



Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar



# Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar

Guía metodológica

Luis Arnoby Rodríguez Hurtado  
Jhon Jairo Valencia Montenegro



**Serie:** Sistema de  
producción agrícola

# El autor

## **Luis Arnoby Rodríguez Hurtado**

Ingeniero mecánico de la Universidad Tecnológica de Pereira, realizó estudios de maestría en Texas A&M University-Kingsville y estudios de doctorado en Louisiana State University. Ha trabajado en docencia e investigación. Fue profesor titular en la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, donde obtuvo el Premio a la Extensión Solidaria y le fueron otorgadas las distinciones de Profesor Emérito y a la Excelencia Académica. Fue investigador en el área de Mecanización Agrícola en Cenicaña entre 2006 y 2013. Ponente en congresos y seminarios nacionales e internacionales y autor de artículos publicados en revistas nacionales e internacionales y de ponencias publicadas por The American Society of Agricultural and Biological Engineers (ASABE) y The Society of Automotive Engineers (SAE).

## **Jhon Jairo Valencia Montenegro**

Ingeniero agrícola de la Universidad del Valle, realizó estudios de maestría en la Universidad Nacional de Colombia. En 2009 ingresó a Cenicaña como joven investigador y posteriormente se desempeñó como ingeniero de mecanización, hasta 2014. Ha publicado artículos en revistas internacionales acerca de la preparación de suelos y la compactación asociada al tráfico de equipos agrícolas. Además, ha presentado ponencias en eventos de alcance nacional e internacional. En 2012 compartió el reconocimiento al Mejor Trabajo de Investigación Aplicada presentado en el VIII Congreso de la Asociación de Técnicos Azucareros de Latinoamérica y el Caribe (ATALAC) y IX Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos Azucareros (Tecnicaña). Desde el 2011 ha combinado las labores de investigación con la docencia universitaria para aportar a la formación de profesionales en la Universidad del Valle.

# Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar

Guía metodológica





Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar



# Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar

Guía metodológica

Luis Arnoby Rodríguez Hurtado  
Jhon Jairo Valencia Montenegro



**Serie:** Sistema de  
producción agrícola

Rodríguez Hurtado, Luis Arnoby

Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar. Guía metodológica / Luis Arnoby Rodríguez; John Jairo Valencia Montenegro. – Cali: Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia, 2015.

164 p.; 28 cm. (Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar. Sistema de producción agrícola).

ISBN 978-958-8449-16-6

Incluye referencias bibliográficas

1. Caña de azúcar. 2. Preparación de suelos. 3. Suelos. 4. Mecanización agrícola. 5. Implementos. 6. Labranza. 7. Transferencia de tecnología.

I. Título. II. Valencia Montenegro, John Jairo

631.4 CDD 23 ed.

R696

Cenicaña – Biblioteca Guillermo Ramos Núñez

Copyright © 2015 por Cenicaña®

Dirección postal: Calle 58 Norte 3BN-110. Cali, Colombia.  
Estación Experimental: vía Cali-Florida km 26,  
San Antonio de los Caballeros, Colombia.

www.cenicana.org  
buzon@cenicana.org

Septiembre de 2015

Todos los derechos reservados.

Prohibida la reproducción total o parcial de este libro, por cualquier medio, sin permiso de Cenicaña.

Producción editorial: Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología (SCTT, Cenicaña).

Estrategia de transferencia de tecnología: Camilo H. Isaacs E., jefe SCTT.

Asesoría en gestión del conocimiento: Vicente Zapata Sánchez, consultor.

Nota: esta guía metodológica y las ayudas didácticas relacionadas hacen parte de la Colección de materiales para la transferencia de tecnología producidos por Cenicaña como insumos del Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica (PAT), en la agroindustria azucarera colombiana. Quienes reciben los materiales directamente de Cenicaña están autorizados para reproducirlos y adaptarlos en los procesos de capacitación a su cargo, siempre que las modificaciones contribuyan al logro de los objetivos de aprendizaje propuestos por los autores. Cenicaña mantendrá abiertos sus canales formales de comunicación con los usuarios de la guía para intercambiar las actualizaciones en la materia de aprendizaje y atenderá oportunamente las solicitudes de servicios requeridos para la celebración de las actividades pedagógicas de acuerdo con los términos de compromiso definidos en el PAT. Cenicaña no se hace responsable de las decisiones que tomen los destinatarios de la guía en el ejercicio de sus competencias de capacitación.

Advertencia: la mención de productos comerciales en las publicaciones de Cenicaña tiene solamente el propósito de ilustrar a los lectores acerca de las pruebas realizadas y, en ningún caso compromete, al centro de investigación con los fabricantes y sus distribuidores, quienes no están autorizados para usar los resultados con fines promocionales ni publicitarios.

Cita bibliográfica:

Rodríguez Hurtado, L.A. y Valencia Montenegro, J.J. 2015. Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar. Guía metodológica. Cenicaña. Cali, Colombia. 164 p. (Materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar. Sistema de producción agrícola).



## Agradecimientos

Al Programa de Agronomía de Cenicaña, por el apoyo brindado durante la preparación de este documento.

A las personas de Cenicaña y los ingenios azucareros que participaron en la evaluación de la guía. Al doctor Oscar Chaparro Anaya, profesor de la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, por la revisión del contenido.

# Contenido

Página

Presentación	11
Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica	13

## Preámbulo

Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar	14
---	----



Introducción	15
A quién se dirige esta guía	15
Modo de usar la guía	15
Objetivos	16
Estructura general de aprendizaje	17
Autoevaluación inicial	18

## Unidad 1

Conozcamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza	20
--	----



Introducción	21
Objetivos	21
Estructura de aprendizaje	21
Preguntas iniciales	23
Preparemos el suelo y conservemos el recurso	24
Las propiedades del suelo y la labranza	24
Propiedades físicas del suelo	26
El perfil del suelo	26
Profundidad efectiva	
El perfil del suelo y la labranza	
Textura	28
La textura del suelo y la labranza	
Estructura del suelo	31
Tipo de estructura - Clase estructural - Grado estructural	
La estructura del suelo y la labranza	
Distribución del tamaño de los agregados	35
Separación en tamices convencionales para determinar la distribución y el tamaño medio de los agregados del suelo	
Contenido de humedad	39
Determinación del contenido de humedad	



	Página
Densidad aparente .....	40
Consistencia del suelo .....	41
Estado de consistencia del suelo y límites de Atterberg - Propiedades mecánicas y consistencia del suelo - Determinación de los límites de consistencia del suelo La consistencia del suelo y la labranza	
Propiedades mecánicas del suelo .....	46
Cohesión .....	46
Adhesión .....	47
Fricción .....	47
Resistencia a la penetración .....	48
Determinación de los coeficientes de cohesión y fricción suelo-suelo .....	50
<b>Práctica 1.1</b>	
Determinemos algunas características físicas del suelo en un lote para preparación .....	53
<b>Ejercicio 1.1</b>	
Representemos la resistencia a la penetración y analicemos su distribución en el perfil .....	60
<b>Ejercicio 1.2</b>	
Analicemos las propiedades del suelo y las labores de preparación .....	63

## Unidad 2

### Trabajemos con rastras de discos



Trabajemos con rastras de discos	66
Introducción .....	67
Objetivos .....	67
Estructura de aprendizaje .....	67
<b>Preguntas iniciales</b> .....	68
Labores agrícolas e implementos en el cultivo de la caña de azúcar .....	69
Preparación de suelos .....	69
Interacción suelo-implemento .....	70
Rastras de discos .....	71
Características generales .....	72
Tipos de rastras .....	72
Rastras de tiro excéntrico ( <i>Off-set</i> ) .....	73
Marco .....	73
Cuerpo de discos .....	73
Posición de los cuerpos y ángulo de ataque de los discos - Variación del ángulo de ataque de los discos - Medición directa del ángulo de ataque de los discos El ángulo de ataque y la interacción suelo-disco	



	Página
Discos .....	78
Espesor y materiales - Concavidad - Borde - Diámetro - Separación entre discos - Peso por disco - Desgaste de los discos - Desbarradores	
Barra de enganche y barra de tiro .....	81
Sistemas de calibración de la rastra .....	81
Principios de calibración .....	82
Nivelación de la rastra .....	82
Capacidad de penetración de los discos .....	84
Equilibrio estático de la rastra .....	85
Cómo posicionar y direccionar la barra de tiro para lograr la condición de equilibrio	
Sistema de transporte y levantamiento de la rastra .....	88
Eficiencia de las operaciones con rastras .....	88
Velocidad de operación .....	88
Capacidad teórica de campo .....	89
Capacidad real de campo .....	89
Eficiencia de campo .....	89
Requerimientos de tracción y potencia de rastras .....	89
Requerimientos de potencia para la operación de implementos agrícolas .....	90
Potencia a la barra de tiro - Potencia en el eje motriz - Potencia perdida por rodadura - Potencia perdida por patinaje - Potencia perdida en las pendientes - Eficiencia de tracción - Potencia al volante - Potencia nominal - Potencia perdida por altura y temperatura - Potencia de selección	
Cómo calcular la potencia de un tractor para operar una rastra de discos	
Cuidados en la operación y el mantenimiento de rastras de discos .....	95
Práctica 2.1	
Identifiquemos las rastras de tiro excéntrico, sus partes y características .....	96
Práctica 2.2	
Ensayemos con los sistemas de calibración y operemos las rastras .....	99
Ejercicio 2.1	
Evaluemos la operación de una rastra .....	103

## Unidad 3

### Practiquemos la labranza vertical



Introducción .....	107
Objetivos .....	107
Estructura de aprendizaje .....	107
Preguntas iniciales .....	108



	Página
Implementos de labranza vertical .....	109
Clasificación de los implementos verticales .....	110
Sistema de enganche .....	110
Profundidad de trabajo .....	111
Recomendaciones sobre la profundidad de trabajo	
Despeje .....	113
Estructura de los cuerpos y perfil del vástago .....	113
Sistemas de protección de los vástagos	
Importancia de las punteras en implementos verticales .....	114
Ancho de la puntera - Ángulo de ataque de la puntera	
Importancia del espaciamiento entre vástagos .....	116
Interacción lateral de los vástagos	
Interacción suelo-implemento .....	117
Factores relacionados con el movimiento del suelo .....	117
Razón de aspecto - Profundidad crítica	
Esfuerzos y fuerzas en la interacción suelo-implemento .....	119
Modelo físico de falla del suelo en labranza vertical	
Conclusiones sobre la interacción suelo-implemento	
Velocidad de operación en labranza vertical .....	123
Requerimientos de tracción y potencia .....	123
Desempeño de implementos subsoladores .....	124
Perfil del vástago y profundidad de trabajo .....	124
Variación de la fuerza de tiro .....	125
Perfil y área de la sección roturada .....	127
Procedimiento para determinar el perfil y el área de la sección roturada	
Implementos roturadores en labores para el levantamiento de socas .....	129
Roturación en un pase y a un nivel .....	130
Subsolador triple - Subsolador doble	
Roturación en un pase y a dos niveles .....	133
Subsolador cenitándem - Escarificador-subsolador - Subsolador-escarificador (subesca)	
Roturación en pases dobles .....	138
Subsuelo topo .....	138
Práctica 3.1	
Identifiquemos los subsoladores, practiquemos con ellos y midamos su efecto sobre el suelo .....	140
Ejercicio 3.1	
Representemos el perfil del entresurco y calculemos el área roturada por un subsolador .....	145
Anexo	148
Apéndice	152
Referencias bibliográficas	159





## Presentación

La visión del sector azucarero colombiano para el año 2030 es ubicarlo en un puesto de privilegio a escala mundial. Las diferencias en los índices de productividad son significativas en la prospectiva, de manera que uno de los retos inmediatos de Cenicaña es facilitar la adopción de tecnologías sostenibles que aseguren el mejoramiento de la productividad en armonía con el desarrollo regional.

Esta guía metodológica hace parte de la Colección de materiales para la transferencia de tecnología que diseña y dirige Cenicaña con el fin de proveer un marco de referencia técnico y didáctico para desarrollar la estrategia de transferencia y adopción de nuevas tecnologías en la agroindustria.

La Colección consta de dos series temáticas, Sistema de producción agrícola y Sistema de producción industrial, y está conformada por guías metodológicas y ayudas digitales en donde los autores —investigadores y profesionales de Cenicaña— presentan la teoría y la práctica acerca de la oferta tecnológica desarrollada y validada por el Centro de Investigación junto con los ingenios azucareros y alcoholeros y los cultivadores de caña de azúcar del valle del río Cauca.

Los materiales para la transferencia de tecnología facilitarán el desarrollo de los programas de capacitación que llevarán al sector azucarero a ser más competitivo.

Álvaro Amaya Estévez  
Director general, Cenicaña





## Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica

Cenicaña y los ingenios del valle del río Cauca coordinan el Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica (PAT) en la agroindustria azucarera colombiana, facilitando la gestión de conocimiento y el desarrollo de competencias para la adopción de prácticas sostenibles, más productivas, en las empresas del sector, y convocan a todos los actores para que participen en el mejoramiento continuo del modelo.

El PAT es el componente de capacitación en la estrategia de transferencia de tecnología del Centro de Investigación y busca fortalecer las relaciones de comunicación y asistencia técnica con los usuarios directos de la tecnología para motivarlos y apoyarlos en las iniciativas de innovación en sus unidades productivas. Se integra en la estrategia al programa de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT), la validación participativa de tecnología con productores, la producción de material divulgativo y la investigación acerca del mercado de la tecnología.

La información precisa sobre el PAT y los materiales disponibles se encuentran en el sitio web [www.cenicana.org/pat](http://www.cenicana.org/pat). Bienvenido. El reto de la adopción es ahora.

Camilo H. Isaacs E.  
Jefe del Servicio de Cooperación Técnica  
y Transferencia de Tecnología, Cenicaña

# Preámbulo

## Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar



## Introducción

La labranza para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca incluye tres grandes grupos de labores, dirigidas a la preparación de los suelos para la siembra, el levantamiento de las socas y el mantenimiento de las plantaciones (cultivo, aporque y fertilización). Las labores de preparación en la renovación de plantaciones se realizan con el fin de descepar, subsolar, rastrillar y surcar; en el levantamiento de socas, para subsolar. Se utilizan rastras de discos en labranza primaria y secundaria e implementos verticales en labranza profunda. La presente guía metodológica se dedica a los tres tipos de labranza; el objetivo general es difundir los conceptos básicos de la mecanización agrícola y el conocimiento de la interacción suelo-implemento-tecnología, con el fin de realizar labores eficaces y eficientes que contribuyan a la conservación del suelo y a mejorar los niveles de producción siguiendo los postulados de la sostenibilidad. El contenido está organizado en tres unidades de aprendizaje, cada una con sus respectivas actividades pedagógicas:

- Unidad 1. Conozcamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza.
- Unidad 2. Trabajemos con rastras de discos.
- Unidad 3. Practiquemos la labranza vertical.

## A quién se dirige esta guía

**A los facilitadores del PAT**, que celebran actividades de capacitación en las que participan los usuarios finales de la tecnología agrícola; en particular, a los profesionales de los ingenios azucareros y Cenicaña en funciones de asistencia técnica, transferencia y validación de tecnología, administración de fincas y prestación de servicios de ingeniería agrícola. Los usuarios finales son distintos grupos vinculados con las fincas productoras de caña de azúcar, como propietarios, productores, asistentes técnicos, supervisores de campo y operarios de la maquinaria agrícola.

## Modo de usar la guía

Esta es una guía de valor académico y práctico. Es importante que el facilitador repase las tres unidades de aprendizaje antes de emprender su plan de capacitación. En cada unidad se presentan herramientas pedagógicas, conceptos teóricos generales, métodos prácticos y recomendaciones para el agricultor; las actividades propuestas incluyen orientaciones para el facilitador e instrucciones para los participantes. Los materiales se encuentran disponibles para usuarios registrados en el sitio web del PAT: [www.cenicana.org/pat](http://www.cenicana.org/pat)

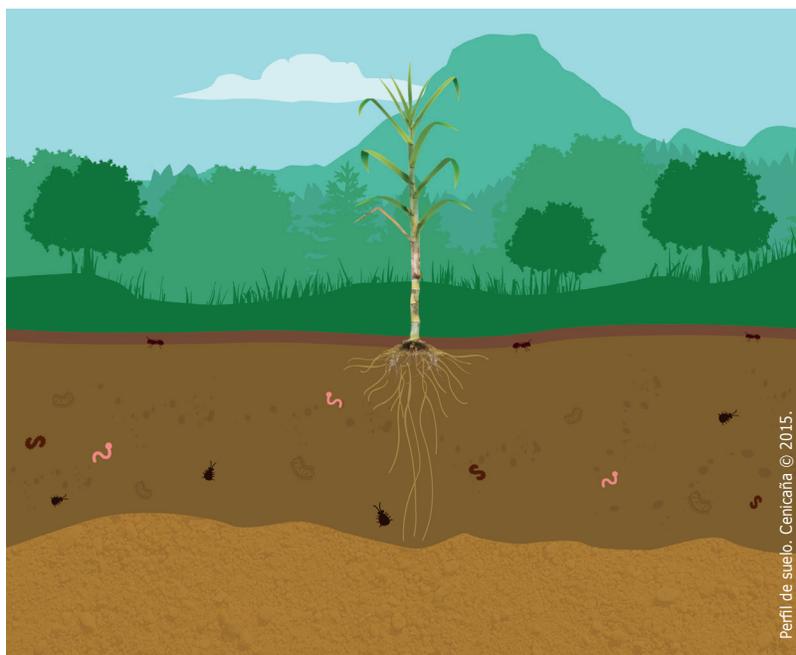


▶ Pase de rastra sobre una hilera de residuos de cosecha manual.

## Objetivos

Al finalizar la capacitación, los participantes contarán con los conocimientos, habilidades y destrezas que les permitan:

- Relacionar las propiedades físico-mecánicas del suelo con las operaciones de labranza y los implementos utilizados.
- Evaluar la eficiencia de las operaciones de labranza que se practican en el cultivo de la caña de azúcar.
- Calibrar los equipos de labranza (rastras e implementos verticales) y evaluar su desempeño en el campo.
- Determinar los requerimientos de tracción y potencia de las rastras y los implementos verticales.
- Programar la secuencia de labores de labranza con base en observaciones de campo, las características del suelo y los implementos disponibles.



El sistema de raíces de la caña de azúcar penetra el suelo hasta 50-100 cm de profundidad.

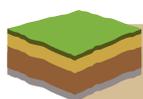
### Orientaciones para el facilitador

Comience la jornada de capacitación con una dinámica de **Exploración de expectativas** y luego invite a los participantes a responder la **Autoevaluación inicial de conocimientos**.

## Estructura general de aprendizaje

### Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar

La guía hace referencia a las propiedades del suelo y las labores mecanizadas



#### Unidad 1

### Conozcamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza

En la primera unidad se describen las relaciones suelo-labranza y se realizan tres actividades: una práctica de campo y dos ejercicios. El objetivo es que los participantes se familiaricen con las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con las labores mecanizadas; en grupos de trabajo, identificarán los rasgos y la condición del suelo en un lote de prueba y formularán secuencias de preparación adecuadas para el sitio.



#### Unidad 2

### Trabajemos con rastras de discos

La segunda unidad está dedicada a las rastras, con énfasis en las de tiro excéntrico. Las actividades consisten en dos prácticas de campo para identificar las partes de una rastra y ensayar formas de calibración del equipo. Al finalizar la unidad de aprendizaje, los participantes estarán en capacidad de garantizar la calibración de las rastras y determinar los requerimientos de tracción y potencia de acuerdo con la labor.



#### Unidad 3

### Practiquemos la labranza vertical

La última unidad describe los implementos de labranza vertical utilizados en la preparación del suelo para la siembra y en el levantamiento de socas. Los participantes operarán cinceles y subsoladores, medirán el área de la sección roturada y aprenderán a evaluar el resultado de la acción de estos implementos sobre el suelo.

## Autoevaluación inicial

### Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar

Este cuestionario no tiene carácter calificativo; las preguntas, más que evaluar conocimiento teórico, buscan revisar la claridad de los conceptos acerca de las labores de labranza en el cultivo de la caña de azúcar. El diálogo grupal acerca de las respuestas correctas nos ayudará a conseguir un nivel básico de conocimiento al respecto, lo cual facilitará el aprendizaje y el intercambio de experiencias durante las actividades de capacitación.

**Instrucciones:** cada pregunta tiene una respuesta única; marque con 'X' la opción que considere correcta. Registre los datos en la hoja de respuestas y espere las indicaciones del facilitador para continuar. Tiene 10 minutos para responder.

#### 1. Los suelos arcillosos:

- |   |   |
|---|---|
| A. <input type="checkbox"/> tienen alta cohesión                      | B. <input type="checkbox"/> tienen alta fricción              |
| C. <input type="checkbox"/> no cambian su consistencia con la humedad | D. <input type="checkbox"/> son livianos para su preparación. |

#### 2. La textura:

- |   |  |
|---|--|
| A. <input type="checkbox"/> se afecta al mecanizar el suelo | B. <input type="checkbox"/> es gruesa en suelos arenosos                       |
| C. <input type="checkbox"/> es gruesa en suelos arcillosos  | D. <input type="checkbox"/> no se debe tener en cuenta para preparar el suelo. |

#### 3. La estructura del suelo:

- |   |  |
|---|--|
| A. <input type="checkbox"/> es de grano simple en suelos arenosos | B. <input type="checkbox"/> es de grano simple en suelos arcillosos  |
| C. <input type="checkbox"/> no se afecta al mecanizar el suelo    | D. <input type="checkbox"/> no se afecta por el tráfico de máquinas. |

#### 4. El ángulo de ataque de los discos de una rastra influye en:

- |  |  |
|--|--|
| A. <input type="checkbox"/> la capacidad de penetración y el número de discos  | B. <input type="checkbox"/> la capacidad de penetración y la nivelación      |
| C. <input type="checkbox"/> la capacidad de penetración y el peso de la rastra | D. <input type="checkbox"/> la capacidad de penetración y la fuerza de tiro. |

#### 5. En la operación de rastras se recomienda utilizar el ángulo de ataque máximo en:

- |  |   |
|--|---|
| A. <input type="checkbox"/> suelos francos | B. <input type="checkbox"/> suelos sin residuos |
| C. <input type="checkbox"/> suelos pesados | D. <input type="checkbox"/> suelos livianos.    |

**6. Respecto a la concavidad de los discos de rastra se puede asegurar que los discos de mayor concavidad:**

- A.  penetran con más facilidad  
 B.  causan menor fragmentación  
 C.  deben operar a alta velocidad  
 D.  causan mayor inversión del suelo.

**7. La labranza vertical debe practicarse en:**

- A.  suelos húmedos  
 B.  suelos en condición plástica  
 C.  suelos friables  
 D.  suelos inundados.

**8. La separación entre cuerpos en un subsuelo debe ser:**

- A.  mayor que 75 cm  
 B.  igual a 50 cm  
 C.  mayor que 150 cm  
 D.  menor que 50 cm.

**9. Las punteras con aletas:**

- A.  requieren menor potencia  
 B.  requieren menor fuerza de tiro  
 C.  deben operar a mayor velocidad  
 D.  permiten mayor separación entre cuerpos.

**10. La potencia requerida para operar un implemento depende de:**

- A.  el tractor utilizado  
 B.  la fuerza de tiro requerida y la velocidad de operación  
 C.  la velocidad de operación, solamente  
 D.  la fuerza de tiro, solamente.

Hoja de respuestas

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
1		
2		
3		
4		
5		

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
6		
7		
8		
9		
10		



Respuestas correctas a la Autoevaluación Inicial: 1=A; 2=B; 3=A; 4=D; 5=C; 6=D; 7=C; 8=A; 9=D; 10=B.



# Unidad 1

Conozcamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza

## Introducción

Esta unidad de aprendizaje se dedica a repasar los conceptos básicos sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo que determinan la eficacia de las labores mecanizadas, la cual está relacionada principalmente con el tipo de suelo y su contenido de humedad. A medida que se avanza en la descripción de las propiedades del suelo y los métodos para su determinación, se explica su comportamiento ante la acción de los implementos de labranza, en particular de aquellos utilizados en la preparación del suelo para la siembra en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Finalmente se proponen una serie de actividades con los participantes, las cuales contribuyen al desarrollo de las competencias de preparación de suelos siguiendo el enfoque de la agricultura específica por sitio (AEPS) como estrategia de manejo sostenible del suelo en las unidades productivas.

## Objetivos

Al concluir las actividades de aprendizaje, los participantes estarán en capacidad de:

- Relacionar las propiedades físicas y mecánicas del suelo y las operaciones de labranza.
- Determinar algunas características físicas y mecánicas del suelo en un lote dispuesto para preparación.
- Programar las labores de preparación de los suelos con base en sus propiedades y en las condiciones del lote determinadas en el campo.

## Estructura de aprendizaje

El suelo es un recurso natural diverso en su composición y propiedades y en la capacidad de soportar esfuerzos e interactuar con los implementos agrícolas, la cual varía de acuerdo con su estado de humedad. El objetivo de la labranza es acondicionar el suelo para la siembra, la germinación, el desarrollo de raíces y el crecimiento inicial de las plantas, asegurando el suministro de agua, aire y nutrientes. Para el efecto, la selección del método de labranza debe basarse en el conocimiento de las propiedades físico-mecánicas del suelo y la interacción suelo-implemento; las labores se ejecutan bajo las normas de conservación y aprovechamiento de los recursos y contribuyen a la respuesta esperada del cultivo.

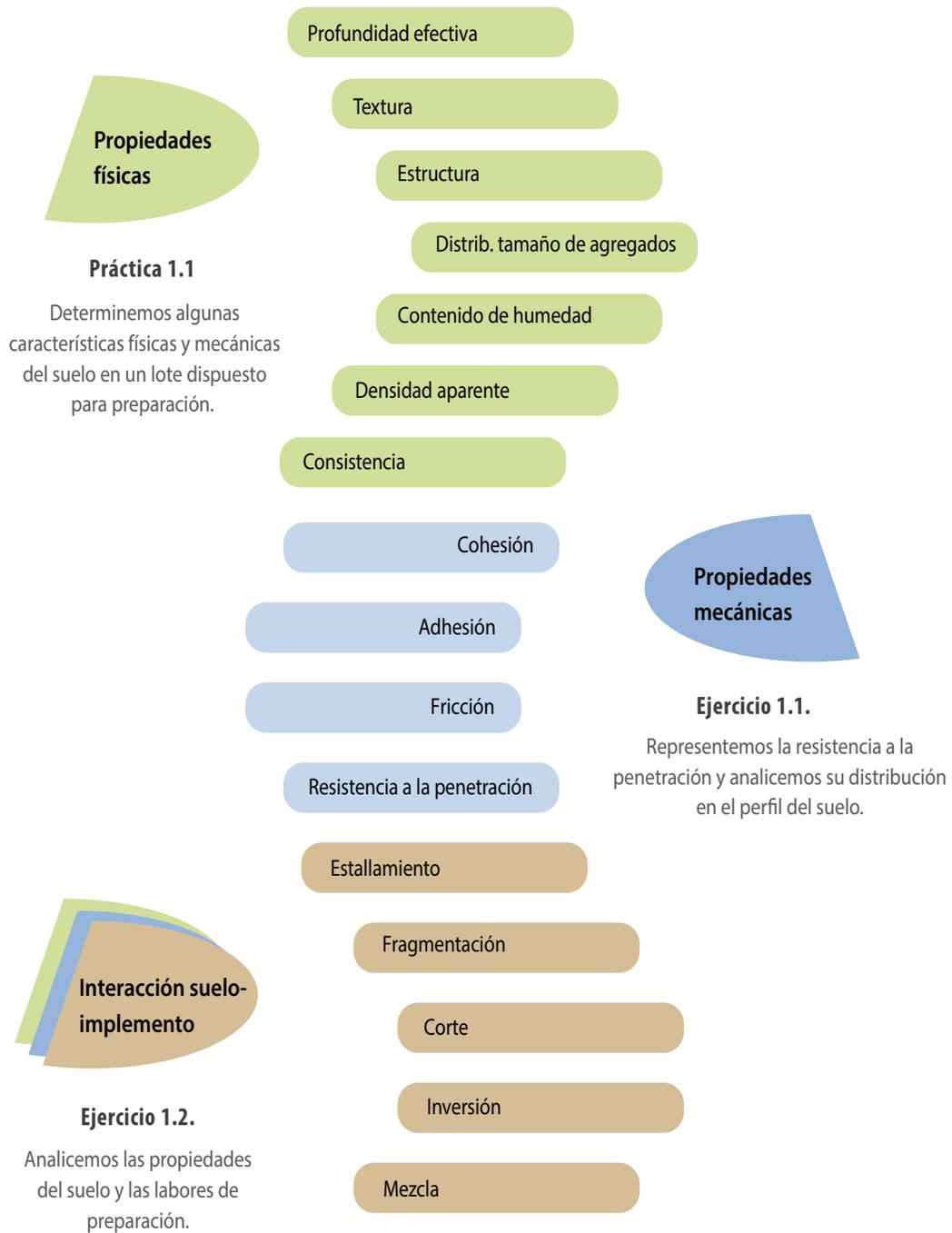
En esta unidad de aprendizaje se ofrecen los fundamentos básicos sobre mecanización agrícola con el enfoque de la agricultura específica por sitio (AEPS) para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. A través de actividades grupales (**ver esquema en la página siguiente**), los participantes tendrán la oportunidad de identificar algunas propiedades físicas y mecánicas del suelo en un lote dispuesto para preparación; realizarán mediciones de resistencia a la penetración y analizarán los resultados comparándolos con la descripción del estudio detallado de suelos del lote para, finalmente, proponer un método de preparación y justificar sus recomendaciones. Las propuestas se presentarán en una sesión plenaria para identificar los métodos o secuencia de labores de mayor eficacia para la sostenibilidad del suelo y el cultivo.



Perfil de un suelo joven, bien desarrollado.

## Conozcamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza

Esta unidad describe las cualidades del suelo que determinan la eficacia de la labranza



## Preguntas iniciales

1. ¿Cuáles propiedades del suelo se afectan con las labores de preparación?
2. ¿Qué es una calicata y para qué sirve?
3. ¿Por qué es importante conocer las características texturales del suelo antes de su preparación?
4. ¿Qué es un "suelo friable"?
5. ¿Por qué es importante tener en cuenta el contenido de humedad del suelo para ejecutar las labores de preparación?
6. ¿Por qué es importante conocer el grado de compactación del suelo antes de iniciar la preparación?

## Orientaciones para el facilitador

- Comience cada unidad de aprendizaje formulando las **preguntas iniciales**; las respuestas de los participantes le ayudarán a tener una idea sobre los conocimientos del grupo y así podrá orientar mejor sus estrategias pedagógicas.
- A medida que avance en las actividades de capacitación, fomente la participación de los asistentes e invite a quienes hayan intervenido en los eventos del PAT sobre agricultura específica por sitio (AEPS) y manejo de aguas a aportar su conocimiento sobre las propiedades del suelo.
- Recomiende el uso de las herramientas de AEPS y la lectura de las publicaciones disponibles en el sitio web de Cenicaña. Motive a los participantes que no han solicitado su contraseña personal de acceso al sitio web para que lo hagan, ingresando a: [www.cenicana.org/hoja\\_registro\\_pag.php](http://www.cenicana.org/hoja_registro_pag.php)



[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

## ● Preparemos el suelo y conservemos el recurso

---

La conservación del suelo en las explotaciones agrícolas exige un conocimiento confiable de las propiedades que ofrece este recurso natural y de los efectos de la labranza en sus características. La mecanización sin criterios técnicos puede ocasionar grandes problemas de conservación y poner en riesgo la sostenibilidad del sistema productivo, provocando cambios indeseables en las propiedades físicas del suelo (Bianchini *et al.*, 1999). Tales cambios se deben a la mecanización excesiva, el uso de equipos pesados y, en especial, a la preparación del suelo en condiciones inadecuadas de humedad.

Asimismo, los procesos de labranza brindan la oportunidad de restituir las propiedades del suelo que han sido modificadas por el laboreo y la compactación, la cual puede ser ocasionada por la acción y el tránsito de la maquinaria agrícola o por fenómenos naturales, entre otras causas. En este sentido, los procesos mecanizados en la agricultura deben responder a las exigencias de la conservación y las prácticas de uso del suelo como medio de producción deben seguir los principios de la sostenibilidad (Navarro *et al.*, 2008).

En el valle del río Cauca, donde la caña de azúcar es un cultivo permanente y la agroindustria opera más de 330 días al año para producir azúcar, etanol y energía eléctrica, uno de los retos principales de los agricultores es obtener el mejor rendimiento del cultivo mediante la adopción de prácticas agroecológicas adecuadas al enfoque de la agricultura específica por sitio (AEPS), es decir, prácticas agronómicas basadas en los requerimientos de la planta y en las condiciones espaciales y temporales del sitio donde ella se cultiva.

Con este propósito, Cenicaña promueve el uso de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. En la cuarta aproximación (Carbonell *et al.*, 2011), la zonificación combina las agrupaciones derivadas de estudios detallados de suelos (grupos homogéneos de suelos o GHS: Quintero *et al.*, 2008) y estudios climáticos acerca del balance hídrico regional (grupos de humedad). Esta aproximación es el marco de referencia de la Guía de Recomendaciones Técnicas (GRT-AEPS) (Isaacs y Silva, 2012), a través de la cual Cenicaña ofrece pautas de manejo agronómico y control de calidad de las labores con criterios agroecológicos. En relación con la preparación de los suelos, las pautas de AEPS se encuentran ordenadas en Grandes Grupos de Preparación de Suelos (GGPS) (Isaacs *et al.*, 2008) que integran los GHS.

## ● Las propiedades del suelo y la labranza

---

Los cambios que ocurren en el suelo a causa de la labranza se explican por su comportamiento mecánico frente a las cargas que ejercen los implementos y el tránsito durante las labores. Este comportamiento depende, entre otros aspectos, de la densidad aparente y el tamaño de los poros y su distribución, características que están relacionadas con la estructura del suelo. De acuerdo con Letey (1985), citado por Martino (2003), el crecimiento de las raíces depende de la resistencia del suelo a la penetración y de la disponibilidad de agua, aire y energía.

La resistencia a la penetración es una propiedad mecánica del suelo y está relacionada con su capacidad física para permanecer estable o mantener su forma cuando se somete a fuerzas de deformación (ASAE, 1995); esta característica describe la consistencia del suelo y obedece al comportamiento de los agregados frente a la presión ejercida sobre ellos.

La resistencia a la penetración es un indicador del nivel de compactación del suelo y de la resistencia mecánica que deben vencer los implementos en los procesos de labranza. Las características mecánicas del suelo que condicionan su comportamiento frente al implemento y el requerimiento de tracción y potencia son: la cohesión o fuerza de atracción entre las partículas del suelo; la adhesión o tensión superficial entre partículas de suelo y moléculas de agua; y la fricción o resistencia de las partículas de suelo a deslizar unas sobre otras o sobre las superficies de los implementos.

En razón de la magnitud de la resistencia a la penetración, la cual integra los efectos de la compactación, el contenido de humedad, la textura y el tipo de arcilla, se debe definir el método de labranza más adecuado para los propósitos agrícolas; los suelos con diferentes grados de compactación o resistencia deben tener diferentes métodos de preparación.

Una descripción sencilla acerca de los suelos señala lo siguiente (IGAC, 2009):

- Los organismos del suelo ayudan a dar aireación y estructura al suelo; aportan materia orgánica y son los encargados de producir el humus. Un suelo sin materia orgánica no tiene buena estructura ni suficiente aireación ni porosidad.
- Los elementos del clima como la precipitación, la temperatura y la humedad, entre otros, influyen en la formación de los suelos; por su efecto definen la fertilidad, la acidez, la profundidad y el grado de evolución de cada suelo.
- Las rocas dan origen a los suelos; se forman por la unión de minerales y se transforman en suelo al descomponerse por causa de fenómenos físicos (temperatura, estado del agua), fenómenos químicos (en presencia de agua y oxígeno cambia la estructura original de los minerales) o por alteración biológica (efecto de la actividad de plantas y animales).
- Los productos de la transformación de las rocas son las arenas, las arcillas y los limos; las arenas y las arcillas tienen características opuestas en cuanto a su tamaño y en la retención de agua y nutrientes.
- Gracias a la materia orgánica y el humus, los nutrientes de las plantas cumplen su ciclo y vuelven al suelo; este proceso se denomina mineralización y un ejemplo es el ciclo del nitrógeno.
- Las propiedades físicas del suelo son aquellos rasgos que se relacionan con su aspecto, forma, color y textura; algunas se pueden medir y estudiar en campo y otras en laboratorio.

## Propiedades físicas del suelo

Las propiedades físicas dependen de la composición mineralógica básica, el tamaño de las partículas, la manera en que se distribuyen y el modo en que se unen para formar agregados. Como se mencionó, la labranza modifica algunas de estas características con el objetivo de darle al suelo la condición adecuada para la germinación, el desarrollo de las raíces y el crecimiento de las plantas en sus etapas iniciales.

### El perfil del suelo

Las propiedades del suelo se descubren en los distintos horizontes o capas que se encuentran en el perfil del suelo cuando se hace un corte vertical o en profundidad. Los distintos horizontes se identifican con letras mayúsculas de acuerdo con su génesis y su posición relativa dentro del perfil; no tienen un número determinado (pueden ser uno, dos, tres o más) y llegan hasta donde se encuentra la roca dura sin alteraciones o roca madre.

Para observar el perfil del suelo se excavan calicatas (pueden ser de 1 m de profundidad por 1 m ancho y 1 m de fondo) o se hacen exploraciones con un barreno hasta 1.2 m de profundidad. El espesor de los horizontes en el perfil, su color, textura y estructura son rasgos físicos que permiten diferenciar el origen del suelo y su evolución (**galería de imágenes 1.1**). Usualmente, cuando se habla del suelo se hace referencia al horizonte A, mientras que el subsuelo refiere los horizontes subyacentes.

### Profundidad efectiva

La profundidad efectiva del suelo marca el límite hasta donde pueden penetrar las raíces sin que se presente obstáculo por parte de horizontes de roca o cascajo, niveles freáticos altos o capas compactadas. En la definición de los GHS se tienen en cuenta dos categorías de profundidad efectiva, considerando que el sistema de raíces de la caña alcanza entre 50 cm y 100 cm de profundidad.

Perfil de un suelo joven, bien desarrollado, donde se diferencian claramente sus horizontes o capas.

