
- Equivalente al 5.20% del territorio nacional
- Población aproximada a los 500.000 habitantes.

LEYENDA: Costa Rica - Río Reventazón-páramo
 SRT - Cuenca Río Reventazón
 ORGANIZACIÓN: OIE-PRERCA-CORFORE
 CONTACTO: Mónica V. Salazar
 Email: mvasalazar@reventazon.gov.cr
 Teléfono: 22804443
 DIRECCIÓN: 1018-1006, San José
 P.O. BOX 1008, Heredia
 CARRERA 10
 TEL: 22010843

Población total: 550,000 personas
 Concentradas en las partes media y alta

Cultivos predominantes:
 flores, follaje, café, caña, banano, papa, cebolla y piña.

3.500 mm de precipitación anual

Importancia de la cuenca:

- 2,953.4 km² (3era en tamaño en el país)
- 11% de las exportaciones agrícolas de Costa Rica
- 25% de la energía hidroeléctrica
- 50% de la producción de cemento
- 50% del agua que produce el Área Metropolitana de San José

En la cuenca se da un importante almacenamiento y fijación de carbono, biodiversidad y agua, sobre todo en los parques nacionales ubicados en este territorio

Cuenca Media y Baja del Río Reventazón

Simbología

- Pobladós
- Ríos principales
- Microcuencas

ICE Reventazón y TURRIALBA

Cuenca Alta y Media del Río Reventazón



IMPORTANCIA

Suministra el 38% de la hidroelectricidad de país

El 50% del agua que consume el Área Metropolitana de San José

El 11 % de las exportaciones de productos agrícolas del país.



ACELERADO DETERIORO

Posibilitó la aprobación de la ley N° 8023.

COMCURE



UNO DE LOS GRANDES PROBLEMAS DE NUESTRA CUENCA



EROSIÓN DE SUELOS AGRÍCOLAS EN LA PARTE ALTA

LABRANZA DE SUELOS

Propuesta: Ing. Agrícola TEC - COMCURE



¿Qué se hace?

MEDICIÓN CON PARCELAS DE ESCORRENTÍA





RESULTADOS

- Recomendaciones sobre los implementos agrícolas menos erosivos para cada zona en medición

erosión

- Validar la labranza vertical sobre el volteo y el corte del suelo, con el fin de minimizar el pie de arado

Infiltración

- Demostrar que es mas económico para producir haciendo un uso adecuado de los recursos suelos y agua

REFLEXIÓN



Graficas de la visita:



Capacitación sobre Manejo y Conservación de Suelos

Hortifruti, Curridabat

Fecha: 01/04/2016

Descripción de la actividad:

La actividad es dirigida a los ingenieros agrónomos de Hortifruti, que supervisan actividades agrícolas de los productores proveedores de vegetales a la empresa, con el fin de que promuevan entre los agricultores el establecimiento de obras de conservación y con ello disminuir el aporte de sedimentos a los cursos de agua.

Contenidos de la capacitación:

1. Estado mundial del recurso suelo
2. Procesos de erosión
 - a. Salpicadura
 - b. Laminar
 - c. Surcos
 - d. Cárcavas
3. Degradación de suelos por erosión
 - a. Características
 - b. Niveles aceptables
4. Tipos de erosión
 - a. Erosión hídrica
Lluvia

Relación intensidad de lluvia-erosión

Relación frecuencia de lluvia-erosión
 - b. Erosión eólica
 - c. Clasificación agrológica de la erosión
5. Clasificación de Tierras
6. Técnicas agronómicas de conservación de suelos
 - a. Uso de codal
 - b. Barreras vivas
 - c. Cultivos a contorno (fajas)
 - d. Rotación de cultivos
 - e. Abonos verdes
 - f. Cultivos asociados
 - g. Cultivos cobertura

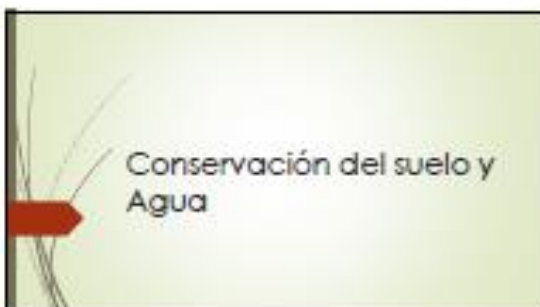
- h. Enmiendas orgánicas (mulch, abonos)
 - i. Cortinas rompevientos
7. Preparación de suelos
- a. Tipos de labranza
 - b. Implementos utilizados
 - c. Pie de arado
 - d. Compactación

Hoja de asistencia

Charla Manejo y Conservación del Suelo

Hortufruti, 01.04.2016

Nombre	Cédula
Vivian Morales Alemán	1-11 87 0 411
Marcos Salgado Cabrera	9-106-469
Lenina Araya Vargas	1-1085-0265
Isabel Gantarte	2-472-079
Edgardo Hidalgo	2-341-755
Lydia Orías Lozano	5.200-908
Juan Fco Estrada Delgado	442450493
Jimena Bonilla A.	1-1120-610.
Karen Alfaro R	1-11830351
Jose Daniel Quiros N.	1-1088-0106. jose.quiros@cca.co.cr.
Ramón Rodríguez C.	6.147.735
Mariana Culvo Carallini	112320169