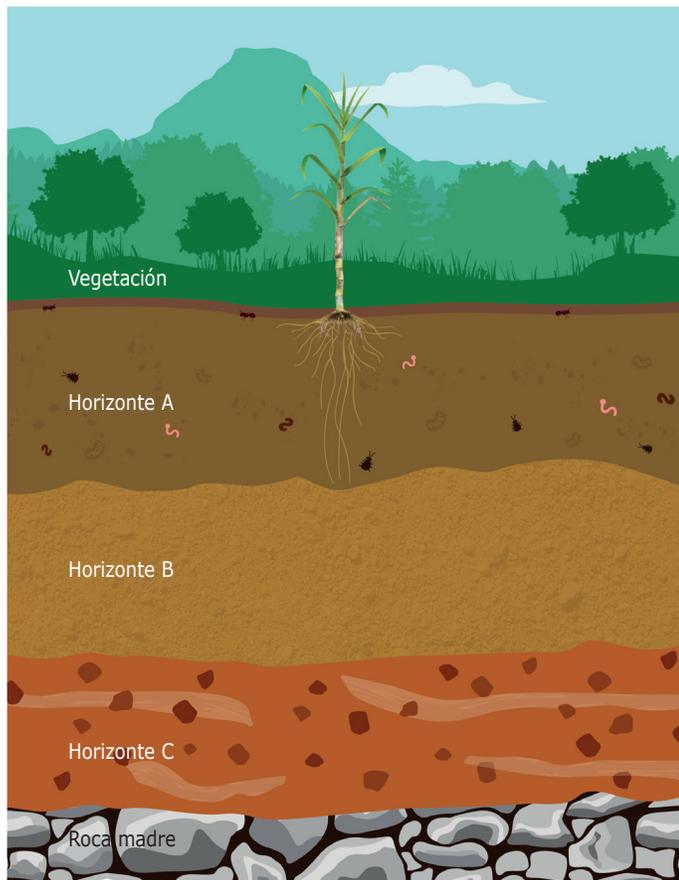


Suelos cultivados con caña de azúcar en el valle del río Cauca según la profundidad efectiva:

- Suelos superficiales: hasta 50 cm de profundidad efectiva.
- Suelos profundos: se incluyen los moderadamente profundos (entre 50 cm y 100 cm) y los profundos (100 cm o más).

Galería de imágenes 1.1

Perfil del suelo donde se observan los horizontes o capas que lo conforman



Los suelos se diferencian por el espesor de sus horizontes y por las características físicas, químicas y biológicas en el perfil.

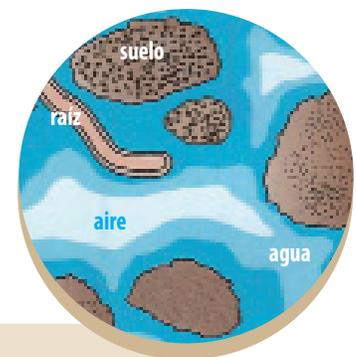
En el **horizonte A** se desarrolla gran parte de la actividad biológica y es donde las plantas toman la mayoría de nutrientes. El color oscuro indica presencia de materia orgánica y humus.

El **horizonte B** recibe los materiales del horizonte A que son arrastrados por el agua; puede albergar raíces.

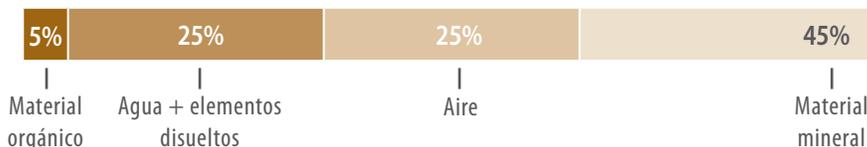
El **horizonte C** está formado por roca madre desintegrada (material parental).

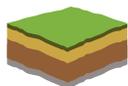
La roca originaria, dura y sin alteraciones, es la **roca madre**.

Los suelos jóvenes se han formado en un periodo aproximado de cien años; poseen características de la roca originaria.



El suelo está conformado por material mineral, material orgánico, una parte líquida o solución y una parte gaseosa.





## El perfil del suelo y la labranza

Las labores de preparación del suelo tienen incidencia en los horizontes superiores, en las condiciones físicas y en la conformación del perfil.

- **El laboreo convencional** practicado con discos y vertederas invierte el prisma de tierra en los primeros 30 cm, con consecuencias perjudiciales en el suelo porque se afectan los microorganismos, la humedad, la materia orgánica y, en suelos poco profundos o superficiales, hasta la conformación del perfil.
- **Los principios conservacionistas** proponen mantener la cobertura vegetal y no invertir las capas superiores del suelo; cumplir estos propósitos requiere el conocimiento de aspectos relacionados con el suelo, los implementos y la dinámica de su interacción.

## Textura

La textura hace referencia a la proporción relativa de partículas de arena, limo y arcilla que contiene el suelo. Estas partículas constituyen la parte mineral del suelo, se designan mediante letras y se diferencian entre sí por su tamaño; solo la arena es perceptible a simple vista.

Las partículas de suelo se diferencian por su tamaño:

	<b>Arena (A):</b> 0.05 - 2.0 mm	La arena se distingue a simple vista y se siente áspera al tacto; la arcilla es microscópica y se siente suave.
	<b>Limo (L):</b> 0.05 - 0.002 mm	
	<b>Arcilla (Ar):</b> < 0.002 mm	

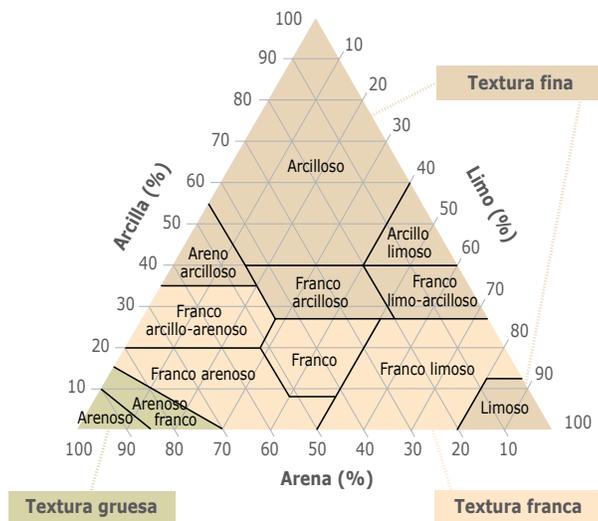
Según las proporciones de cada tipo de partícula, los suelos se clasifican en doce clases texturales, como se muestra en el triángulo de texturas (**figura 1.1**). La respuesta del suelo ante los implementos de labranza y los requerimientos de tracción y energía están relacionados con la clase textural del suelo. Por ejemplo, un suelo con 50% (Ar), 20% (L) y 30% (A) es arcilloso o de textura fina y se dice que es pesado desde el punto de vista de la mecanización. Por su parte, un suelo que contiene 40% (A), 40% (L) y 20% (Ar) no exhibe las propiedades físicas dominantes de alguna de las tres partículas, se identifica como franco (F) o de textura franca, mediano en su comportamiento frente a la labranza. Los suelos arenosos (textura gruesa) son livianos. La **tabla 1.1** lista las doce clases texturales representadas en el triángulo de texturas y la descripción de cada una ante la acción de los implementos.

En los estudios de suelos la textura se determina en laboratorio por métodos estandarizados. De forma aproximada se puede determinar al tacto, como se indica en la práctica 1.1: Analicemos las propiedades del suelo y las labores de preparación, al final de esta unidad de aprendizaje.

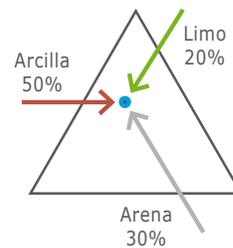
Figura 1.1

Triángulo de texturas del suelo

El triángulo muestra las doce clases texturales en que se clasifican los suelos.



La clase textural de un suelo se determina en la intersección de dos de las tres líneas que se trazan a partir del porcentaje de cada tipo de partícula, como ilustra el ejemplo:

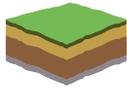


● Suelo arcilloso

Tabla 1.1

Clases texturales de suelos y su comportamiento frente a la labranza

Clase textural del suelo	Denominación	Comportamiento frente a la labranza
Arenoso	A	Liviano
Arenoso franco	AF	
Franco arenoso	FA	
Franco	F	Mediano
Franco limoso	FL	
Franco arcilloso arenoso	FARa	
Franco arcilloso	FAR	Pesado
Franco arcilloso limoso	FARL	
Limoso	L	
Arcilloso arenoso	ArA	
Arcilloso limoso	ArL	
Arcilloso	Ar	



## La textura del suelo y la labranza

**Las características texturales son importantes porque definen algunas propiedades del suelo.** En parte, determinan la tasa de infiltración, la capacidad de almacenamiento de agua, la aireación y tienen influencia en la fertilidad (Donahue, *et al.*, 1983); también influyen en los resultados de la interacción suelo-implemento.

**SUELOS ARCILLOSOS** (textura fina) absorben y retienen más humedad que suelos arenosos, pero suelen ser pobremente drenados y de baja aireación (Howell, 1997). Se tornan duros y resistentes a medida que se secan y se vuelven difíciles de trabajar; se reconocen como suelos pesados desde el punto de vista de su mecanización.

- En suelos de textura fina, el laboreo mejora la relación agua-aire y aumenta las capacidades de aireación y retención de humedad, de forma que se debe presentar mejor respuesta del cultivo (Donahue *et al.*, 1983)

**SUELOS ARENOSOS** (textura gruesa) infiltran rápidamente pero tienen baja capacidad de retención de humedad, son fáciles de trabajar y se les designa como livianos para el laboreo.

- En ocasiones, el laboreo en suelos de textura gruesa no favorece su condición como medio para el crecimiento de las plantas porque se altera la relación agua-aire a causa de la infiltración excesiva; estos suelos aumentan la aireación pero disminuyen la capacidad de retención de humedad con la mecanización.

**SUELOS FRANCOS** (textura media) son más equilibrados en la proporción de arena, limo y arcilla y en la distribución de poros (grandes y pequeños). Son suelos razonablemente fértiles que combinan las características de retención de humedad de las arcillas con las características de aireación de las arenas. Son medianos respecto a la mecanización, pues presentan resistencia moderada a la acción de los implementos.

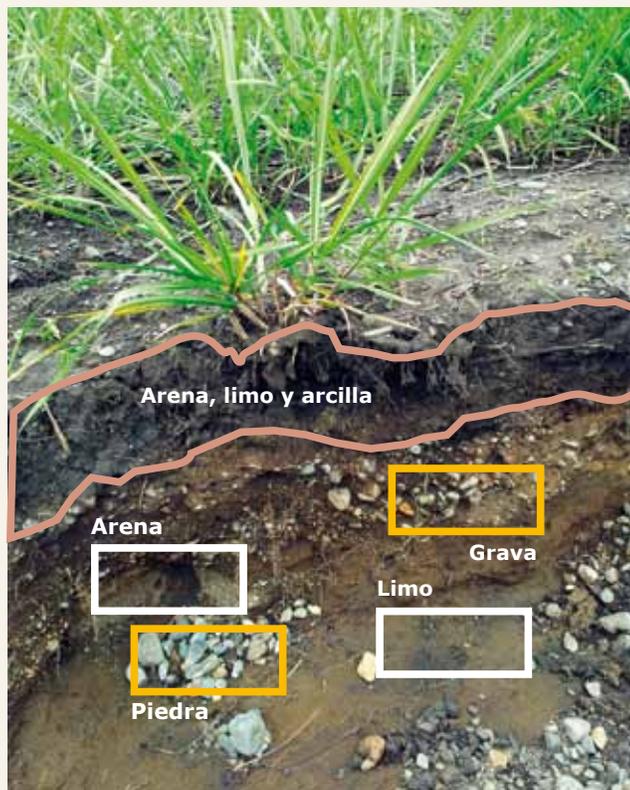
- El laboreo en suelos francos mejora la relación agua-aire y la capacidad de retención de humedad, son suelos de propiedades mecánicas intermedias y su demanda de energía en labores mecanizadas es moderada.

**EN ZONAS DE PIEDELOMA**, la presencia de partículas gruesas (grava, gravilla y piedra) da lugar a suelos esqueléticos, caracterizados por escasa profundidad efectiva, baja capacidad de retención de humedad y baja fertilidad (**galería de imágenes 1.2**).

- Por ser suelos superficiales requieren un manejo cuidadoso desde el punto de vista de su mecanización para evitar problemas de erosión e inversión del perfil; también exigen técnicas de riego adaptadas a su condición física y topográfica (caudal reducido, goteo, micro-aspersión).

## Galería de imágenes 1.2

## Distribución del tamaño de partículas en suelos esqueléticos del piedemonte



Perfiles de suelos de piedemonte

La presencia de partículas gruesas exige un manejo especial del suelo para prevenir la erosión, tanto en la labranza como en el riego.

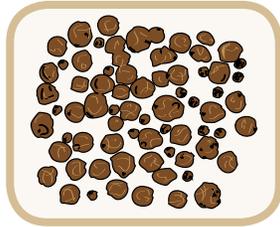
Las labores mecanizadas no deben invertir las capas del perfil.

## Estructura del suelo

La estructura describe la forma en que están ordenadas las partículas sólidas y el espacio poroso o el modo como se agrupan las partículas de suelo para formar agregados. El espacio poroso es un factor importante porque define el comportamiento de los suelos frente al agua y el aire. En general, la estructura del suelo es modificada por actividades antrópicas, como la labranza y el tráfico de equipos, y por actividades biológicas, como el desarrollo de las raíces. Los suelos agregados son más estables y un medio mejor para el crecimiento de las plantas que las masas de suelo sin estructura o granulares (Bradshaw y Weaver, 1993). Las unidades estructurales del suelo se diferencian por el tipo, la clase y el grado estructural.

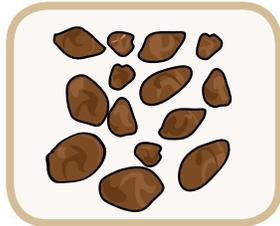
## Tipo de estructura

Hace referencia a la forma de los agregados. Algunos tipos de estructura son:



**Grano simple:** estructura característica de suelos arenosos que no forman agregados estables.

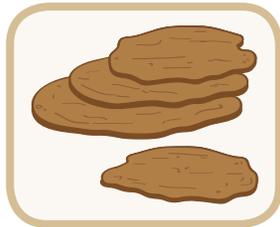
**Granular:** partículas individuales de arena, limo y arcilla agrupadas en granos pequeños, casi esféricos, que permiten el fácil movimiento del agua y el intercambio de gases; la estructura granular se encuentra en suelos francos.



**Bloques:** estructuras de partículas de suelo agrupadas en bloques de forma cuadrada o angular con bordes pronunciados. Los bloques relativamente grandes indican resistencia a la penetración, resistencia a la fractura y restricciones al movimiento del agua; esta estructura es común en suelos francos y franco arcillosos.



**Prismática:** partículas de suelo agrupadas en bloques alargados. El agua circula con mayor dificultad y el drenaje es deficiente. Esta estructura es común en suelos arcillosos o de textura fina.



**Laminar:** se compone de partículas de suelo agrupadas en láminas o capas finas que se acumulan horizontalmente una sobre otra. Presentan dificultad para el movimiento del agua. Se encuentra en suelos de textura con predominio de limo (franco limosos, limosos).

**Masiva:** es la estructura de una masa sin grietas en donde no se diferencian agregados, no hay unidades estructurales y se presenta alta dificultad para la infiltración del agua y el desarrollo de las raíces. Es común en horizontes profundos y en suelos compactados.

## Clase estructural

Se refiere al tamaño medio de los agregados, desde muy fino o pequeño hasta muy grueso o grande. Es la característica estructural más afectada por la preparación del suelo con labores mecanizadas; el objetivo de la preparación es reducir los agregados hasta tamaños adecuados para depositar la semilla y favorecer su germinación y el desarrollo del cultivo.

La **galería de imágenes 1.3** muestra los cambios en la clase estructural del suelo a medida que avanzan las labores de preparación en una secuencia que incluye: (1) pases de rastra pesada para descepar e iniciar la reducción de los agregados; (2) pases de implementos verticales (subsuelo y cincel) para hacer laboreo profundo, operación que finalmente deja agregados menores y una superficie más uniforme; (3) pases de rastrillo que sucesivamente van dejando agregados más finos en la capa superficial hasta llegar a una estructura final que preferiblemente debe ser una distribución heterogénea de tamaños.

## Galería de imágenes 1.3

Cambios en la clase estructural del suelo durante las labores de preparación

**1. DESCEPADA****Rastra pesada**

Destrucción de cepas y reducción inicial de agregados.

**2. LABOREO PROFUNDO****Subsuelo y cincel**

Roturación de capas compactadas y superficie más uniforme.

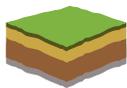
**3. RASTRILLADA O PULIDA****Rastra liviana (rastrillo)**

Reducción de agregados hasta lograr distribución heterogénea de tamaños y superficie uniforme.



## Grado estructural

Tiene relación con la resistencia de los agregados y su estabilidad. La estructura del suelo es estable si mantiene el arreglo de sólidos y poros al aplicarle esfuerzos mediante cargas externas. Se conocen cuatro grados (0-3) en la estructura del suelo: el grado 0 (cero) es para suelos no estructurados, sin agregados visibles, correspondientes a estructuras de grano simple donde las partículas individuales no tienen posibilidad de agrupación (arena seca) o a masas de suelo cementadas o aglomeradas, como ocurre en suelos compactados. Los grados 1 a 3 corresponden a estructuras débiles, moderadas y fuertes que van desde agregados apenas visibles hasta agregados bien formados, resistentes y duraderos.



### La estructura del suelo y la labranza

**La distribución del tamaño de los agregados durante un proceso de preparación y al final del mismo es uno de los indicadores de la clase estructural del suelo.** La estructura o agregación resultante debe garantizar el movimiento de agua, el intercambio de gases y el desarrollo de las raíces. Estas cualidades se logran en estructuras sueltas pero disminuyen en función de la distribución del espacio poroso y la distribución de tamaño de los agregados y se ven limitadas en suelos compactados de estructura cerrada.

■ Las estructuras sueltas se modifican fácilmente mediante la aplicación de cargas que reordenan las partículas para formar nuevos agregados; el ejemplo más común de agregación de partículas de suelo es la compactación creada por el tránsito de máquinas o por fenómenos naturales.

■ La labranza en suelos arenosos mejora el movimiento del agua y el aire pero afecta la capacidad de retención de humedad. En suelos de textura gruesa los macroporos facilitan la infiltración, la percolación del agua y el intercambio de gases, pero retienen poca agua para la planta (Howell, 1997).

■ La roturación de suelos arcillosos mejora la infiltración y el intercambio de gases y mantiene la capacidad de retención de agua disponible para el cultivo.

**La alteración mínima de la estructura del suelo durante los procesos de preparación es uno de los principios de la conservación; algunas recomendaciones son (Williams, 2003):**

- Laboreo apenas indispensable y según las necesidades del cultivo
- Evitar el uso de maquinaria pesada
- Trabajar el suelo con implementos en buen estado y a velocidades recomendadas
- Preferir el laboreo vertical
- Realizar las operaciones con la humedad adecuada
- Mantener cobertura vegetal el mayor tiempo posible
- Mantener niveles adecuados de materia orgánica.

## Distribución del tamaño de los agregados

Los agregados son unidades secundarias o gránulos compuestos de partículas de suelo unidas o cementadas por sustancias orgánicas, óxidos de hierro, carbonatos, arcillas y/o sílice (Donahue *et al.*, 1983). La agregación del suelo se mantiene porque las fuerzas internas de cohesión en los agregados son mayores que las fuerzas de adhesión entre ellos; esta relación se invierte frente a las fuerzas aplicadas por los implementos agrícolas si las reacciones entre agregados son mayores que las fuerzas internas de cohesión. De acuerdo con lo anterior, el nivel de roturación y fragmentación de los agregados dependerá de las fuerzas externas y la cantidad de energía aplicada al suelo.

La distribución del tamaño de los agregados se puede determinar por diferentes métodos que incluyen la separación mecánica en tamices convencionales y cribas rotativas y la tomografía, un método moderno basado en el procesamiento de imágenes.

### Separación en tamices convencionales para determinar la distribución y el tamaño medio de los agregados del suelo

A continuación se indican los pasos para determinar la distribución y el tamaño medio de los agregados del suelo mediante la separación mecánica en tamices convencionales y se presenta un ejemplo para explicar el modo de procesar los datos; los resultados se expresan en términos del diámetro medio geométrico (*DMG*) y el diámetro medio ponderado (*DMP*).



#### Pasos

1. Una vez finalizado el proceso de preparación, tomar al azar muestras de suelo de un peso mayor que 10 kg (10,000 g).
2. Tamizar cada muestra dejándola pasar por una columna de tamices. Se recomienda que las dimensiones de los agujeros de cada tamiz sigan una progresión geométrica.
3. Recolectar la porción retenida en cada tamiz, pesarla y registrar su valor en gramos.
4. Calcular el porcentaje de suelo retenido y el porcentaje que pasa por cada tamiz.
5. Representar la distribución porcentual de agregados retenidos en cada tamiz y de agregados que pasan, respecto al tamaño de los orificios en cada tamiz.

Ejemplo



### Ejemplo

Una muestra de suelo de 12,550 g se pasó por una columna de seis tamices con el fin de separar los agregados del suelo en siete porciones. La dimensión de los orificios de los tamices varió entre 101.6 mm (4") y 3.175 mm (1/8") siguiendo una progresión geométrica, como se muestra en la galería de imágenes 1.4.

Las porciones de suelo retenidas en cada tamiz fueron pesadas y los datos, registrados en la tercera columna (col 3) del **cuadro 1.1**. Con base en el peso de cada masa de suelo se calculó el porcentaje de material retenido (columna 4) y el porcentaje que pasó a través de cada tamiz (columna 5).

#### Galería de imágenes 1.4

Columna de tamices utilizada para separar los agregados de suelo de acuerdo con su tamaño



La dimensión de los orificios de cada tamiz determina el tamaño de los agregados que son retenidos y de los que pasan; los más pequeños llegan al fondo. Para definir la dimensión de los orificios se aconseja seguir una progresión geométrica.

cuadro 1.1  
.....>

Cuadro 1.1

## Registro y análisis de datos obtenidos de la separación de agregados

Col 1	Col 2		Col 3	Col 4	Col 5
Tamiz	Diámetro orificios		Material retenido	Material retenido*	Material que pasa**
(N.º)	(mm)	(in)	(g)	(%)	(%)
1	101.6	4	625	5.0	95.0
2	50.8	2	1600	12.7	82.3
3	25.4	1	3725	29.7	52.6
4	12.7	1/2	2100	16.7	35.9
5	6.35	1/4	1700	13.5	22.4
6	3.175	1/8	1250	10.0	12.4
Fondo	-	-	1550	12.4	-
Total			12,550	100.0	

\* Ejemplos de cálculo del porcentaje de material retenido:

Tamiz # 1 =  $(625 \text{ g} / 12,550 \text{ g}) * 100 = 4.98 \approx 5\%$ ;

Tamiz # 2 =  $(1600 \text{ g} / 12,550 \text{ g}) * 100 = 12.74\% \approx 12.7\%$

Tamiz # 3 =  $(3725 \text{ g} / 12,550 \text{ g}) * 100 = 29.68\% \approx 29.7\%$

\*\* Ejemplos de cálculo del porcentaje que pasa:

Tamiz # 1:  $100\% - 5\% = 95\%$

Tamiz # 2:  $95\% - 12.7\% = 82.3\%$

Tamiz # 3:  $82.3\% - 29.7\% = 52.6\%$

A partir de los datos anteriores se determinaron los parámetros siguientes:

**Diámetro medio geométrico (DMG).** Para obtener este parámetro se representa la relación entre el porcentaje de material que pasa a través de cada tamiz y el tamaño de los agregados. De acuerdo con el ejemplo, el arreglo de los agregados del suelo al final de la preparación se aproximó a una distribución logarítmica normal (**figura 1.2**, arriba). Con base en la ecuación obtenida se determinó el *DMG* como el tamaño correspondiente al 50% de la masa de suelo que ha debido pasar a través de un determinado tamiz. Así, *DMG* = 18 mm (desviación estándar de 3.9 mm).

**Diámetro medio ponderado (DMP).** La representación en barras permite visualizar la participación de cada porción de agregados en la distribución (**figura 1.2**, abajo). En el ejemplo, las mayores porciones fueron retenidas en los tamices 2, 3 y 4, correspondientes a tamaños en el rango entre 12.7-101.6 mm. Estos tamices retuvieron el 59% de los agregados y en ese rango se encontró la media de la distribución, representada por el *DMP*.

figura 1.2



El *DMP* se calcula con las masas de suelo retenidas y la respectiva dimensión del tamiz, como se indica en la ecuación 1.1. El valor de este parámetro disminuye a medida que avanzan las labores de preparación, especialmente con los pases de rastra liviana. Con los datos del ejemplo,  $DMP = 22.4$  mm.

$$DMP = \sum (W_i * X_i) / W_t \tag{1.1}$$

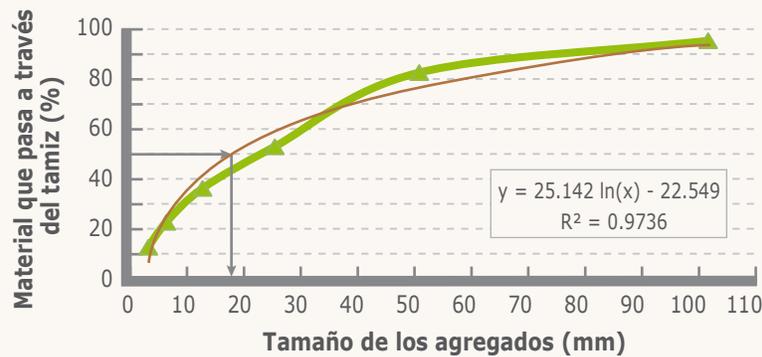
Donde  $W_i$  es la masa de suelo retenida en un tamiz (g),  $X_i$  es el tamaño de orificios del tamiz (mm) y  $W_t$  es la masa total de la muestra de suelo (g). Así:

$$DMP = (625 \text{ g} * 101.6 \text{ mm} + 1600 \text{ g} * 50.8 \text{ mm} + 3725 \text{ g} * 25.4 \text{ mm} + 2100 \text{ g} * 12.7 \text{ mm} + 1700 \text{ g} * 6.35 \text{ mm} + 1250 \text{ g} * 3.175 \text{ mm} + 1550 \text{ g} * 0) / 12,550 \text{ g} = 22.4 \text{ mm}$$

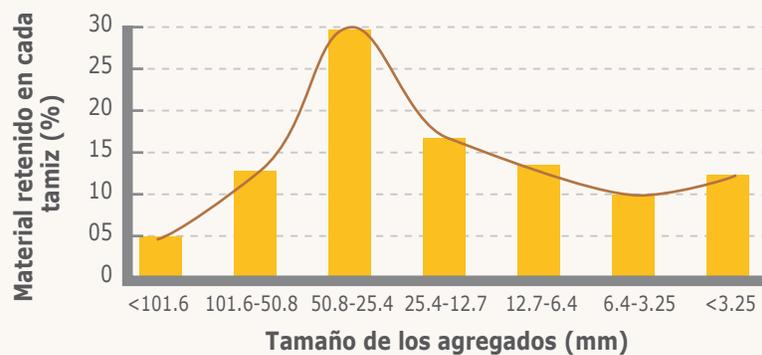
**Figura 1.2**

Distribución del tamaño de los agregados del suelo

▼ Diámetro medio geométrico (*DMG*)



▼ Diámetro medio ponderado (*DMP*)



## Contenido de humedad

El contenido de humedad es un factor importante en la interacción suelo-implemento porque influye en la consistencia del suelo, es decir en su capacidad de permanecer estable o mantener la forma. Si el contenido de humedad es bajo, la resistencia del suelo y su capacidad de soporte son altas; estas propiedades disminuyen al aumentar la humedad y, en un rango determinado, el suelo se torna frágil y mejora su respuesta ante la acción de los implementos. Si el contenido de humedad es alto, la resistencia mecánica del suelo es baja y la capacidad para responder a los esfuerzos y a fragmentarse por la acción de fuerzas externas se minimiza. El contenido de humedad del suelo se puede determinar con métodos directos e indirectos, en laboratorio o en campo.

### Determinación del contenido de humedad

En laboratorio, se determina el contenido de humedad gravimétrico en una muestra de suelo (de volumen y masa conocidos) que se deja en un horno de secado a 105 °C durante 24 horas. El contenido gravimétrico expresa la relación entre la masa de agua y la masa seca o de sólidos (Montenegro y Malagón, 1990), como se muestra en la ecuación 1.2:

$$\omega (\%) = (m_w / m_s) * 100 = (m_h - m_s) * 100 / m_s \quad (1.2)$$

Donde  $\omega$  es el contenido de humedad gravimétrico (%),  $m_w$  es la masa de agua (g),  $m_h$  es la masa de suelo húmedo (g) y  $m_s$  es la masa de sólidos o suelo seco (g).

En campo, es posible medir el contenido gravimétrico en terrones de suelo que se saturan de alcohol y se encienden para evaporar el agua. También se puede determinar el contenido volumétrico a través de mediciones indirectas con sondas, tensiómetros, microondas, o al tacto. El contenido volumétrico es la relación entre el volumen de agua y el volumen total de la muestra de suelo (ecuación 1.3):

$$\theta = V_w / V_t \quad (1.3)$$

Donde  $\theta$  es el contenido de humedad volumétrico (%),  $V_w$  es el volumen de agua en la muestra (cm<sup>3</sup>) y  $V_t$  es el volumen total de la muestra (cm<sup>3</sup>).

La relación entre los contenidos gravimétrico y volumétrico (ecuaciones 1.4 y 1.5) incluye parámetros del suelo como densidad aparente ( $\rho$ ), porosidad ( $n$ ) y gravedad específica de los sólidos ( $G_s$ ) y la densidad del agua ( $\rho_w$ ):

$$\theta = \omega * \rho / \rho_w \quad (1.4)$$

$$\theta = \omega * (1 - n) * G_s \quad (1.5)$$

$G_s$  expresa la relación entre el peso en el aire de un volumen dado de partículas sólidas y el peso en el aire de un volumen igual de agua destilada a temperatura de 4 °C. Presenta valores desde 2.20 (suelos de naturaleza volcánica) hasta 2.84 (arcillas muy plásticas).

## Densidad aparente

La densidad aparente del suelo ( $\rho$ ) es la relación entre la masa de suelo seco ( $m_s$ ) y el volumen total de una muestra ( $V_t$ ) (ecuación 1.6). Se mide en muestras tomadas en campo con cilindros de volumen conocido (**galería de imágenes 1.5**), las cuales se dejan en un horno de secado durante 16-24 horas a temperatura estándar de 105 °C.

$$\rho = m_s / V_t \quad (1.6)$$

La densidad aparente es una de las propiedades más utilizadas como indicador de la condición física de un suelo porque se afecta con los procesos de mecanización y con la compactación. La densidad del suelo disminuye por el incremento de porosidad que ocasiona la labranza, y aumenta con la compactación causada durante el tránsito de equipos porque disminuye la porosidad (ecuación 1.7):

$$\rho = (G_s * \rho_w) * (1 - n) \quad (1.7)$$

Se trata de una relación lineal (**figura 1.3**), en la que se destacan los siguientes aspectos:

- Suelos compactados pueden alcanzar valores de densidad aparente entre 1.7-1.8 Mg/m<sup>3</sup> y porosidad entre 32-36%.
- En suelos francos, la densidad aparente varía con la textura en un rango de 1.0-1.55 Mg/m<sup>3</sup>.
- Valores altos de densidad aparente corresponden a suelos arenosos (42% de porosidad) y valores bajos, a suelos arcillosos (62% de porosidad).

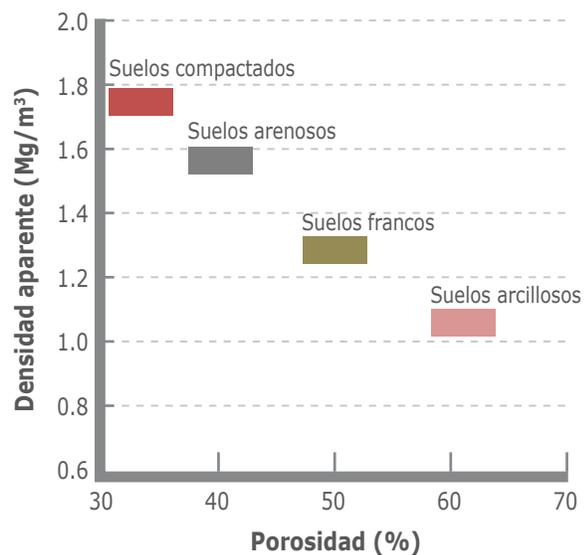
Galería de imágenes 1.5

Muestreo para determinar la densidad aparente del suelo



Figura 1.3

Variación de la densidad aparente del suelo con la porosidad



## Consistencia del suelo

La consistencia es una característica física definida por las fuerzas de cohesión y adhesión de las partículas del suelo. La consistencia describe la capacidad de un suelo de permanecer estable frente a la acción de fuerzas o de mantener su forma cuando se somete a fuerzas de deformación (ASAE, 1995); explica la facilidad para dejarse romper y deformar o para fluir. En reposo, los suelos mantienen su condición por las fuerzas de atracción molecular y tensión superficial; esa condición se modifica por la acción de fuerzas externas que rompen la estructura del suelo. La consistencia varía por cambios en el contenido de humedad, la densidad y la estructura; influyen además el contenido de arcilla, el tipo de arcilla y el contenido de materia orgánica.

## Estado de consistencia del suelo y límites de Atterberg

Desde el punto de vista del uso agrícola, el suelo puede considerarse en uno de cuatro estados: sólido, semisólido, plástico y líquido, los cuales están definidos por los límites de consistencia enunciados por Atterberg (**figura 1.4**). A bajos contenidos de humedad el suelo se comporta como un sólido y a contenidos altos puede fluir. A contenidos de humedad por debajo del límite de contracción el suelo tiene alta resistencia mecánica; al aumentar el contenido de humedad en un suelo arcilloso, su consistencia pasa sucesivamente de la condición sólida y resistente a ser fácilmente fragmentable (friable), plástico (moldeable), pegajoso y fluido. A continuación se describen los rasgos característicos en cada estado de consistencia.

Figura 1.4

Estado de consistencia de suelos finos según el contenido de humedad y los límites de Atterberg



**Sólido.** El suelo se comporta como un sólido cuando presenta un contenido de humedad por debajo del límite de contracción (*LC*). En este punto cesa la variación de volumen de una masa de suelo en proceso de secado y el suelo presenta alta resistencia mecánica (cohesión).

**Semisólido.** A medida que aumenta el contenido de humedad, el suelo pasa del estado sólido al semisólido y comienza a ser frágil o fácil de fragmentar, hasta que alcanza su condición friable justo antes de llegar al límite plástico *LP*, a partir del cual empieza a presentar características plásticas.

**Plástico.** A partir del *LP* el suelo adquiere capacidad de deformarse ante la acción de fuerzas externas y conserva el comportamiento plástico hasta el límite líquido (*LL*). En este estado tiene la propiedad de soportar deformaciones rápidas, sin recuperación elástica y sin variación volumétrica apreciable; permite formar esferas, cilindros y aros sin desmoronarse o agrietarse y sin pegarse a los implementos o a los dedos. La cualidad plástica o plasticidad está asociada a las películas de agua; aumenta con la proporción de partículas finas y es mayor en suelos de estructura laminar, según lo demostró Atterberg.

**Líquido.** El suelo puede comportarse como un fluido cuando la humedad sobrepasa el límite líquido (*LL*). A medida que aumenta la humedad es fácil que el suelo arcilloso se convierta en una masa pegajosa y se adhiera a los dedos, la madera y los metales porque incrementa la adhesividad; además, cuando el contenido de humedad es muy alto desaparece el esfuerzo efectivo entre las partículas de suelo, sólo prevalece la presión en los poros o presión hidrostática; el suelo pierde su capacidad de soportar esfuerzos y la masa tiende a fluir. La respuesta al laboreo es muy baja en suelos húmedos o por encima del *LP*: es poca la fragmentación y predominan la deformación y los agregados de gran tamaño.



Un suelo en estado plástico cambia de forma con la presión, sin recuperación elástica (arriba). Se vuelve pegajoso y pierde capacidad de soportar esfuerzos cuando aumenta la humedad (abajo).

**Condición friable.** Es la condición de mayor fragilidad del suelo; se considera óptima para la mecanización porque en ella se presenta la mejor respuesta del suelo a la acción de los implementos y son menores los requerimientos de tracción y energía. Los suelos arcillosos alcanzan la condición friable cuando su contenido de humedad está entre 85% y 90% de su límite plástico.



La cualidad de friable se reconoce al tomar un terrón de suelo y presionarlo: si el suelo se fragmenta fácilmente sin adherirse a la mano, está en condición friable.

**Índice de plasticidad.** Es un factor importante en la relación laboreo y consistencia del suelo; se calcula por la diferencia entre el límite líquido y el límite plástico ( $IP = LL - LP$ ) y es un indicador de la interacción suelo-implemento:

- $IP < 5$  es característico en suelos fáciles de mecanizar
- $5 < IP < 12$  identifica los suelos medianos
- $IP > 12$  se presenta en suelos de alta plasticidad, pesados y difíciles para el laboreo.

## Propiedades mecánicas y consistencia del suelo

La consistencia del suelo se identifica con el comportamiento de los agregados cuando se someten a un esfuerzo mecánico por tránsito o laboreo; tiene relación con las propiedades mecánicas del suelo, especialmente cohesión, adhesión y fricción, factores que varían con el tipo de suelo y el contenido de humedad. Por otra parte, la consistencia influye en la estabilidad de la estructura del suelo, la tracción requerida para laborarlo y la penetración de las raíces. En suelos sólidos o secos se manifiesta por el grado de dificultad para fragmentar un terrón cuando se ejerce presión sobre él con los dedos o la mano; en este caso, la cohesión es la propiedad determinante. En suelos húmedos en estado semisólido la consistencia se relaciona especialmente con la friabilidad, mientras que en suelos en estado plástico depende de la adhesividad y la plasticidad de las partículas del suelo.

## Determinación de los límites de consistencia del suelo

### Límite plástico ( $LP$ )

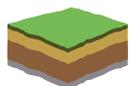
Es el dato más importante desde el punto de vista de la preparación de suelos. Se determina en laboratorio, en suelo seco que se humedece con agua destilada hasta formar una pasta:

- Una pequeña porción de la pasta se hace rodar entre los dedos y una superficie plana de vidrio hasta formar un cilindro alargado de 3 mm de diámetro.
- Si el cilindro se fragmenta en porciones de 6 mm de longitud o mayores, el contenido de humedad del suelo corresponde al límite plástico (Sánchez-Girón, 1996).

### Límite líquido ( $LL$ )

Por el método de Casagrande. Se usa suelo húmedo que se coloca en una cazuela y se le hace una ranura. La cazuela se deja caer repetidamente desde una altura calibrada de 10 mm hasta que la ranura se cierre en 10 a 12 mm:

- El contenido de humedad está en el  $LP$  si la ranura se cierra luego de 25 golpes o caídas. En caso contrario, se agrega agua o suelo a la muestra para repetir el procedimiento. El número de golpes debe oscilar entre 15 y 35.
- Se requieren tres pruebas como mínimo para definir el  $LL$  por medio de una regresión ( $LL$  es la humedad correspondiente a 25 golpes).



## La consistencia del suelo y la labranza

**La acción de los implementos ocasiona falla en la masa de suelo en una magnitud que depende de la consistencia.** La interacción suelo-implemento se manifiesta de diferentes formas: estallamiento, fragmentación, corte, inversión, mezcla y movimiento, las cuales dependen de la operación básica que se pretende realizar y de la consistencia del suelo.

Implementos	Acción del implemento y respuesta del suelo
Subsoladores y cinceles	Ejercen presión sobre el suelo y ocasionan estallamiento, grietas y agregados grandes.
Discos de rastras o arados	Cortan prismas de suelo, los presionan, torsionan e impulsan; ocasionan inversión y fragmentación; al mismo tiempo pican y mezclan residuos.
Palas topadoras, niveladoras y traillas	Cortan y mueven el suelo.
Surcadoras y zanjadoras	Cumplen la acción combinada de corte, movimiento e inversión del suelo.

Antes de realizar las labores, el agricultor debe conocer el estado de consistencia del suelo, porque los cambios en el contenido de humedad modifican su capacidad para responder a la labranza y a la degradación que puedan provocar los implementos. La mecanización en condiciones inadecuadas de humedad puede causar daños al suelo, sin llegar a brindar las condiciones necesarias para el desarrollo del cultivo.

**Suelos en estado sólido exigen alto consumo de energía porque la cohesión es alta y el suelo tiene gran capacidad de soportar esfuerzos.**

- La mecanización de suelos sólidos produce roturación escasa y predominio de terrones grandes.

**El suelo debe laborarse en estado semisólido, cuando es más frágil o friable;**

se reconoce por la facilidad con que se fragmenta: la resistencia del suelo es baja y su respuesta a la acción de los implementos es la mejor. En esta condición, la humedad es suficiente para evitar la cementación y es escasa para que el suelo adquiera características plásticas.

- La mayoría de implementos, en particular discos cóncavos, discos de rastras o arados, surcadoras y zanjadoras, se desempeñan mejor en suelo friable.
- Palas topadoras, niveladoras y traillas son menos exigentes en relación con la consistencia del suelo y alcanzan buen desempeño en condición friable y en plástica.

**La respuesta al laboreo es muy baja en suelos húmedos o por encima del límite**

**plástico:** es poca la fragmentación y predomina la deformación, de modo que después de la labranza quedan agregados de gran tamaño (**galería de imágenes 1.6**).

**Galería de imágenes 1.6**

Respuesta de un suelo en dos condiciones de humedad frente a la acción de un implemento agrícola



Un suelo arcilloso en condición friable rotura y fragmenta fácilmente por la acción del implemento.



Un suelo arcilloso en condición húmeda o por encima del límite plástico responde poco a la acción del implemento.

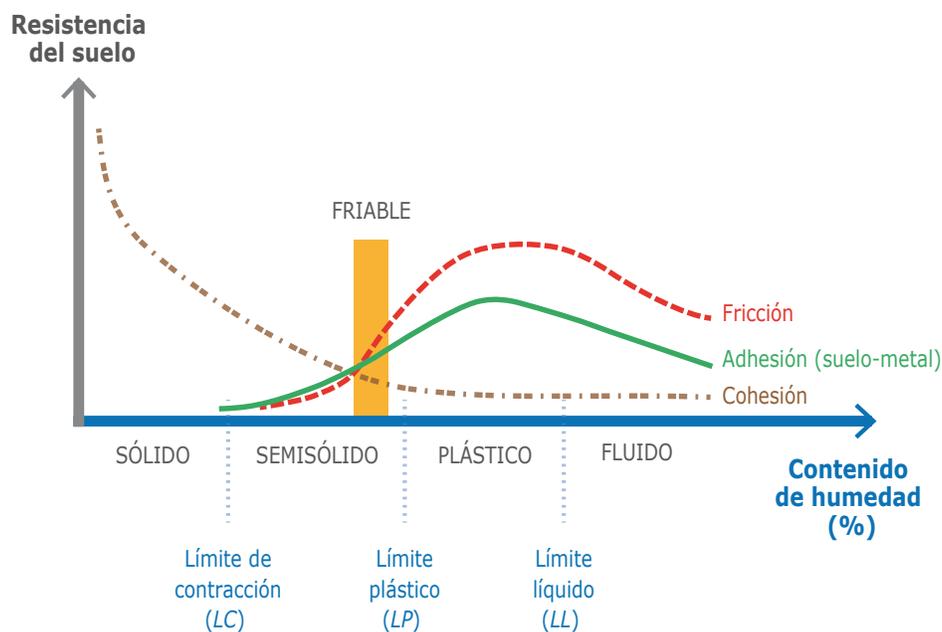
## Propiedades mecánicas del suelo

Las propiedades mecánicas del suelo influyen en muchos factores presentes en la interacción suelo-implemento-tractor. Los coeficientes de cohesión, adhesión y fricción condicionan la respuesta del suelo al implemento, el requerimiento de tracción y potencia y la capacidad del suelo para soportar esfuerzos normales y cortantes.

La **figura 1.5** muestra las variaciones en las propiedades mecánicas de cohesión, adhesión y fricción en suelos finos de acuerdo con su contenido de humedad; esta figura se utiliza como referencia para explicar los conceptos básicos acerca de cada propiedad.

Figura 1.5

Variación de las propiedades mecánicas de suelos finos de acuerdo con el contenido de humedad



### Cohesión

La cohesión se debe a la atracción molecular entre las partículas de suelo y depende principalmente de la textura, la densidad y el contenido de humedad. Mientras más cercanas están las partículas, mayor es la cohesión. La atracción entre partículas que caracteriza un determinado suelo se expresa mediante el coeficiente de cohesión ( $C_s$ ), es la fuerza por unidad de área que debe ejercer un implemento sobre la masa de suelo para romper la unión dentro de los agregados, se expresa en kPa.

Suelos arcillosos con bajo contenido de humedad tienen alta cohesión molecular (figura 1.5), poseen alta resistencia mecánica y su laboreo representa alto consumo energético y baja respuesta a la fragmentación. Con el aumento del contenido de humedad disminuyen la cohesión molecular y la resistencia del suelo. La cohesión entre las partículas define la resistencia de los suelos arcillosos, como se muestra en la **tabla 1.2** que incluye suelos de diferente textura y condición (Ashburner y Sims, 1984).

## Adhesión

La adhesión es ocasionada por la tensión superficial de la fase líquida del suelo sobre la fase sólida (Montenegro y Malagón, 1990). Los suelos arcillosos alcanzan mayor adhesión en estado plástico, cuando tienen poca aptitud para responder a la mecanización. La adhesión se manifiesta con mayor énfasis entre las partículas de suelo y los implementos; se expresa mediante el coeficiente de adhesión suelo-metal ( $C_a$ ) y es la fuerza por unidad de área ejercida en la interacción suelo-implemento por efecto de la tensión superficial entre la fase líquida del suelo y el material del implemento.  $C_a$  depende del contenido de arcilla del suelo y su contenido de humedad (figura 1.5); en suelos arcillosos alcanza valores entre 10 kPa y 30 kPa.

## Fricción

La fricción define la resistencia de las partículas de suelo a deslizar unas sobre otras o sobre las superficies de los implementos, varía con el contenido de humedad y determina la resistencia mecánica de los suelos arenosos. El deslizamiento entre partículas de suelo está definido por el ángulo de fricción interna del suelo o ángulo de fricción suelo-suelo ( $\varphi$ ) que depende de la textura y condición del suelo, como se expresa en la tabla 1.2.

El ángulo de fricción entre el suelo y la superficie del implemento o ángulo de fricción suelo-metal ( $\delta$ ) depende de factores como el tipo de material y el grado de pulimento y de factores del suelo, como textura y contenido de humedad; puede ser hasta de 5° para superficies pulidas, entre 5° y 15° para superficies limpias y entre 15° y 25° para superficies oxidadas (Marrón, 2012). La fuerza de fricción ( $f$ ) debida al deslizamiento entre partículas de suelo (contacto suelo-suelo) o sobre superficies de contacto (suelo-implemento) responde a la ecuación 1.8 y es el producto de multiplicar el coeficiente de fricción ( $\mu$ ) por la carga normal ejercida sobre la superficie de contacto ( $N$ ):

$$f = \mu * N \quad (1.8)$$

El coeficiente de fricción suelo-suelo ( $\tan\varphi$ ) y el coeficiente de fricción suelo-implemento ( $\tan\delta$ ) dependen inicialmente de la textura del suelo. Suelos arenosos tienen alto coeficiente de fricción, baja cohesión, alta conductividad hidráulica, baja compresibilidad y no tienen plasticidad. Los suelos arcillosos tienen alta resistencia cohesiva, menor densidad, alta plasticidad y baja conductividad hidráulica. Los suelos francos pueden alcanzar alta cohesión en estado seco, pero ésta disminuye rápidamente con el contenido de humedad; son suelos compresibles y de baja conductividad.

Tabla 1.2

Coeficiente de cohesión ( $C_s$ ) y ángulo de fricción ( $\varphi$ )  
para diferentes suelos y condiciones

Textura	Condición del suelo	$C_s$ (kPa)	$\varphi$ (°)
Arenoso	Compactado	0	38 – 40
Arenoso	Suelto	0	32 – 35
Arenoso fino	Compactado	0	25 – 30
Arenoso fino	Suelto	0	18 – 22
Franco arenoso	Friable	20 – 25	24 – 28
Franco arenoso	Plástico	10 – 15	24 – 28
Franco	Friable	25 – 30	22 – 26
Franco	Plástico	15 – 20	15 – 19
Arcilloso	Friable	40 – 60	17 – 19
Arcilloso	Plástico	25 – 30	10 – 14

## Resistencia a la penetración

Esta propiedad es un indicador de la resistencia mecánica del suelo que integra los efectos de la compactación, el contenido de humedad, la textura y el tipo de arcilla. La resistencia a la penetración se mide con instrumentos denominados penetrómetros (**galería de imágenes 1.7**) y es considerada universalmente como uno de los mejores indicadores del nivel de compactación del suelo.

El uso del penetrómetro de cono está estandarizado por la norma ASAE S313.2 (ASAE, 1995): una punta cónica de 30° penetra en el suelo a velocidad constante y el instrumento registra la fuerza ejercida por unidad de área; este valor, denominado índice de cono, es la resistencia del suelo a la penetración. También hay penetrómetros de punta cilíndrica, pero su registro difiere respecto al de cono.

La **figura 1.6** muestra la resistencia a la penetración en un suelo cultivado con caña de azúcar donde se hicieron las mediciones con un penetrómetro de cono después del pase de los equipos de cosecha, es decir, en un suelo sometido a diferentes niveles de tráfico:

- A.** Condición previa al tránsito de equipos de cosecha con valores predominantes menores que 2 MPa.
- B.** Resistencia a la penetración después del paso de la cosechadora: algunas zonas del perfil alcanzan 3 MPa, un incremento pequeño porque las áreas de contacto que genera el sistema de rodamiento de la cosechadora favorecen al suelo.

Galería de imágenes 1.7

Penetrómetros mecánicos y digitales



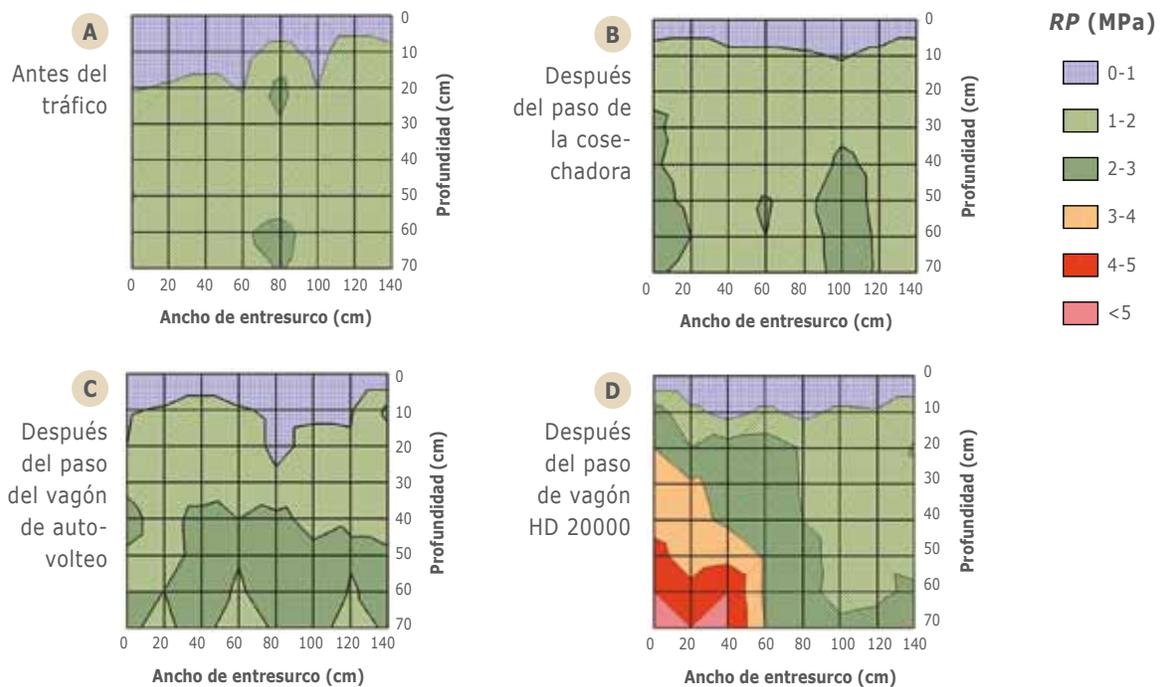
Penetrómetro de mano. Una grilla con retículos de 10 cm x 10 cm sirve de guía para las mediciones.



Penetrómetros: mecánico (izq.) y digital (der.) Algunos grafican la resistencia a la penetración mientras realizan la medición (penetrógrafos).

Figura 1.6

Mediciones de resistencia a la penetración (RP)



- C. Se incrementa el esfuerzo al paso de vagones de autovolteo: una capa subsuperficial uniforme llega a 3 MPa.
- D. Se llega a valores de resistencia a la penetración superiores a 5 MPa en capas profundas al paso de vagones pesados (33 t de carga bruta) que superan los límites de carga preventivos de compactación.

Estos niveles de resistencia a la penetración medidos después de la cosecha son un indicador de la resistencia mecánica que deben vencer los implementos al iniciar el proceso de roturación.

## Determinación de los coeficientes de cohesión y fricción suelo-suelo

Los coeficientes de cohesión y fricción suelo-suelo determinan las condiciones mecánicas del suelo y su capacidad para resistir deformación y carga. Se evalúan por métodos de laboratorio o de campo. El más simple es la prueba de corte directo.

### Prueba de corte directo

Un mínimo de tres probetas de sección transversal ( $A_f$ ) se someten a esfuerzos normales ( $\sigma = W / A_f$ ) al ser cargadas con pesos ( $W$ ) en un molde partido.

Una de las mitades del molde es fija, de tal manera que al aplicar una fuerza ( $F$ ) se originan esfuerzos cortantes ( $\tau = F_s / A_f$ ) que causan la falla de la probeta cuando se vence la resistencia máxima al corte ( $\tau_{max}$ ) para las condiciones dadas del suelo.

Cada probeta se ensaya bajo una carga diferente, de forma que se tienen tres esfuerzos normales y tres esfuerzos cortantes que se pueden representar en un plano.

Mediante una regresión se determina la ecuación de Coulomb (Das, 1992) que relaciona los esfuerzos cortantes máximos y los esfuerzos normales, como se muestra en el ejemplo de la **figura 1.7** (arriba). El intercepto es el coeficiente de cohesión del suelo ( $C_s$ ), la pendiente de la línea es el coeficiente de fricción suelo-suelo ( $\tan\phi$ ) y  $\phi$  es el ángulo de fricción interna del suelo. La **figura 1.7** (abajo), muestra la relación de esfuerzos en tres condiciones de suelo.

#### ▼ Molde y fuerzas en la prueba de corte directo

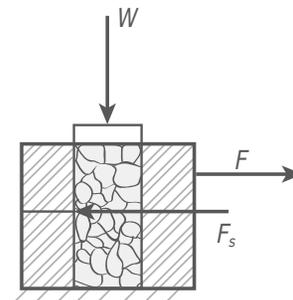
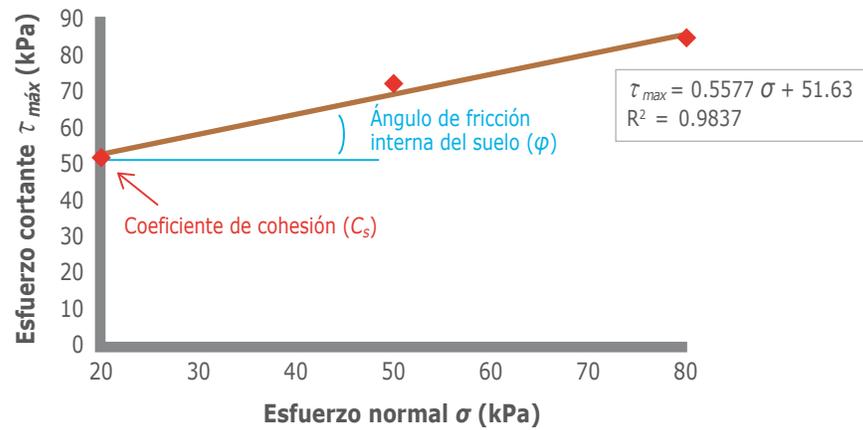


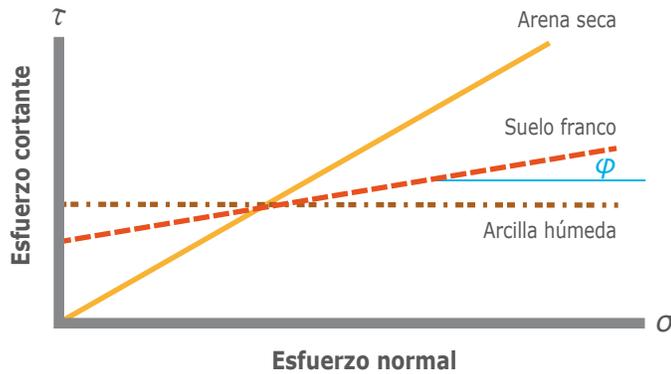
figura 1.7  
.....>

Figura 1.7

Relación entre esfuerzos normales y cortantes determinada en pruebas de corte directo



Relación de esfuerzos para tres condiciones de suelo



- Las partículas de arena seca deslizan unas sobre otras; no tienen cohesión, sólo presentan fricción.
- ⋯ La arcilla húmeda basa su resistencia en la cohesión, sin deslizamiento entre partículas.
- · - Suelos francos hacen uso de las dos propiedades para definir su resistencia mecánica.



## Práctica 1.1

# Determinemos algunas características físicas y mecánicas del suelo en un lote dispuesto para preparación

### Orientaciones para el facilitador

Esta práctica de campo se lleva a cabo en un lote dispuesto para preparación, en donde los participantes trabajan en grupos de cinco personas en calicatas excavadas previamente. La práctica consiste en observar el perfil del suelo, representar sus horizontes y describir las características físicas de textura y consistencia determinadas al tacto en muestras de suelo tomadas de cada horizonte. Finalmente se realizan mediciones de resistencia a la penetración colocando una grilla en el perfil y utilizando un penetrómetro de mano. Los resultados del grupo se registran en la hoja de respuestas, la cual debe conservarse para algunas actividades posteriores. Se estima que 90 minutos son suficientes para la práctica.

### Sugerencias para organizar la práctica

- 1. Ubicar un lote para la práctica.** Debe ser un lote recién cosechado y preferiblemente para preparación. La información siguiente debe ser entregada a cada participante como parte de la documentación para la práctica: zona agroecológica, relieve superficial, tipo de cosecha anterior, variedad que se va a sembrar y condición de drenaje del lote.
- 2. Confirmar el número de asistentes y disponer lo necesario para la práctica.** Ordenar con anticipación la construcción de calicatas de 1 m x 1 m x 1 m distribuidas en el lote, una por cada grupo de trabajo (cinco personas por grupo). En el sitio de la calicata, cada grupo debe disponer de los recursos necesarios. Aliste las copias del material impreso que entregará a cada participante.
- 3. Preparar a los participantes para la práctica.** Recomiende el uso de indumentaria de trabajo de campo como botas, guantes y sombrero.
  - Antes de la práctica, repase con los participantes la unidad 1: Conozcamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza.
  - Presente los objetivos de la práctica y explique el modo en que se deben desarrollar las actividades (ver Instrucciones para los participantes). Ubique a cada grupo en la calicata asignada y haga entrega de las herramientas necesarias.
- 4. Aclare oportunamente las inquietudes que se presenten en los grupos de trabajo.** Si es necesario pida la colaboración de otros facilitadores formados en la materia.

## RECURSOS NECESARIOS

### Entregar a cada participante:

- Una copia del contenido técnico: Conozcamos las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza (unidad 1)
- Una copia de las Instrucciones para los participantes y el formulario de registro de datos.
- Información del lote: zona agroecológica, relieve superficial, tipo de cosecha anterior, variedad que se va a sembrar y condición de drenaje del lote.
- Hojas de papel en blanco y lápiz.

### Entregar a cada grupo (recursos disponibles en cada calicata):

- Una pala o un palín
- Un martillo
- Un cuchillo
- Un flexómetro
- Agua
- Una grilla para mediciones de resistencia a la penetración: marco metálico y tejido de fibra o nylon con retículos de 10 cm x 10 cm
- Un penetrómetro de mano.

### Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Una vez cumplidas las actividades lleve a cabo la sesión de retroinformación como táctica para determinar el nivel de aprovechamiento de la práctica realizada, complementar y afianzar los conocimientos adquiridos. Se sugieren las siguientes preguntas para motivar la participación de los asistentes:

1. Acerca de las actividades ¿fueron sencillas o complejas? ¿qué dificultades se presentaron?
2. Sobre el manejo del penetrómetro de mano, ¿fue fácil o difícil? ¿qué dificultades se presentaron?
3. Sobre los métodos para determinar la textura y la consistencia del suelo al tacto, ¿son prácticos? ¿son confiables? ¿por qué?
4. Desde el punto de vista de la preparación de suelos, ¿qué ventajas tiene el hecho de conocer el perfil del suelo?

## Práctica de campo 1.1

### Instrucciones para los participantes

Determinemos algunas características físicas y mecánicas del suelo en un lote para preparación

#### Objetivos

Al finalizar la práctica, los participantes estarán en capacidad de:

- Hacer una descripción del perfil del suelo.
- Identificar al tacto la textura de los horizontes superiores del suelo.
- Identificar al tacto la consistencia del suelo.
- Realizar mediciones de resistencia a la penetración.

#### Actividades

Para esta práctica es importante haber repasado con el facilitador los conceptos generales sobre las propiedades físicas y mecánicas del suelo y su relación con la labranza. Las actividades se llevarán a cabo en grupos de trabajo, cada uno ubicado en una calicata donde contarán con: una pala o un palín, un martillo, un cuchillo, un flexómetro, agua, una grilla para mediciones de resistencia a la penetración y un penetrómetro de mano.

Antes de comenzar, lea estas instrucciones con sus compañeros y acuerde con ellos cómo se van a distribuir las tareas. Deben conservar los resultados para utilizarlos más adelante, en otras actividades previstas en el programa de capacitación.

Una grilla construida con un marco metálico y fibra con retículos de 10 cm x 10 cm se utiliza como guía para las mediciones de resistencia a la penetración mediante el penetrómetro de mano.



## Actividad 1. Representar el perfil del suelo, sus horizontes y profundidad

1. Registre en la hoja de respuestas la información básica del lote donde se encuentra la calicata de observación asignada para la práctica.
2. Identifique los horizontes del perfil y mida el espesor de cada uno.
3. Elabore un dibujo del perfil y señale cada horizonte con la letra respectiva (A, B, C...) y su profundidad.
4. Observe cada horizonte y registre sus características en la hoja de respuestas.

### Hoja de respuestas

Descripción del perfil del suelo.

Información básica del lote (la suministra el facilitador)			
Fecha:	Calicata #:		
Hacienda:	Suerte:		
Tipo de cosecha:	Variedad por sembrar:		
Consociación de suelo:			
Zona agroecológica:			
Relieve superficial:			
Condición de drenaje:			
Descripción de los horizontes	A	B	C
Espesor (cm):			
Color:			
Presencia de raíces:			
Presencia de animales:			

## Actividad 2. Determinar al tacto la textura del suelo

1. Tome una muestra de suelo en la mano, desmenúcela, retire de ella piedras y material extraño, agréguele un poco de agua y mezcle hasta formar una masa maleable. Forme inicialmente esferas de 2 cm de diámetro y luego cilindros tan largos como pueda.
2. Observe la respuesta de la masa de suelo y describa su textura en términos de la sensación al tacto, así:

Sensación al tacto y respuesta del suelo	Descripción
<input type="checkbox"/> Sensación áspera. <input type="checkbox"/> Dificultad para formar una masa trabajable. <input type="checkbox"/> Los cilindros se cuarteán y desarman fácilmente.	<b>Arena</b> Textura gruesa Suelo liviano
<input type="checkbox"/> Sensación suave con leve aspereza. <input type="checkbox"/> Amasa bien aunque tiende a agrietarse. <input type="checkbox"/> Forma cilindros aunque se fracturan al estirarlos.	<b>Limo</b> Textura media Suelo mediano o franco
<input type="checkbox"/> Sensación suave. <input type="checkbox"/> Masa maleable (como plastilina o masilla) <input type="checkbox"/> Forma cilindros largos y estables.	<b>Arcilla</b> Textura fina Suelo pesado

3. Registre en la hoja de respuestas la textura de cada horizonte y su descripción en términos del comportamiento ante la mecanización. Complemente el dibujo del perfil con esta información.

### Hoja de respuestas

Propiedades físicas del suelo y su comportamiento ante la mecanización.

Descripción de los horizontes	A	B	C
Tipo de partículas:			
Textura:			
Comportamiento ante la mecanización:			

### Actividad 3. Determinar al tacto la consistencia del suelo

1. Tome un terrón de suelo y presiónelo entre los dedos índice y pulgar o en la palma de la mano con el fin de fracturarlo. En caso necesario use tres dedos o ambas manos para conseguir su propósito. Haga este procedimiento para cada horizonte.
2. Observe la respuesta del terrón a la presión e identifique la propiedad mecánica presente (adhesividad, cohesión, plasticidad) y el estado de consistencia del suelo:

Respuesta del suelo a la presión y sensación al tacto	Propiedad mecánica	Estado de consistencia
<input type="checkbox"/> Resiste la presión. <input type="checkbox"/> Suelo seco, cementado, muy duro.	Cohesión	Sólido
<input type="checkbox"/> Fractura con dificultad. <input type="checkbox"/> Suelo seco, duro.	Cohesión	Sólido o semisólido
<input type="checkbox"/> Fractura con facilidad. <input type="checkbox"/> Suelo húmedo, friable.	Cohesión	Semisólido, friable
<input type="checkbox"/> Deforma. <input type="checkbox"/> Suelo húmedo, plástico.	Plasticidad	Plástico
<input type="checkbox"/> Forma cilindros de 3 mm de diámetro. <input type="checkbox"/> Suelo húmedo, plástico.	Plasticidad	Plástico
<input type="checkbox"/> Adhiere a los dedos. <input type="checkbox"/> Suelo mojado.	Adhesividad	Adherente

3. Registre los resultados en la hoja de respuestas y complemente el dibujo del perfil del suelo con esta información.

#### Hoja de respuestas

Estado de consistencia del suelo y propiedades mecánicas.

Descripción de los horizontes	A	B	C
Estado de consistencia del suelo:			
Cohesión:			
Adhesividad:			
Plasticidad:			

## Actividad 4. Medir la resistencia a la penetración

1. Siga las indicaciones del facilitador para instalar la grilla (marco metálico y tejido de fibra o nylon con retículos de 10 cm x 10 cm) en la calicata y para hacer las lecturas con el penetrómetro de mano.
2. Realice mediciones de resistencia a la penetración en el centro de cada retículo:
  - Coloque el penetrómetro en el centro del retículo y ejerza presión para introducirlo horizontalmente hasta la marca indicada en el instrumento.
  - Realice la lectura de resistencia y registre los datos en la hoja de respuestas (deje en blanco la columna del promedio).

### Hoja de respuestas

Mediciones de resistencia a la penetración antes de la preparación del suelo.

Prof. (cm)	Ancho (cm)										
	5	15	25	35	45	55	65	75	85	95	Prom.
5											
15											
25											
35											
45											
55											
65											
75											
Obsevaciones											

## Ejercicio 1.1

# Representemos la resistencia a la penetración y analicemos su distribución en el perfil del suelo

### Orientaciones para el facilitador

El tiempo estimado para realizar este ejercicio son 30 minutos. Cada participante debe tener un computador con Excel® y conocimientos básicos de su manejo para graficar la distribución de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo de acuerdo con las mediciones hechas por su grupo de trabajo durante la práctica de campo.

### Sugerencias para realizar el ejercicio

- Organice previamente una presentación para dar las instrucciones a los participantes sobre el manejo de los datos.
- Asegúrese de contar con los recursos necesarios para el trabajo individual en computador y el posterior análisis de los resultados en grupo: salón con espacio suficiente, mesas, sillas, conexiones eléctricas, proyector o video beam y papelógrafo.
- Confirme que todos los participantes cuentan con los datos necesarios para el ejercicio (mediciones de resistencia a la penetración registradas en la hoja de respuestas de la Práctica 1.1).

### Preguntas sugeridas para la retroinformación

Una vez finaliza el ejercicio, motive a los participantes para que intervengan en la sesión de retroalimentación. Las preguntas siguientes pueden ayudarle:

1. ¿Qué dificultades se presentaron al graficar los datos tomados en el campo?
2. ¿Qué utilidad tiene la representación de la resistencia a la penetración?
3. Los niveles de compactación que muestra la gráfica, ¿son tolerables en suelos agrícolas?
4. En un suelo con los niveles de resistencia a la penetración que muestra la gráfica, ¿qué dificultades se pueden presentar durante el desarrollo del cultivo?



## Ejercicio 1.1

### Instrucciones para los participantes

Representemos la resistencia a la penetración y analicemos su distribución en el perfil del suelo

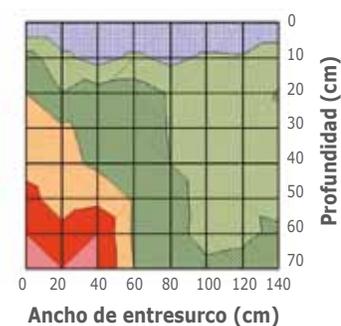
#### Objetivo

Al finalizar el ejercicio, los participantes estarán en capacidad de representar e interpretar la distribución de la resistencia a la penetración en el perfil del suelo.

#### Pasos para realizar el ejercicio

1. Siga las indicaciones del facilitador para ingresar en una hoja de cálculo (Excel®) los datos de la resistencia a la penetración que determinó en la calicata durante la práctica de campo (datos del grupo de trabajo).
2. Elabore una gráfica con los datos, como la que se muestra en el ejemplo # 1.
3. Interprete la gráfica con sus compañeros de grupo y registre en la hoja de respuestas sus observaciones relacionadas con:
  - Valores mínimos de resistencia y valores máximos.
  - Identificación de capas compactadas y su profundidad.
  - Correlación entre las zonas compactadas y el desarrollo de las raíces de la caña.
4. Calcule el valor promedio de resistencia a la penetración para cada profundidad de evaluación. Registre los datos en el formulario que llenó durante la práctica de campo.
5. Represente la variación de la resistencia a la penetración con respecto a la profundidad (ejemplo gráfica # 2) utilizando los valores promedio calculados antes.
6. Participe en las discusiones del grupo acerca de la interpretación de las gráficas y complemente las conclusiones finales acerca de la resistencia del suelo a la penetración. Registre las conclusiones en la hoja de respuestas.

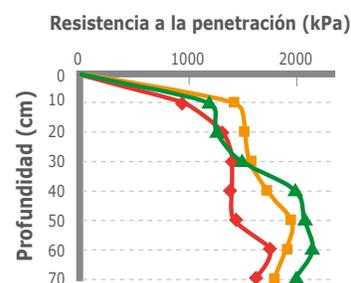
**Ejemplo gráfica #1**



Resistencia a la penetración (MPa)



**Ejemplo gráfica #2**



Hoja de respuestas

Análisis de la distribución de la resistencia a la penetración en el perfil de suelo.

<b>Nombre del grupo de trabajo:</b>	
Fecha:	Calicata #:
<b>Observaciones acerca de las gráficas # 1 y # 2</b>	
Valores máximos:	
Valores mínimos:	
Profundidad de capas compactadas:	
Correlación entre las zonas compactadas y el desarrollo de las raíces de la caña de azúcar:	
<b>Conclusiones finales</b>	

*Solicite más hojas si las necesita*

## Ejercicio 1.2

# Analicemos las propiedades del suelo y las labores de preparación

### Orientaciones para el facilitador

El objetivo general de este ejercicio es favorecer el análisis y la discusión acerca de la conservación de los suelos durante la labranza. Con este propósito, los participantes deben identificar las causas de la variabilidad de los suelos en un lote dispuesto para la siembra de una nueva variedad de caña de azúcar (lote de práctica) y proponer una secuencia de preparación que asegure la conservación de las cualidades del suelo, la germinación y el desarrollo inicial de la caña. Tenga en cuenta que con este ejercicio concluye la unidad 1 de aprendizaje; se requieren hasta 60 minutos para su desarrollo.

### Sugerencias para dirigir el ejercicio

1. Conceda los 20 minutos iniciales del ejercicio para que los grupos de trabajo analicen la información del lote de práctica, propongan una secuencia de preparación de los suelos y la justifiquen.
2. Dirija una sesión plenaria que incluya:
  - Cinco minutos de presentación por cada grupo: condiciones del sitio de cultivo, secuencia de preparación y utilidad de la información suministrada en el anexo 1.
  - Quince minutos de discusión sobre los criterios de preparación de los suelos para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, con referencia en las experiencias de los participantes.
  - Quince minutos para conclusiones y recomendaciones.

### RECURSOS NECESARIOS

- Instrucciones para los participantes en el ejercicio y hoja de respuestas adjunta.
- Hoja de respuestas utilizada en la Práctica 1.1: Determinemos algunas características físicas y mecánicas del suelo en un lote dispuesto para preparación.
- Hoja de respuestas utilizada en el Ejercicio 1.1: Representemos la resistencia a la penetración y analicemos su distribución en el perfil del suelo.

## Ejercicio 1.2

### Instrucciones para los participantes

Analicemos las propiedades del suelo y las labores de preparación

#### Objetivo

Al finalizar el ejercicio, los participantes estarán en capacidad de tomar decisiones sobre la secuencia de labores de preparación de los suelos de acuerdo con sus propiedades y los objetivos de cultivo.

#### Pasos para realizar el ejercicio

El ejercicio se realiza en grupos de trabajo, los mismos que han intervenido en las actividades anteriores. Las respuestas del caso se registran en la hoja adjunta a estas instrucciones.

1. Analice la información del lote de práctica, proponga una secuencia de preparación de los suelos y justifique la importancia de cada labor.
2. Participe en la sesión plenaria: ofrézcase para representar a su grupo de trabajo y exponga los resultados del ejercicio. Intervenga en la definición de criterios de preparación de los suelos para el cultivo de la caña de azúcar y en la redacción final de conclusiones y recomendaciones al respecto.
3. Tenga en cuenta que con este ejercicio concluye la primera parte de la capacitación en preparación de suelos. Si aún tiene dudas sobre las propiedades del suelo y su relación con la labranza, es el momento de aclararlas.

## Hoja de respuestas

Propuesta de secuencia de labores para la preparación del suelo en el lote de práctica.

<b>Nombre del grupo de trabajo:</b>	
Fecha:	Calicata #:
<b>Información básica del lote</b> (la suministra el facilitador)	
Consociación de suelo:	Tipo de cosecha:

NOTA: Para definir la secuencia de labores tenga en cuenta las condiciones del suelo determinadas en el lote de práctica y la distribución de la resistencia a la penetración.

<b>Propuesta de secuencia de labores para la preparación del lote</b>		
<b>Secuencia de labores</b> Incluya: tipo de labor, momento, implemento, profundidad y número de pases.	<b>Consistencia del suelo</b>	<b>Justificación de la labor y recomendaciones</b>
# 1:		
# 2:		
# 3:		
# 4:		

*Solicite más hojas si las necesita*

# Unidad 2

## Trabajemos con rastras de discos



## Introducción

Las rastras de discos son implementos de uso extendido en la agroindustria de la caña de azúcar; con ellas se ejecutan entre 50% y 60% de los pases de implementos durante la preparación de los suelos para la renovación de plantaciones, se usan en labranza primaria y secundaria.

Como la gran mayoría de implementos agrícolas, las rastras de discos poseen una estructura, elementos que roturan el suelo y mecanismos de enganche, transporte y calibración. Los mecanismos de calibración tienen una connotación especial por la influencia en el desempeño del equipo. La calibración se basa en mecanismos para nivelar y equilibrar estáticamente la rastra y para graduar su capacidad de penetración y de corte.

En esta unidad de aprendizaje se resumen los conceptos básicos acerca de las rastras de tiro excéntrico, sus componentes y los aspectos principales para su calibración. Este tipo de rastras son las más utilizadas en el valle geográfico del río Cauca.

## Objetivos

Contribuir a la formación de capacidades en las unidades productivas de caña de azúcar para:

- Describir los implementos utilizados para labranza primaria y secundaria.
- Describir los principios de operación y calibración de rastras de discos.
- Practicar procesos de calibración en rastras de discos.
- Calcular los factores relacionados con la eficiencia de operación y los requerimientos de tracción de una rastra.

## Estructura de aprendizaje

La unidad se dedica a mostrar las rastras como equipo base para el laboreo primario y secundario. Se proponen dos prácticas de campo para que los participantes identifiquen las partes y características de las rastras de tiro excéntrico, así como los principios de funcionamiento que son fácilmente aplicables a rastras tipo tándem. Posteriormente se realizan demostraciones sobre la versatilidad de las rastras para operar en diferentes condiciones y tipos de suelo y se brinda a los participantes la oportunidad de practicar procesos de calibración de rastras, observar su funcionamiento y evaluar su desempeño en el campo. Finalmente, se lleva a cabo un ejercicio en sala para calcular la eficiencia del equipo, su capacidad de trabajo y los requerimientos de tracción y potencia. La estructura de aprendizaje se presenta en la página siguiente.

◀ Labores de labranza secundaria en la preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar.

## Trabajemos con rastras de discos

Esta unidad se dedica a las rastras como equipo base para el laboreo primario y secundario



### Práctica 2.1

Identifiquemos las rastras de tiro excéntrico, sus partes y características

### Práctica 2.2

Ensayemos los sistemas de calibración y operemos la rastra



### Ejercicio 2.1

Evaluemos la operación de una rastra



## Preguntas iniciales

1. ¿Qué se entiende por laboreo convencional?
2. ¿Qué es el laboreo reducido y qué ventajas tiene?
3. ¿En qué consisten la labranza primaria y la secundaria?
4. ¿Qué es el ángulo de ataque en una rastra?
5. ¿Qué significa la expresión "doble acción" en un implemento agrícola?
6. ¿Por qué es importante la calibración de los implementos agrícolas?

## ● Labores e implementos agrícolas en el cultivo de la caña de azúcar

La labranza es toda acción a través de la cual se realiza trabajo sobre el suelo con el fin de modificar su estado y crear condiciones para el desarrollo y el crecimiento de los cultivos (Sánchez-Girón, 1992). Los objetivos que se persiguen con la labranza, independiente del cultivo por establecer, son muy variados; entre ellos:

- Modificar condiciones físicas del suelo
- Controlar vegetación adventicia
- Enterrar semillas
- Conformar superficies
- Erradicar cultivos
- Aplicar e incorporar abonos y enmiendas
- Manejar o incorporar residuos de cosecha
- Ejecutar obras de adecuación.

El cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca se caracteriza, entre otros aspectos, por la intensidad del laboreo, especialmente en la renovación de plantaciones; la labranza de conservación, fundamentada en menor número de labores, menor costo y menor manipuleo del suelo, se practica en menor escala. Para la renovación se debe tener en cuenta que en las labores primarias se realizan operaciones sobre el suelo y los residuos de cosecha, que por su volumen y distribución en el campo actúan como una capa amortiguadora y presentan alta resistencia al trabajo de los implementos de labranza. Independiente del conjunto de implementos adoptado para la preparación, la secuencia de labores es definida por factores como: disponibilidad de equipos, tipo de suelo y su condición de humedad, cantidad y distribución de residuos de cosecha y, por supuesto, la especie vegetal que se quiere cultivar. En la agroindustria colombiana de la caña de azúcar, las labores se resumen en tres grandes grupos: preparación de suelos, levantamiento de socas y mantenimiento del cultivo (cultivo, aporque y fertilización).