Niveles aceptables de erosión

- Tasa tolerable de erosión:
 - Comparación de erosión en el mundo en áreas naturales o pastoreo de una o más hectáreas de suelo
- Tasa de formación del suelo = Tasa tolerable de erosión
 - La tasa de erosión no las funciones del suelo durante y cuando se alcanza la tasa de erosión natural o geológica

Niveles aceptables de erosión

- EEA para mantener calidad del agua = 1 ton/año
- Debería ser mantenido en un EEA 1.4 ton/año
- Ejemplo: Estados Unidos según 1 millón toneladas
Estados Argentina 1.0 mil toneladas

ton/año





Ejemplo de relación intensidad-erosión

Cuadro 1. Intensidad de la lluvia y pérdidas de suelo. Ciudad de Bogotá

Intensidad de la lluvia (mm/h)	Pérdida de suelo (t/ha/año)	Pérdida de suelo (kg/ha/año)
10	100	100000
20	400	400000
30	900	900000
40	1600	1600000
50	2500	2500000
60	3600	3600000
70	4900	4900000
80	6400	6400000
90	8100	8100000
100	10000	10000000

Fuente: Datos de la FAO (1980).

Ejemplo frecuencia-erosión

Cuadro 2. Frecuencia de eventos que causan Erosión Severa

Evento	Fecha de ocurrencia	Intensidad de la lluvia (mm/h)	Duración (h)	Volumen de lluvia (mm)	Área afectada (ha)	Pérdida de suelo (t/ha/año)	Pérdida de suelo (kg/ha/año)
1	10/01/2010	10	1	10	100	100000	1000000
2	20/02/2010	20	2	40	400	400000	4000000
3	30/03/2010	30	3	90	900	900000	9000000
4	40/04/2010	40	4	160	1600	1600000	16000000
5	50/05/2010	50	5	250	2500	2500000	25000000
6	60/06/2010	60	6	360	3600	3600000	36000000
7	70/07/2010	70	7	490	4900	4900000	49000000
8	80/08/2010	80	8	640	6400	6400000	64000000
9	90/09/2010	90	9	810	8100	8100000	81000000
10	100/10/2010	100	10	1000	10000	10000000	100000000

¿Cuál evento tuvo mayor Erosión?

Principios y base de clasificación agroclimática

Clima	Temperatura (°C)	Precipitación (mm/año)	Índice de aridez		Índice de humedad	Índice de sequía	Índice de pluviosidad
			Índice de aridez potencial	Índice de aridez real			
1	10-15	1000-2000	0.2-0.5	0.1-0.3	0.5-0.8	0.2-0.5	0.5-0.8
2	15-20	2000-3000	0.5-0.8	0.3-0.5	0.8-1.1	0.5-0.8	0.8-1.1
3	20-25	3000-4000	0.8-1.1	0.5-0.8	1.1-1.4	0.8-1.1	1.1-1.4
4	25-30	4000-5000	1.1-1.4	0.8-1.1	1.4-1.7	1.1-1.4	1.4-1.7
5	30-35	5000-6000	1.4-1.7	1.1-1.4	1.7-2.0	1.4-1.7	1.7-2.0
6	35-40	6000-7000	1.7-2.0	1.4-1.7	2.0-2.3	1.7-2.0	2.0-2.3
7	40-45	7000-8000	2.0-2.3	1.7-2.0	2.3-2.6	2.0-2.3	2.3-2.6
8	45-50	8000-9000	2.3-2.6	2.0-2.3	2.6-2.9	2.3-2.6	2.6-2.9
9	50-55	9000-10000	2.6-2.9	2.3-2.6	2.9-3.2	2.6-2.9	2.9-3.2
10	55-60	10000-11000	2.9-3.2	2.6-2.9	3.2-3.5	2.9-3.2	3.2-3.5

Ejemplo de clasificación de tierras.

En una parcela en Santa Rosa de Píscar (Ica) Carlos organizó los datos siguientes:

- Presencia LUFA
- Suelos: salinos ligeros a brava
- Profundidad efectiva en los de 100 cm
- Taxares en el suelo: bromos, arizales
- Taxares en el subsuelo: acedías, con menos del 90% de la cilla
- Sil pedregosidad
- Presencia malla
- Sin presencia de toxicidad y salinidad
- Clima: mesotermicamente húmedo
- Clasificación de humedad: más
- Clasificación de clima: Biogeográfico: Húmedo Tropical
- Período: semi-irregular
- Riesgo: problemas por riego y viento

Ejemplo de clasificación de tierras.

Este es un ejemplo de una tabla de clasificación de tierras que detalla los datos recopilados en la parcela mencionada en el ejemplo anterior.

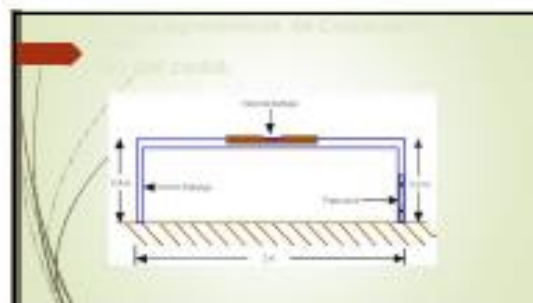


Instrumento para hacer curvas de nivel o derivar en el campo, y cualquier obra de conservación que requiera pendiente.

Instrumento para hacer curvas de nivel o derivar en el campo, y cualquier obra de conservación que requiera pendiente.

Pendientes < 7% se puede hacer surcos, en contorno a la pendiente.

Pendientes > 7% Necesario hacer obras de tipo estructural.





Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Barreras vivas:

Barra viva de *Passiflora*
 Se establece en líneas simples o dobles paralelas en el borde del cultivo. Se siembra una vez al año, según el tipo de cultivo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Barreras vivas:

- El distanciamiento de la barrera viva depende del tipo de cultivo.
- En pendiente de hasta el 12% o mayores.
- En cultivos limpios el espaciamiento debe ser menor.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Barreras vivas:

Cuadro 21. Distancia horizontal de barreras vivas.

Cuadrado (m)	Cultivos de maíz	Cultivos de papa
10	10	10
15	15	15
20	20	20
25	25	25
30	30	30
35	35	35
40	40	40

Nota: Fuente: FAO.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Barreras vivas:

- Las distancias de plantas entre barreras de plantas debe ser de 12 cm y entre líneas de 20 - 30 cm.
- Algunas veces se utiliza una fila de plátano permanentemente como cobertura, o sin de árboles.
- Se establecen las barreras en contornos cuando una pendiente más alta de 12% o 17. Barreras vivas cuando esto se deben utilizar con riego mecánico.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos en fajas:

- En cada sistema se cultiva el cultivo en fajas y barreras vivas.
- Es recomendable tener una franja de cultivo que sea el ancho o más de cultivos limpios.
- En terrenos marginales con pendientes del 1 al 10%.
- El cultivo puede ser maíz, papa, cebolla, etc.
- El uso de abonos orgánicos y minerales en las fajas de cultivo.
- El uso de abonos orgánicos y minerales en las fajas de cultivo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.
Cultivos en fajas:



Cultivos en fajas alternan cultivos con pendientes irregulares en varias direcciones, se pueden utilizar fajas de cultivos limpios de modo uniforme y fajas de vegetación densa de forma permanente.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.
Cultivos en fajas:

El cultivo en fajas se realiza en terrenos de las pendientes del terreno y del tipo de manejo que tenga el suelo.

Análisis de fajas: función de pendiente y distancia.

Pendiente %	Análisis de las fajas	
	Radio (en metros)	Área (en dm ² por hectárea o dm ²)
10-15	30	30
15-20	20	20
20-25	15	15

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.
Rotación de cultivos:

Implementación de cultivos alternativos sobre un área de terreno.

El cultivo es sembrado en un área ocupada, hasta después una cosecha, conservar y mejorar la fertilidad del suelo, prevenir y controlar plagas y enfermedades, aumentar la oferta de productos.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.
Rotación de cultivos:

✓ Rotación en áreas férricas: El terreno se explota por un solo cultivo, substituido en épocas de lluvia por cultivos de cereales.

Rotación en áreas férricas:



Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.
Rotación de cultivos:

✓ Rotación por fracciones: En este caso, dependiendo de la vida de la rotación, así se fraccionan al área que se va a explotarla.

Rotación:



1 - 1ra fr. M - 2da fr. V - 3era fr. - 4ta fr.

40% 1 40% 2 40% 3 40% 4

Se debe tener presente que en la rotación por fracciones, el área de explotación se divide en fracciones de explotación, cada una con su propia fertilización y manejo, lo que permite un mayor aprovechamiento del suelo y de los recursos disponibles.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.
Abonos verdes:

Consiste en sembrar una especie determinada de planta, con la finalidad de incorporar al suelo.

En el desarrollo la planta protege al suelo del impacto de la lluvia, al llegar a la madurez, la leguminosa se incorpora como abono.

Aporte nitrógeno, en especial cuando son leguminosas.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Abonos verdes:

- Presentan características que favorecen el suelo.
- Deben ser de una descomposición rápida.
- Poser gran cantidad de masa folia, para favorecer mayor humedad y mayor cantidad de humedad.
- Deben ser fáciles para poder manejarlos con maquinaria adecuada.
- De algún crecimiento.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos asociados:

- Se le conoce como cultivos múltiples.
- Consiste en intercalar varios cultivos en una unidad de terreno.
- Se forman diferentes estratos, lo que da una excelente protección al suelo del impacto de las gotas de lluvia.
- Se aplican tanto en zonas planas como de ladera y en cultivos anuales y perennes o en combinación de ambos.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos asociados:

- Deben presentar diferentes ciclos de crecimiento, para permitir un uso más eficiente del tiempo, y facilitar que lo sembrado y cosechado se beneficie el cultivo en forma sucesional y permitiendo una cobertura permanente al suelo.
- Uno de los problemas con los cultivos asociados es que se dificulta la mecanización, aumentando el mano de obra.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos asociados:

✓ Índice de cobertura: (I.C.)

Diagrama de cobertura en cultivo asociado:

- Se define como el número de días que la cobertura permanece cubriendo el cultivo y el terreno de una zona del año.
- Uno de los problemas que se le ocurre al agricultor es que se reduce la mecanización de las labores de mantenimiento del cultivo, ya que se debe hacer el mantenimiento de la cobertura durante el año.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos de cobertura:

- Funcionan en sueltas (sueltos) o en asociación (asociados).
- El cultivo se deja sobre el terreno después de la cosecha para proteger el suelo, en forma de servicio como cobertura muerta.
- La cantidad de cobertura que se cubre es del orden del 7 al 15 toneladas.
- Perdidas de hasta 20%.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos de cobertura:

- Cualquier material que pueda cubrir como cobertura: hojas de terreno, tierra de café, etc.
- La cobertura se le permite una mayor infiltración del agua y aumentar la capacidad de retención de humedad del suelo.
- Cobertura viva son plantas anuales o perennes de rápido crecimiento y raíces profundas que se interaccionan con el suelo (perennes) para una cobertura del suelo a través de la erosión y desmenuzamiento.
- Como la cobertura se reduce la erosión del suelo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos de cobertura:



Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos de cobertura:

- Gran poder de absorción e fijación, a veces acumulando nitrógeno.
- Alta compatibilidad con los cultivos principales.
- Resistencia al viento y erosión.
- Se adaptan preferencialmente a especies leguminosas y que forman raíces cilíndricas.
- Dañan al espacio cultivado de la zona.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cultivos de cobertura:

En Chile existen diferentes especies como:

- Arveja (Phaseolus vulgaris) utilizada en la región de Maipo.
- Uña de vaca (Crotalaria) utilizada en la zona de la zona de Maipo.
- Cavello (Crotalaria) utilizada en la zona de Maipo y Norte.
- Alfalfa (Medicago sativa) utilizada en la zona de Maipo y Norte.
- Trébol (Lotus corniculatus) utilizado en la zona de Maipo y Norte.
- Trébol (Lotus corniculatus) utilizado en la zona de Maipo y Norte.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Enmiendas orgánicas:

- Adiciona materia orgánica beneficiando las propiedades físicas y químicas del suelo.
- Residuos de cosechas, estiércol y residuos de procesos industriales o de productos agrícolas, compost.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Residuos orgánicos:

Residuos de cosechas:

- Mejoran la producción del suelo, sus propiedades, así como las relaciones de interacción.
- Aumentan la capacidad de retención del agua.

Una cobertura del 30% o superior reduce la erosión en la mayoría de suelos, de acuerdo con los resultados de los estudios realizados en Chile.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Después del uso de residuos de cosechas sobre el suelo, se debe considerar la opción de incorporar al suelo.

Residuos	Resistencia (%)	Perdida de nutrientes (%)
1	10	10
2	20	20
3	30	30
4	40	40

El suelo se puede dejar sobre la superficie del suelo para evitar erosión y evaporación o incorporarlo al suelo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Enmiendas orgánicas:

✓ **Preparación de estiércol**

- Estiércol de vacas, cerdos, aves, equinos, vacas, etc.
- Aplicar los nutrientes de los...
- El estiércol de vacas, cerdos y equinos, contiene un alto porcentaje de N y P.
- El estiércol de las vacas tiene un contenido de N y P...
- Se debe almacenar en...
- Preparación de estiércol...

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Enmiendas orgánicas:

✓ **Preparación de estiércol**

- Este estiércol se debe preparar y aplicar...
- Estiércol preparado por...
- Se debe almacenar en...
- Se debe aplicar en...

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Enmiendas orgánicas:

✓ **Uso de abonos**

- Aplicación de materia orgánica...
- Se debe aplicar en...
- Se debe aplicar en...
- Se debe aplicar en...

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Enmiendas orgánicas:

✓ **Uso de abonos**

- Se debe aplicar en...
- Se debe aplicar en...
- Se debe aplicar en...
- Se debe aplicar en...

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Enmiendas orgánicas:

✓ **Uso de abonos**

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Enmiendas orgánicas:

✓ **Uso de abonos**

- Se debe aplicar en...
- Se debe aplicar en...

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Corfinas rompevientos:

- Truncado de fuertes vientos que afectan a los cultivos.
- Evita el exceso de humedad al reducir el viento.
- Las corfinas que se utilizan para reducir el viento, reducen la evaporación, reducen el riesgo de heladas y reducen el riesgo de congelamiento.
- Las corfinas ayudan al control de la erosión del suelo.
- Protegen una especie o la combinación de especies al reducir el riesgo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Corfinas rompevientos

- Las corfinas ayudan a reducir el viento, reducen la evaporación, reducen el riesgo de heladas y reducen el riesgo de congelamiento.
- Protegen una especie o la combinación de especies al reducir el riesgo.
- Las corfinas ayudan al control de la erosión del suelo.
- Protegen una especie o la combinación de especies al reducir el riesgo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Corfinas rompevientos:

- Las corfinas ayudan al control de la erosión del suelo.
- Protegen una especie o la combinación de especies al reducir el riesgo.
- Las corfinas ayudan al control de la erosión del suelo.
- Protegen una especie o la combinación de especies al reducir el riesgo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Corfinas rompevientos:

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Corfinas rompevientos:

Los vientos se pueden dividir en función de su velocidad en:

- Intensos** → Árboles y plantas
- Artificiales** → Barreras artificiales (árboles o plantas) / Sistemas de riego

En los vientos intensos se pueden utilizar árboles que se agitan en función de la altura que se quiere. En algunos casos se utilizan corfinas de maíz, pasto gigante y en otros casos árboles de altura considerable como: arboles, corfinas, etc.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Corfinas rompevientos:

- Las corfinas ayudan al control de la erosión del suelo.
- Protegen una especie o la combinación de especies al reducir el riesgo.
- Las corfinas ayudan al control de la erosión del suelo.
- Protegen una especie o la combinación de especies al reducir el riesgo.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cortinas rompevientos:

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cortinas rompevientos:

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cortinas rompevientos:

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cortinas rompevientos:

- Al construir cortinas para salvar una zona deben de tenerse en cuenta algunos factores:
- La zona protegida por una cortina rompevientos debe ser de 10 a 15 veces el altura de la cortina para que sea efectiva en reducir el viento y así la altura del tallo coincide la dirección.
- En zonas que son de suelos de arenosos se debe tener un espaciamiento de 7 metros la altura de la cortina.