## ● Preparación de suelos

Definida como la secuencia de labores para la renovación de plantaciones o para la implantación de una especie vegetal en un sitio y por primera vez, la preparación del suelo incluye cuatro tipos de labores principales:

1. Labranza primaria
2. Labranza profunda
3. Labranza secundaria
4. Surcado

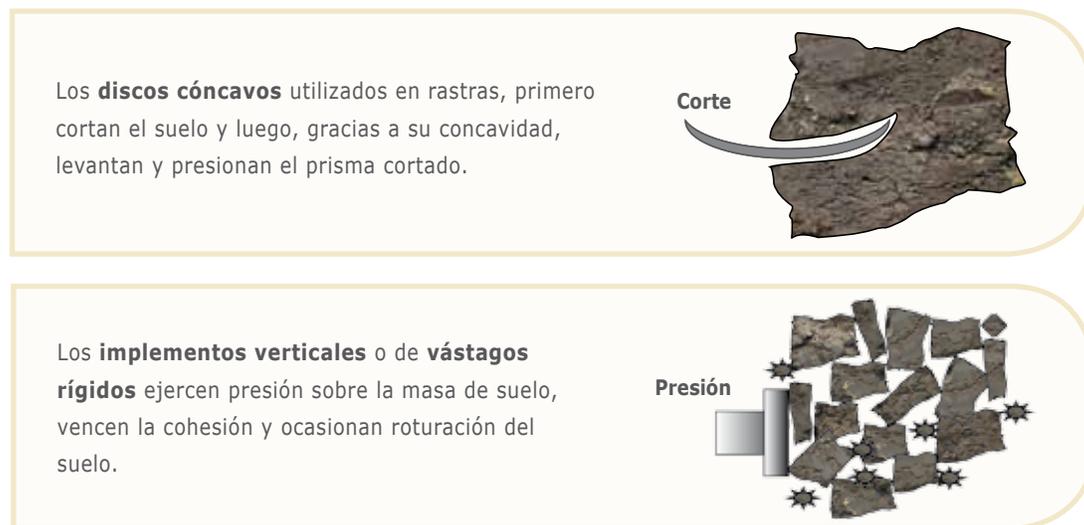
La secuencia convencional de preparación de suelos para la renovación de plantaciones de caña de azúcar consta de ocho a diez labores practicadas para descepar, subsolar, rastrillar y surcar; con estos propósitos se ejecutan los tres tipos de labranza: primaria, profunda y secundaria. Para las labores se utilizan rastras de discos, subsoladores, cinceles y surcadores. Las labores difieren en la dirección de trabajo y en la acción sobre el suelo: pases sesgados entre 15° y 20° respecto a la dirección del surco o pases cruzados mejoran la acción del implemento y el ordenamiento superficial de los agregados del suelo; además, durante la labranza primaria ayudan al picado y dispersión de los residuos que deja la cosecha. Regularmente, los pases iniciales (1 a 3) constituyen la labranza primaria, mientras los pases finales (6 a 9) corresponden a la labranza secundaria. La acción de cada implemento es específica y responde a la geometría de los cuerpos que atacan el suelo y causan su falla hasta originar fragmentos de menor tamaño y movimiento del suelo en una dirección determinada.

## ● Interacción suelo-implemento

Los implementos agrícolas modifican la condición del suelo, roturándolo mediante acciones de corte o por presión (**figura 2.1**). El corte corresponde a la acción inicial de los discos cóncavos utilizados en rastras, que cortan el suelo y luego, gracias a su concavidad, levantan el prisma cortado, lo presionan y empujan; la concavidad contribuye a la fragmentación del suelo. El segundo caso, por presión, corresponde a la acción de implementos de vástagos rígidos o implementos verticales que al ejercer presión sobre la masa de suelo vencen su resistencia

Figura 2.1

### Falla del suelo por acciones de corte y presión ejercidas por implementos agrícolas



pasiva, ejercen fuerzas que rompen la cohesión de los agregados y ocasionan roturación y deslizamiento del suelo a lo largo de un plano de falla, cuya dirección está definida por el tipo de suelo y su condición de humedad. El implemento, a medida que avanza, empuja el suelo en la dirección impuesta por su geometría, ejerce presión sobre los agregados e inicia la fragmentación del suelo.

En tanto se progresa en la secuencia de labores se va modificando la distribución de tamaño de los agregados, aumenta la porosidad del suelo, disminuye la densidad aparente y se acelera la pérdida de humedad. Cada pase adiciona energía al proceso de preparación y el tamaño final de los agregados debe ser inversamente proporcional a la cantidad total de energía transferida al suelo. Cada labor tiene su fundamento; su efecto sobre el suelo y el consumo energético dependen no sólo del tipo de implemento sino también del tipo de suelo, especialmente de su condición física y en particular de su grado de humedad.

Un análisis de las secuencias de labores para la preparación de suelos en la agroindustria de la caña de azúcar señala el uso extendido de dos tipos de implementos: rastras de discos e implementos de vástagos o púas; los primeros hacen labranza primaria y secundaria, mientras los segundos hacen laboreo profundo o vertical. Un alto porcentaje de labores en la secuencia de preparación de suelos para el cultivo de la caña de azúcar se ejecuta con rastras de discos, las cuales son el objeto de esta unidad de aprendizaje.

## Rastras de discos

Las rastras son implementos conformados por conjuntos de discos suspendidos de una estructura, se designan según el número de discos y su diámetro. Los discos penetran y cortan el suelo por acción del peso de la rastra.



Labores de labranza primaria con rastras de discos en el valle del río Cauca.

## Características generales

Las labores iniciales de descepada constituyen el laboreo primario. Tienen el objetivo múltiple de roturar el suelo, destruir la soca, picar los residuos de cosecha y enterrarlos. Para ello se ejecutan hasta tres pases de rastras de discos, generalmente pesadas (discos 32" o 36" de diámetro), que garantizan peso y capacidad de corte suficientes para cortar porciones de suelo e iniciar la reducción de tamaño de los agregados, picar y enterrar los residuos. Aunque es factible descepar con rastras más livianas o medianas (discos de 28"), con ellas se limita el picado y la incorporación de los residuos y la profundidad de trabajo; se puede requerir entonces mayor número de pases de rastra para completar la descepada y pases de cincel para compensar la deficiencia en profundidad.

Las labores finales constituyen la labranza secundaria y se ejecutan con rastras livianas (20" y 24") y medianas (26" y 28") para reducir el tamaño de los agregados luego de la labranza primaria y las labores profundas.

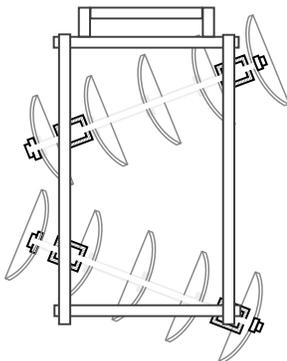
## Tipos de rastras

Las rastras pueden ser de simple o de doble acción, según si intervienen el suelo una o dos veces en cada pase. También se clasifican de acuerdo con el número de cuerpos o conjuntos de discos (**figura 2.2**). En la cañicultura colombiana se usan rastras de doble acción; las más comunes son de dos cuerpos, se denominan comúnmente como rastras de tiro excéntrico (*off-set*) y se utilizan para descepar y rastrillar. Por su parte, las rastras de cuatro cuerpos o tipo tándem se usan como rastrillo. En esta unidad de aprendizaje nos referiremos únicamente a las trastras de tiro excéntrico.

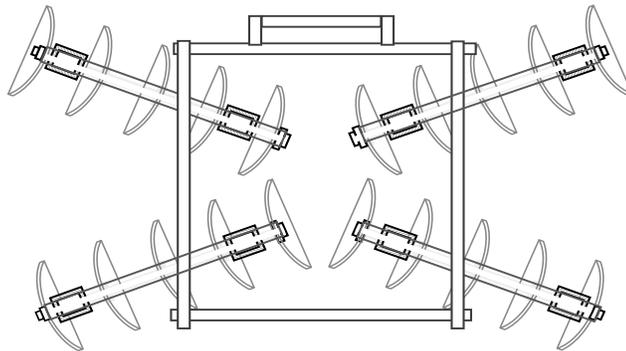
Figura 2.2

Rastras de doble acción con dos o cuatro cuerpos de discos

▼ Rastra de dos cuerpos o de tiro excéntrico (*off-set*)



▼ Rastra de cuatro cuerpos o tipo tándem

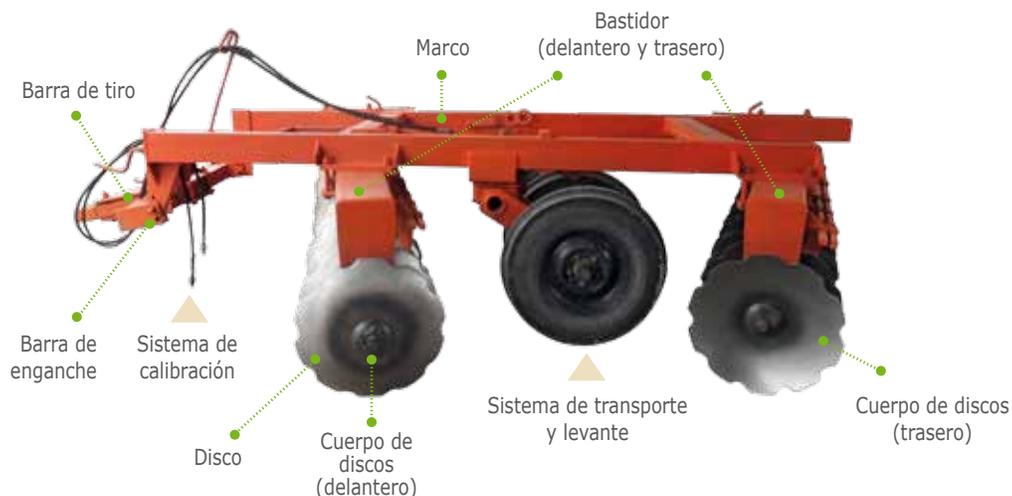


## Rastras de tiro excéntrico (*Off-set*)

La **figura 2.3** muestra las partes de una rastra de tiro excéntrico (doble acción y dos cuerpos).

**Figura 2.3**

### Partes de una rastra de discos de tiro excéntrico



### Marco

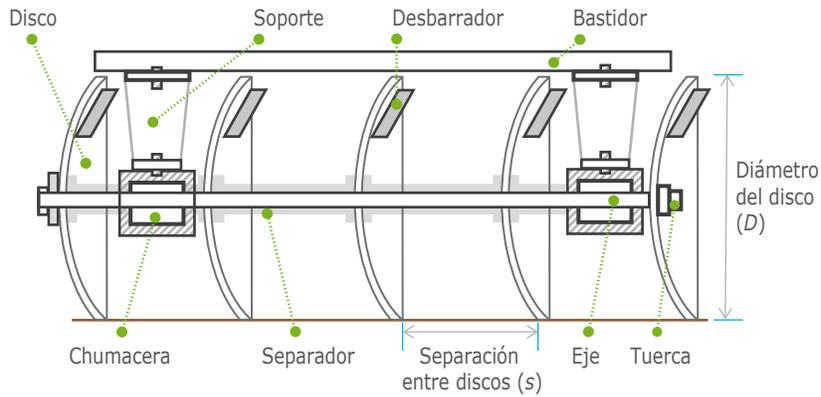
El marco de la rastra se encuentra en la parte superior del equipo y constituye el chasis al cual se fijan los demás componentes. Construido en hierro estructural, debe permanecer nivelado en sentidos longitudinal y transversal y paralelo a la dirección de desplazamiento tanto cuando es transportado como cuando está en operación.

### Cuerpo de discos

El cuerpo o conjunto de discos consta de un eje de sección regularmente cuadrada en el cual se ensamblan discos de diámetro  $D$  separados entre sí una distancia  $s$  (**figura 2.4**). El eje gira sobre chumaceras de fricción o de rodamiento (bolas o rodillos), las cuales son importantes en el funcionamiento de las rastras porque soportan grandes esfuerzos, especialmente en los giros. Chumaceras de rodamientos garantizan menor consumo de energía, menos problemas de mantenimiento, mayor velocidad de trabajo y vida útil de la rastra; pueden ser selladas con lubricación permanente en baño de aceite o grasa. Las de fricción tienen menor costo pero requieren lubricación diaria, duran menos y causan mayor ruido. Cada conjunto de discos se une al marco a través de un bastidor hecho en hierro estructural, del cual se suspende el cuerpo respectivo. Cada disco tiene asociado un "desbarrador" para evitar la adherencia y compactación de suelo en la cara cóncava del disco, como puede ocurrir especialmente en terrenos de naturaleza arcillosa.

Figura 2.4

Partes de un cuerpo de discos de una rastra



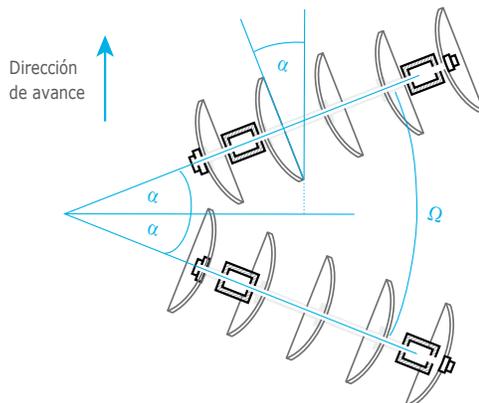
Los agujeros centrales de los discos y el eje son de sección cuadrada con un pequeño juego para facilidad de montaje; en razón de dicho juego es necesario que el torque de ajuste del eje sea revisado con frecuencia porque la pérdida de tensión puede producir desgaste excesivo en el eje o en los discos.

Posición de los cuerpos y ángulo de ataque de los discos

La interacción suelo-rastra está relacionada con la posición de los discos respecto a la dirección de desplazamiento; la posición se define por el ángulo de ataque ( $\alpha$ ), el cual es igual al ángulo que forma el diámetro del disco con la dirección de avance e igual al ángulo que forman los cuerpos con la perpendicular a la dirección de avance (figura 2.5). El ángulo de traba de la rastra ( $\Omega$ ) es el formado entre los cuerpos y equivale a la suma de los ángulos de ataque.

Figura 2.5

Ángulo de ataque ( $\alpha$ ) y ángulo de traba ( $\Omega$ ) en una rastra de discos



El ángulo de ataque ( $\alpha$ ) puede variar entre  $12^\circ$  y  $27^\circ$  y puede ser diferente en cada cuerpo de la rastra; ángulos medios deben estar alrededor de los  $20^\circ$ .

## Variación del ángulo de ataque de los discos

El ángulo de ataque se ajusta cambiando la posición de los cuerpos de la rastra; existen diferentes métodos para hacerlo, los cuales dependen de las facilidades que tenga el implemento y las condiciones presentes.

Algunas rastras pesadas tienen mecanismos hidráulicos que permiten llevar la posición de los cuerpos hasta el ángulo requerido. Sin embargo, el método más común consiste en liberar los tornillos que fijan el cuerpo de discos al marco; moviendo la rastra hacia adelante y hacia atrás sobre una superficie firme, los cuerpos varían su posición; una vez se logra el ángulo o posición que se requiere, los tornillos se fijan de nuevo en su lugar (**galería de imágenes 2.1**). Este procedimiento también se puede realizar en el taller, donde se cuenta con la ayuda de gatos hidráulicos y diferenciales, entre otros.

Conocer el ángulo de ataque es importante porque influye en la profundidad de trabajo, el equilibrio de la rastra, la fuerza de tracción requerida y la calidad de la labor; se puede determinar utilizando algunos principios básicos de geometría y trigonometría (ver **anexo 1**) o realizando trazos sencillos sobre el bastidor de la rastra.

### Galería de imágenes 2.1

#### Sistemas de variación del ángulo de ataque en una rastra de discos



Sistema hidráulico



Sistema de tornillos de graduación

Cualquiera que sea el método de ajuste del ángulo de ataque de la rastra, se debe tener en cuenta lo siguiente:

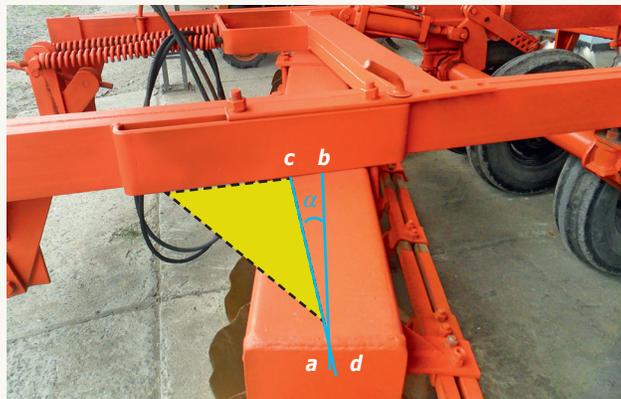
- A medida que aumenta el ángulo de ataque ( $\alpha$ ) incrementan las capacidades de penetración y corte de los discos, su acción sobre el suelo y el requerimiento de tracción de la rastra.
- Al variar el ángulo de ataque, la rastra tiende a perder su condición de equilibrio y se desplaza lateralmente.

## Medición directa del ángulo de ataque de los discos de rastras

El ángulo de ataque se puede medir directamente sobre la rastra, como se muestra en la **galería de imágenes 2.2**. Esta construcción se basa en el hecho de que el ángulo formado por el cuerpo de discos y la perpendicular al marco es igual al ángulo de ataque.

### Galería de imágenes 2.2

#### Medición del ángulo de ataque ( $\alpha$ ) en una rastra de discos



#### Pasos

1. Trazar una primera línea sobre el bastidor, centrada y a lo largo del mismo (línea  $ab$ )
2. Utilizando una escuadra, levantar la segunda línea ( $cd$ ) perpendicular al marco de la rastra.
3. Identificar el vértice o punto donde se cortan las dos líneas y medir el ángulo de ataque con un transportador.





## El ángulo de ataque y la interacción suelo-disco

Aspectos relacionados con los discos y la condición del suelo tienen gran influencia en el desempeño de las rastras. Cada cuerpo de discos puede tener una posición diferente; lo usual es operar con un ángulo de ataque mayor en el cuerpo delantero, lo cual le confiere mayor capacidad de penetración y corte para trabajar el suelo.

**En operaciones de labranza primaria**, como la descepada, los ángulos de ataque deben ser mayores que los utilizados en la labranza secundaria (rastrillada y pulida). Para descepar se recomiendan ángulos de ataque entre medios y altos.

**Las rastras aradoras (pesadas) no son adecuadas para labranza secundaria**, la cual se realiza para conseguir de forma sucesiva agregados más finos en la capa superficial hasta lograr una distribución heterogénea de tamaño de los agregados del suelo y una superficie uniforme. Las razones principales para no usar rastras pesadas en labranza secundaria son:

- **El tamaño y peso de los discos** influye en la profundidad de trabajo: discos más grandes y pesados penetran a profundidades mayores que las requeridas.
- **El espaciamiento entre discos** influye en la distribución final de tamaño de agregados: discos más separados dejan superficies menos uniformes y agregados más grandes.
- **El ángulo de ataque** de rastras pesadas es mayor que el requerido en labores de rastrillada y pulida.

Como se ha descrito, el ángulo de ataque de la rastra se gradúa de acuerdo con la profundidad de trabajo requerida y teniendo en cuenta la condición del suelo; algunas rastras tienen puntos de graduación para el ángulo de ataque, designados como bajo, medio y alto.

### El desempeño de la rastra difiere de acuerdo con el tipo de suelo:

- **Suelos livianos y suelos medianos** con pocos residuos y baja compactación permiten buen desempeño de la rastra cuando ésta opera con ángulos de ataque entre bajos y medios en ambos cuerpos.
- **Suelos secos**, compactados o con exceso de residuos exigen ángulos de ataque entre medios y máximos en ambos cuerpos. Con ellos se asegura mayor capacidad de penetración y corte, mayor inversión del suelo y mayor cubrimiento de los residuos; a su vez, deben presentar mayor requerimiento en la fuerza de tiro y mayor consumo de energía.
- **En suelos húmedos**, la operación con ángulos de ataque bajos evita atascamiento de la rastra.
- **Suelos arenosos** exigen ángulos de ataque bajos para limitar la profundidad de trabajo.

## Discos

Los discos utilizados en rastras difieren en espesor, concavidad, borde y diámetro; deben ser utilizados de acuerdo con las condiciones de suelo y la cobertura de residuos sobre la que deben operar. Respecto a los pases de rastra que se realizan en el cultivo de la caña, las características más importantes de los discos son la concavidad, el diámetro y el borde.

### Espesor y materiales

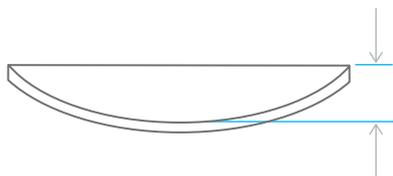
El espesor está relacionado con el tamaño de los discos, puede variar entre 4.0 mm (para diámetro de 20") y 12.7 mm (diámetro de 36"); el espesor tiene influencia en el costo del equipo y en su duración. Los materiales para la fabricación de discos de rastras deben garantizar resistencia al desgaste y a los impactos, por lo cual se utilizan aceros de alto carbono o acero al boro y son tratados térmicamente con temple y revenido.

### Concavidad

La concavidad de los discos de uso agrícola se designa por la distancia entre el diámetro y el fondo del disco; varía entre 51 mm en discos de 20" y 123 mm en discos de 36" (**figura 2.6** y **tabla 2.1**). La concavidad del disco influye en su desempeño: discos con mayor concavidad causan mayor inversión y fragmentación del suelo y son más útiles en rastras descepadoras o aradoras; mientras que en labores de rastrillo o pulida son más recomendables discos de menor concavidad que causan menos inversión, son menos propensos al atascamiento, dan mayor uniformidad superficial y pueden operar a mayor velocidad. La concavidad también influye en la capacidad de penetración, la cual disminuye a medida que aumenta la concavidad.

**Figura 2.6**

Concavidad de discos de uso agrícola



**Tabla 2.1**

Diámetro, concavidad y espesor de discos de uso agrícola

Diámetro del disco (in)	Concavidad (mm)	Espesor (mm)
20	51	4
22	60	4
24	70	5
26	100	6
28	110	6 - 8
30	115	8 - 9.5
32	115	9.5
36	123	12.7

## Borde

Según el borde, hay discos lisos y escotados; estos últimos tienen mayor capacidad de penetración y de corte. A causa de la escotadura se disminuye la superficie de soporte o contacto entre el piso y el disco y aumenta el esfuerzo que aplica el disco sobre el suelo y los residuos de cosecha. Regularmente, en los cuerpos delanteros de las rastras aradoras se utilizan discos escotados porque deben trabajar suelos más compactados o residuos superficiales más resistentes y en mayor volumen que los discos del cuerpo trasero, en el cual se pueden usar discos lisos porque operan sobre suelo laborado y residuos que ya han sido afectados por los discos delanteros (Vallejos y Bondía, 2009). El borde influye en el manejo de los residuos: los discos escotados ayudan a enterrar los residuos mientras que los discos lisos tienden a empujarlos hacia adelante y pueden rodar sobre ellos si la rastra no tiene el peso suficiente.

## Diámetro

El tamaño de los discos está definido por su diámetro, que a su vez determina la profundidad de trabajo. Un disco corta perfectamente hasta una profundidad equivalente a un cuarto de su diámetro y puede alcanzar una profundidad máxima de corte de un tercio del diámetro. En la agroindustria azucarera es común el uso de rastras pesadas para descepar (discos de 36" y 32") y rastras medianas para desterronar y pulir (discos de 28", 26" y 24").

El diámetro también influye en la capacidad de penetración y en la capacidad de corte del disco; a mayor diámetro se requiere mayor peso para mantener estas cualidades de trabajo, porque a mayores diámetros aumenta la superficie de soporte o contacto y disminuye el esfuerzo normal transmitido por el disco sobre el suelo y los residuos. Por esta razón, a mayor diámetro de los discos, las rastras deben ser más pesadas.

## Separación entre discos

La separación entre discos varía en un rango de 15-45 cm y es un factor relacionado con el tamaño de los discos y las características de las rastras. A mayor separación son mayores los terrones y los residuos cortados, de tal manera que rastras aradoras requieren mayor separación entre discos; para laboreo secundario los discos no sólo deben ser de menor diámetro y menor concavidad sino que deben tener menor separación para garantizar mayor uniformidad superficial, con agregados y residuos de menor tamaño.

## Peso por disco

El número de discos de una rastra es un factor que guarda relación con el diámetro de los discos, el peso de la rastra y la separación entre discos. Regularmente, rastras con discos de mayor diámetro son más pesadas y operan con pocos discos para garantizar la capacidad de penetración y de corte. Ambos factores: peso y número de discos, definen el peso por disco, según el cual las rastras se clasifican en livianas, medianas, pesadas y superpesadas (Stolf, 1986); la unidad de peso es el newton (N) (**tabla 2.2**).

Tabla 2.2

## Tipos de rastras según el peso por disco

Tipo de rastra	Peso por disco (N/disco)	Diámetro del disco (in)	Separación entre discos (cm)
Liviana	200 – 600	20 – 24	17 – 24
Mediana	600 – 2000	26 – 28	27
Pesada	2000 – 3500	32 – 36	34
Superpesada	>3500	36 – 38	45

- **Rastras livianas** se usan para pulir o reducir el tamaño de los agregados hasta la distribución final que garantice condiciones ideales para la semilla.
- **Rastras medianas** son adecuadas en preparación de suelos para cereales; en caña de azúcar tienen aplicación al final de la descepada y en el laboreo secundario.
- **Rastras pesadas** se usan para cultivo profundo y en tierras vírgenes.
- **Rastras superpesadas** se usan en cultivos que requieren buena profundidad, como la caña de azúcar, en el desmonte de tierras vírgenes y, muy especialmente, donde se presentan dificultades de penetración por la presencia de residuos.

## Desgaste de los discos

Los discos de rastra se construyen en materiales resistentes al desgaste, aunque los suelos (especialmente de tipo arenoso) tienen un alto poder abrasivo y terminan desgastándolos. El desgaste se puede cuantificar por medio de la pérdida de diámetro en el disco: se considera que discos con un desgaste del 10% ya presentan restricciones en su función; con 15% han perdido completamente su eficacia y deben ser reemplazados. El desgaste es mayor en los discos delanteros porque realizan más trabajo y soportan mayores esfuerzos.

## Desbarradores

Son platinas colocadas delante de la cara cóncava de cada disco para limpiarlo y evitar el atascamiento. Deben colocarse con separación entre 1/4" y 1/8" respecto al disco. Cuando se presenta atascamiento se afectan el rodamiento de la rastra y la penetración del disco, y se incrementa el requerimiento de tracción; además, en rastras descepadoras se afecta el volteo del suelo.

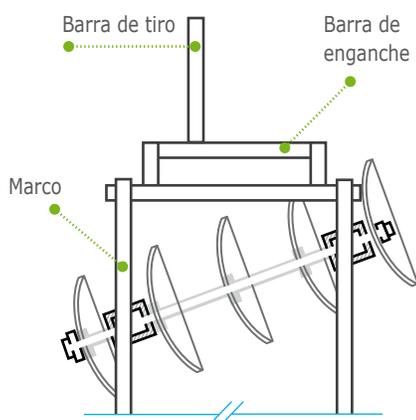
## Barra de enganche y barra de tiro

Estas barras conectan la rastra de discos al tractor y forman parte del sistema de calibración de la rastra. La barra de enganche puede estar ensamblada con referencia al marco (paralela al lado transversal del marco) o paralela al cuerpo de discos; en ella se acopla la barra de tiro (**figura 2.7**). La barra de enganche permite ajustar la capacidad de penetración de los discos y variar la posición de la barra de tiro y su dirección para mantener el equilibrio durante la operación de la rastra.

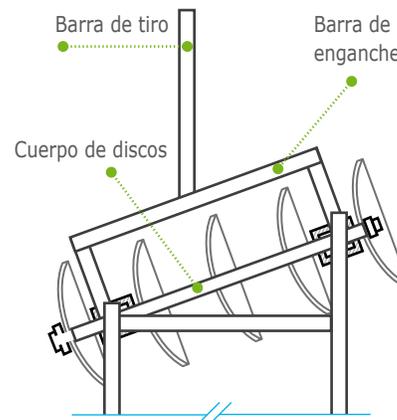
Figura 2.7

### Posiciones de la barra de enganche en una rastra de tiro excéntrico

#### Barra de enganche paralela al lado transversal del marco



#### Barra de enganche paralela al cuerpo delantero



## Sistemas de calibración de la rastra

El desempeño de una rastra de tiro excéntrico depende de su correcta calibración, por eso cada equipo tiene los mecanismos necesarios para nivelar y equilibrar la rastra y para graduar su capacidad de penetración. Una buena calibración debe garantizar mejor acción del disco sobre el suelo y menor requerimiento de tracción.

Tanto para su transporte como en la operación, las rastras deben estar niveladas en los sentidos longitudinal y transversal. Durante la operación, el marco siempre debe permanecer alineado en la dirección de desplazamiento y los cuerpos de discos deben ser ajustados para responder al tipo de labor, al tipo de suelo y a la condición del campo. En la calibración de las rastras intervienen diferentes mecanismos, principalmente: barra de tiro, barra de enganche, sistema de nivelación y sistema de levante y transporte.

## Principios de calibración

Las rastras deben calibrarse de acuerdo con la ocasión y teniendo en cuenta los siguientes principios:

- La posición de los cuerpos (ángulo de ataque) y la concavidad de los discos influyen en la capacidad de penetración del implemento.
- La posición de los cuerpos y la reacción del suelo sobre ellos crea la tendencia de movimiento de la rastra hacia los lados.
- La posición de la barra de enganche (paralela al lado transversal del marco o paralela al cuerpo de discos delantero) influye en la posición de la barra de tiro.
- Las llantas de transporte pueden limitar la profundidad de trabajo.
- Los requerimientos de calibración son más exigentes en rastras de tiro excéntrico que en rastras tipo tándem.

## Nivelación de la rastra

En condiciones normales de trabajo (suelo friable), la rastra debe estar nivelada longitudinal y transversalmente para su operación (**Figura 2.8**). Distintos métodos se usan para la nivelación de una rastra de tiro excéntrico; tres de ellos se explican en la **galería de imágenes 2.3**. Si después de seguir alguno de éstos se presentan dificultades mayores para la nivelación de la rastra, calzos niveladores pueden ser utilizados entre el marco y el bastidor de los cuerpos de discos. Generalmente, los sistemas de nivelación permiten crear transferencias de peso entre los cuerpos de la rastra, de tal manera que varía la carga vertical sobre cada uno de ellos.

**Figura 2.8**

Ejemplo de nivelación transversal y longitudinal de una rastra



## Galería de imágenes 2.3

## Tres sistemas de nivelación de rastras de tiro excéntrico

1

**Un tornillo y un sistema de palancas permiten variar la carga sobre los cuerpos de la rastra.** El tornillo se acciona por una manivela o mediante herramientas manuales.



**Un giro de manivela en sentido contrario a las manecillas del reloj incrementa la carga sobre el cuerpo delantero, con lo cual:**

- Aumenta la capacidad de penetración de los discos delanteros.
- Incrementa la reacción del suelo sobre el cuerpo delantero.
- Incrementa la tendencia de movimiento de la rastra hacia la izquierda.

**Un giro en el sentido de las manecillas del reloj crea el efecto opuesto.**

2

**La transferencia de peso se crea a través de la barra paralela de levante,** la cual se ajusta con ayuda de las llantas hasta liberar el perno de fijación que permite mover la barra adelante o atrás para subir o bajar el cuerpo trasero.



3

El tercer sistema es a través de una barra de torsión o barra estabilizadora que se ensambla longitudinalmente en el marco de la rastra



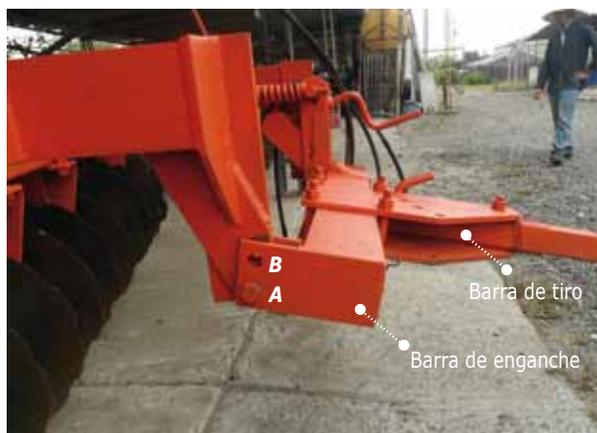
Al ajustar el tornillo de la barra estabilizadora se crea un torque y el marco tiende a rotar alrededor de la barra; como reacción se levantan el lado delantero derecho y el lado posterior izquierdo de la rastra. Al soltar el tornillo disminuye el torque y bajan los puntos mencionados.

## Capacidad de penetración de los discos

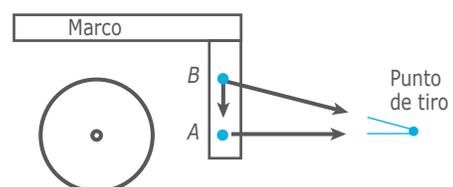
La capacidad de penetración de los discos depende de diferentes factores, entre ellos el ángulo de ataque y la posición de la barra de enganche, la cual puede graduarse verticalmente y para ello debe brindar un mínimo de dos posiciones (**figura 2.9**). En condiciones normales de operación, la barra de enganche debe fijarse en la posición A (punto inferior); cuando se requiere mayor capacidad de penetración debe acoplarse en la posición B (punto superior).

Figura 2.9

Posiciones de la barra de enganche en una rastra de discos



La posición B causa variación en la componente vertical de la fuerza de tracción que se transmite a la rastra desde la barra de tiro e incrementa la capacidad de penetración del cuerpo de discos delantero.



La posición *B* de la barra de enganche causa variación en la componente vertical de la fuerza de tracción que se transmite a la rastra desde la barra de tiro e incrementa la capacidad de penetración del cuerpo delantero.

- Rastras aradoras en labor de descepada deben tener la barra de enganche en la posición *B* para obtener mayor capacidad de penetración y de corte y mayor efecto sobre el suelo.
- En labores más superficiales de rastrillada y pulida es suficiente con tener la barra de enganche en la posición *A*.

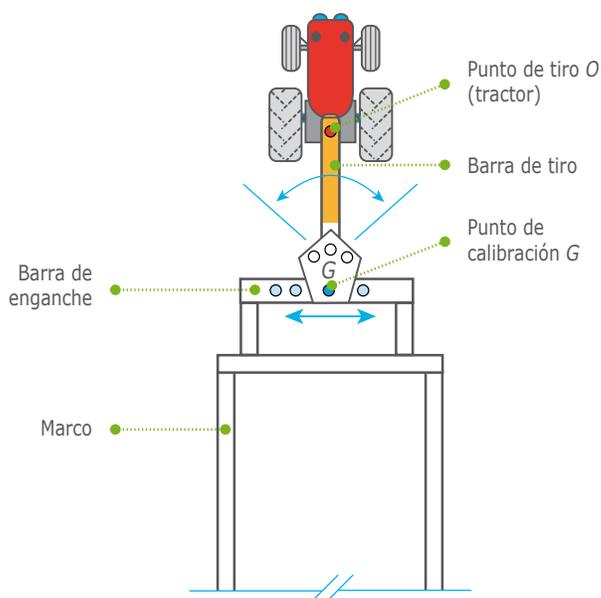
## Equilibrio estático de la rastra

La barra de tiro acopla los puntos de tiro *G* en la barra de enganche y *O* en el tractor. La posición del punto *G* y la dirección de la barra de tiro deben asegurar las condiciones de equilibrio de la rastra y del conjunto tractor-rastra; para ello el punto *G* puede moverse sobre la barra de enganche y la barra de tiro puede rotar a su alrededor (**figura 2.10**).

Para lograr el equilibrio de una rastra de tiro excéntrico se deben tener en cuenta aspectos relacionados con las condiciones de campo que debe enfrentar la rastra y el control del equipo por parte del operario.

**Figura 2.10**

### Posición y dirección de la barra de tiro en una rastra de tiro excéntrico



Alternativas para lograr el equilibrio de la rastra:

- Posicionar y direccionar la barra de tiro.
- Variar la carga sobre los cuerpos a través del sistema de nivelación.
- Variar los ángulos de ataque para aumentar o disminuir las reacciones del suelo sobre cada cuerpo.
- Variar la capacidad de penetración del cuerpo delantero cambiando la posición (altura) de la barra de enganche.

## Cómo posicionar y direccionar la barra de tiro para lograr la condición de equilibrio

El posicionamiento de la barra de tiro depende de las fuerzas presentes en los cuerpos de la rastra y de algunas de sus dimensiones.

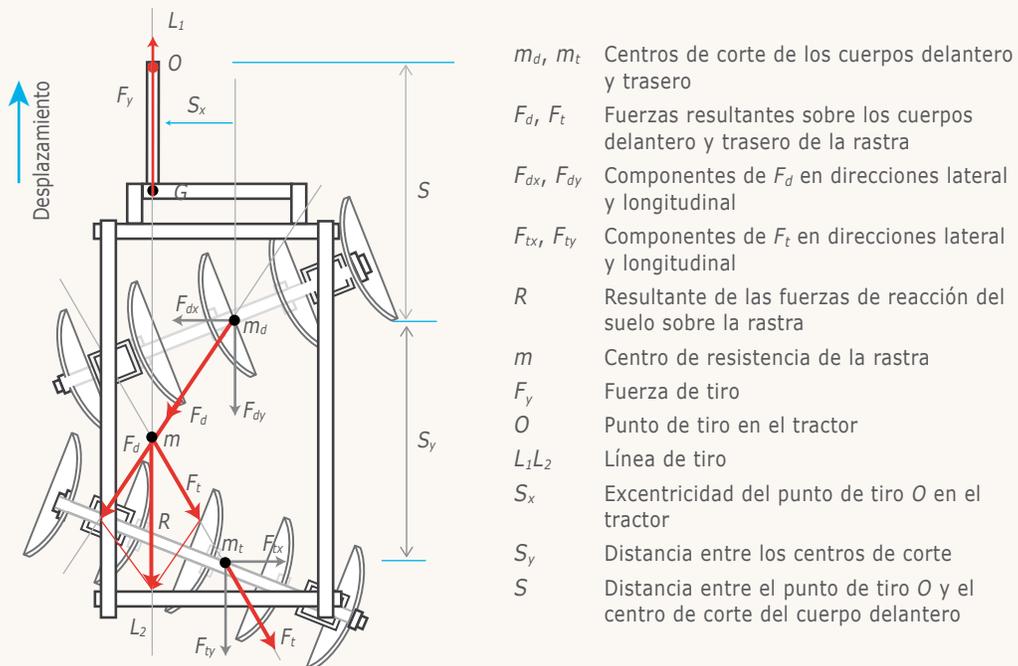
Para identificar las fuerzas que intervienen en la operación de una rastra de discos se toma como ejemplo la **figura 2.11** que representa una rastra operando en condición de equilibrio.