Técnicas Agronómicas de Conservación de Suelos.

Cortinas rompevientos:

- Además la cortina se establece se puede sembrar en forma temporal un tipo de pasto que ayude a mejorar el suelo, como el Trifolio gris (Perennial paspalum).
- La densidad de las cortinas rompevientos es que se fundan en forma inmediata.

Preparación de suelos

- Conjunto de prácticas tales como la limpieza, rotación, cultivo, abono y en sus respectivas del suelo en donde se desea cultivar.
- Dejarlo en estado las condiciones ideales para la germinación y desarrollo de cultivos.

Etapas de labranza

- **Arado:** hacer limpiar el terreno para facilitar el ingreso de agua de lluvia para mejorar la humedad.
- **Labranza primaria:** limpiar el suelo agrario con una máquina agrícola apropiada para hacer el terreno y abono.
- **Labranza secundaria:** hacer de nuevo el suelo agrario de germinación producidos en el fase anterior, preparando la zona de campo para la siembra de semillas.

Labranza horizontal o volteo

- Impulsión que sólo preparan el suelo o simplemente, en los suelos de agua se voltean albedamente, distribuyendo la humedad en el suelo a la profundidad de trabajo.

Labranza vertical

- Impulsión independiente como, directa y subterránea en la que se rompe los capos horizontales, más voluta de los horizontes en los labros verticales, muelle por los horizontes.

Efectos de la labranza horizontal sobre las propiedades físicas del suelo.

Labranza horizontal o volteo
Aumenta movilidad del suelo
Menor capacidad de agregación
Disminución estructura
Mayor compactación en la superficie, reduciendo porosidad

Efectos de la labranza vertical sobre las propiedades físicas del suelo.

Labranza vertical
Mayor infiltración
Mayor drenaje
Aumento estructura

Implementos utilizados en la preparación del suelo

- Arado de moldes: realiza el perfilado del suelo, esto es, prepara una línea del arado independiente, principalmente dependiente de la superficie.

Arado de moldes	Arado de discos
Prepara el perfilado	Realiza el arado subterráneo
Mayor capacidad de trabajo de agua	Realiza el arado profundo para labrar todo el suelo
Arado de moldes, pliego y arado de discos	Arado de discos, arado de moldes, arado de discos
Arado de moldes de arado	Arado de discos, arado de moldes, arado de discos



Arado de discos

- Arado de discos: realiza el arado de los suelos que arado de moldes, pero a fondo independiente de la línea de un arado con poco consistencia.

Arado de discos	Arado de discos
Trabaja bien en terrenos con pendientes	El arado de discos de arado de moldes
Realiza el arado de moldes con arado de discos	El arado de discos de arado de moldes
No se necesita el suelo del arado de moldes	Arado de discos



Arado de cincel

Conocido como arado de punta de cincel, sirve para romper el suelo, al mismo tiempo que se oxigena.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aumenta la cantidad de aire	No recomendado en terrenos húmedos
Facilita la circulación y absorción del agua	Desgaste del parachoques
Menor resistencia	Alta potencia necesaria
	Alta velocidad de trabajo



Arado rotativo

Conocido como arado muy usado en la zona norte de Catalunya por el ahorro de combustible que proporciona al sistema.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Poco una gran eficiencia	Desgasta la estructura del suelo
Utilizado para la mezcla de cal, greda o abono	Se evita compactación en el suelo
material	



Subsolador

Implemento para labores pesadas, debido a que las profundidades alcanzadas son mayores que con otros tipos de arado. Puede romper el subsuelo.

VENTAJAS	DESVENTAJAS
Aumenta el drenaje y capacidad de almacenamiento de agua	Alta potencia necesaria
Operación económica superficial	No apto para terrenos muy húmedos



Presentación de resultados a la Junta Directiva y Comité Técnico de COMCURE

Fecha : 16 de diciembre 2016 y 9 de febrero 2017

Lugar: oficina de COMCURE y Agencia del MAG Llano Grande

Hoja de asistencia:

www.tec.ac.cr



Cuantificación de la Erosión Hídrica en Función de Diferentes Técnicas de Mecanización para Minimizar la Contaminación del Agua por Sedimentos en la Parte Alta de la Cuenca del Río Reventazón

Presentación de resultados a Comité Técnico - Extensionistas del Ministerio de Agricultura y Ganadería Cartago (MAG) - 09/02/2017

N°	Nombre	Firma	Correo electrónico
1	Héctor Fuentes Martínez		h.fuentes@icrc.gov.cr
2	Carlos Amador Araya		camador@sfe.gov.cr
3	Alvaro Chaves B.		achaves@mog.gov.cr
4	Jairo González Z		Jgonzalez@mog.gov.cr
5	Gandra Navarro N		gnavarro@bncr.fi.cr
6	Guillermo Guillén S		gguilla@mag.gov.cr
7	Bartolomé Molina Domínguez		bmolina@mag.gov.cr
8	Yvonne Alvarado U		yalvarado@mag.gov.cr
9	Monica Zúñiga Castañeda		mzunga@mag.gov.cr
10	Eric Orozco Barreda		eric.orozco.comcure@gmail.com
11	Sadi Laporte M		laporte.sadi@gmail.com
12			
13			
14			
15			
16			

Presentación utilizada:

Escuela de Ingeniería Agrícola

TEC Tecnológico de Costa Rica

COMCUC Comisión Costarricense de Investigación y Enseñanza en la Cuenca del Reventazón

MINAET Ministerio de Agricultura, Ganadería y Acuicultura

Cuantificación de la Erosión Hídrica en Función de Diferentes Técnicas de Mecanización para Minimizar la Contaminación del Agua por Sedimentos en la Parte Alta de la Cuenca del Río Reventazón

Natalia Gómez Calderón
Milton Solórzano Quintana
Karolina Villagra Mendoza

Febrero, 2017

Introducción

Encuesta a productores agrícolas de cantones de Oreamuno y Cartago
55% en pendientes entre el 10 y 15%
La mayoría en terrenos de producción inferiores a 4 ha

Tipo de tracción	Porcentaje de uso
Tracción animal (únicamente)	20,6%
Tracción mecánica, incluyendo uso parcial de tracción animal en surcado	77,0%
Equipos menores (monocultores)	1,20%
Herramientas manuales (únicamente)	1,20%

Introducción

Utilización de las fincas de los productores encuestados

● Área de estudio
▲ Ubicación de fincas agrícolas

Proyección: Cylíndrico
Zona Norte de Cartago
Costa Rica

Haga clic para ampliar el mapa
Escala: 1:50.000

Realizado por:
Ing. Ferrnando Vilatoro Hernández

Instalación de parcelas

Diseño experimental

Ejemplo

Parcela 1	Parcela 2	Parcela 3	Parcela 4	Parcela 5
Cinzel	Cinzel	Rastra Rotativa	Cinzel	Palin
Rastra Rotativa	Rastra Rotativa	Rastra Rotativa	Palin	Palin
Palin	Palin	Palin	Palin	Palin
Parcela 6	Parcela 7	Parcela 8	Parcela 9	Parcela 10
Cinzel	Cinzel	Rastra Rotativa		Rastra rotativa
Rastra Rotativa	Rastra Rotativa	Rastra Rotativa	Palin	Rastra rotativa
Palin	Palin	Palin	Palin	Palin
Parcela 11	Parcela 12	Parcela 13	Parcela 14	Parcela 15
Cinzel		Rastra Rotativa	Cinzel	Rastra rotativa
Rastra Rotativa	Palin	Rastra Rotativa	Palin	Rastra rotativa
Palin	Palin	Palin	Palin	Palin

Tratamientos utilizados

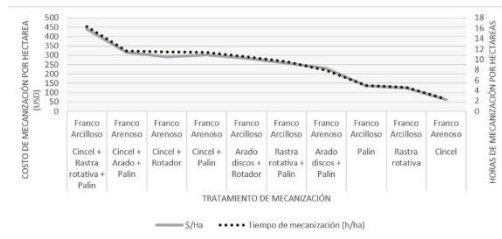
N. Tratamiento	Tratamiento de mecanización	Acónimo
1	Antes de mecanizar	Antes
2	Arado de Cinzel	C
3	Arado de Cinzel + Arado de discos + Palin	C+AD+P
4	Arado de Cinzel + Rastra Rotativa + Palin	C+RR+P
5	Arado de Cinzel + Rotador	C+R
6	Arado de Cinzel + Palin	C+P
7	Arado discos + Rotador	AD+R
8	Arado discos + Palin	AD+P
9	Rastra rotativa	RR
10	Rastra rotativa + Palin	RR+P
11	Palin	P

Velocidad de avance de implementos utilizados en las labranzas

Tipo de suelo	Implemento	Velocidad de avance (km/h)	Desviación estándar (km/h)
Franco arenoso (Fa)	Arado de cinzel	11,13	0,60
	Arado de discos	23,87	0,73
	Palin	4,61	0,35
	Rotador	6,18	0,53
Franco Arcilloso (FA)	Arado de cinzel	3,92	0,67
	Palin	3,20	0,16
	Rastra rotativa	5,01	0,98
	Rotador	4,83	0,17

Rangos adecuados según recomendación de fabricantes de los equipos

Tiempo y costos por tratamiento de labranza



Patinaje de ejes del tractor utilizado



Relaciones entre tratamientos y propiedades físicas y mecánicas del suelo



*a 25 cm de profundidad

RELACIÓN RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN Y DENSIDAD APARENTE DEL SUELO

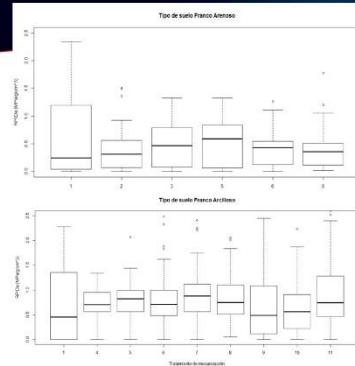
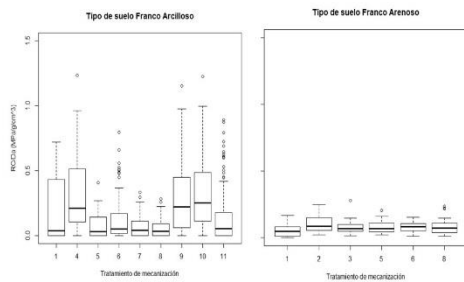
Mayores relaciones indican mayor compactación por labranza

RELACIÓN RESISTENCIA AL CORTE Y DENSIDAD APARENTE DEL SUELO

Mayores relaciones indican mayor estabilidad de los agregados del suelo

En el Apéndice 9.7, se muestran los análisis de Tukey de las variables

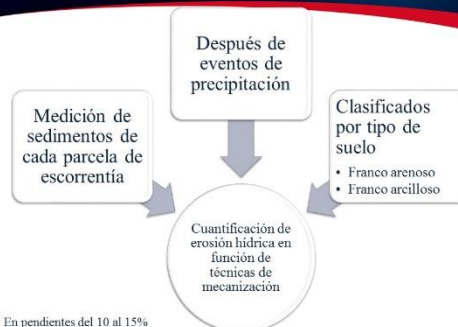
Resistencia al corte



Calificación (costo-RP/Da-RC/Da)

Tipo de suelo	Tratamiento recomendado en orden descendente	Calificación total
Francos arenosos	Arado de Cinzel	7
	Arado discos + Palín	5
	Arado de Cinzel + Palín	4
	Arado de Cinzel + Rotador	3
	Arado de Cinzel + Arado de discos + Palín	3
Francos arcillosos	Rastra rotativa	8
	Rastra rotativa + Palín	7
	Palín	6
	Arado de Cinzel + Palín	4
	Arado de Cinzel + Rastra Rotativa + Palín	4
	Arado de discos + Palín	4
	Arado discos + Rotador	3
	Arado de Cinzel + Rotador	2

Erosión por labranza



* En pendientes del 10 al 15%

Bodega de sedimentos



Coefficientes de tasas de erosión por unidad de lluvia

Localidades	Tratamiento de mecanización	Promedio de Tasa de erosión (Ton/ha/mm)	Desviación de Tasa de erosión (Ton/ha/mm)
Capellades	Arado discos + Palin	0,0331	0,0160
	Arado discos + Rotador	0,0450	0,0071
	Cinzel + Palin	0,0064	0,0027
	Cinzel + Rotador	0,0475	0,0056
	Palin	0,0299	0,0028
Llano Grande	Arado + Palin	0,0202	0,0003
	Cinzel	0,0184	0,0007
	Cinzel + Arado + Palin	0,0326	0,0012
	Cinzel + Palin	0,0076	0,0002
	Cinzel + Rotador	0,0084	0,0002
Tierra Blanca - Cot	Cinzel + palin	0,0091	0,0014
	Cinzel + Rastra rotativa + palin	0,0164	0,0024
	Palin	0,0150	0,0016
	Rastra rotativa	0,0084	0,0013
	Rastra rotativa + palin	0,0190	0,0030

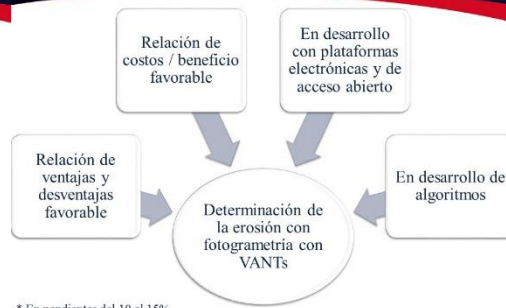
Tasas de erosión mensuales y anuales en función de la precipitación (acumulada)

Tratamiento de mecanización	Tipo de suelo	Tasa de erosión mensual ¹ (Ton/ha)	Tasa de erosión anual ² (Ton/ha)
Cinzel + Palin	Franco arenoso	1,526792	9,160751
Cinzel + Palin	Franco arcilloso	1,546155	9,276929
Cinzel + Rotador	Franco arenoso	1,671159	10,026956
Rastra rotativa	Franco arcilloso	1,678618	10,071710
Cinzel + Rastra rotativa + Palin	Franco arcilloso	3,254893	19,529359
Cinzel	Franco arenoso	3,681287	22,087723
Rastra rotativa + Palin	Franco arcilloso	3,790701	22,744208
Arado + Palin	Franco arenoso	4,041567	24,249400
Palin	Franco arcilloso	4,498875	26,993248
Cinzel + Arado + Palin	Franco arenoso	6,520681	39,124084
Arado discos + Palin	Franco arcilloso	6,613126	39,678753
Arado discos + Rotador	Franco arcilloso	9,005589	54,033532
Cinzel + Rotador	Franco arcilloso	9,492290	56,953739

¹ Para el cálculo de la tasa de erosión mensual se considera una precipitación promedio mensual de 200 mm.

² Precipitación anual considerando 6 meses de época lluviosa.