### Fuerzas sobre una rastra de tiro excéntrico

- Hay una fuerza de reacción del suelo sobre cada cuerpo ( $F_d$  y  $F_t$ )
- Cada fuerza tiene su respectivo punto de aplicación en el centro de corte de los cuerpos ( $m_d$  y  $m_t$ )
- La fuerza  $R$  es la resultante de las dos reacciones del suelo ( $F_d$  y  $F_t$ ) y su punto de aplicación está en la intersección (corte) de sus líneas de acción, es decir en el punto  $m$ , el cual constituye el centro de resistencia de la rastra.
- La línea de tiro ( $L_1L_2$ ) entre el punto de tiro ( $O$ ) en el tractor y el centro de resistencia ( $m$ ) de la rastra define la dirección de la fuerza de tiro para lograr la condición de equilibrio.

**Figura 2.11**

### Excentricidad de la rastra



La condición más favorable se presenta cuando las reacciones laterales del suelo entre ambos cuerpos son iguales,  $F_{dx} = F_{tx}$ . Las condiciones de equilibrio se expresan en las ecuaciones:

$$\Sigma F_x = 0 \quad F_{tx} - F_{dx} = 0 \quad F_{tx} = F_{dx} \quad (2.1)$$

$$\Sigma F_y = 0 \quad F_{bt} - F_{dy} - F_{ty} = 0 \quad F_{bt} = F_{dy} + F_{ty} \quad (2.2)$$

$$\Sigma M_o = 0 \quad - (F_{ty} + F_{dy}) * S_x - F_{dx} * S + F_{tx} * (S + S_y) = 0 \quad (2.3)$$

Al resolver las ecuaciones anteriores se obtiene la excentricidad de la rastra:

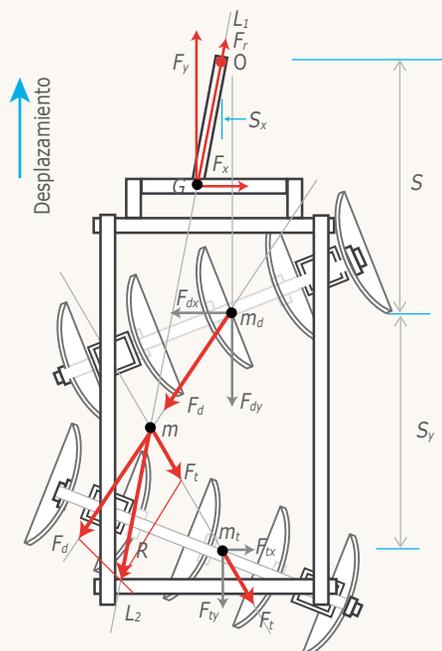
$$S_x = S_y * F_{tx} / (F_{ty} + F_{dy}) \quad (2.4)$$

La ecuación 2.4 muestra que la excentricidad requerida para equilibrar la rastra depende de las fuerzas de reacción del suelo sobre los cuerpos y de las dimensiones de la rastra. Para este caso, la línea de tiro es paralela a la dirección de desplazamiento.

Normalmente, el cuerpo delantero trabaja sobre suelo más firme y la fuerza de reacción del suelo es mayor que sobre el cuerpo trasero; la fuerza resultante  $R$  sobre la rastra cambia su dirección y tiene una componente en sentido lateral que tiende a mover la rastra hacia la izquierda, como se muestra en la **figura 2.12**.

**Figura 2.12**

Movimiento de la rastra hacia la izquierda



La rastra busca su condición de equilibrio rotando en sentido horario alrededor del punto de tiro  $O$  en el tractor; en este movimiento disminuye el ángulo de ataque delantero y aumenta el ángulo trasero, hasta que la rastra alcanza su posición de equilibrio. La línea de tiro ( $L_1L_2$ ) cambia su dirección y la fuerza de tiro del tractor ( $F_r$ ) tendrá una componente lateral ( $F_x$ ) que se equilibra variando la excentricidad de la rastra al mover el punto de enganche  $G$  hacia la derecha.

Un tercer caso se presenta si las reacciones del suelo ocasionan una resultante lateral hacia la derecha; la rastra tiende a moverse en esa dirección y alcanzará la condición de equilibrio al mover el punto de enganche hacia la izquierda.

## Sistema de transporte y levantamiento de la rastra

El sistema de transporte es regularmente accionado por un mecanismo hidráulico de doble efecto que además sirve para el control de la profundidad de trabajo. Las llantas contribuyen al equilibrio de la rastra y en posición de trabajo siempre deben estar en contacto con el suelo. Existen diferentes formas de graduar la posición del sistema de transporte, una de ellas utiliza una platina de graduación con agujeros (**figura 2.13**).

Figura 2.13

Sistema de graduación de la profundidad de trabajo de una rastra



En posición de trabajo, las llantas deben estar en contacto con el suelo. En la plantina de graduación, uno de los extremos (punto *J*) debe corresponder a laboreo superficial, mientras el opuesto (punto *K*) corresponderá a la posición de máxima profundidad de trabajo.

## Eficiencia de las operaciones con rastras

La eficiencia depende de factores como la velocidad de operación y el ancho de trabajo, así como de la geometría de los lotes, que define los tiempos perdidos durante la operación.

### Velocidad de operación

La velocidad de operación de las rastras varía en un rango amplio, entre 5 km/h y 10 km/h, según realicen laboreo primario o secundario. Algunas veces las condiciones del terreno imponen limitaciones que obligan a operar a velocidades menores para evitar posibles daños; esto se puede presentar especialmente en laboreo primario. En labores secundarias hay preferencia por velocidades altas, aunque se debe tener en cuenta que por encima de 9 km/h las rastras tienden a perder profundidad de trabajo. A mayor velocidad es mayor el efecto de los discos sobre el suelo y también es mayor la potencia requerida; esto no indica necesariamente incremento en el consumo de energía por hectárea (kWh/ha), el cual puede disminuir por el aumento en la capacidad de campo y la eficiencia de operación.

## Capacidad teórica de campo

Es el área preparada por unidad de tiempo, puede ser teórica o real. La capacidad teórica de campo (*CTC*) se determina a partir del ancho de trabajo (*A*) y la velocidad de operación (*v<sub>o</sub>*) (ecuación 2.5):

$$CTC = A * v_o / 10 \quad (2.5)$$

## Capacidad real de campo

La capacidad real de campo (*CRC*) es el área efectivamente preparada por unidad de tiempo (ha/h). Se mide en campo de acuerdo con el área preparada (ha) y el tiempo total de operación (h) (ecuación 2.6):

$$CRC = \text{Área preparada} / \text{tiempo total operación} = \text{Área} / \text{tiempo} \quad (2.6)$$

## Eficiencia de campo

La eficiencia de campo ( $\epsilon$ ) es la relación (%) entre la capacidad de campo y la capacidad teórica de campo (ecuación 2.7):

$$\epsilon (\%) = (CRC / CTC) * 100 \quad (2.7)$$

## Requerimientos de tracción y potencia de rastras

La tracción requerida para operar un implemento puede determinarse por métodos basados en formulaciones sencillas o por métodos computacionales. En los primeros, la tracción requerida ( $F_{bt}$ , en N) se determina en función de un coeficiente de mecanización ( $K_m$ ), que generalmente tiene relación con el tipo de suelo y su condición y con uno o dos factores ( $G$  y  $H$ ) relacionados con las características del equipo o la operación (ancho de trabajo, profundidad de trabajo, peso del equipo, número de cuerpos, etc.) (ecuación 2.8):

$$F_{bt} = K_m * (G * H) \quad (2.8)$$

En el caso de las rastras, los métodos sencillos determinan la tracción requerida para la operación como el producto de su masa ( $M$ , en kg) y una constante de mecanización ( $K_m$ ) que depende del tipo de suelo. Se usan las siguientes relaciones (ASAE, 1995):

$$\text{Suelos arcillosos:} \quad F_{bt} = 14.7 * M \quad (2.9)$$

$$\text{Suelos francos:} \quad F_{bt} = 11.7 * M \quad (2.10)$$

$$\text{Suelos franco arenosos:} \quad F_{bt} = 7.8 * M \quad (2.11)$$

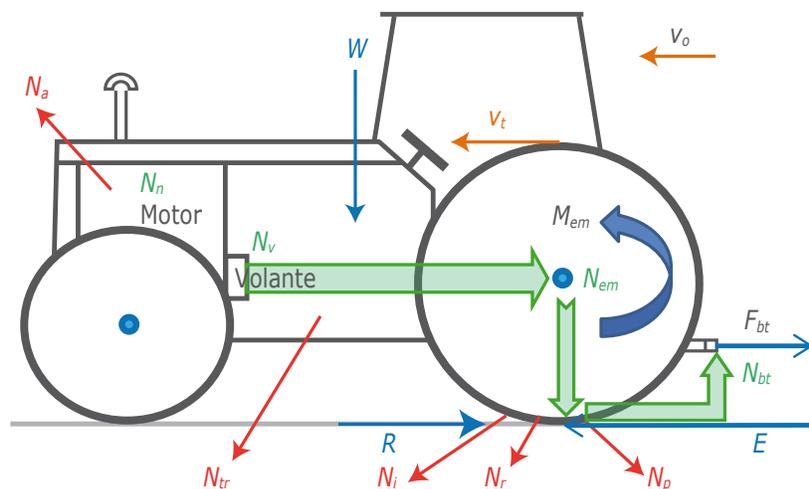
Algunas veces se adiciona un efecto de la velocidad de operación sobre la fuerza requerida de tiro, que se debe al cambio de inercia del suelo al ser impulsado por el implemento. Gracias a que las velocidades de operación son bajas, este efecto regularmente se ignora.

## Requerimientos de potencia para la operación de implementos agrícolas

Los requerimientos de potencia para operar un implemento se pueden considerar en tres puntos del tractor: barra de tiro, eje motriz y volante del motor. La potencia en el tractor se afecta por factores que ocasionan pérdidas a medida que la energía pasa del volante del motor a la barra de tiro. La **figura 2.14** muestra el flujo de potencia en una máquina de tracción sencilla. Para máquinas de doble tracción u orugas el procedimiento es similar. A continuación se explica cada elemento de la figura.

Figura 2.14

Flujo de potencia en una máquina de tracción



$N_v$	Potencia al volante (HP)	$F_{bt}$	Fuerza efectiva desarrollada a la barra de tiro sobre un implemento (kN)
$N_{em}$	Potencia desarrollada o disponible en el eje motriz (HP)	$E$	Fuerza de empuje desarrollada por el tractor en la interacción suelo-llanta (kN)
$N_{bt}$	Potencia efectiva a la barra de tiro (HP)	$R$	Resistencia a la rodadura sobre el tractor (kN)
$N_n$	Potencia nominal (HP)	$M_{em}$	Par desarrollado por el tractor en el eje motriz (kN*m)
$N_p$	Potencia perdida por patinaje (HP)	$v_o$	Velocidad de desplazamiento u operación (km/h, m/s)
$N_r$	Potencia perdida por rodadura (HP)	$v_t$	Velocidad tangencial de las ruedas motrices (km/h, m/s)
$N_i$	Potencia utilizada para vencer las pendientes (HP)		
$N_{tr}$	Potencia perdida en la transmisión (HP)		
$N_a$	Potencia perdida por factores ambientales (HP)		
$W$	Peso del tractor		

## Potencia a la barra de tiro

La potencia a la barra de tiro ( $N_{bt}$ ) es la potencia efectiva desarrollada por el tractor. Es función de la fuerza de tracción ( $F_{bt}$ ) y la velocidad de operación ( $v_o$ ).

$$N_{bt} = F_{bt} * v_o \quad (2.12)$$

## Potencia en el eje motriz

La potencia en el eje motriz ( $N_{em}$ ) es la potencia disponible para desarrollar tracción. Como se muestra en la ecuación 2.13, esta potencia se invierte en realizar trabajo efectivo a la barra de tiro ( $N_{bt}$ ), vencer la resistencia a la rodadura ( $N_r$ ), una fracción se pierde por patinaje ( $N_p$ ) y una porción se utiliza para vencer la resistencia a la pendiente o inclinación del terreno ( $N_i$ ).

$$N_{em} = N_{bt} + N_p + N_r + N_i \quad (2.13)$$

La potencia en el eje motriz es el producto de dos factores: el torque desarrollado por el eje motriz ( $M_{em}$ ) y la velocidad de rotación del eje ( $n_{em}$ ).

$$N_{em} = M_{em} * n_{em} \quad (2.14)$$

Las llantas actúan como un sistema convertidor de torque en fuerza de tracción, esta es la fuerza de empuje ( $E$ ), que depende del torque y el radio de rodadura ( $r_r$ ) de las llantas, de forma que  $M_{em} = E * r_r$ . Al reemplazar el torque y la velocidad de rotación del eje motriz en la expresión 2.15 se obtiene una relación que muestra la participación del sistema de tracción en la generación de la fuerza total de tracción o fuerza de empuje sobre el tractor, donde  $v_t$  es la velocidad tangencial de las ruedas motrices.

$$N_{em} = E * v_t \quad (2.15)$$

## Potencia perdida por rodadura

La resistencia a la rodadura ( $R$ ) es la fuerza que se opone al movimiento de cualquier máquina rodante. Depende de factores como peso de la máquina, sistema de rodamiento y tipo y condición de suelo, estos dos últimos definen el coeficiente de resistencia a la rodadura ( $K_r$ ) (**tabla 2.3**) (Ortiz-Cañavete, 2005), que permite calcular  $R$  mediante la expresión:

$$R = K_r * W \quad (2.16)$$

La tabla muestra que en superficies firmes (secas) los tractores de llantas sufren menores pérdidas por rodadura que los de orugas, mientras en superficies blandas (húmedas) sucede lo contrario y la resistencia a la rodadura es mayor para los tractores de llantas. Esto se debe al hundimiento que ocurre en cada caso; por su mayor área de contacto, las orugas brindan mayor flotación en suelos húmedos y sufren menor hundimiento. La potencia requerida para vencer la rodadura o potencia perdida por rodadura ( $N_r$ ) se calcula como el producto de la fuerza de rodadura ( $R$ ) y la velocidad de desplazamiento ( $v_o$ ).

$$N_r = R * v_o \quad (2.17)$$

Tabla 2.3

## Coeficientes de resistencia a la rodadura

Superficie	Llantas	Orugas
Pavimento	0.02 – 0.03	-
Callejones compactados	0.05	0.06
Suelo agrícola seco	0.06 – 0.08	0.07
Suelo agrícola húmedo	0.1	0.08
Suelo limoso húmedo	0.2	0.1
Arena suelta seca	0.35	0.2

## Potencia perdida por patinaje

El patinaje es una pérdida de velocidad que ocurre cuando el torque desarrollado en el eje motriz vence la resistencia al corte del suelo en la superficie de contacto. Debido al patinaje se presenta diferencia entre la velocidad de desplazamiento de la máquina ( $v_o$ ) y la velocidad tangencial de la llanta ( $v_t$ ). Esta diferencia, expresada como porcentaje de  $v_t$ , es el patinaje ( $p$ ):

$$p (\%) = (v_t - v_o) * (100 / v_t) \quad (2.18)$$

Desde el punto de vista de las máquinas, la máxima tracción ( $E$ ) que pueden desarrollar está relacionada con las pérdidas que pueden ocurrir en la interacción suelo-máquina. Hay niveles de patinaje en los que se presenta el mejor aprovechamiento de la potencia disponible en el eje motriz; estos niveles también están relacionados con el sistema de tracción de la máquina: tracción sencilla ( $p = 12\%$  a  $15\%$ ), doble tracción ( $p = 10\%$ ) y orugas ( $p = 7\%$ ).

- En general, se considera que el mejor aprovechamiento de la potencia disponible en el eje motriz de tractores enllantados que operan en suelos secos pero deformables (condición normal), se obtiene cuando el patinaje es entre  $10\%$  y  $15\%$ .
- En suelos sueltos, arenosos o fangosos aumentan la resistencia a la rodadura y el patinaje, este último puede llegar a valores entre  $13\%$  y  $18\%$ .

La potencia perdida por patinaje ( $N_p$ ) es una fracción de la potencia desarrollada en el eje motriz:

$$N_p = p * N_{em} \quad (2.19)$$

El patinaje se puede determinar en campo midiendo la velocidad de desplazamiento del tractor sin carga ( $v_t$ ) y la velocidad de desplazamiento con carga ( $v_o$ ).

## Potencia perdida en las pendientes

El trabajo contra la pendiente afecta la potencia a la barra de tiro. La fuerza para vencer la resistencia a las pendientes ( $R_p$ ) depende del peso de la máquina y la pendiente ( $I$ ) del terreno. Una pendiente  $I$  menor o igual a 5% se considera normal para trabajo mecanizado; no se recomienda el laboreo en pendientes mayores de 12%, por seguridad.

En la práctica, en condiciones normales se considera que los tractores deben vencer una resistencia de 100 N por cada tonelada de peso (1 t) y por cada 1% de pendiente del terreno:

$$R_p = [100 \text{ N} / (\text{t} * \%)] * W (\text{t}) * I (\%) \quad (2.20)$$

La potencia para vencer las pendientes o potencia perdida en las pendientes ( $N_i$ ) es el producto de la resistencia  $R_p$  y la velocidad de desplazamiento (expresión 2.21). Para trabajo en pendientes muy bajas llega a ignorarse esta fracción.

$$N_i = R_p * v_o \quad (2.21)$$

Si se conoce el requerimiento de trabajo efectivo que se debe realizar a la barra de tiro, las fracciones de potencia perdidas por rodadura y pendiente y el patinaje, se puede determinar la potencia requerida en el eje motriz ( $N_{em}$ ):

$$N_{em} = (N_{bt} + N_r + N_i) / (1 - p) \quad (2.22)$$

## Eficiencia de tracción

La eficiencia de tracción ( $\varepsilon_{tt}$ ) es un coeficiente que cuantifica las pérdidas en la interacción suelo-máquina (patinaje, rodadura y pendientes). Depende de las condiciones de operación y el tipo de máquina; en pendientes normales:

- Tracción sencilla:  $\varepsilon_{tt} = 75\%$
- Doble tracción o tracción delantera asistida:  $\varepsilon_{tt} = 80\%$
- Orugas:  $\varepsilon_{tt} = 88\%$

## Potencia al volante

Es la potencia desarrollada por el motor; un alto porcentaje de ella es la potencia que llega al eje motriz ( $N_{em}$ ) y el resto constituye la potencia perdida en la transmisión; esta fracción depende de la eficiencia de la transmisión ( $\varepsilon_{tr}$ ) (ecuación 2.23), que se considera entre 80% y 88% y se expresa como la razón entre las potencias desarrolladas en el eje motriz y el volante del motor; esta eficiencia depende del tipo de transmisión (mecánica o hidráulica).

La potencia al volante ( $N_v$ ) (ecuación 2.24) es el requerimiento mínimo que debe desarrollar el motor para realizar trabajo efectivo a la barra de tiro ( $N_{bt}$ ) y suplir las pérdidas en la transmisión ( $N_{tr}$ ), rodadura ( $N_r$ ), patinaje ( $N_p$ ) y pendiente ( $N_i$ ).

$$\varepsilon_{tr} = N_{em} / N_v \quad (2.23)$$

$$N_v = N_{em} + N_{tr} \quad (2.24)$$

## Potencia nominal

La potencia nominal ( $N_n$ ) es la especificada por los fabricantes de motores; se obtiene mediante pruebas en condiciones ambientales estandarizadas de presión atmosférica y temperatura (1 at y 15.5 °C). Cuando los motores funcionan en sitios de menor presión atmosférica o mayor temperatura, ocurren pérdidas de potencia.

## Potencia perdida por altura y temperatura

A medida que se asciende sobre el nivel del mar disminuyen la presión atmosférica y el contenido de oxígeno; por otra parte, el aumento de la temperatura del aire influye en su densidad. Ambos factores, presión y temperatura, finalmente inciden en la masa de aire que entra al motor y en la combustión, lo cual afecta especialmente los motores de aspiración natural. Motores turbocargados no sufren estos efectos hasta las alturas sobre el nivel del mar a las cuales se realizan operaciones mecanizadas en el valle geográfico del río Cauca. Se considera que se pierde 1% de potencia nominal ( $N_n$ ) por cada 100 m sobre el nivel del mar a partir de los primeros 300 m, y 1% por cada 5.5 °C a partir de 15.5 °C.

Las pérdidas totales por altura y temperatura pueden estar alrededor del 10% de la potencia nominal del motor, como se muestra en las ecuaciones 2.25 a 2.27, donde intervienen la altura sobre el nivel del mar ( $h$ , metros), la temperatura ambiente ( $t$ , °C),  $N_h$  (potencia perdida por altura) y  $N_t$  (potencia perdida por temperatura ambiente)

$$N_h = N_n (h - 300 \text{ m}) / 10,000 \text{ m} \quad (2.25)$$

$$N_t = N_n (t - 15.5 \text{ °C}) / 550 \text{ °C} \quad (2.26)$$

$$N_n = N_v + N_h + N_t \quad (2.27)$$

Esta es la potencia nominal mínima para realizar un determinado trabajo efectivo a la barra de tiro; debe suplir además pérdidas ambientales, de transmisión, rodadura, patinaje y pendientes.

## Potencia de selección

Cuando se trata de seleccionar un tractor con base en el trabajo efectivo que se debe realizar a la barra de tiro en condiciones ambientales y de suelo establecidas, se debe considerar un excedente igual o superior al 25% de la potencia nominal para compensar las pérdidas que sufre el motor por desgaste y uso; esta es la potencia de selección ( $N_{sel}$ ).

$$N_{sel} > = 1.25 * N_n \quad (2.28)$$

## Cómo calcular la potencia de un tractor para operar una rastra de discos

El siguiente procedimiento permite tener una aproximación al requerimiento mínimo de potencia nominal de un tractor para operar un implemento a partir de sus especificaciones y las condiciones de operación (velocidad y tipo de suelo) y las condiciones ambientales del sitio. Para el caso de una rastra se tiene:

1. Fuerza de tracción:  $F_{bt} \text{ (N)} = K_m * M$
2. Potencia requerida a la barra de tiro:  $N_{bt} \text{ (HP)} = 0.00037 * F_{bt} * v_o$
3. La determinación de la potencia requerida al eje motriz debe incluir las pérdidas que se presentan en la interacción suelo-llanta (patinaje y rodadura) que pueden llegar hasta 25% dependiendo del tipo de tractor; estas pérdidas se consideran en la eficiencia de tracción ( $\epsilon_{tt} = 75\%$  a  $88\%$ ). La potencia utilizada para vencer las pendientes también debe tenerse en cuenta, en caso que sean representativas. Potencia al eje motriz:  $N_{em} \text{ (HP)} = N_{bt} + N_r + N_p = N_{bt} / \epsilon_{tt}$
4. Para determinar la potencia al volante se deben considerar las pérdidas en la transmisión del tractor que pueden ser entre 12% y 20% dependiendo del tipo de transmisión de la máquina (mecánica o hidráulica). Estas pérdidas se consideran en el coeficiente de pérdidas o eficiencia de la transmisión ( $\epsilon_{tr} = 80\%$  a  $88\%$ ). Potencia al volante:  $N_v = N_{em} + N_{tr} = N_{em} / \epsilon_{tr}$
5. Para determinar la potencia nominal se deben incluir las pérdidas por condiciones ambientales (altura y temperatura), que para la parte plana del valle geográfico del río Cauca están entre 8% y 10%. Se consideran en el coeficiente de pérdidas ambientales,  $\epsilon_{amb} = 0.90$  a  $0.92$ .
6. Potencia nominal:  $N_n = N_v + N_h + N_t$

## Cuidados en la operación y el mantenimiento de rastras de discos

Son importantes los siguientes cuidados:

- Fijar la barra de tiro para el transporte de la rastra y liberarla para la operación.
- Asegurar el eje del sistema de transporte para el traslado de la rastra.
- Revisar a diario la tornillería y ajustarla.
- Engrasar a diario los sistemas de transporte y nivelación.
- Engrasar periódicamente las chumaceras de rodamientos.
- Engrasar tres veces al día las chumaceras de fricción.
- Lubricar a diario la manivela de nivelación o de transferencia de peso.

## Práctica 2.1

# Identifiquemos las rastras de tiro excéntrico, sus partes y características

### Orientaciones para el facilitador

Esta práctica puede llevarse a cabo en las instalaciones del taller agrícola o en el campo. Los participantes trabajarán en grupos de cinco o seis personas y por un máximo de 60 minutos.

### Sugerencias para realizar la práctica

#### 1. Consiga los recursos necesarios y oriente a los participantes:

- Lo ideal es contar con una rastra por grupo y trabajar en el campo (para luego realizar la práctica 2.2 en el mismo sitio); preferible rastras de tiro excéntrico y al menos una tipo tándem.
- Debe repasar previamente con los participantes la unidad 2 de aprendizaje: Trabajemos con rastras de discos.
- El día de la práctica explique los objetivos, las actividades y cómo se debe llenar la hoja de respuestas.
- Solicite la colaboración de amigos facilitadores formados en la materia para dedicar suficiente tiempo a cada grupo durante la práctica.

#### 2. Finalice la práctica con una dinámica de retroinformación:

- Reúna a los participantes y pídale a cada grupo que presente sus conclusiones, o simplemente inicie el diálogo con la pregunta: ¿qué pueden decir sobre la condición general de la rastra que les fue asignada?

## RECURSOS NECESARIOS

### Para cada participante:

- Una copia de la unidad 2: Trabajemos con rastras de discos (incluye pasos para medir el ángulo de ataque)
- Una copia de las Instrucciones para los participantes y la Hoja de respuestas (formulario).
- Hojas de papel en blanco y lápiz.

### Para cada grupo:

- Una rastra (pesada o liviana)
- Una cinta métrica
- Una escuadra grande
- Un transportador (o calculadora)
- Piola y cinta de enmascarar
- Equipos de seguridad (guantes, cascos)

## Práctica de campo 2.1

### Instrucciones para los participantes

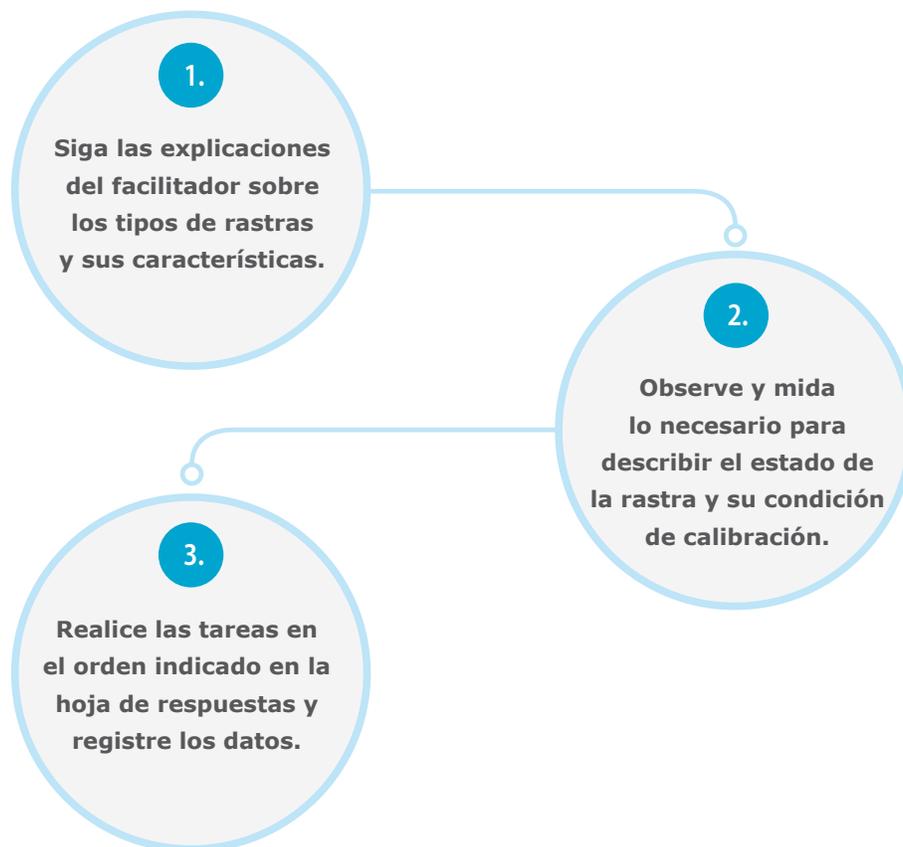
Identifiquemos las rastras de tiro excéntrico, sus partes y características

#### Objetivos

Al finalizar la práctica, los participantes estarán en capacidad de:

- Identificar diferentes tipos de rastras, sus partes y características.
- Reconocer el estado de mantenimiento de una rastra de discos.
- Identificar la condición de calibración de una rastra de tiro excéntrico.

#### Actividades



Hoja de respuestas

Especificaciones de una rastra de discos, condición del equipo y estado de calibración.

Fecha:		
Grupo de trabajo:		
Tipo de rastra:	Lugar de observación: Taller ____ Campo ____	
Cantidad de discos:	Peso por disco (kg):	Peso rastra (kg):
<b>MARCO</b> Dimensión del perfil (mm):		
<b>CUERPO DE DISCOS</b>	DELANTERO	TRASERO
<b>BASTIDOR</b> Dimensión (mm):		
<b>DISCOS</b> Borde:		
Diámetro actual (in):		
Diámetro original (in):		
Espesor (mm):		
Concavidad (mm):		
Desgaste (%):		
<b>EJES</b> Dimensión (mm):		
Separación entre discos (mm):		
Ángulo de ataque (°):		
Ángulo de traba de la rastra (°):		
<b>BARRA DE ENGANCHE</b> Punto de enganche: Superior ____ Inferior ____		
<b>BARRA DE TIRO</b> Excentricidad (mm):		
<b>SISTEMA NIVELACIÓN</b> Tornillo ____ Barra paralela ____ Barra de torsión ____		
<b>ANCHO DE CORTE</b> Dimensión (m):		
Observaciones:		

Solicite más hojas si las necesita

## Práctica 2.2

# Ensayemos los sistemas de calibración y operemos la rastra

### Orientaciones para el facilitador

Los participantes trabajarán en grupos de cinco o seis personas para identificar problemas de calibración en rastras y realizar ajustes para la adecuada operación de los equipos. El facilitador puede complementar la práctica de acuerdo con las necesidades de capacitación de cada grupo. Para las actividades propuestas se requieren al menos 120 minutos.

### Sugerencias para realizar la práctica

1. Consiga con anterioridad un lote disponible para pruebas, preferiblemente para descepar.
2. El día de la práctica explique los objetivos y los procedimientos que deben seguirse para variar la calibración de la rastra, operarla y tomar los datos del caso. Finalmente dirija una sesión de retroinformación y conclusiones con los participantes.

### RECURSOS NECESARIOS

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Al menos dos rastras (medianas o pesadas) y uno o dos tractores | <input type="checkbox"/> Cronómetros                              |
| <input type="checkbox"/> Herramientas de trabajo pesado                                  | <input type="checkbox"/> Jalones                                  |
| <input type="checkbox"/> Palancas  | <input type="checkbox"/> Cintas métricas                          |
| <input type="checkbox"/> Flexómetros   | <input type="checkbox"/> Calibrador                               |
|  | <input type="checkbox"/> Equipo de seguridad (guantes, cascos)    |
|  | <input type="checkbox"/> Instrucciones y formularios de registro. |

### Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Se sugieren las siguientes preguntas para motivar la participación de los asistentes:

1. ¿Qué dificultades tuvieron durante la práctica?
2. ¿Qué herramientas especiales utilizaron?
3. ¿Qué problemas de calibración encontraron en la rastra asignada?
4. ¿Qué modificaciones pueden sugerir en el procedimiento de calibración?
5. ¿Cuál es la condición general de la rastra asignada?

## Práctica de campo 2.2

### Instrucciones para los participantes

## Ensayemos los sistemas de calibración y operemos la rastra

### Introducción

La calibración es una de las actividades más importantes en el trabajo con implementos agrícolas; equipos sin la calibración adecuada comprometen el desempeño del conjunto tractor-implemento. En el cultivo de la caña, las rastras deben calibrarse de acuerdo con la labor por ejecutar (labranza primaria o secundaria), el tipo de suelo y su condición. Rastras bien calibradas garantizan mejor acción sobre el suelo, mayor eficiencia en la operación y condiciones adecuadas de equilibrio en el conjunto tractor-implemento.

### Objetivos

Al finalizar la práctica, los participantes estarán en capacidad de identificar problemas de calibración en rastras y corregirlos para la operación del equipo.

### Actividades

La calibración completa de una rastra de discos demanda tiempo y herramientas pesadas. Es por ello que en esta práctica observaremos solamente algunas de las condiciones de equilibrio del conjunto tractor-rastra.

- Realizaremos la calibración en un área de pruebas, donde la rastra será operada en su condición original, recalibrada y operada nuevamente.
- El facilitador dará las instrucciones para variar las condiciones de equilibrio y para medir la profundidad y el ancho de trabajo. Entregará a los participantes la información sobre el peso de la rastra y la textura y consistencia del suelo.
- Los participantes trabajarán en grupos de cinco o seis personas para formular las conclusiones sobre la experiencia de calibración y presentarlas en sesión plenaria.

## Hoja de respuestas

Pruebas de calibración para la operación de una rastra de discos.

Fecha:	
Grupo de trabajo:	
<b>INFORMACIÓN INICIAL</b>	
Textura del suelo:	Peso de la rastra (kg):
Textura del suelo:	Ángulo de ataque en el cuerpo delantero (°):
<b>OBSERVACIONES Y MEDICIONES</b> Siga las orientaciones del facilitador para cada actividad	
<b>1. Definir la línea de marcha para hacer pases con la rastra</b>	
<b>2. Ubicar sobre la rastra el centro de corte del cuerpo delantero</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir la excentricidad inicial (mm) : _____</li> </ul>	
<b>3. Operar la rastra en su condición inicial y observar</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• ¿El tractor y el marco están alineados?</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Si es necesario, proponer correcciones, ejecutarlas y operar hasta obtener el equilibrio del conjunto tractor-rastra:</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Medir la excentricidad (mm) : _____</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Chequear:      Profundidad de trabajo (m): _____      Ancho de trabajo (m): _____</li> </ul>	

Pruebas de calibración para la operación de una rastra de discos.

<b>4. Ajustar el tornillo de nivelación</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Operar y chequear la condición de equilibrio:</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Si es necesario, proponer correcciones, ejecutarlas y operar hasta obtener el equilibrio del conjunto tractor-rastra:</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Medir la excentricidad (mm) : _____</li> </ul>
<b>5. Variar el ajuste de la barra de torsión o de la barra paralela</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Operar y chequear la condición de equilibrio:</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Si es necesario, proponer correcciones, ejecutarlas y operar hasta obtener el equilibrio del conjunto tractor-rastra:</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Medir la excentricidad (mm) : _____</li> </ul>
<b>6. Variar el punto de acople en la barra de enganche</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Operar y chequear la condición de equilibrio:</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Si es necesario, proponer correcciones, ejecutarlas y operar hasta obtener el equilibrio del conjunto tractor-rastra:</li> </ul>
<ul style="list-style-type: none"> <li>Medir la excentricidad (mm) : _____</li> </ul>
<b>7. Regresar la rastra a su condición inicial. Enunciar conclusiones y presentarlas en sesión plenaria.</b>

## Ejercicio 2.1

### Evaluemos la operación de una rastra

#### Orientaciones para el facilitador

Al terminar el ejercicio, los participantes deben estar en capacidad de identificar los factores que definen la eficiencia de operación y los requerimientos de tracción y potencia de una rastra. Se estima que en 90 minutos se pueden lograr dichos objetivos.

#### Sugerencias para realizar el ejercicio

1. Se requiere un salón adecuado para que los participantes trabajen cómodamente en grupos de cinco o seis personas. Pueden usar un computador o una calculadora corriente.
2. Para resolver el ejercicio, el facilitador debe dominar los aspectos relacionados con la eficiencia de operación de las rastras.
3. Debe suministrar a los participantes la información necesaria para realizar los cálculos y explicar los pasos para obtener cada indicador.
4. Para finalizar el ejercicio puede pedirle a cada grupo que presente sus conclusiones y luego debe dirigir la sesión de retroinformación.

#### Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Se sugieren las siguientes preguntas para motivar la participación:

1. ¿Qué dificultades tuvieron para realizar el ejercicio?
2. ¿Consideran importante relacionar los implementos y los tractores?
3. ¿Encontraron correlación entre el tractor y el implemento?
4. ¿Cómo ven los resultados al compararlos con los estándares de sus lugares habituales de trabajo?



Recurso digital  
[www.cenicana.org/pat](http://www.cenicana.org/pat)

## Ejercicio 2.1

### Instrucciones para los participantes

#### Evaluemos la operación de una rastra

##### Introducción

El uso correcto de los implementos agrícolas es importante al momento de evaluar la eficiencia de operación; desde el punto de vista técnico son importantes la capacidad de campo y los requerimientos de tracción. Estos factores se determinan a través de procedimientos convencionales que relacionan el tamaño de los implementos, el tipo y condición de suelo y la velocidad de operación.

##### Objetivos

Al finalizar el ejercicio, los participantes estarán en capacidad de determinar la eficiencia y los requerimientos de tracción y potencia para la operación de una rastra de discos.

##### Actividades

1. Definamos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Constante de mecanización del suelo de acuerdo con su textura:</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Masa de la rastra (kg):</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Velocidad de operación (km/h):</li> </ul>	
2. Calculemos	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tracción requerida para la operación de la rastra (N):</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Potencia requerida a la barra de tiro para operar la rastra (HP):</li> </ul>	

<b>3. Definamos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas por patinaje y rodadura (%):</li> </ul>	
<b>4. Calculemos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia en el eje motriz (HP):</li> </ul>	
<b>5. Definamos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas en la transmisión (%):</li> </ul>	
<b>6. Calculemos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia en el volante (HP):</li> </ul>	
<b>7. Definamos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Pérdidas de potencia por altura y temperatura (%):</li> </ul>	
<b>8. Calculemos</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Potencia nominal (HP):</li> </ul>	
<b>9. Comparemos la potencia nominal con la potencia del tractor utilizado</b>	
<b>10. Concluamos acerca de los requerimientos de tracción y potencia</b>	
<b>11. Presentemos las conclusiones en sesión plenaria.</b>	



# Unidad 3

Practiquemos la labranza vertical



## Introducción

El tráfico de equipos pesados durante la cosecha de la caña de azúcar crea altos niveles de compactación que restringen el movimiento de agua, el intercambio de gases y el desarrollo de las raíces, lo cual, finalmente, incide en la respuesta del cultivo.

La compactación inducida en las capas superiores del suelo puede ser eliminada por métodos convencionales de rastreo, cultivo y escarificación. A profundidades mayores de 30 cm se requieren equipos con características especiales, usualmente equipos de vástagos que hacen labranza vertical y roturan el suelo sin invertir su perfil, pero que son exigentes en la condición del suelo para conseguir un resultado adecuado y por lo general demandan alto consumo de energía y fuentes de potencia de gran tamaño. Estos factores señalan la importancia de tener buenos conocimientos sobre la labranza profunda y los implementos verticales, con el fin de ejecutar labores eficaces y sostenibles.

Esta unidad de aprendizaje se dedica a describir las características principales de los implementos verticales más utilizados en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, su modo de acción sobre el suelo y las formas de operación en labores de preparación para la siembra y levantamiento de socas.

## Objetivos

Al concluir las actividades de esta unidad, los participantes estarán en capacidad de:

- Definir las características básicas de los implementos convencionales de labranza vertical.
- Definir las características básicas de los implementos roturadores del suelo utilizados en el levantamiento de socas.
- Determinar el efecto de los implementos verticales sobre el suelo a través de la sección roturada.

## Estructura de aprendizaje

Se describen los implementos verticales más utilizados en el cultivo de la caña de azúcar, su modo de acción sobre el suelo, los requerimientos de tracción y potencia y las condiciones de labranza para lograr resultados eficaces, que aseguren la sostenibilidad del cultivo. A través de actividades pedagógicas, los participantes practican con equipos subsoladores de diferente configuración y tienen la oportunidad de analizar su efecto sobre el suelo a través de la medición, representación y cálculo de la sección roturada. Comparan e identifican los equipos de mejor desempeño de acuerdo con las propiedades del suelo y los objetivos de las labores.



Labranza profunda con subsolador convencional.

## Practiquemos la labranza vertical

La unidad muestra los equipos subsoladores y su acción sobre el suelo



### Práctica 3.1

Identifiquemos los subsoladores, practiquemos con ellos y midamos su efecto sobre el suelo



### Ejercicio 3.1

Representemos el perfil del entresurco y calculemos el área roturada por un subsolador

## Preguntas iniciales

1. ¿Cuál es el objetivo de la labranza profunda?
2. ¿Qué beneficios representa el laboreo en capas?
3. ¿Qué ventajas ofrecen los implementos de labranza vertical?
4. ¿En qué se diferencian un descompactador y un subsolador?
5. ¿Qué se persigue al usar punteras aladas en un subsolador?
6. ¿Qué es un "perfilómetro"?

## ● Implementos de labranza vertical

También conocidos como implementos verticales o de labranza profunda, son equipos sencillos, regularmente formados por cuerpos de vástagos con punteras que, en esencia, roturan el suelo sin invertir los horizontes superiores del perfil; se utilizan para mejorar las condiciones físicas del suelo, especialmente donde se presentan niveles altos de compactación. Mediante el laboreo vertical se eliminan o roturan capas que impiden el desarrollo de las raíces, se mejoran la aireación y la infiltración del agua en el suelo y se disminuye la escorrentía, lo cual debe favorecer el desarrollo de las raíces y la productividad del cultivo.

Los subsoladores trabajan a profundidades mínimas de 30 cm (Massakazu y De Moraes, 2005) y para la ASAE (1995) ese mínimo es de 40 cm. Los cuerpos de subsuelo o vástagos ejercen presión sobre el suelo hasta que vencen su resistencia pasiva y causan la falla de un prisma de suelo que se mueve adelante y arriba; los bloques roturados se suceden uno tras otro hasta generar el levantamiento característico y el estallamiento del suelo (ver figura 2.1).

Se puede afirmar que la configuración de los implementos verticales y sus condiciones de operación son específicas para cada situación, de modo que no se pretende abarcar todas las opciones de laboreo en esta guía de aprendizaje. En la presente unidad repasamos los aspectos generales que caracterizan el conjunto de equipos de labranza vertical utilizados con mayor frecuencia en caña de azúcar en el valle del río Cauca, tanto en la preparación de suelos como en el levantamiento de socas; en particular, implementos de vástagos rígidos.

En cuanto a su estructura, generalmente están formados por un chasis al que se integran los vástagos o cuerpos de trabajo y el sistema de enganche (**figura 3.1**). El chasis puede ser un

Figura 3.1

### Partes de un implemento de labranza vertical



marco o una barra portaherramientas. Los marcos se utilizan con frecuencia en implementos roturadores que trabajan en socas porque las operaciones exigen una mejor distribución de los cuerpos en ambos sentidos: longitudinal y transversal.

La barra portaherramientas suele ser recta o en V; usualmente de sección rectangular y con refuerzo interior, durante la operación resulta sometida a esfuerzos combinados de flexión y torsión. Las barras en V permiten distribuir los cuerpos activos de tal manera que la acción del implemento sea progresiva, con un cuerpo delantero o líder que realiza la roturación inicial y alivia el esfuerzo que deben realizar los cuerpos siguientes, lo que les permite mejorar su desempeño.

## Clasificación de los implementos verticales

Con fines prácticos, en esta guía clasificamos los implementos verticales de acuerdo con el sistema de enganche, la profundidad de trabajo, el despeje, la estructura de los cuerpos y el perfil del vástago.

### Sistema de enganche

Se encuentran sistemas de tiro y de enganche en tres puntos (**galería de imágenes 3.1**). Equipos pesados, con tres o más cuerpos que trabajan a profundidades mayores que 50 cm, se ensamblan en una barra portaherramientas con estructura de tiro que se conoce como *tool carrier* (por su nombre en inglés).

#### Galería de imágenes 3.1

#### Sistemas de enganche de implementos verticales



Estructura de tiro.



Estructura de enganche en tres puntos.

## Profundidad de trabajo

Los implementos verticales están diseñados para realizar laboreo superficial y laboreo profundo (**galería de imágenes 3.2**). En ambos casos, la profundidad de trabajo depende de la ubicación de la capa compactada o la sección de suelo que se quiere roturar. Para recuperar las propiedades de aireación y movimiento del agua en capas superficiales compactadas, se usan implementos relativamente livianos (cincales y escarificadores) que disturban el suelo hasta 30-40 cm de profundidad. A mayor profundidad se requieren subsoladores, que roturan la capa compactada en el subsuelo sin invertir los horizontes superiores del perfil.

La profundidad de trabajo influye en el movimiento y fragmentación del suelo roturado, en el perfil y el tamaño de la sección roturada, y en la tracción requerida. Depende de la profundidad de la capa de suelo por roturar, razón por la cual es necesario determinar la profundidad de la capa compactada para definir la configuración del equipo de acuerdo con la labor. Para determinar la profundidad de capas compactadas se pueden usar diferentes métodos, como las mediciones de resistencia a la penetración en calicatas. Métodos de observación pueden ser útiles sólo para hallar indicios de compactación, como encostramiento superficial, acumulación de residuos no descompuestos, fallas localizadas de germinación, síntomas de deficiencia de nitrógeno y potasio o de toxicidad por manganeso.

Los implementos verticales deben operar entre 5 cm y 10 cm por debajo de la capa compactada. Desde el punto de vista del implemento y el movimiento del suelo, se considera que la profundidad ideal es 5 a 7 veces el ancho de la puntera (**figura 3.2**).

### Galería de imágenes 3.2

## Implementos verticales y su profundidad de trabajo

### ▼ Laboreo superficial



Cincales.

### ▼ Laboreo profundo



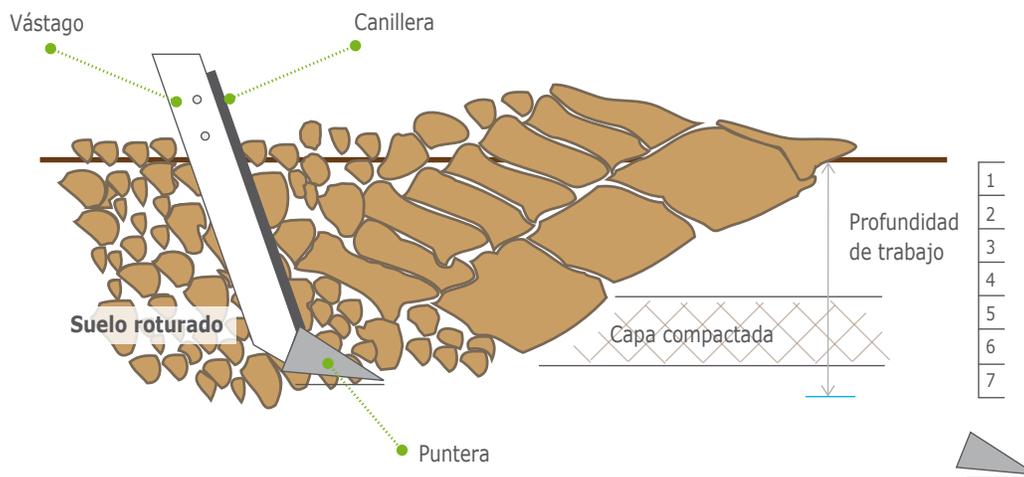
Subsolador cenitándem.



Subsolador triple.

Figura 3.2

Profundidad de operación de un implemento vertical de acuerdo con la profundidad de la capa compactada



### Recomendaciones sobre la profundidad de trabajo

**Desde el punto de vista del implemento y el movimiento del suelo,** se considera que la profundidad ideal de operación con implementos verticales está entre 5 y 7 veces el ancho de la puntera.

- Implementos verticales deben operar entre 5 y 10 cm por debajo de la capa compactada.
- El trabajo de implementos de labranza profunda es más eficaz en suelos secos y suelos friables.
- El laboreo profundo se debe realizar solamente hasta la profundidad requerida; de lo contrario se incurre en un consumo de energía innecesario y se puede incrementar el consumo de agua de riego.
- No se recomienda el laboreo profundo en suelos de poco desarrollo o capas arables muy superficiales, como los suelos de familias texturales esqueléticas que son comunes en el piedemonte.
- A mayor profundidad resultan agregados más grandes (en especial cuando el contenido de humedad del suelo no es el adecuado para la labranza) y es más probable que se cause inversión de los agregados del suelo.

## Despeje

Los implementos verticales también se clasifican por el despeje, es decir, la distancia entre el extremo anterior de la puntera y el bastidor. De acuerdo con Márquez (2000), se clasifican en:

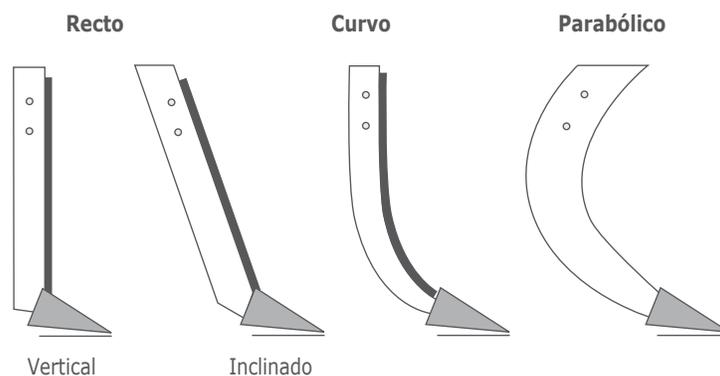
- Descompactadores (cinceles y escarificadores rígidos): entre 65 cm y 75 cm de despeje y dos o tres cuerpos por metro de ancho.
- Subsoladores: despeje entre 75 cm y 110 cm y uno o dos cuerpos por metro de ancho.

## Estructura de los cuerpos y perfil del vástago

Los cuerpos son de estructura rígida o flexible; en el cultivo de la caña de azúcar se usan implementos verticales de cuerpos rígidos. De acuerdo con su perfil, los vástagos pueden ser rectos (verticales o inclinados), curvos o parabólicos (**figura 3.3**); son de sección variable y espesor entre 19 mm y 38 mm (entre 3/4" y 1½"). Para disminuir su desgaste, una platina protectora en acero de alta dureza, denominada comunmente canillera, cubre el borde anterior. El perfil de los vástagos es una característica importante porque influye en la demanda de tracción y en el efecto de los implementos sobre el suelo.

**Figura 3.3**

### Perfil de vástagos rígidos



## Sistemas de protección de los vástagos

En ocasiones, la presencia de rocas y raíces en el subsuelo crea grandes esfuerzos que pueden afectar el vástago; para proteger el implemento, la mayoría de los equipos cuentan con el sistema de pernos fusibles, los cuales se cizallan y liberan el vástago que entonces podrá pivotar alrededor de un segundo perno (**figura 3.4**); cuando esto ocurre, el operario debe colocar nuevamente el vástago en su lugar y reemplazar el perno fusible. Algunos implementos tienen sistemas automáticos de protección que liberan y enganchan el vástago sin intervención del operario; son regularmente de mayor costo.

Figura 3.4

Sistema de protección de implementos verticales por medio de un perno fusible



### Importancia de las punteras en implementos verticales

El proceso de roturación y levantamiento del suelo inicia por la acción de las punteras, de forma que ellas soportan los mayores esfuerzos y el mayor efecto friccional del suelo; por estas razones, se construyen en aceros de alta dureza y, regularmente, se recubren con cordones de soldadura resistente al desgaste. En términos generales, las punteras suelen ser sencillas o con aletas (**figura 3.5**). El ancho de la puntera ( $b$ ) y su ángulo de ataque son las características más importantes.

Figura 3.5

Punteras sencillas y con aletas (tipo avión) en un implemento vertical



## Ancho de la puntera

El ancho de punteras sencillas regularmente varía entre 75 mm y 100 mm. Las punteras aladas con ancho ( $b$ ) hasta 450 mm (figura 3.5) reemplazan las punteras sencillas con algunos beneficios, en particular relacionados con el área roturada. Aunque las aletas demandan mayor fuerza de tiro y mayor potencia, con ellas incrementa el área de la sección de suelo roturada y disminuye la resistencia específica, es decir, la relación entre la fuerza de tiro y el área de la sección roturada; la resistencia específica ( $N/cm^2$ ) es uno de los factores utilizados para comparar la eficacia de implementos agrícolas.

## Ángulo de ataque de la puntera

En implementos verticales, la cara frontal de la puntera y el fondo de la sección roturada forman el ángulo de ataque ( $\alpha$ ), que puede variar entre  $20^\circ$  y  $60^\circ$ . Este ángulo influye en la magnitud y dirección de la fuerza que ejerce la puntera sobre el suelo, en el efecto roturador del implemento y en el consumo de energía que se requiere para realizar la labor.

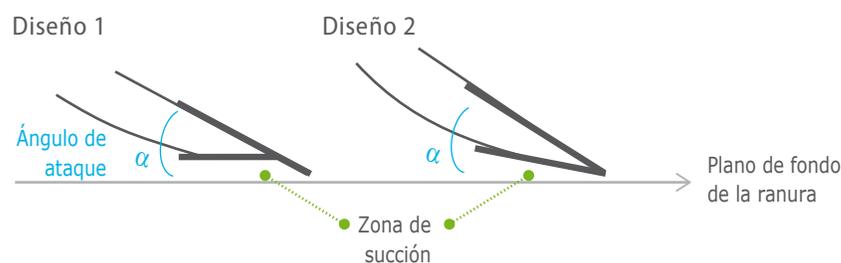
En posición de trabajo, la puntera debe garantizar la succión sobre el implemento, la cual contribuye a su estabilidad y a la penetración, al tiempo que reduce la fricción y el desgaste en la cara inferior de la puntera; también disminuye la compactación en el fondo de la ranura que deja la puntera. Para garantizar la succión se requiere un ángulo aproximado de  $10^\circ$  entre la cara posterior de la puntera y la dirección de avance o entre la cara posterior y el plano de fondo de la ranura; también se puede garantizar la succión a través del diseño de la puntera, como se muestra en la **figura 3.6** para dos configuraciones.

Figura 3.6

### Ángulo de ataque ( $\alpha$ ) y zona de succión en dos diseños de puntera



La succión se logra con un ángulo aproximado de  $10^\circ$  entre la cara posterior de la puntera y el fondo de la ranura; también, mediante el diseño de la puntera:



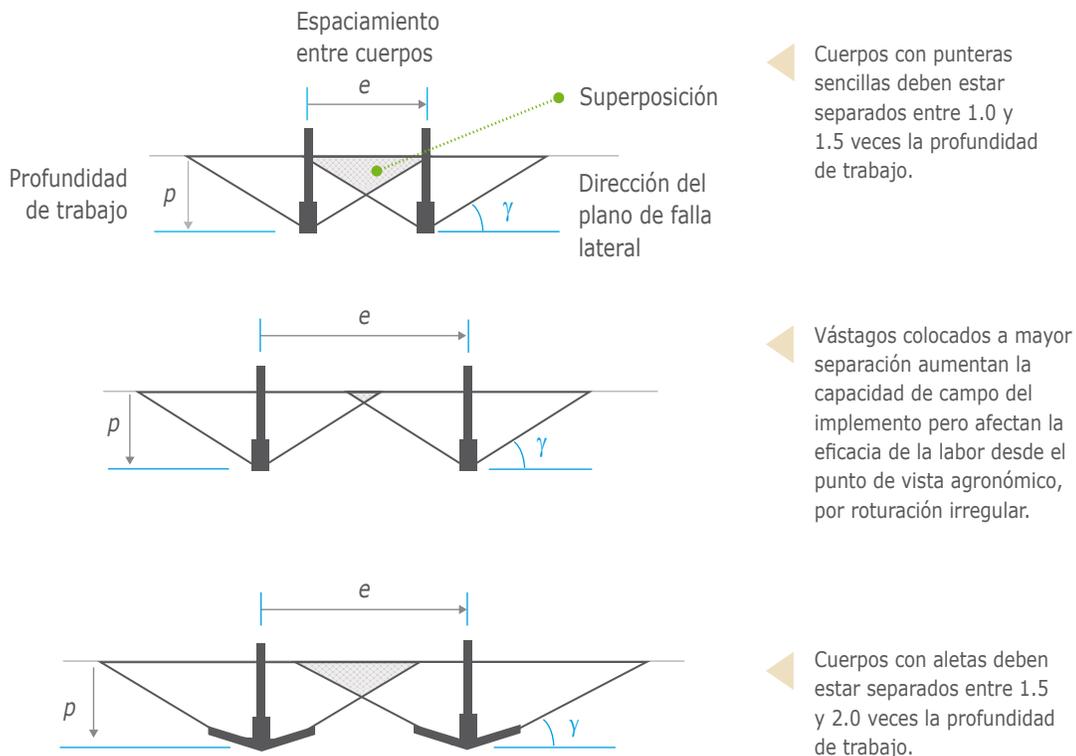
## Importancia del espaciamiento entre vástagos

El espaciamiento ( $e$ ) entre cuerpos verticales es un factor relacionado con la profundidad de trabajo; se estima que debe ser entre 1.0 y 1.5 veces la profundidad de trabajo con punteras sencillas y entre 1.5 y 2.0 veces con punteras aladas.

El espaciamiento entre vástagos debe asegurar la superposición de los efectos de vástagos vecinos sobre el suelo (**figura 3.7**). Las aletas aumentan el ancho de la superficie de ataque de las punteras, lo cual permite aumentar el espaciamiento entre cuerpos y el área de la sección roturada. La superposición es necesaria para evitar franjas de terreno sin roturar o profundidad de labor muy irregular a causa de cuerpos muy separados; con mayor espaciamiento aumenta la capacidad de campo del implemento pero se afecta la labor desde el punto de vista agronómico por roturación irregular. La dirección del plano de falla lateral ( $\gamma$ ) se mantiene constante, porque depende de la textura y condición del suelo y no de la configuración del implemento.

**Figura 3.7**

Relación entre la profundidad de trabajo ( $p$ ) y el espaciamiento entre cuerpos ( $e$ ) de implementos verticales





## Interacción lateral de los vástagos

Trabajar el suelo mediante la interacción de vástagos vecinos es un criterio que debe tenerse en cuenta para programar las labores; el efecto depende del espaciamiento entre cuerpos y la profundidad de trabajo. La superposición tiene ventajas en relación con la eficiencia y la eficacia de la labranza profunda:

- Mejora la uniformidad de la capa de suelo roturada.
- Conserva las cualidades de los horizontes superiores del perfil del suelo.
- Reduce el consumo de energía.

## Interacción suelo-implemento

La efectividad de los implementos verticales para roturar capas compactadas depende de diversos factores relacionados con el suelo, el implemento y la labor. En especial influyen la textura del suelo, su estructura y porosidad, la densidad aparente y el contenido de humedad; también, el tipo de implemento, su configuración y la velocidad de laboreo. Debido a la importancia relativa de los distintos factores, es complejo definir condiciones óptimas de operación. Sin embargo, de acuerdo con Kees (2008), algunos aspectos generales deben tenerse en cuenta:

- Los equipos de laboreo vertical operan mejor en suelos secos y friables.
- Vástagos con punteras más anchas o aletas mejoran la fragmentación del suelo y roturan secciones mayores.
- Suelos arcillosos son difíciles de roturar y demandan alto consumo de energía.

## Factores relacionados con el movimiento del suelo

El movimiento del suelo y su fragmentación tienen relación con la humedad, la geometría del implemento y la razón de aspecto ( $ra$ ), es decir, la relación entre la profundidad de trabajo ( $p$ ) y el ancho de trabajo del implemento ( $b$ ).

### Razón de aspecto

De acuerdo con la razón de aspecto ( $ra = p / b$ ), los implementos agrícolas se clasifican en láminas ( $ra < 0.5$ ) y en implementos de labranza vertical ( $ra > 0.5$ ). Entre las láminas se cuentan las hojas topadoras para movimiento de tierra y algunos arados. Por su parte, los implementos verticales se diferencian entre ellos por ser delgados ( $ra$  entre 0.5 y 6.0) o muy delgados ( $ra > 6$ ). La razón de aspecto influye en la profundidad crítica.

## Profundidad crítica

La profundidad crítica de trabajo depende de la razón de aspecto, el tipo de suelo y su contenido de humedad. Cuando se usan implementos verticales, se busca que el suelo se mueva desde el fondo de la capa roturada hacia adelante, arriba y a los lados para, finalmente, como resultado de la fragmentación y el incremento de la porosidad, producir levantamiento del suelo por encima de la superficie. Esto se logra con implementos delgados.

No obstante, cuando se usan implementos muy delgados, la roturación y el movimiento ascendente del suelo se presentan sólo hasta una profundidad determinada; a partir de ese límite el implemento no desarrolla la fuerza requerida de levante para cizallar el suelo en las paredes laterales y sólo causa movimiento del suelo hacia adelante y hacia los lados, de manera que forma una ranura de paredes compactadas. A dicha profundidad o límite se le denomina profundidad crítica (Spoor y Godwin, 1978). La **figura 3.8** muestra secciones roturadas a diferentes profundidades y señala la profundidad crítica.

Los problemas de profundidad crítica se pueden evitar a través de aditamentos o modificaciones en los implementos, por ejemplo mediante punteras más anchas, punteras con aletas y cuerpos de trabajo superficial colocados delante de cuerpos profundos.

- El laboreo vertical mediante vástagos con aletas permite trabajar a mayores profundidades. Al aumentar el ancho de trabajo disminuye la razón de aspecto y con ello disminuye la posibilidad de alcanzar la profundidad crítica. Las aletas, además, permiten mayor espaciamiento entre cuerpos y esto contribuye al incremento de la capacidad de campo y la eficiencia de operación; también permiten mejor aprovechamiento de la energía porque aumenta la sección roturada y disminuye la resistencia específica del suelo al subsolado.
- Vástagos superficiales que trabajan delante de vástagos profundos alivian los esfuerzos en la capa superior y evitan problemas de profundidad crítica. Además, esta disposición aumenta el área de la sección roturada, al tiempo que mantiene los requerimientos de tracción en niveles similares a los que demanda un subsolador convencional.

**Figura 3.8**

### Secciones roturadas por implementos verticales a diferentes profundidades

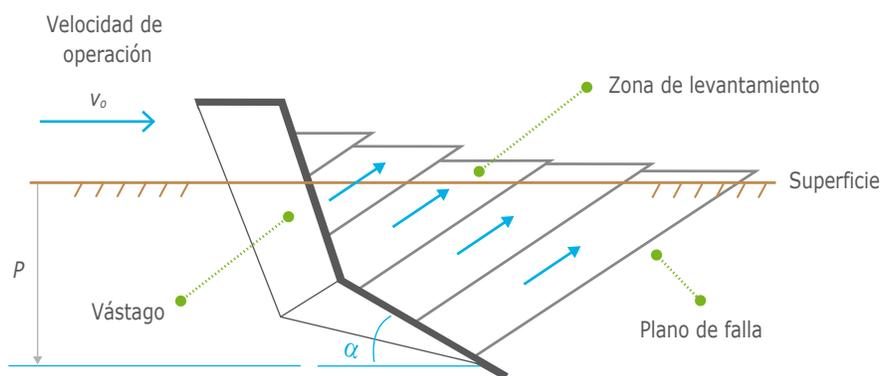


## Esfuerzos y fuerzas en la interacción suelo-implemento

Como se ha dicho, los implementos verticales roturan el suelo ejerciendo presión hasta que vencen su resistencia pasiva. Inicialmente causan falla a lo largo de un plano sobre el cual desliza un prisma de suelo que se mueve adelante y arriba. Estallamiento, fragmentación y agrietamiento, causados por la presión y el movimiento del suelo, complementan la acción del implemento. Los prismas o bloques de suelo se suceden uno tras otro y las grietas o planos de falla se prolongan en sentido lateral y frontal hasta llegar a la superficie; así se produce el levantamiento característico del suelo y su roturación (**figura 3.9**). Los suelos arcillosos en condición friable forman grietas de mayor longitud que los arenosos y los francos.

**Figura 3.9**

### Acción de un implemento vertical sobre el suelo



### Modelo físico de falla del suelo en labranza vertical

Según Bowles (1982), los suelos invariablemente fracturan bajo una combinación de esfuerzos normales y cortantes sobre un plano de falla; en situaciones de labranza profunda, estos esfuerzos son originados por la presión que ejerce el subsolador sobre la masa de suelo. De acuerdo con el criterio Mohr-Coulomb, el esfuerzo cortante máximo que soporta un suelo antes de fracturarse depende de sus características mecánicas (cohesión y fricción) asociadas a la textura del suelo y su condición de humedad (Koolen y Kuipers, 1983).

Cuando el suelo se somete a la acción de fuerzas externas puede comportarse como elemento activo o pasivo. En cualquiera de los casos, la resistencia que deben vencer los implementos está relacionada principalmente con el tipo de suelo y su condición de humedad y con el tamaño del implemento (que define la profundidad de trabajo, el ancho de trabajo y el área roturada); la velocidad de operación incide en menor grado en dicha resistencia.

En las operaciones de labranza, los implementos atacan el suelo y lo roturan cuando vencen su resistencia pasiva (**figura 3.10**). En condición pasiva, el suelo falla y desliza hacia adelante a lo largo del plano en una dirección ( $\beta$ ) que depende del tipo de suelo y su condición

mecánica, la cual es definida por el ángulo de fricción interna del suelo ( $\varphi$ ) (Das, 1992; Srivastava *et al.*, 1993). La dirección del plano de falla se calcula mediante la expresión 3.1:

$$\beta = 45^\circ - (\varphi / 2) \quad (3.1)$$

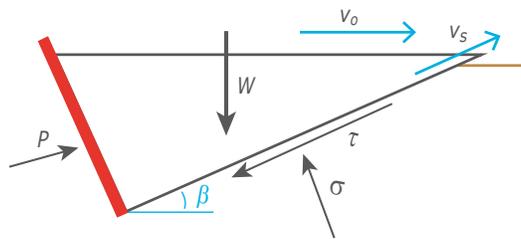
A causa de la presión ejercida por el implemento se origina un esfuerzo cortante ( $\tau$ ) capaz de vencer la cohesión y la fricción entre las partículas del suelo. El esfuerzo cortante que debe realizar el implemento depende del esfuerzo normal ( $\sigma$ ) sobre el plano de falla; ambos se relacionan en el criterio Mohr-Coulomb, según el cual la resistencia máxima al corte del suelo ( $\tau_{m\acute{a}x}$ ) a lo largo de un plano de falla depende del esfuerzo normal ( $\sigma$ ) sobre el plano y las características mecánicas del suelo dadas por el coeficiente de cohesión ( $C_s$ ), el ángulo de fricción interna ( $\varphi$ ) y el coeficiente de fricción interna del suelo ( $\tan\varphi$ ). El criterio Mohr-Coulomb estipula que el suelo falla cuando se cumple la siguiente condición (Wong, 1993):

$$\tau_{m\acute{a}x} = C_s + \sigma * \tan\varphi \quad (3.2)$$

El criterio Mohr-Coulomb también puede expresarse en función de las fuerzas presentes en la interacción suelo-implemento a lo largo del plano de falla. Una vez los implementos vencen la resistencia pasiva del suelo, éste se mueve hacia adelante y arriba mientras desliza sobre el plano de falla, cuya área dependerá del ancho del implemento y de la profundidad de trabajo.

**Figura 3.10**

### Fuerzas y esfuerzos causados por un implemento vertical sobre la masa de suelo



- $P$  Fuerza requerida para operar el implemento (kN)
- $W$  Peso de la masa de suelo roturada (kN)
- $v_o$  Velocidad de operación (m/s)
- $\tau$  Esfuerzo cortante sobre el plano de falla (kPa)
- $\sigma$  Esfuerzo normal sobre el plano de falla (kPa)
- $v_s$  Velocidad del bloque de suelo roturado (m/s)
- $\beta$  Dirección del plano de falla (hacia adelante)

El sistema de fuerzas representado en el modelo físico incluye fuerzas gravitacionales, inercia, fricción suelo-suelo, cohesión suelo-suelo, adhesión suelo-implemento, fricción suelo-implemento y fuerzas externas aplicadas para operar el implemento (**figura 3.11**). De acuerdo con el modelo, la fuerza máxima de corte sobre el plano de falla ( $F_{m\acute{a}x}$ ) tiene dos componentes (expresión 3.3): una para vencer la resistencia cohesiva del suelo ( $C_s * A_f$ ) y otra correspondiente a la resistencia friccional del suelo ( $N_s * \tan\varphi$ ), donde  $A_f$  es el área del plano de falla y  $N_s$  es la carga normal sobre dicho plano.

$$F_{m\acute{a}x} = (C_s * A_f) + (N_s * \tan\varphi) \tag{3.3}$$

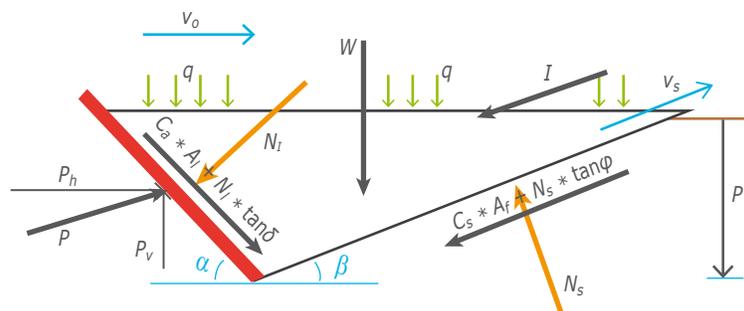
El área del plano de falla ( $A_f$ ) y el área superficial del modelo de falla ( $A_q$ ) (expresiones 3.4 y 3.5) dependen del ancho del implemento ( $b$ ), la profundidad de trabajo ( $p$ ) y la dirección del plano de falla ( $\beta$ ).

$$A_f = (b * p) / \text{sen}\beta \tag{3.4}$$

$$A_q = (b * p) / (\tan\alpha + \tan\beta) \tag{3.5}$$

**Figura 3.11**

Sistema de fuerzas en la interacción suelo-implemento



$P$	Fuerza requerida para operar el implemento (kN)	$C_a$	Coefficiente de adhesión suelo-implemento
$P_h$	Componente en dirección del desplazamiento = fuerza de tiro = $F_{bt}$	$C_s$	Coefficiente de cohesión del suelo
$P_v$	Componente vertical	$\delta$	Ángulo de fricción suelo-implemento (metal)
$p$	Profundidad de trabajo	$\varphi$	Ángulo de fricción suelo-suelo o fricción interna del suelo
$\alpha$	Ángulo de ataque del implemento	$\beta$	Dirección del plano de falla (hacia adelante)
$q$	Carga distribuida sobre la superficie del suelo	$\tan\delta$	Coefficiente de fricción suelo-implemento (metal)
$N_i$	Fuerza normal sobre el implemento	$\tan\varphi$	Coefficiente de fricción suelo-suelo
$I$	Fuerza de inercia	$C_a * A_i + N_i * \tan\delta$	Fuerzas de adhesión y fricción sobre el implemento
$N_s$	Fuerza normal sobre el plano de falla	$C_s * A_f + N_s * \tan\varphi$	Fuerzas de cohesión y fricción en el plano de falla
$A_f$	Área del plano de falla = $b * p / \text{sen}\beta$		
$A_i$	Área de la superficie frontal del implemento		
$b$	Ancho del implemento		



## Conclusiones sobre la interacción suelo-implemento

**Diferentes factores influyen en la magnitud de las fuerzas presentes en el plano de falla;** los principales son el tipo de suelo y el implemento que, a través de sus dimensiones, geometría, posición y condiciones de trabajo, define la sección roturada.

- El implemento rotura un volumen de suelo definido por el plano de falla, la superficie de ataque del implemento, el ancho del implemento y la profundidad de trabajo.
- La superficie del implemento es importante porque el suelo desliza sobre ella venciendo fuerzas de fricción y adhesión, cuyos coeficientes dependen del tipo y condición del suelo y del grado de pulimiento de la superficie frontal del implemento.
- En la distribución final de los agregados son importantes la velocidad de operación y la cantidad de energía transmitida al suelo.



Los cuerpos presionan el suelo hasta vencer su resistencia pasiva, inician el proceso de roturación y fragmentación que responde a las características mecánicas del suelo, representadas principalmente en los coeficientes de cohesión (suelos arcillosos), fricción (suelos arenosos), cohesión y fricción (suelos francos). El perfil de la sección roturada puede despejarse para su respectiva evaluación.

## Velocidad de operación en labranza vertical

La velocidad de operación ( $v_o$ ) tiene influencia en la fragmentación, la cual incrementa al aumentar la velocidad de operación y el ángulo de ataque pero disminuye al aumentar la profundidad de trabajo. Se ha demostrado que la operación de implementos verticales a velocidades muy altas causa inversión de las capas de suelo, esto es una desventaja para implementos de conservación. Las velocidades recomendadas son:

- En labranza superficial (cincales y escarificadores): 5 km/h a 9 km/h
- En labranza profunda (subsoladores): 3 km/h a 6 km/h

## Requerimientos de tracción y potencia

Diferentes metodologías se utilizan para determinar la demanda de tracción de un implemento vertical. En el **anexo 2** se presentan la Ecuación Universal de Movimiento de Tierra (EUMT) (Spoor y Godwin, 1984; Mckyes, 1983), considerada como la más completa para el propósito, y las propuestas específicas de la ASAE (1995) para implementos verticales, que calculan la fuerza de tiro ( $F_{bt}$ ) a través de la constante de mecanización ( $K_m$ ) o resistencia específica promedio del suelo, la profundidad de trabajo ( $p$ ) y el número de cuerpos del implemento ( $Z$ ), como indica la expresión 3.6:

$$F_{bt} = K_m * p * Z \quad (3.6)$$

Los requerimientos de potencia para operar implementos agrícolas se determinan de acuerdo con el procedimiento descrito en la unidad 2 (ver figura 2.15). Un resumen del mismo se presenta a continuación:

1. Potencia requerida a la barra de tiro:  $N_{bt}$  (HP) =  $0.00037 * F_{bt} * v_o$
2. Potencia requerida en el eje motriz:  $N_{em}$  (HP) =  $N_{bt} + N_r + N_p = N_{bt} / \epsilon_{tt}$

En su determinación se deben incluir las pérdidas por patinaje y rodadura (hasta 25% según el tipo de tractor), las cuales son consideradas en la eficiencia de tracción ( $\epsilon_{tt} = 75\%$  a  $88\%$ ), y la potencia utilizada para vencer las pendientes (si es representativa).

3. Potencia al volante:  $N_v = N_{em} + N_{tr} = N_{em} / \epsilon_{tr}$

En su determinación se deben considerar las pérdidas en la transmisión del tractor (entre 12% y 20% dependiendo del tipo de transmisión: mecánica o hidráulica), las cuales se consideran en el coeficiente de pérdidas o eficiencia de la transmisión ( $\epsilon_{tr} = 80\%$  a  $88\%$ ).

4. Potencia nominal:  $N_n = N_v + N_h + N_t = N_v / \epsilon_{amb}$

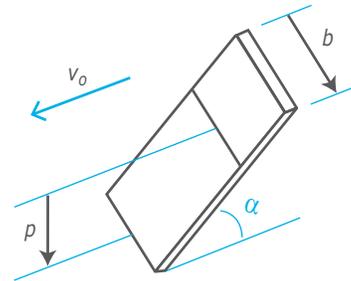
Se deben incluir las pérdidas por condiciones ambientales de altitud y temperatura (entre 8% y 10% en la parte plana del río Cauca), las cuales se consideran en el coeficiente de pérdidas ambientales ( $\epsilon_{amb} = 0.90$  a  $0.92$ ).

## Desempeño de implementos subsoladores

Los aspectos que se consideran básicos en el desempeño de los subsoladores, son: el suelo y su condición de humedad, el perfil del vástago, el ancho de trabajo ( $b$ ), la profundidad de trabajo ( $p$ ), el ángulo de ataque ( $\alpha$ ) y la velocidad de operación ( $v_o$ ) (figura 3.12). A continuación se muestran algunos resultados experimentales que relacionan estos aspectos con la profundidad de trabajo y las variaciones en la fuerza de tiro, principalmente. Más adelante se explica cómo determinar el perfil y el área de la sección roturada.

Figura 3.12

Elementos básicos en el desempeño de un vástago de un subsolador



### Perfil del vástago y profundidad de trabajo

Aunque se puede afirmar que todas las configuraciones tienen comportamiento similar en la fragmentación que causan, también es cierto que la roturación mejora cuando la fuerza ejercida por el implemento es en la dirección en que debe moverse el suelo (arriba y adelante). De acuerdo con lo anterior, la preferencia actual es por perfiles inclinados y curvos que contribuyen al levantamiento del suelo, no así por perfiles rectos que tienen tendencia a empujar el suelo solo hacia adelante.

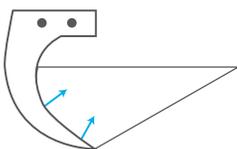
En la figura 3.13, las flechas señalan el movimiento del suelo cuando se operan subsoladores de vástagos curvos y de vástagos inclinados. Se observa que los vástagos curvos a su profundidad de diseño y los vástagos inclinados a cualquier profundidad, impulsan el suelo hacia arriba y hacia adelante, permiten su libre movimiento y su levantamiento. Así mismo,

Figura 3.13

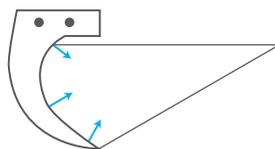
Interacción entre la curvatura del vástago y la profundidad de trabajo

#### Subsolador curvo

A profundidad de diseño

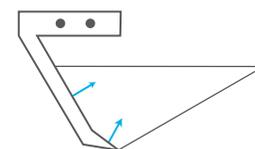


A mayor profundidad



#### Subsolador inclinado

A cualquier profundidad



que los vástagos curvos pueden obstruir el movimiento del suelo cuando trabajan a una profundidad mayor que la profundidad de diseño. Experimentos realizados en suelos franco arenosos indican que los subsuelos inclinados demandan menos tracción que los curvos, pueden representar una reducción hasta de 33% en la fuerza de tiro y 23% en el consumo de combustible (Raper y Bengtold, 2007). También, es conocido que los vástagos rectos causan mayor fragmentación pero consumen hasta 15% más energía que los curvos y que los vástagos con mayor radio de curvatura reducen los problemas de atascamiento y el consumo energético.