Alternativa a la medición con parcelas de escorrentía



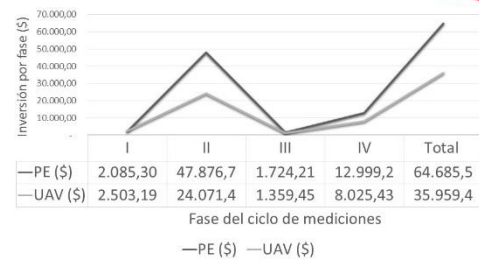
* En pendientes del 10 al 15%

Estimación de la erosión por tipo de labranza utilizada

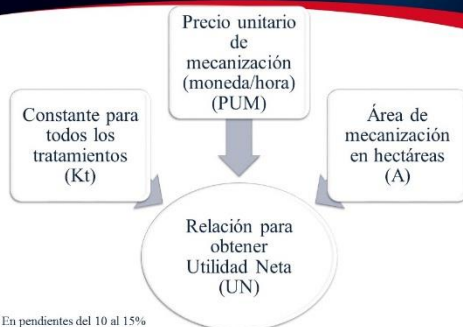
Tratamiento de mecanización	Tipo de suelo	Erosión estimada ¹	R
Arado discos + Palin	Franco arcilloso	$E = 0,0331 \cdot P$	0,97
Arado discos + Rotador	Franco arcilloso	$E = 0,0450 \cdot P$	0,96
Cinzel + Palin	Franco arcilloso	$E = 0,0064 \cdot P$	0,95
Cinzel + Rotador	Franco arcilloso	$E = 0,0475 \cdot P$	0,93
Palin	Franco arcilloso	$E = 0,0299 \cdot P$	0,93
Arado + Palin	Franco arenoso	$E = 0,0202 \cdot P$	0,93
Cinzel	Franco arenoso	$E = 0,0184 \cdot P$	0,92
Cinzel + Arado + Palin	Franco arenoso	$E = 0,0326 \cdot P$	0,93
Cinzel + Palin	Franco arenoso	$E = 0,0076 \cdot P$	0,94
Cinzel + Rotador	Franco arenoso	$E = 0,0084 \cdot P$	0,94
Cinzel + palin	Franco arcilloso	$E = 0,0091 \cdot P$	0,92
Cinzel + Rastra rotativa + palin	Franco arcilloso	$E = 0,0163 \cdot P$	0,92
Palin	Franco arcilloso	$E = 0,0151 \cdot P$	0,93
Rastra rotativa	Franco arcilloso	$E = 0,0084 \cdot P$	0,93
Rastra rotativa + palin	Franco arcilloso	$E = 0,0189 \cdot P$	0,88

¹ Donde, E: Erosión en Ton/ha. P: Precipitación acumulada en mm. R: Coeficiente de correlación de Pearson

Comparación de inversión en la determinación de la erosión por labranza entre parcelas de escorrentía y fotogrametría con UAV



Tasa de erosión en función de la utilidad



* En pendientes del 10 al 15%

Tasa de erosión en función de la utilidad

Tratamiento de mecanización	Tipo de suelo	Tasa de erosión anual ¹ (Ton/ha)	Relación para obtener Utilidad Neta
Cinzel + Palin	Franco arenoso	9,160751	$Kt - (11,38 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Cinzel + Rotador	Franco arenoso	10,026956	$Kt - (11,44 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Rastra rotativa	Franco arcilloso	10,071710	$Kt - (4,62 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Cinzel + Rastra rotativa + Palin	Franco arcilloso	19,529359	$Kt - (16,26 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Cinzel	Franco arenoso	22,087723	$Kt - (2,38 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Rastra rotativa + Palin	Franco arcilloso	22,744208	$Kt - (9,59 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Arado + Palin	Franco arenoso	24,249400	$Kt - (7,88 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Palin	Franco arcilloso	26,993248	$Kt - (4,97 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Cinzel + Arado + Palin	Franco arenoso	39,124084	$Kt - (16,26 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$
Arado discos + Rotador	Franco arcilloso	54,033532	$Kt - (10,52 \cdot X \cdot PUM \cdot X \cdot A)$

Conclusiones

Resumen de los mejores tratamientos de mecanización en función de la tasa de erosión, tipo de suelo y utilidad neta esperada

Tratamiento de mecanización mejor calificado	Tipo de suelo en Zona Norte de Cartago (pendientes del 10 al 15%)	
	Franco arcilloso	Franco arenoso
Cinzel + Palín	Tasa de erosión aceptable	Tasa de erosión aceptable
	Utilidad no aceptable	Utilidad aceptable
Cinzel + Rotador	No recomendado	Tasa de erosión aceptable
		Utilidad aceptable
Rastra rotativa	Tasa de erosión aceptable	Se debe evaluar
	Utilidad aceptable	

- Se recomienda utilizar las pruebas de patinaje en la Zona Norte de Cartago en la labranza con el fin de utilizar los implementos y lastre adecuado para un buen manejo de suelos.
- En suelos franco arcillosos la resistencia al corte con respecto a la densidad aparente es mayor en tratamientos como rastra rotativa con palín, cinzel con rastra rotativa y palín, y solamente rastra rotativa.
- La resistencia al corte es menor en los suelos arenosos, lo que indica que presentan una mayor susceptibilidad a la erosión ante los tratamientos utilizados.

Conclusiones

- Arado de cinzel con palín y arado de cinzel con rotador en el suelo franco arenoso, y los tratamientos arado de cinzel con palín y solamente rastra rotativa en los suelos franco arcillosos, son los que se relacionan con tasas de erosión menores a 12 Ton/ha/año.
- El rotador, no se recomienda para suelos de texturas finas debido a la desestructuración que ocasiona a nivel superficial del suelo
- Para suelos franco arcillosos el tratamiento recomendado por producir menor erosión y mayor utilidad es la rastra rotativa, y en suelos arenosos se recomienda la combinación de cinzel con palín por producir una menor tasa de erosión con una utilidad neta esperada mayor.

Conclusiones

- Todos los sistemas de labranza de suelos recomendados, son sistemas de labranza vertical de suelos.
- Se recomienda establecer un plan de incentivos para los agricultores, con el fin de que migren a los sistemas de labranza recomendados.





TEC | Tecnológico
de Costa Rica



Escuela de Ingeniería Agrícola
Carrera acreditada 2016 - 2022

Natalia Gómez Calderón
Milton Solórzano Quintana
Karolina Villagra Mendoza

Apéndice 12.9. Folleto Informativo

Se adjunta en formato digital.