## Variación de la fuerza de tiro

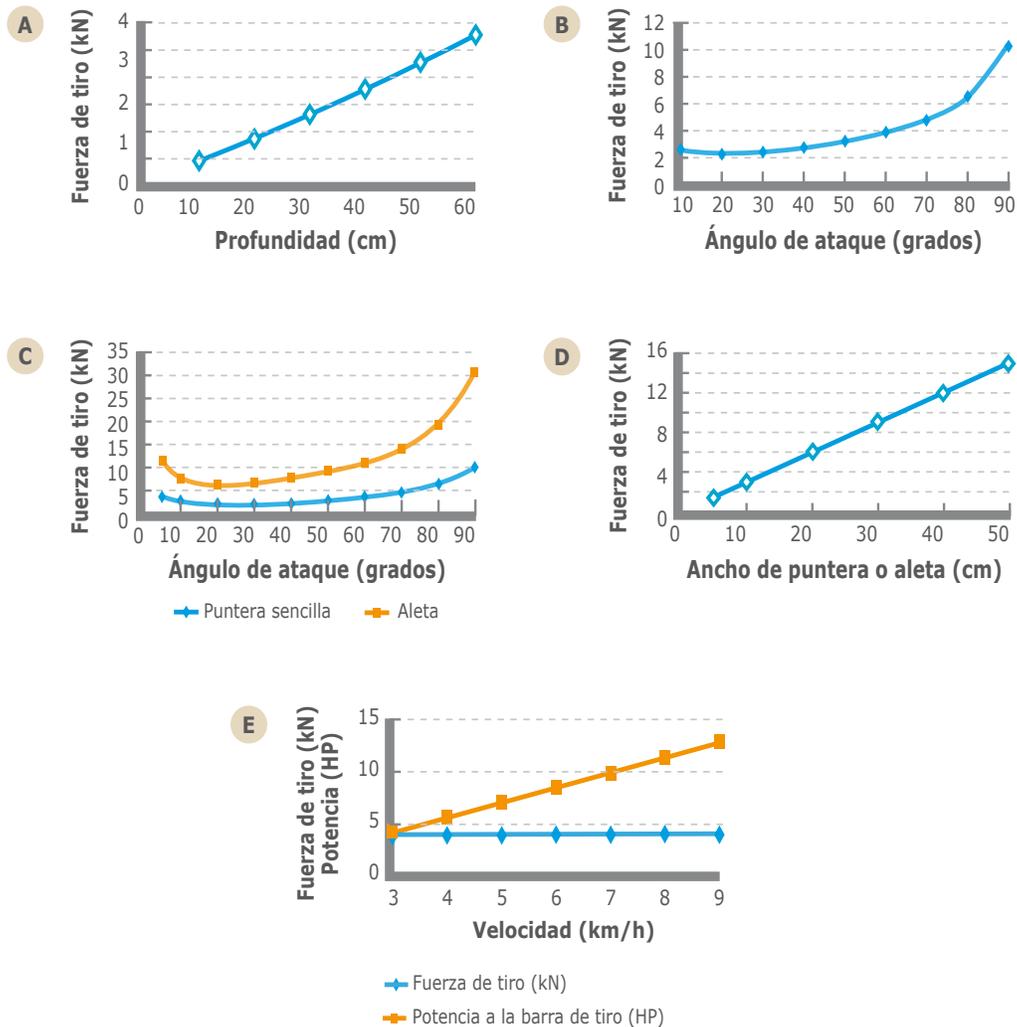
La fuerza de tiro para operar un implemento vertical varía de acuerdo con aspectos relacionados con el diseño y la operación del implemento. La **figuras 3.14** describe la relación de diferentes factores con la fuerza de tiro; los resultados se obtuvieron en condiciones de suelo donde: ángulo de fricción suelo-suelo = 30°; ángulo de fricción suelo-metal = 15°; coeficiente de cohesión del suelo = 30 kPa; coeficiente de adhesión suelo-metal = 8 kPa; densidad aparente del suelo = 1.3 Mg/m<sup>3</sup>.

- A. Profundidad de trabajo.** La fuerza de tiro y la profundidad de trabajo se aproximan a una relación lineal, siempre y cuando se opere a profundidades normales; el caso se refiere al trabajo de un vástago con puntera sencilla de 100 mm de ancho y ángulo de ataque de 30°.
- B. Ángulo de ataque.** Ángulos entre 20° y 30° representan menor requerimiento de tracción; el incremento en la fuerza de tiro es mayor a partir de 40°; el caso se refiere al trabajo de un subsolador con puntera sencilla. Implementos con ángulos de ataque mayores que 60°, situación común en los subsoladores rectos, tienen alta demanda de tracción. Diferentes investigadores han encontrado que ángulos de ataque entre 22° y 28° dan la menor fuerza de tiro (Owen, 1989; Makanga et al., 1997). El ángulo de ataque también tiene influencia en el área de la sección roturada, que además se incrementa con la velocidad de operación y la profundidad de trabajo (Marakoglu y Carman, 2009).
- C. Tipo de puntera.** El caso se refiere al trabajo de un subsolador con puntera sencilla y con puntera alada bajo diferentes ángulos de ataque y en las siguientes condiciones: ancho de puntera: 100 mm; ancho máximo de las aletas: 400 mm; profundidad de trabajo: 500 mm; y velocidad de operación: 5 km/h. Al cambiar la puntera sencilla por la aleta, cambia el ancho de trabajo, aumentan la fragmentación, el área de la sección roturada y por consiguiente la fuerza de tiro. La razón entre las fuerzas de tiro se mantiene constante y aproximada a la razón entre los anchos de trabajo de la puntera y de la aleta, esto se debe a la proporcionalidad que existe entre la fuerza de tiro y el ancho de la puntera.
- D. Ancho de la puntera.** La figura refiere el efecto del ancho de la puntera sobre la fuerza de tiro para un ángulo de ataque de 30°. La fuerza de tiro varía proporcionalmente al ancho de la puntera.
- E. Velocidad de operación.** El efecto de la velocidad sobre la fuerza de tiro es bajo porque las fuerzas de inercia en la interacción suelo-implemento son bajas debido a que las velocidades de operación son también bajas; los incrementos en la fuerza de inercia son

muy pequeños al aumentar la velocidad. Owen (1989) mostró que la velocidad tiene influencia sobre las fuerzas de inercia que debe vencer el implemento en su interacción con el suelo, que pasa de un estado de reposo a moverse con cierta velocidad en dirección del plano de falla; esto indica que el suelo realiza un movimiento acelerado al ser roturado, fragmentado e impulsado por el implemento. La velocidad es un factor muy importante en el requerimiento de potencia a la barra de tiro, la cual incrementa a medida que aumenta la velocidad. El suelo y su condición, la profundidad de trabajo, el ancho de trabajo y el número de vástagos son los elementos de mayor influencia en la fuerza de tiro, mientras que ésta y la velocidad definen la potencia a la barra de tiro.

Figura 3.14

Variación de la fuerza de tiro por efecto de distintos factores



## Perfil y área de la sección roturada

El perfil y tamaño de la sección roturada por implementos de trabajo vertical depende de factores como profundidad, ancho de trabajo, espaciamiento entre cuerpos, número de cuerpos y su distribución longitudinal y transversal. Como se ha mencionado, el suelo y su consistencia también influyen en el resultado final de la labor.

### Procedimiento para determinar el perfil y el área de la sección roturada

Las mediciones se realizan en calicatas construidas después del paso del implemento:

1. Pasar el implemento.
2. Excavar calicatas y definir el perfil del fondo de la sección roturada.
3. Preparar los elementos necesarios para medir profundidades del perfil a lo ancho del entresurco. Los elementos dependerán del sistema de medición utilizado: el perfilómetro o medidas solo con flexómetros (perfilómetro simplificado).

Para medidas con el perfilómetro simplificado se requiere: un listón de madera o metálico de sección cuadrada o rectangular y 2.0 m de longitud, dos flexómetros y un nivel de gota. Uno de los flexómetros se tiende sobre el listón debidamente nivelado que ha sido colocado en el entresurco, como muestra la **figura 3.15**. A lo ancho del entresurco se toman valores de  $x_i$  a intervalos  $\Delta x$  de 5 a 10 cm y para cada valor  $x_i$  se mide la profundidad del perfil,  $y_i$ . Los datos se deben consignar en el formato indicado.

El perfilómetro original consiste de un listón de madera con perforaciones cada 5 o 10 cm, a través de las cuales pasan alambres en dirección vertical. La **figura 3.16** muestra el perfilómetro colocado a lo ancho del perfil y los alambres colocados hasta tocar el fondo o perfil de la sección roturada. La posición de cada alambre define las respectivas coordenadas  $(x, y)$  del perfil.

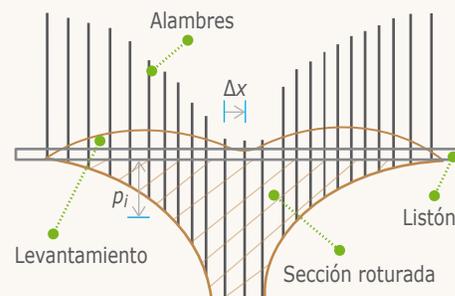
**Figura 3.15**

Perfilómetro simplificado



**Figura 3.16**

Perfilómetro original

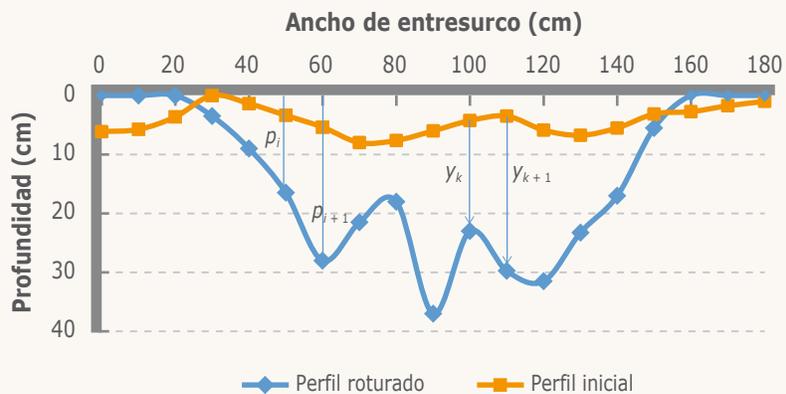




4. Representar el perfil de la sección roturada con base en los datos  $x_i, y_i$  como se muestra en la figura **figura 3.17**.

**Figura 3.17**

Perfil inicial (antes de la labor) y perfil roturado por la acción de un cuerpo de subsolador



5. Calcular el área de la sección roturada. Para mayor precisión, antes de realizar el cálculo del área se debe restar la profundidad del perfil inicial del entresurco.

Para el cálculo se utiliza la ecuación 3.7:

$$\text{Área de la sección roturada} = \sum (y_k + y_{k+1}) * \Delta x / 2 \quad (3.7)$$

Donde las profundidades ( $y_k$ ) son las diferencias entre las profundidades ( $p_i$ ) medidas en la sección roturada y en el perfil inicial, así:

$$y_k = p_i \text{ sección roturada} - p_i \text{ perfil inicial} \quad (3.8)$$

## ● Implementos roturadores en labores para el levantamiento de socas

Las labores de roturación para el levantamiento de socas se realizan con implementos de características variadas respecto a la distribución de los cuerpos y la profundidad de trabajo. Son grupos de cuerpos que laboran en el entresurco y que siguen patrones de distribución longitudinal y transversal. La distribución transversal contribuye a aproximar el efecto del implemento hacia la cepa de las plantas y a garantizar que se cumpla el principio de superposición; con la distribución longitudinal se persigue reducir la posibilidad de atascamiento del implemento con residuos y disminuir el requerimiento de tracción.

En socas, la roturación se realiza a un nivel o capa y a dos niveles. Para la roturación a un nivel se utilizan implementos de vástagos múltiples que trabajan a la misma profundidad:

- Descompactadores (cinceles y escarificadores rígidos)
- Subsoladores (doble y triple)

Para roturación a dos niveles se utilizan implementos verticales de cuerpos múltiples que trabajan dos capas de suelo en un solo pase; pueden ser cuerpos cortos adelante (para escarificar) y cuerpos largos atrás (para subsolar) o viceversa:

- Subsolador cenitándem
- Escarificador-subsolador
- Subsolador-escarificador (subesca)

La distribución de los cuerpos encargados de subsolar tiene gran influencia en el desempeño del implemento; se manifiesta en las fuerzas que ocurren en el plano de falla y en el grado de fragmentación del suelo. Soomro, Spoor y Godwin (1982) formularon algunos conceptos de laboreo profundo con implementos de cuerpos múltiples, los cuales son útiles en la roturación del suelo para el levantamiento de socas de caña de azúcar, en particular cuando se usan implementos que operan a dos niveles:

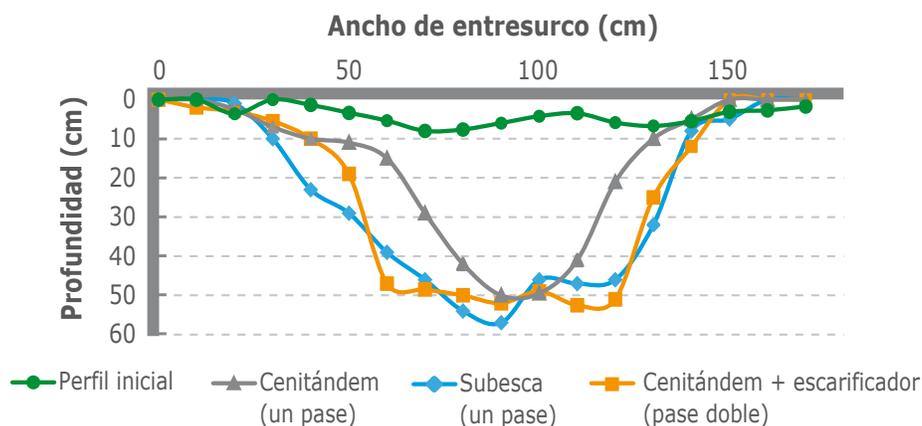
- La interacción entre cuerpos tiene gran influencia en las fuerzas, en la roturación del suelo y en la eficiencia de la operación.
- Implementos verticales con vástagos superficiales que trabajan delante de cuerpos profundos incrementan la sección de suelo roturada y demandan fuerza de tiro similar a la que exigen cuerpos profundos independientes.
- Cuerpos interactuantes que operan a igual profundidad, espaciados entre sí de 1.0 a 1.5 veces la profundidad de trabajo, roturan mayor área con menor fuerza de tiro, en comparación con cuerpos solos o independientes.
- Cuerpos profundos alados detrás de cuerpos líderes superficiales operan con mayor eficiencia cuando el espaciamiento entre ellos es 2.0 veces la profundidad de trabajo.

A manera de ejemplo, la **figura 3.18** muestra los perfiles de las secciones roturadas por tres implementos verticales. La profundidad máxima de trabajo de los tres perfiles varió entre 52 cm y 57 cm; las áreas netas roturadas en cada caso fueron:

- Un pase de subesca: 3790 cm<sup>2</sup>
- Un pase de cenitándem: 2325 cm<sup>2</sup>
- Un pase doble de cenitándem + escarificador: 3637 cm<sup>2</sup>

**Figura 3.18**

Perfil de secciones roturadas con diferentes equipos roturadores



## Roturación en un pase y a un nivel

A través de una serie de casos se ilustra el modo de operación de los implementos verticales de cuerpos múltiples más utilizados para roturación en socas en un pase y a un nivel. Cinceles y escarificadores de trabajo superficial operan normalmente entre 30-35 cm de profundidad y subsoladores de trabajo profundo, hasta 50 cm de profundidad.

La descompactación del entresurco puede tener diferentes interpretaciones respecto a la zona que se debe roturar: la zona central del entresurco o la zona próxima a la cepa.

- En el primer caso, el subsuelo triple y el cenitándem cumplen la función en la zona central del entresurco.
- En el segundo caso, el subsuelo doble es buena alternativa, no rotura el centro del entresurco y se ocupa de las zonas cercanas a la cepa.
- Desde el punto de vista energético y de la manipulación del suelo, el subsuelo doble es el implemento más conservativo.

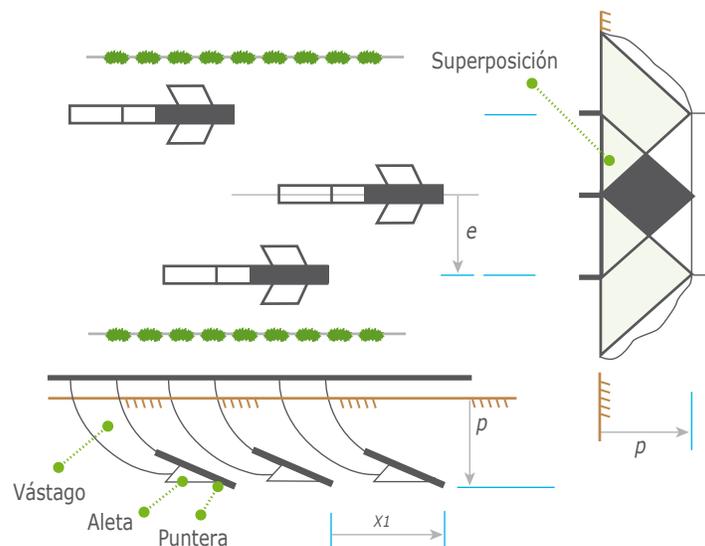
## Subsolador triple

El subsolador triple es de uso común en el sector azucarero para descompactar la zona central del entresurco. Algunas características del implemento son:

- Consta de tres cuerpos por calle o entresurco.
- Separación transversal ( $e$ ) entre cuerpos: 35 cm a 40 cm. La distribución de los vástagos en sentido transversal debe garantizar la aproximación del implemento a la cepa, evitar el atascamiento con residuos, aprovechar el principio de superposición y evitar la formación de grandes bloques de suelo a la entrada y la salida del entresurco.
- Distribución longitudinal: se encuentran diferentes distribuciones, la más común se muestra en la **figura 3.19**.
- Hay versiones con punteras sencillas y con aletas; estas últimas favorecen el desempeño del implemento respecto a la profundidad crítica.
- Profundidad de trabajo: los tres cuerpos operan a la misma profundidad (40-50 cm), con un vástago líder adelante. Los cuerpos posteriores interactúan con el cuerpo líder con la razón espaciamento-profundidad ( $e / p < 1.0$ ). Esto garantiza muy buena superposición de las secciones roturadas por los tres cuerpos.

Figura 3.19

Distribución de cuerpos de un subsuelo triple y su acción sobre el suelo



La **figura 3.20** muestra la sección roturada por un subsolador triple de puntera sencilla que opera a una profundidad promedio de 42 cm en un suelo Corintias (Typic Haplusterts) de textura fina y contenido de humedad del 24%. El requerimiento de tracción a la barra de tiro está alrededor de 72 kN y la potencia requerida en el tractor varía entre 200 HP y 240 HP para operación a velocidad de 5 km/h a 6 km/h.

En el fondo del área roturada por el subsuelo triple se observan ranuras de diferente sección:

- La parte central de la sección roturada corresponde al paso del cuerpo líder equipado con puntera sencilla. No se observa levantamiento desde el fondo y, posiblemente, hubo problemas de profundidad crítica.
- El efecto disminuye para los otros cuerpos. Gracias a la superposición, estos cuerpos deben vencer esfuerzos menores, hay mayor facilidad para el movimiento ascendente del suelo desde el fondo de la sección roturada.

**Figura 3.20**

### Sección roturada por un subsuelo triple en un suelo Corintias (Typic Haplusterts) de textura fina



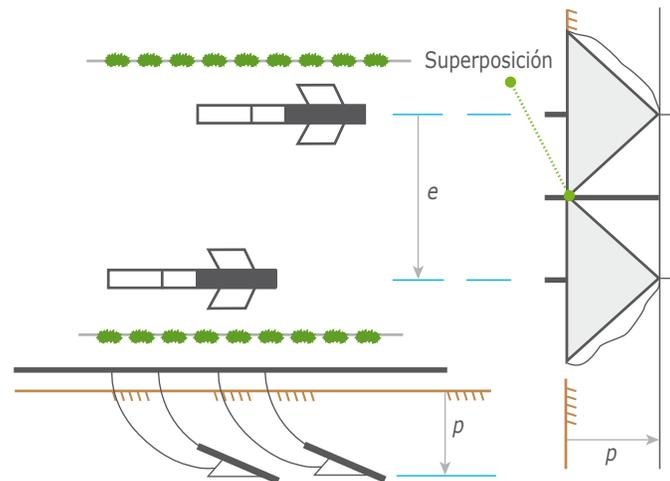
### Subsolador doble

El subsolador doble es una buena alternativa para descompactar las zonas cercanas a la cepa; no rotura la zona central del entresurco. La **figura 3.21** ilustra la posición de dos cuerpos profundos separados entre 70 cm y 80 cm que trabajan a profundidad normal de roturación:

- El efecto de los dos cuerpos ofrece muy poca superposición y es baja la roturación en el centro del entresurco.

Figura 3.21

### Distribución de cuerpos de un subsuelo doble y su acción sobre el suelo



- Esta alternativa puede tener incidencia en el consumo de agua de riego pues debe disminuir la infiltración y la capacidad de almacenamiento de agua en el centro de la calle.
- La posición de los cuerpos en sentido longitudinal puede variar, pero se debe evitar cuerpos enfrentados en sentido transversal para disminuir la posibilidad atascamiento con residuos y evitar bloques grandes de suelo al inicio y al final de cada pase.
- Este subsuelo doble con aletas de 30 cm, velocidad de trabajo de 6 km/h a 40 cm de profundidad requiere una fuerza de tiro aproximada de 48 kN y un tractor de 160 HP. Desde el punto de vista energético y de la manipulación del suelo este implemento es más conservativo.

## Roturación en un pase y a dos niveles

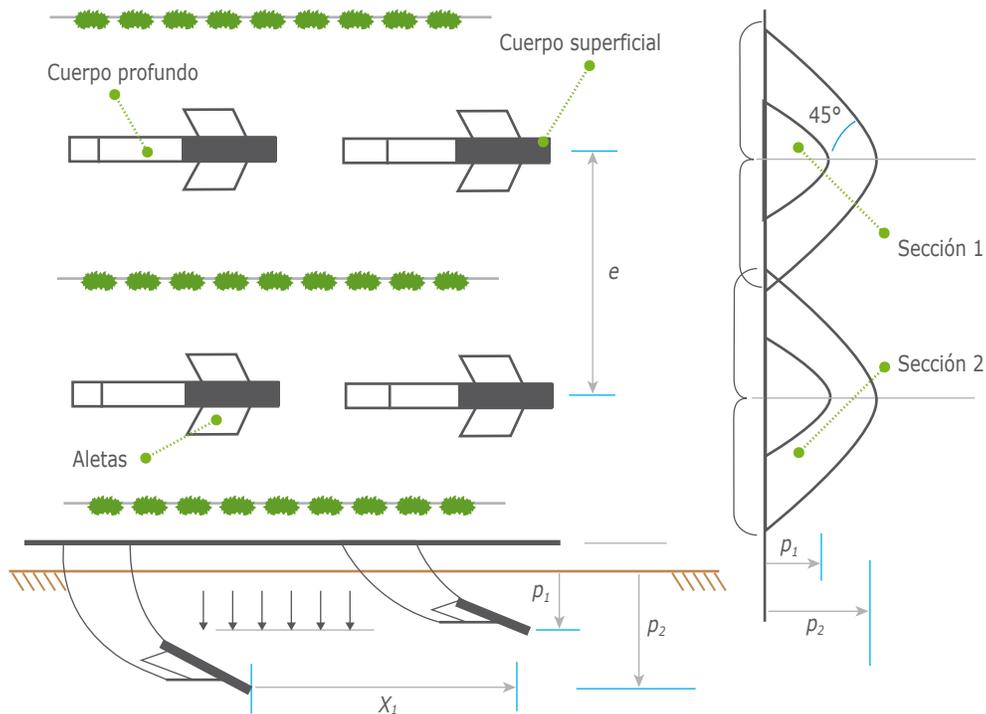
La roturación a dos niveles aprovecha los beneficios de la interacción o superposición de efectos de roturación. También conocida como labranza en estratos, se practica con el fin de aliviar el esfuerzo sobre cuerpos profundos y evitar problemas de profundidad crítica. La adición de cuerpos superficiales alados a subsoladores convencionales incrementa la sección de suelo roturada y, en algunos casos, sin que aumente la tracción requerida. Cuerpos superficiales que roturan adelante garantizan menor esfuerzo sobre cuerpos traseros de trabajo profundo, como ocurre en el caso del subsolador cenitándem y el escarificador-subsuelo.

## Subsolador cenitándem

El cenitándem es un implemento de diseño específico para roturación de socas. En la **figura 3.22** se muestra en su diseño original de cuerpos superficiales y profundos en línea, todos con aletas. Su acción principal es en la zona central del entresurco y no genera superposición porque la separación lateral entre los cuerpos no depende de las características de la falla lateral del suelo sino de la distancia entre los surcos de cultivo.

**Figura 3.22**

### Distribución de cuerpos de un subsolador cenitándem y su acción sobre el suelo



La **figura 3.23** muestra la sección roturada en un pase del cenitándem. En operación normal del implemento:

- El cuerpo superficial delantero rotura la sección 1 mientras que el cuerpo profundo rotura la sección 2; no debe haber interferencia entre las acciones de los cuerpos.
- El posicionamiento de los cuerpos en sentido longitudinal ( $X_1$ ) es importante en el desempeño del implemento; cada cuerpo debe roturar su propia área y ello se logra teniendo en cuenta las dos profundidades y la distancia  $X_1$ .

- Los planos de falla causados por los dos cuerpos son paralelos porque su dirección  $\beta$  depende del tipo y condición de suelo y no de factores relacionados con el implemento.
- El plano de falla causado por el cuerpo profundo debe estar detrás del plano de falla ocasionado por el cuerpo delantero, de lo contrario el cuerpo profundo trabaja con sobrecarga al incidir sobre la capa superior antes que el cuerpo delantero (**figura 3.24**).

Al respecto, Mielke *et al.* (1994) observaron que en subsoladores tipo tándem, la superficie del suelo debe ser levantada por los cuerpos delanteros antes que el suelo debajo de estos cuerpos sea fracturado y levantado por los cuerpos profundos.

- La distancia longitudinal mínima entre los cuerpos de subsoladores tipo tándem se determina mediante la expresión 3.9:

$$X_1 = (p_2 - p_1) / \tan\beta \quad (3.9)$$

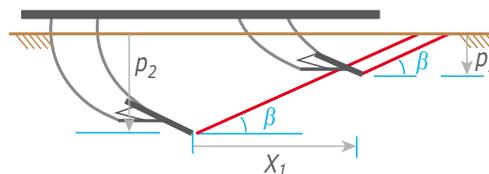
Figura 3.23

Sección roturada por un subsolador cenitándem



Figura 3.24

Posicionamiento longitudinal del cuerpo profundo en un cenitándem



## Escarificador-subsolador

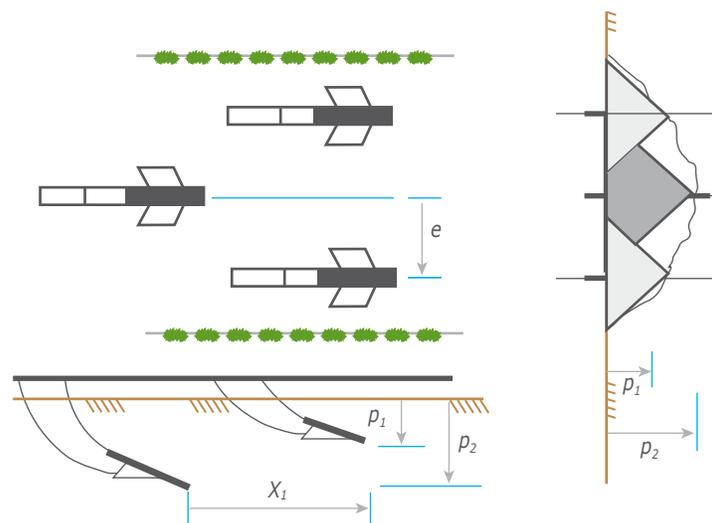
Los cuerpos cortos también pueden ser distribuidos a lo ancho del entresurco de tal manera que operen cerca a la cepa del cultivo, como se muestra en la **figura 3.25** para un implemento que escarifica con los cuerpos superficiales delanteros y subsola con cuerpos profundos traseros (escarificador-subsuelo). Se observa buena interacción o superposición, para ello debe regularse la separación ( $e$ ) entre los cuerpos superficiales y el cuerpo profundo.

El escarificador-subsuelo hace el mejor uso de la labranza en capas:

- Alivia el esfuerzo sobre el cuerpo profundo.
- Aprovecha la superposición o interacción entre cuerpos superficiales y profundos.
- Evita problemas de profundidad crítica.
- La acción de los cuerpos superficiales incrementa el área roturada, con bajos incrementos en tracción.
- Aproxima el efecto del implemento a la cepa.
- Mejora su desempeño con el uso de aletas, especialmente en los cuerpos profundos.

**Figura 3.25**

Distribución de cuerpos de un escarificador-subsolador y su acción sobre el suelo

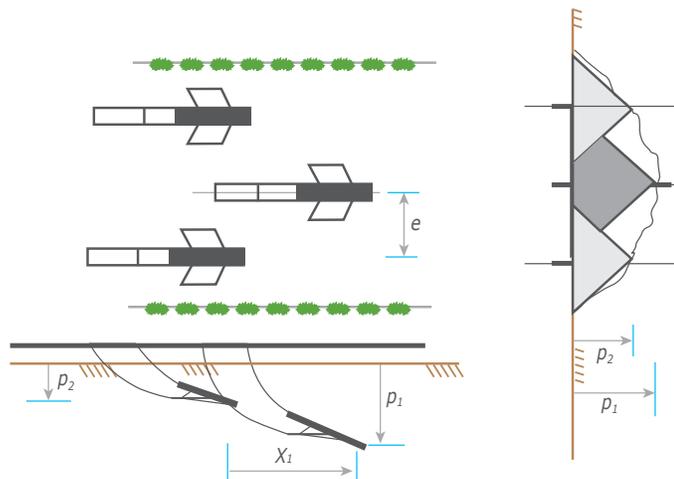


## Subsolador-escarificador (subesca)

Una tercera alternativa de labranza a dos niveles es el subsuelo-escarificador, que primero realiza la labranza profunda y luego el laboreo superficial (**figura 3.26**). El cuerpo profundo adelante realiza el mayor esfuerzo y alivia el trabajo que deben realizar los cuerpos superficiales. Los cuerpos superficiales traseros deben además contribuir a la disgregación del suelo. La **figura 3.27** muestra la sección roturada en un pase del subesca.

**Figura 3.26**

Distribución de cuerpos de un subsolador-escarificador y su acción sobre el suelo



**Figura 3.27**

Sección roturada por un subsolador-escarificador (subesca)



## Roturación en pases dobles

Las alternativas de roturación para eliminar compactación superficial están en los descompactadores (cincales y escarificadores rígidos), que se consideran útiles como tratamiento complementario al laboreo profundo en la preparación del suelo para la siembra y para la roturación de socas, especialmente en épocas húmedas cuando el pase de subsolador se realiza para acelerar el secado y se complementa con una labor superficial de cincel o escarificador. Aunque este método implica un doble pase y mayor consumo de energía, también brinda la oportunidad de incrementar el área roturada.

La **figura 3.28** compara el área roturada con el subsolador cenitándem y el doble pase de cenitándem + escarificador. El pase de escarificador incrementó el área roturada en 56%.

Figura 3.28

Secciones roturadas por pase sencillo de cenitándem  
y doble pase cenitándem + escarificador



## Subsuelo topo

El subsolador con topo es utilizado en lotes con problemas de drenaje. Para mayor efectividad de la labor se requieren suelos con contenido mínimo de arcilla de 30% y contenido de arena inferior a 30% (Mickan, 2010). La arcilla le da al dren construido la posibilidad de sostenerse y ayuda a evitar el colapso una vez ha pasado el topo. Existen pruebas rápidas y sencillas para definir las condiciones del suelo a la profundidad del dren:

**Prueba 1.** Sobre una lámina de vidrio, rolar un cilindro del diámetro de un lápiz; si es posible formar un círculo de 40-50 mm de diámetro, sin agrietamiento o rotura del cilindro, el suelo está en condición óptima para el paso del topo.

**Prueba 2.** Formar una esfera del tamaño de una pelota de golf (43 mm de diámetro) y dejarla en un vaso con agua destilada o agua lluvia durante uno o dos días; si el agua permanece cristalina y la esfera se conserva, el suelo (a la profundidad de la muestra) es apto para la construcción del drenaje.

**Prueba 3.** Contenidos de humedad entre 20% y 25% dan condiciones satisfactorias para la construcción del drenaje topo. El contenido de humedad se puede comprobar tomando suelo a la profundidad del dren; si al manipularlo entre los dedos puede formarse una cinta sin que el suelo se pegue a los dedos, el contenido de humedad es correcto para la construcción del drenaje.

La condición friable del suelo garantiza la estabilidad del dren. La zona superior o zona de rotura que conecta la zona de raíces con el dren debe ser de condición más seca a fin de garantizar el agrietamiento necesario para el flujo de agua desde la zona de raíces (**figura 3.29**).

La profundidad recomendable para la construcción del dren está entre 40 cm y 60 cm, con el fin de garantizar la conservación del dren bajo el tránsito de equipos en la superficie y asegurar que las grietas alcancen a conectar la zona de raíces con el dren.

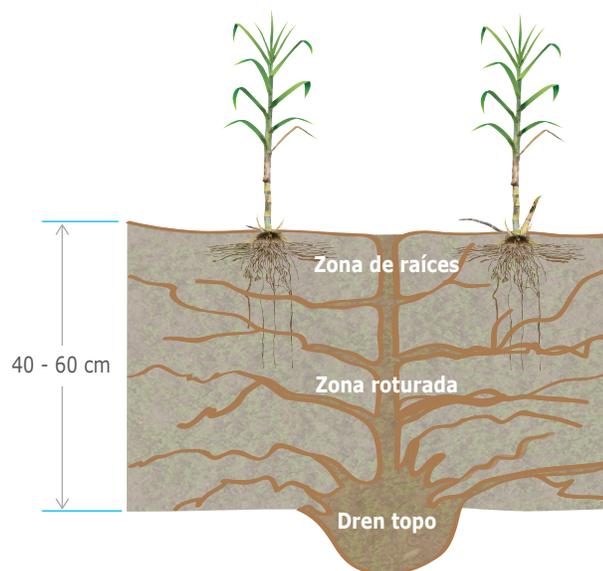
La velocidad de operación recomendada es de 3 km/h y debe mantenerse constante; el equipo sólo debe detenerse al llegar al final del pase para evitar la interrupción del dren topo (las paradas pueden producir derrumbamiento interno de la galería) que obstruya o dificulte el movimiento del agua. Se debe contrarrestar la elasticidad del suelo que tiende a cerrar las grietas formadas y se debe generar calor suficiente para el fraguado rápido. Velocidades mayores, por ejemplo 5 a 6 km/h, pueden incidir en la pared del dren o disminuir su vida útil.

**Figura 3.29**

### Características de la zona roturada por un subsuelo topo



Subsolador con topo.



## Práctica 3.1

# Identifiquemos los subsoladores, practiquemos con ellos y midamos su efecto sobre el suelo

### Orientaciones para el facilitador

Los participantes deben identificar las partes y características de diferentes tipos de subsoladores y descompactadores de uso en la agroindustria azucarera colombiana, calibrar los equipos para condiciones definidas de profundidad y espaciamento, chequear la operación y realizar mediciones en el perfil roturado. Se requieren al menos 180 minutos.

### Sugerencias para organizar la práctica

1. Disponer de un lote de pruebas y al menos de tres implementos roturadores para comparar el trabajo realizado por cada uno sobre el suelo: cenitándem, triple, doble, subesca, escarificador subsuelo o cincel. También necesita un tractor, como mínimo.
2. Excavar con anticipación una calicata de 3.0 m x 3.0 m x 0.60 m para probar en cada lado de ella un implemento.
3. Antes de las actividades, reunir a los participantes y compartir con ellos los objetivos de la práctica, explicar los procedimientos que deben seguir y dar las instrucciones para el registro de la información en los formularios indicados.
4. La idea es conformar grupos de trabajo, de forma que cada grupo cuente con un implemento para las actividades.
5. Pedir a los participantes que conserven las respuestas para utilizarlas en el ejercicio 3.1.

### RECURSOS NECESARIOS

- Al menos tres implementos roturadores (cenitándem, triple, doble, subesca, escarificador subsuelo o cincel); un implemento por grupo de trabajo.
- Uno o dos tractores.
- Instrucciones y formularios de registro para cada participante
- Una copia del Procedimiento para determinar el perfil y el área de la sección roturada (ver anexo)

### Para cada grupo:

- Herramientas de trabajo pesado (incluidas llaves para ajuste de los cuerpos de subsuelo).
- Palancas
- Jalones
- Una pala y un palín
- Dos flexómetros
- Un listón de 50 mm x 2 m
- Un nivel de gota
- Un cronómetro



## Práctica de campo 3.1

### Instrucciones para los participantes

Identifiquemos los subsoladores, practiquemos con ellos y midamos su efecto sobre el suelo

#### Introducción

La labranza profunda es una actividad muy difundida en el cultivo de la caña de azúcar, tanto en la preparación de suelos como en el levantamiento de socas. Se practica con implementos convencionales o de diseño exclusivo para roturación. El uso de subsoladores, roturadores y descompactadores exige conocimiento sobre la configuración de los implementos y la acción de cada uno sobre el suelo. En esta práctica trabajaremos en grupos y tendremos la oportunidad de calibrar algunos implementos de laboreo vertical, chequear su operación y medir su efecto sobre el suelo.

#### Objetivos

Al finalizar la práctica, los participantes deben estar en capacidad de:

- Identificar diferentes tipos de subsoladores y descompactadores de uso frecuente en la agroindustria azucarera colombiana, sus partes y características.
- Calibrar los equipos y chequear su operación en condiciones definidas de profundidad y espaciamento.
- Realizar mediciones en el perfil roturado para determinar el área de la sección roturada.

#### Actividades

1. **Caracterizar el implemento asignado.** Diligencie la hoja de respuestas con información del sitio, el tipo de implemento, sus partes, la condición general del equipo y su condición de calibración.
2. **Operar el implemento, chequear su estado de calibración y realizar mediciones para determinar el área de la sección roturada.**
  - Identifique al tacto la textura y consistencia del suelo.
  - Defina la profundidad de prueba ( $p$ ) entre 40 cm y 50 cm
  - Siga las instrucciones del facilitador y complete la información en la hoja de respuestas indicada.
  - Conserve los resultados para calcular posteriormente el área de la sección roturada.

## Unidad 3

### Hoja de respuestas. Actividad 1.

Descripción de implementos verticales: subsoladores y descompactadores.

Fecha:
Sitio:
Grupo de trabajo:

TIPO DE IMPLEMENTO	
Peso	
Enganche (CAT)	
Estructura	
Tipo de vástagos	
Espesor de vástagos	
Despeje de cuerpos superficiales	
Despeje de cuerpos profundos	
Separación transversal entre vástagos	
Distancia longitudinal entre vástagos	

TIPO DE PUNTERA	Sencilla: _____	Aletas: _____
Ancho de puntera o aletas:		
Estado de punteras o aletas:		

Observaciones:
----------------

*Solicite más hojas si las necesita*

### Hoja de respuestas. Actividad 2.

Pruebas de calibración para la operación de un implemento vertical.

Fecha:	
Grupo de trabajo:	
<b>INFORMACIÓN INICIAL</b>	
Textura del suelo:	Tipo de implemento:
Estado de consistencia del suelo:	Profundidad de trabajo:
<b>OBSERVACIONES Y MEDICIONES</b> Siga las orientaciones del facilitador para cada actividad	
<b>1. Comparar la separación transversal entre cuerpos con la profundidad por trabajar</b>	
<b>2. Operar el implemento y comprobar la nivelación longitudinal y transversal cuando opera a la profundidad definida (debe realizarse fuera del área de prueba)</b>	
<b>3. Probar el implemento en un lado de la calicata (debe hacerse a la profundidad definida) y observar la interacción suelo-implemento</b>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Levantamiento del suelo delante de los vástagos:</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Fragmentación del suelo:</li> </ul>	
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tamaño de los agregados resultantes:</li> </ul>	
<b>4. Despejar el perfil roturado y observar</b>	

**5. Realizar mediciones en el perfil roturado y consignar los datos**

Pasos para medición con el perfilómetro simplificado (ver fotografía):

- Coloque el listón debidamente nivelado y tienda sobre él uno de los flexómetros.
- Con el otro flexómetro, mida la profundidad del perfil cada 5 a 10 cm a lo ancho y hasta el fondo de la sección roturada. Consigne los datos en el formato adjunto.
- La medición puede replicarse en uno o dos sitios más del surco laborado.



Para realizar las mediciones con el perfilómetro simplificado necesita un listón de 50 mm x 2 m, un nivel de gota y dos flexómetros.

**Mediciones en el perfil roturado**

Prof. (cm)	Divisiones horizontales (cm)									
	0	10	20	30	...	...	150	160	170	180
P <sub>1</sub>										
P <sub>2</sub>										
P <sub>3</sub>										
P <sub>4</sub>										
P <sub>5</sub>										
P <sub>6</sub>										
P <sub>7</sub>										
P <sub>8</sub>										

Observaciones:

*Solicite más hojas si las necesita*

## Ejercicio 3.1

# Representemos el perfil del entresurco y calculemos el área roturada por un subsolador

### Orientaciones para el facilitador

El tiempo estimado para realizar este ejercicio son 40 minutos. Los participantes trabajarán en grupos; lo ideal es que utilicen datos de mediciones hechas con el perfilómetro (ver práctica 3.1), aunque también puede ser que el facilitador proponga casos de análisis.

### Sugerencias para organizar el ejercicio

1. Se requiere un salón adecuado para el trabajo de los grupos, con recursos disponibles para presentaciones (proyector, tablero, papelógrafo).
2. El facilitador debe dar las indicaciones para avanzar paso a paso en el ejercicio; así los participantes podrán: graficar el perfil de la sección roturada por un subsolador, identificar la profundidad máxima en la sección, calcular el área neta roturada y la fuerza de tiro requerida por el implemento y, por último, determinar factores relacionados con la resistencia del suelo al laboreo (fuerza de tiro / área roturada).
3. Finalmente cada grupo presentará los resultados obtenidos y el facilitador dirigirá la discusión sobre las experiencias y conclusiones del ejercicio.

### Orientaciones para la dinámica de retroinformación

Preguntas sugeridas para motivar la participación de los asistentes:

1. ¿Considera adecuada la metodología para determinar el perfil de roturación y el área de la sección roturada?
2. ¿Cuál es el efecto de la distribución lateral de los cuerpos en la sección roturada?
3. ¿Cuál debe ser la profundidad normal de roturación de un subsuelo roturador?
4. ¿Qué importancia tiene la separación entre cuerpos de un subsolador?
5. ¿Qué beneficios representa la labranza a dos niveles?

## Ejercicio 3.1

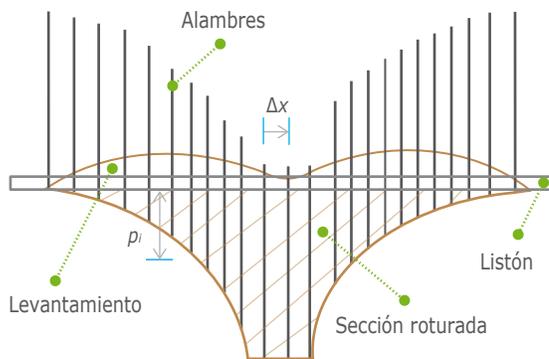
### Instrucciones para los participantes

Representemos el perfil del entresurco y calculemos el área roturada por un subsolador

#### Introducción

La sección roturada por un implemento de labranza vertical puede determinarse en campo con ayuda de un perfilómetro que se coloca entre dos surcos a lo ancho de una calicata para medir la profundidad de roturación al menos en tres sitios del entresurco. El siguiente esquema señala la distancia horizontal ( $x$ ) entre sitios o puntos de medición y la profundidad de la sección roturada ( $p_i$ ). Los datos de las mediciones se registran a manera de tabla para luego graficar el perfil de la sección roturada, como se muestra en la figura (abajo). Con base en los datos se determina el área neta roturada por el subsolador.

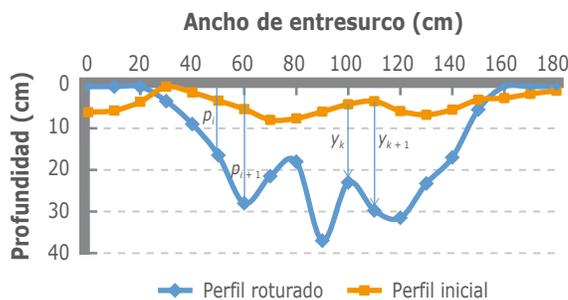
#### Perfilómetro para medición de secciones roturadas



El esquema corresponde a un perfilómetro construido con un listón de madera de sección cuadrada (50 mm de lado y 2.0 m de longitud) que fue perforado a distancias iguales ( $\Delta x$ ) para el paso de alambres en dirección vertical. Los alambres bajan hasta el fondo de la sección roturada y es posible medir la profundidad ( $p_i$ ) en cada uno.

La medición de las profundidades  $p_i$  permite representar gráficamente el perfil de la sección roturada; para mayor precisión se debe restar la profundidad del perfil original del entresurco antes de realizar el cálculo de áreas.

#### Representación del perfil roturado



Área de la sección roturada =

$$\sum (y_k + y_{k+1}) * \Delta x / 2$$

Las profundidades  $y_k$  son las diferencias entre las profundidades  $p_i$  medidas en la sección roturada y en el perfil original.

$$y_k =$$

$$p_i \text{ (sección roturada)} - p_i \text{ (perfil original)}$$

## Objetivos

Al finalizar el ejercicio, los participantes deben estar en capacidad de graficar el perfil de la sección roturada por un subsolador, identificar la profundidad máxima de roturación, calcular el área neta roturada y la fuerza de tiro requerida por el implemento y determinar la resistencia específica o factor de mecanización del suelo (fuerza de tiro / área roturada).

## Actividades

Siga las indicaciones del facilitador para representar el perfil de roturación de un implemento vertical a partir de mediciones de campo (perfilómetro). Realice los cálculos y consigne los resultados en la hoja de respuestas. Prepare con su grupo una presentación con los resultados y compárelos con los obtenidos por los demás grupos.

### Hoja de respuestas

Perfil y área de la sección roturada por implementos verticales.

<b>1. Representar el perfil de roturación utilizando Excel®</b>	
<b>2. Con base en los datos de la gráfica, calcular el área de la sección roturada</b>	
<b>3. Definir la profundidad máxima en la sección roturada</b>	
<b>4. Calcular la fuerza de tiro requerida por el implemento</b>	
<p>Calcular la fuerza de tiro (<math>F_{bt}</math>) a través de la constante de mecanización (<math>K_m</math>) o resistencia específica promedio del suelo, la profundidad de trabajo (<math>p</math>) y el número de cuerpos del implemento (<math>Z</math>). Se considera que para operar un cuerpo de trabajo vertical se requieren en promedio 200 N por cada centímetro de profundidad.</p>	$F_{bt} = K_m * p * Z$ $F_{bt} = \underline{\hspace{2cm}}$
<b>5. Determinar la resistencia específica (fuerza de tiro / área roturada)</b>	

## Contenido

Medición indirecta del ángulo de ataque de los discos de rastras por cálculo trigonométrico .....	149
Metodologías para determinar la demanda de tracción de un implemento vertical .....	150



Práctica de campo con rastras de discos.

# Anexo 1

## Medición indirecta del ángulo de ataque de los discos de rastras por cálculo trigonométrico

- Colocar la rastra sobre una superficie firme.
- Configurar un trapecio que incluya los cuerpos de la rastra utilizando jalones, cuerdas y elementos de sujeción. Los dos lados no paralelos ( $ac$  y  $bf$ ) coinciden con los cuerpos de rastra; los otros dos lados ( $ab$  y  $cf$ ) son paralelos al marco (**figura A-1.1**).
- Levantar dos líneas perpendiculares respecto a la base mayor del trapecio utilizando escuadras o transportadores y definir los triángulos rectángulos ( $adc$  y  $bef$ ).
- Determinar los ángulos de ataque de los discos delanteros y traseros mediante las funciones trigonométricas seno, coseno o tangente.
  - Medir los lados de cada triángulo y calcular, por ejemplo, el coseno de los ángulos de discos delanteros  $\alpha_d$  (ecuación A-1.1) y discos traseros  $\alpha_t$  (ecuación A-1.2):
 
$$\alpha_d = \cos^{-1} (ad / ac) \quad (\text{A-1.1})$$

$$\alpha_t = \cos^{-1} (be / bf) \quad (\text{A-1.2})$$
  - La **tabla A-1.1** permite determinar los ángulos de ataque ( $\alpha_d$  y  $\alpha_t$ ) a partir de valores calculados de los cosenos.
- Determinar el ángulo de traba ( $\Omega$ ) formado entre los cuerpos de la rastra sumando los ángulos de ataque de cada cuerpo.

Figura A-1.1

Configuración geométrica para determinar el ángulo de ataque ( $\alpha$ ) y el ángulo de traba ( $\Omega$ ) en una rastra de discos

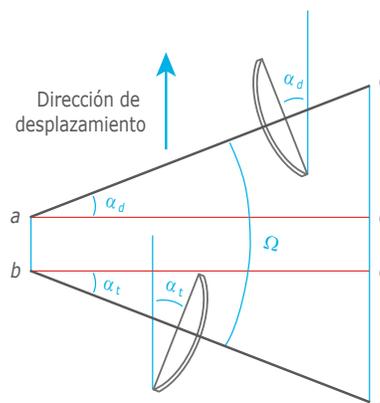


Tabla A-1.1

Valor del ángulo de ataque ( $\alpha$ ) definido a partir del coseno ( $\cos\alpha$ )

$\cos\alpha$	$\alpha$ (°)						
0.978	12	0.961	16	0.940	20	0.914	24
0.974	13	0.956	17	0.934	21	0.906	25
0.970	14	0.951	18	0.927	22	0.899	26
0.996	15	0.946	19	0.920	23	0.891	27

## Anexo 2

### Metodologías para determinar la demanda de tracción de un implemento vertical

La Ecuación Universal de Movimiento de Tierra (EUMT) (Spoor y Godwin, 1984; Mckyes, 1983) considera aspectos relacionados con el suelo, el implemento y la operación, para determinar los requerimientos de tracción de un implemento vertical a partir de las condiciones de equilibrio de modelos de falla (ver unidad 3 de aprendizaje). La fuerza externa ( $P$ ) requerida para la operación del implemento y sus componentes ( $P_h$  y  $P_v$ ) se calculan a partir de las condiciones de equilibrio del modelo expresadas en las ecuaciones A-2.1 y A-2.2:

$$\Sigma F_x = P \sin(\alpha + \delta) + C_a A_l \cos \alpha - R \sin(\beta + \varphi) - C_s * A_f \cos \beta - I * \cos \beta = 0 \quad (\text{A-2.1})$$

$$\Sigma F_y = P \cos(\alpha + \delta) - C_a A_l \sin \alpha + R \cos(\beta + \varphi) - C_s * A_f \cos \beta - W_s - q * A_q - I * \sin \beta = 0 \quad (\text{A-2.2})$$

La solución a este sistema es la ecuación A-2.3:

$$\begin{aligned} P = & \{ \rho * g * p^2 * \frac{1}{2} [\cot \alpha + \cot \beta] / [\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi)] + \\ & q * p * [\cot \alpha + \cot \beta] / [\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi)] + \\ & C_s * p * [1 + \cot \beta \cot(\beta + \varphi)] / [\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi)] + \\ & C_a * p * [1 - \cot \beta \cot(\beta + \varphi)] / [\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi)] + \\ & \rho g p v^2 * [\tan \beta + \cot(\beta + \varphi)] / [(\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi))(1 + \tan \beta \cot \alpha)] \} * b \end{aligned} \quad (\text{A-2.3})$$

La ecuación A-2.3 puede simplificarse a la forma de la EUMT o ecuación A-2.4:

$$P = (\rho g p^2 N_g + q p N_q + C_s p N_c + C_a p N_a + \rho g p v^2 N_i) * b \quad (\text{A-2.4})$$

$w$ ,  $N_q$ ,  $N_c$ ,  $N_a$  y  $N_i$  son coeficientes asociados a la gravedad, las cargas sobre la superficie ( $q$ ), la cohesión entre partículas de suelo, la adhesión suelo-implemento y la inercia del suelo. Estos coeficientes dependen de la geometría del modelo a través de los ángulos que definen la fricción suelo-suelo, la fricción suelo-implemento, la dirección del plano de falla y la inclinación del implemento (ángulo de ataque). Las expresiones para los coeficientes  $N$  son (A-2.5 – A-2.9):

$$N_g = \frac{1}{2} [\cot \alpha + \cot \beta] / [\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi)] \quad (\text{A-2.5})$$

$$N_q = 2 N_g \quad (\text{A-2.6})$$

$$N_c = [1 + \cot \beta \cot(\beta + \varphi)] / [\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi)] \quad (\text{A-2.7})$$

$$N_a = [1 - \cot \beta \cot(\beta + \varphi)] / [\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi)] \quad (\text{A-2.8})$$

$$N_i = [\tan \beta + \cot(\beta + \varphi)] / [(\cos(\alpha + \delta) + \sin(\alpha + \delta) \cot(\beta + \varphi))(1 + \tan \beta \cot \alpha)] \quad (\text{A-2.9})$$

Las componentes horizontal y vertical de la fuerza de tracción  $P$  son:

$$P_h = F_{bt} = P \sin(\alpha + \delta) + C_a * \rho * b * \cot \alpha \quad (\text{A-2.10})$$

$$P_v = P \cos(\alpha + \delta) - C_a * \rho * b \quad (\text{A-2.11})$$

La ASAE (1995) diferencia entre los requerimientos de tracción en la operación de cinceles y subsuelos.

**Cinceles.** Para estos implementos se toman como base cuerpos que operan a 8.26 cm de profundidad. La fuerza de tiro por cuerpo ( $P_{h1}$ : N/cuerpo) depende del tipo de suelo (franco, franco arcilloso y arcilloso) y la velocidad de operación ( $v_o$ : km/h) (ecuaciones A-2.12 – A-2.14):

$$\text{Suelos francos} \quad P_{h1} = 520 + 49.2 * v_o \quad (\text{A-2.12})$$

$$\text{Suelos franco-arcillosos} \quad P_{h1} = 480 + 48.1 * v_o \quad (\text{A-2.13})$$

$$\text{Suelos arcillosos} \quad P_{h1} = 527 + 36.1 * v_o \quad (\text{A-2.14})$$

Para un cincel de  $Z$  número de cuerpos que opera a cualquier profundidad ( $p$ ), la fuerza de tiro total se resume en la ecuación A-2.15:

$$P_h = F_{bt} = (P_{h1}) * (p/8.26)^2 * Z \quad (\text{A-2.15})$$

**Subsoladores.** Para equipos subsoladores de  $Z$  cuerpos, la fuerza de tiro total se determina mediante la expresión A-2.16 en suelos franco-arenosos y la expresión A-2.17 en suelos arcillosos:

$$\text{Suelos franco-arenosos} \quad P_h = F_{bt} = (120p \text{ a } 190p) * Z \quad (\text{A-2.16})$$

$$\text{Suelos arcillosos} \quad P_h = F_{bt} = (175p \text{ a } 280p) * Z \quad (\text{A-2.17})$$

## Contenido

Recursos didácticos en <a href="http://www.cenicana.org/pat">www.cenicana.org/pat</a> .....	153
Autoevaluación final .....	154
Evaluación de la capacitación .....	156



Formación de facilitadores en preparación de suelos.

## Recursos didácticos en [www.cenicana.org/pat](http://www.cenicana.org/pat)



La Colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar es una herramienta de apoyo metodológico para los facilitadores de la capacitación en el Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica, PAT.

Los facilitadores encuentran los materiales agrupados en las dos series temáticas de la Colección: Sistema de producción agrícola y Sistema de producción industrial. Cada serie contiene las guías metodológicas disponibles para llevar a cabo la planificación de las capacitaciones previstas en el PAT, así como las actividades pedagógicas.

Las ayudas didácticas en cada tema del PAT se hallan ordenadas de un modo práctico, de fácil acceso, con lo cual se espera motivar a los facilitadores a usar los recursos digitales dispuestos en el sitio web de Cenicaña y, principalmente, a complementarlos con sus aportes y con nuevos materiales. Documentos, presentaciones con diapositivas, videos, fotografías, ilustraciones, infografías y materiales de trabajo para la celebración de prácticas y ejercicios hacen parte de esta colección. Bienvenido. El reto de la gestión del conocimiento es ahora.

Para solicitar la contraseña personal de acceso al sitio web ingrese a [www.cenicana.org/hoja\\_registro\\_pag.php](http://www.cenicana.org/hoja_registro_pag.php)

Una vez registrado en la base de datos puede consultar, copiar, reproducir e imprimir las ayudas didácticas



**Recurso Digital**

[www.cenicana.org/pat](http://www.cenicana.org/pat)

## Autoevaluación final

### Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar

Apreciado participante: el siguiente cuestionario ha sido elaborado con el fin de identificar el grado de aprovechamiento de la capacitación sobre preparación de suelos, una vez que han finalizado las actividades pedagógicas. No tiene carácter calificativo; las preguntas, más que evaluar el conocimiento teórico, buscan revisar la claridad de los conceptos acerca de las labores de labranza en el cultivo de la caña de azúcar.

**Instrucciones:** cada pregunta tiene una respuesta única; marque con 'X' la opción que considere correcta. Registre los datos en la hoja de respuestas y espere las indicaciones del facilitador para continuar. Tiene 15 minutos para responder.

**1. Al aumentar el contenido de humedad del suelo, también:**

- |   |  |
|---|--|
| A. <input type="checkbox"/> aumenta la resistencia del suelo al laboreo       | B. <input type="checkbox"/> aumenta la resistencia del suelo al desarrollo de las raíces |
| C. <input type="checkbox"/> aumenta la resistencia del suelo a la penetración | D. <input type="checkbox"/> disminuye la resistencia del suelo a la penetración.         |

**2. Respecto a la consistencia del suelo, se puede asegurar que:**

- |  |  |
|--|--|
| A. <input type="checkbox"/> suelos pesados tienen bajo índice de plasticidad | B. <input type="checkbox"/> suelos friables son frágiles a la acción de los implementos            |
| C. <input type="checkbox"/> suelos arcillosos secos tienen baja consistencia | D. <input type="checkbox"/> suelos arcillosos húmedos son frágiles a la acción de los implementos. |

**3. Los siguientes elementos intervienen en la nivelación de una rastra:**

- |  |  |
|--|--|
| A. <input type="checkbox"/> los cuerpos de discos        | B. <input type="checkbox"/> el sistema de transporte |
| C. <input type="checkbox"/> la barra paralela de levante | D. <input type="checkbox"/> la barra de tiro.        |

**4. El ángulo de ataque de una rastra puede variar entre:**

- |                                       |                                       |
|---------------------------------------|---------------------------------------|
| A. <input type="checkbox"/> 10° y 15° | B. <input type="checkbox"/> 12° y 25° |
| C. <input type="checkbox"/> 20° y 25° | D. <input type="checkbox"/> 15° y 20° |

**5. La fuerza requerida para operar una rastra depende de:**

- |   |   |
|---|---|
| A. <input type="checkbox"/> número de discos y su concavidad          | B. <input type="checkbox"/> número de cuerpos y el tipo de chumaceras |
| C. <input type="checkbox"/> diámetro de los discos y el tipo de suelo | D. <input type="checkbox"/> masa de la rastra y el tipo suelo.        |

**6. El laboreo a dos niveles con implementos verticales:**

- A.  disminuye el esfuerzo en los cuerpos profundos
- B.  aumenta el esfuerzo en los cuerpos profundos
- C.  aumenta el esfuerzo en los cuerpos superficiales
- D.  disminuye el esfuerzo en los cuerpos superficiales.

**7. La profundidad de subsolado debe definirse de acuerdo con:**

- A.  la textura del suelo
- B.  la humedad del suelo
- C.  la profundidad de capas compactadas
- D.  la profundidad del primer horizonte.

**8. Los implementos verticales deben mover el suelo:**

- A.  solamente hacia adelante
- B.  hacia adelante y hacia arriba
- C.  solamente hacia arriba
- D.  hacia los lados.

**9. El área roturada por un implemento vertical es:**

- A.  independiente del tipo de puntera
- B.  mayor para cuerpos con punteras sencillas
- C.  menor para cuerpos con aletas
- D.  mayor para cuerpos con aletas.

**10. En la interacción suelo-subsolador intervienen las siguientes fuerzas:**

- A.  gravedad, inercia y fricción
- B.  gravedad, inercia, fricción y adhesión
- C.  gravedad, inercia, fricción, adhesión y cohesión
- D.  gravedad, inercia y cohesión.

Hoja de respuestas



Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
1		
2		
3		
4		
5		

Pregunta	Mi respuesta	Respuesta correcta
6		
7		
8		
9		
10		

**Orientaciones para el facilitador**

Al terminar la autoevaluación el facilitador debe presentar las respuestas correctas para que los participantes hagan la autocorrección. También debe dar las explicaciones necesarias a las posibles dudas sobre el tema desarrollado en la capacitación.

Respuestas correctas a la Autoevaluación final: 1=D; 2=B; 3=C; 4=B; 5=D; 6=A; 7=C; 8=B; 9=D; 10=C.

## Evaluación de la capacitación

Apreciado participante: al finalizar la capacitación sobre preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar deseamos conocer sus opiniones sobre diversos aspectos del proceso pedagógico. Para responder las preguntas de cada sección, por favor marque "X" en la casilla que mejor exprese su opinión personal, de acuerdo con la siguiente escala de evaluación:

0	1	2	3	NA
Inadecuado, muy deficiente	Regular, deficiente	Buena, aceptable	Muy buena, satisfactorio	No aplica

### Logro de objetivos y satisfacción de expectativas

En qué medida cree que la capacitación le sirvió para lograr los siguientes objetivos generales:	0	1	2	3	NA
<ul style="list-style-type: none"> <li>Relacionar las propiedades físico-mecánicas del suelo con las operaciones de labranza y los implementos utilizados</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Evaluar la eficiencia de las operaciones de labranza que se practican en el cultivo de la caña de azúcar</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Calibrar los equipos de labranza (rastras e implementos verticales) y evaluar su desempeño en el campo</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Determinar los requerimientos de tracción y potencia de las rastras y los implementos verticales</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Programar la secuencia de labores de labranza con base en observaciones de campo, las características del suelo y los implementos disponibles</li> </ul>					
En qué medida cree que la capacitación le sirvió para llenar los vacíos de conocimiento que usted tenía antes del evento:	0	1	2	3	NA
<ul style="list-style-type: none"> <li>Los temas técnicos tratados en la capacitación llenaron mis necesidades actuales de conocimiento</li> </ul>					
Cuál es su opinión acerca de las estrategias pedagógicas empleadas en la capacitación:					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Exposiciones hechas por los facilitadores</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Trabajos en grupo</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Materiales didácticos que usted recibió durante la capacitación</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Ejercicios y prácticas de campo en los que participó</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Recursos de personal, herramientas, equipos e insumos que estuvieron disponibles en los ejercicios y las prácticas de campo</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tiempo dedicado a las distintas actividades de aprendizaje. En general, fue suficiente para lograr los objetivos de aprendizaje</li> </ul>					

## Desempeño de los facilitadores


 Facilitador

Cómo considera usted que fue el desempeño del facilitador en los aspectos siguientes:	0	1	2	3	NA
<ul style="list-style-type: none"> <li>Organización y claridad</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Presentó y explicó los objetivos de la capacitación</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicó el procedimiento para realizar las actividades (ejercicios, prácticas)</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuvo listos los materiales, herramientas, ayudas y equipos</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Respetó el tiempo previsto</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Entregó el material de capacitación y explicó cómo usarlo</li> </ul>					
<b>Manejo del contenido</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Respondió las preguntas de los participantes con propiedad</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Relacionó los temas teóricos con su aplicación práctica</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionó ejemplos para ilustrar los temas expuestos</li> </ul>					
<b>Habilidades de interacción</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Estableció comunicación verbal y no verbal, en forma permanente, con los participantes</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Mantuvo la motivación de los participantes durante la capacitación</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Formuló preguntas a los participantes</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Invitó a los participantes para que formularan preguntas</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Proporcionó información de retorno inmediata a los participantes durante exposiciones, ejercicios y prácticas.</li> </ul>					
<b>Dirección de los ejercicios y las prácticas de campo</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Aclaró los objetivos de los ejercicios y prácticas</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Seleccionó y acondicionó el sitio adecuado para las prácticas</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Organizó a los participantes de manera que todos pudieran participar</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Explicó y demostró la manera de realizar las prácticas</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>Tuvo a su disposición los materiales demostrativos y/o los equipos necesarios para realizar las prácticas</li> </ul>					

Continúa

## Calidad de los materiales de capacitación

Cuál es su opinión acerca de los materiales de capacitación que recibió en las distintas etapas del proceso de aprendizaje:	0	1	2	3	NA
<b>Contenido técnico</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El contenido está dividido en segmentos que siguen una secuencia ordenada y clara</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El contenido se presenta de manera objetiva: respeta principios y métodos comúnmente aceptados en la práctica</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El contenido es fácil de leer y comprender</li> </ul>					
<b>Contenido didáctico</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los objetivos de las actividades de aprendizaje están claramente establecidos</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las estructuras de aprendizaje ayudan a que el participante entienda cada componente presentado</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las preguntas al iniciar cada unidad orientan a los participantes acerca del tema por desarrollar</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los ejercicios y prácticas realmente ayudan a desarrollar las capacidades necesarias para usar la tecnología presentada</li> </ul>					
<b>Diseño visual y presentación</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• El tamaño y tipo de las letras hace el texto fácil de leer</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las figuras y cuadros son fáciles de entender</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Las ilustraciones facilitan la comprensión del texto escrito</li> </ul>					
<b>Recursos digitales asociados</b>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• La versión digital de los materiales de capacitación se encuentra disponible</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Es fácil ubicar el material requerido por los participantes para la celebración de ejercicios y prácticas</li> </ul>					
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Los materiales se pueden consultar y descargar rápidamente</li> </ul>					

\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_|\_\_\_\_\_|  
 Día      Mes      Año

Gracias por participar en esta evaluación, su opinión nos ayuda a mejorar la capacitación.

## Referencias bibliográficas

- ASAE. 1995. ASAE Standards. ASAE, St. Joseph, MI. USA.
- Ashburner, J.E. y Sims, B.G. 1984. Elementos de diseño del tractor y herramientas de labranza. IICA. Costa Rica
- Bianchini, A.; Sabino, M.H.C.; Borges, P.H.M.; Squarezzi, J.J. 1999. Comportamento operacional de um escarificador de hastes parabólicas em un solo de carrado. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. V.3, N.º 3: 395 – 401.
- Bowen, H.D. 1981. Alleviating mechanical impedance. In: Arkin, G.F. and Taylor, H.M. (eds.). Modifying the root environment to reduce crop stresses. ASAE Monograph No.4., St. Joseph, Michigan, pp.18-57.
- Bowles, J.E. 1982. Propiedades geofísicas de los suelos. Lerner Ed. Bogotá. Colombia
- Bradshaw, M. y Weaver, R. 1993. Physical geography. An introduction to earth environments. Mosby-Year Book, Inc. USA.
- Carbonell, J.A.; Quintero, R.; Torres, J.S.; Osorio, C.A.; Isaacs, C.H. y Victoria, J. I. 2011. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Cali, Colombia. 119 pp. (Serie Técnica N.º 38).
- Das, B. M. 1990. Principles of Geotechnical Engineering. PWS-Kent Publishing Company. U.S.A.
- Donahue, R.L.; Miller, R.L. y Shickluna, J.C. 1983. Soils. An introduction to soils and plant growth. Prentice Hall, Inc. USA.
- Howell, J. 1997. Soil basics Part I: Physical properties of soil. USDA, Extension Service. University of Massachusetts, USA.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC). Subdirección de Agrología. 2009. Suelos para niños. IGAC. Bogotá. Colombia. 436 p.
- Isaacs, C.H.; Victoria, J.I.; Arce, C.A. y López, L.O. 2008. Agricultura específica por sitio. Tercera fase. Informe técnico final. Cenicafé, Cali, Colombia. 146 pp.
- Isaacs, C.H. y Silva, H.F. 2012. Desarrollo de una Guía de Recomendaciones Técnicas (GRT) para el manejo de la caña de azúcar con enfoque de Agricultura Específica por Sitio - AEPS. p.710-723. En: Congreso Atalac, VIII, y Congreso Tecnicaña, IX. Memorias. Cali. Colombia.
- Kees, G. 2008. Using subsoiling to reduce soil compaction. USDA, Forest Service Technology and Development Program. USA.
- Koolen, A.J. y Kuipers, 1983. Agricultural soil mechanics. Springer-Verlag. Germany.
- Montenegro, G. H. y Malagón, C. D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. IGAC. Subdirección Agrología. Santafé de Bogotá, D.C. 812 p.
- Marakoglu, T y Carman, K. 2009. Effects of design parameters of a cultivator share on draft force and soil loosening in a soil bin. Journal of Agronomy. Vol 8(1): 21-26.
- Márquez, L. 2000. Subsoladores y descompactadores. Revista Agrotécnica. (oct.): 36-41.
- Marrón, G. Maquinaria agrícola y labranza. Curso para profesionales. Inta, Bordenade. Argentina.
- Martino, D.L. 2003. Manejo de restricciones físicas del suelo en sistemas de siembra directa. Instituto de investigaciones agropecuarias de Uruguay. Grupo de riego, agroclima, ambiente y agricultura satelital.
- Massakasu, C. y de Moraes, J.L. 2005. Operational performance of a subsoiler as a function of the structure, clay and moisture content in three latosols. Scientia Forestalis: 115-124.
- Mckyes, E. 1985. Developments in Agricultural Engineering 7. Soil cutting and tillage. Elsevier Science Publishers B. V.3. The Netherlands.
- Mielke, L.N.; Grisso, R.D.; Bashford, L.L.; Parkhurst, A.M. 2002. By-level subsoiler performance using tandem shanks. Applied Engineering in Agriculture. ASAE. St. Joseph, MI. USA.

## Apéndice

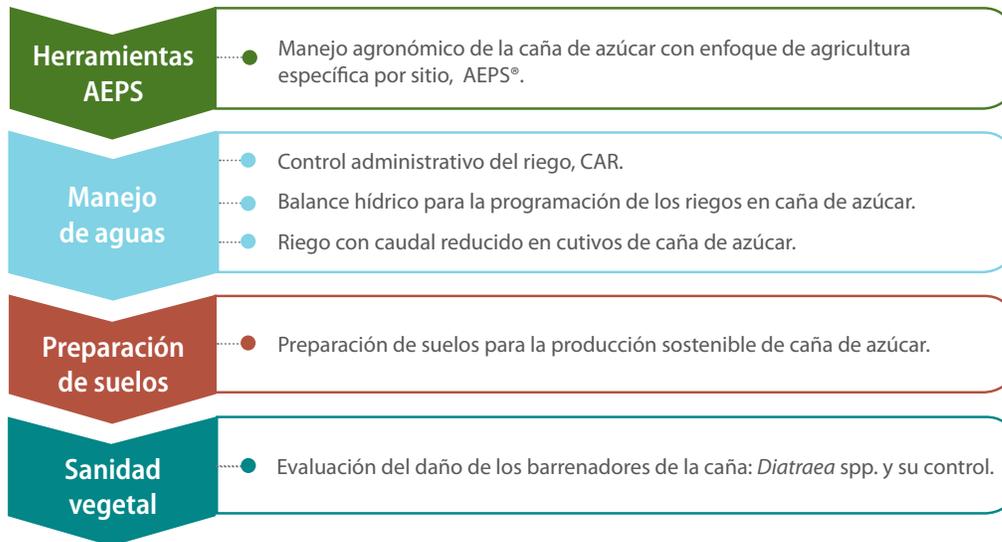
- Navarro, A.; Figueroa, B.; Martínez, M.; González, F. y Osuna, E.S. 2008. Indicadores físicos del suelo bajo labranza de conservación y su relación con el rendimiento del cultivo. *Agricultura técnica*. 34 (2): 151-158.
- Ortiz-Cañavate, J. 2005. *Tractores. Técnica y seguridad*. Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- Owen, G.T. 1988. Soil disturbance associated with deep subsoiling in compact soils. *Canadian Agricultural Engineering*, 30 (1):33-37.
- Owen, G.T. 1989. Subsoiling forces and tool speed in compact soils. *Canadian Agricultural Engineering*, 31: 15-20.
- Quintero Durán, R.; García Sánchez, A.; Cortés Lombana, A.; Muñoz Arboleda, F.; Torres Aguas, J. S.; Carbonell González, J. A. y Osorio Murillo, C. A. 2008. Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (segunda aproximación). *Cenicaña*. Cali, Colombia. 112 pp. (Serie Técnica N.º 37).
- Raper, R.L. y Bergtold, J.S. 2007. In-row subsoiling: A review and suggestions for reducing cost of this conservation tillage operation. *Applied Engineering in Agriculture*. 23 (4): 463-471.
- Sánchez-Girón, V. 1996. *Dinámica y mecánica de suelos*. Ediciones agrotécnicas S.L., Madrid, España.
- Soomro, M.S.; Godwin R.J.; Spoor, G. 1982. Appropriate tine arrangement for better tillage and efficient tool performance. *Agricultural Mechanization in Asia, Africa and Latin America*. AMA. 13: 21-26.
- Spoor, G. y Godwin, R.J. 1978. An experimental investigation into the deep loosening of soil by rigid tines. *Journal of Agricultural Engineering Research*. 23 (3): 243-258.
- Srivastava, A.K.; Goering, C.E.; Rohrback, R.P.; Buckmaster, D. 1993. *Engineering principles of agricultural machines*. ASAE. St. Joseph. MI. USA.
- Stolf, R. 1986. Grades: Sua classificação e função na cultura canavieira. *Alcool y Acúcar*. 6 (28): 36-44.
- Stolf, R.; DaSilva, J.; Montoya, J.A. 2010. Medida do angulo horizontal de ataque dos discos de grades agrícolas de dupla acao e aplicacao a una propriedade agrícola. *Bragantia*. Agencia Paulista de tecnologías dos agronegocios. 69 (2): 493-497.
- Vallejos, A. y Bondía, P. 2009. Preparación de barbechos con rastras de discos. *Revista Bordeu*. Argentina.
- Williams, P. 2003. Manejo sustentable del suelo (parte I). *Cartilla de divulgación N.º 2*. FAO- Secretaría de Ambiente y Desarrollo Sustentable-Dirección de Bosques. Argentina.
- Wong, Y.J. 1993. *Theory of ground vehicles*. John Wiley & Sons. USA.



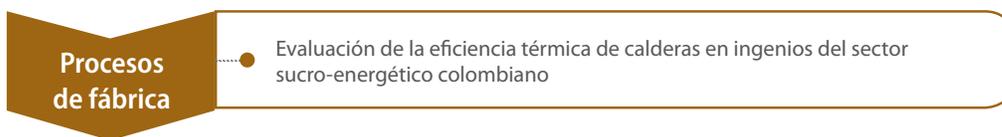
# Títulos publicados

Colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar

## Sistema de producción agrícola



## Sistema de producción industrial





Esta guía metodológica sobre Preparación de suelos para la producción sostenible de caña de azúcar y las ayudas didácticas relacionadas hacen parte de la Colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar y fueron producidas por Cenicaña como insumos del Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica (PAT).

Quienes reciben los materiales directamente de Cenicaña están autorizados para reproducirlos y adaptarlos en los procesos de capacitación a su cargo, siempre que las modificaciones contribuyan al logro de los objetivos de aprendizaje propuestos por los autores.

Cenicaña mantendrá abiertos sus canales formales de comunicación con los usuarios de la guía para intercambiar las actualizaciones en la materia de aprendizaje y atenderá oportunamente las solicitudes de servicios requeridos para la celebración de las actividades pedagógicas de acuerdo con los términos de compromiso definidos en el PAT.

## **Publicación Cenicaña**

### **Producción editorial**

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

### **Coordinación editorial y edición de textos**

Victoria Carrillo C.

### **Diseño gráfico y diagramación**

Alcira Arias V.

### **Fotografías**

Banco de imágenes Cenicaña

### **Ilustración del perfil de suelo**

Andrea Campiño Blanco

### **Impresión digital**

Prensa Moderna (Cali, Colombia)





## Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

Cenicaña es una corporación privada, sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia, Asocaña, y financiada con donaciones directas de los ingenios azucareros y los proveedores de caña localizados en el valle del río Cauca.

Su misión es contribuir al desarrollo, la competitividad y la sostenibilidad del sector agroindustrial de la caña de azúcar de Colombia, mediante la generación de conocimiento y la innovación tecnológica, a través de la investigación, la transferencia de tecnología y la prestación de servicios especializados, con base en un sistema integrado de gestión, para que el sector sea reconocido por sus aportes socioeconómicos y la conservación ambiental de las zonas productoras de caña de azúcar.

Así, el Centro favorece la innovación en la agroindustria gestionando proyectos de investigación y desarrollo acordes con la planeación estratégica del sector productivo. Dirige programas de investigación en variedades, agronomía y procesos de fábrica, y servicios especializados en información y documentación, tecnología informática, análisis económico y estadístico, cooperación técnica y transferencia de tecnología.

En sus funciones de apoyo sectorial, Cenicaña administra la Red Meteorológica Automatizada y la Red PM-10 de la agroindustria azucarera en el valle del río Cauca. Atiende solicitudes de importación de variedades en Colombia y presta servicios de propagación y multiplicación de variedades, análisis de suelo y tejido foliar, inspección fitopatológica en campo y laboratorio, diagnóstico de enfermedades de la caña de azúcar, e información y documentación.

Estación Experimental, vía Cali-Florida km 26.  
San Antonio de los Caballeros, Florida (Valle del Cauca, Colombia).



La colección de materiales para la transferencia de tecnología en la agroindustria de la caña de azúcar está dirigida a los profesionales de distintas disciplinas vinculados con el sector azucarero colombiano que en sus competencias de rol ejercen como facilitadores de la transferencia tecnológica y la adopción, particularmente a quienes planifican, ejecutan y evalúan las actividades de capacitación en las que participan los usuarios finales de la tecnología en el Programa de Aprendizaje y Asistencia Técnica (PAT). Algunos materiales de la colección están dirigidos a los participantes en la capacitación, y les serán entregados por los facilitadores.

Esta es una guía de valor académico y práctico; ha sido elaborada para apoyar a los facilitadores del PAT y a profesionales y técnicos de la agroindustria azucarera relacionados con las labores agrícolas de producción en el campo, especialmente la preparación de los suelos para la renovación de plantaciones y el levantamiento de socas. El propósito es difundir los conceptos básicos de la mecanización con énfasis en aquellos aspectos que determinan la eficacia y la eficiencia de la labranza en el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. En tres unidades de aprendizaje se abordan los elementos principales de las operaciones de labranza: las propiedades físicas y mecánicas del suelo; las rastras y su calibración; los subsuelos y las características de su interacción con el suelo.



[www.cenicana.org/pat](http://www.cenicana.org/pat)



Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia  
Calle 58N No. 3BN-110 Cali, Colombia  
[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

