

TEMAS

Notas técnicas e informativas

Zonificación agroecológica, cuarta aproximación 2

Avances de investigación

Identificación de los patrones espectrales de los suelos en el valle del río Cauca 5

Notas de investigación

Observaciones acerca de la mosca *Salpingogaster nigra* Schiner (Diptera: Syphidae) como predador de ninfas de salivazo *Aeneolamia varia* 10

Evaluación de compactación causada por vagones de transporte a través de la superficie de contacto suelo-llanta en el Ingenio Carmelita S.A. 13

Simulación de la logística de abastecimiento de caña utilizando Crystal Ball® 20

Tiempo de desintegración húmeda como factor importante en los análisis directos (DAC) de caña de azúcar 23

Comentario

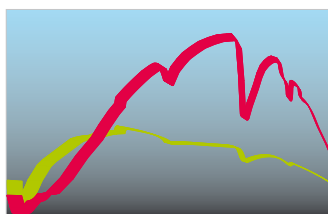
Algunas consideraciones sobre la fertilización foliar con elementos menores en la agricultura de hoy 25



**Centro de Investigación
de la Caña de Azúcar de
Colombia**

Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, cuarta aproximación

A partir del conocimiento de los suelos y sus condiciones de humedad se conformaron treinta y tres Grupos Homogéneos de Suelos y seis Grupos de Humedad con base en los cuales se identificaron 149 zonas agroecológicas para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Nota informativa, *página 2*.



Identificación de los patrones espectrales de los suelos

Mediante espectroscopia de infrarrojo cercano, Cenicaña identificó los patrones espectrales de los suelos más representativos del valle del río Cauca y su contenido mineralógico. *Página 5*.



Salpingogaster nigra, predador del salivazo *Aeneolamia varia*

S. nigra es una mosca con apariencia de avispa, que en su estado de larva se alimenta de las ninfas de salivazo. Está presente en Colombia y en otros países de América, donde ha sido reconocida como un enemigo natural de todas las especies de salivazos de la raíz y los pastos. Sus poblaciones son abundantes en las áreas de influencia de los ingenios Carmelita, Providencia y Sancarlos en el valle del río Cauca. Observaciones y apuntes preliminares. *Página 10*.

Evaluación de la compactación causada por vagones a través de la superficie de contacto suelo-llanta

En el Ingenio Carmelita S.A. se realizaron evaluaciones en el taller agrícola para determinar las cargas y las superficies de contacto de tres tipos de llantas utilizadas en vagones de transporte de caña, mientras en el campo se midió la compactación inducida en el suelo durante la cosecha mecanizada. *Página 13*.

Simulación de la logística de abastecimiento de caña

Ventajas del modelo desarrollado y utilidades del software Crystal Ball®. *Página 20*.

Agricultura específica por sitio

Zonificación agroecológica, cuarta aproximación

Para asegurar que se adopte el enfoque de la agricultura específica por sitio (aeps) en la administración y el manejo de las unidades productivas de caña de azúcar en el valle del río Cauca, Cenicaña realiza aproximaciones sucesivas de la zonificación agroecológica, desarrolla tecnologías limpias, promueve la innovación y facilita el acceso a los datos y la información disponibles.

En la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca se identificaron 149 zonas definidas por factores biofísicos relativamente estables, en las cuales se espera que la respuesta del cultivo sea bastante homogénea en términos de producción.

Los factores utilizados en la nueva zonificación se basan en el conocimiento detallado de los suelos, ordenados en 33 Grupos Homogéneos de Suelos, y en las condiciones de humedad de éstos, ordenadas en seis Grupos de Humedad (ver mapa).

Grupos Homogéneos de Suelos

En la agrupación se utilizaron 235 suelos identificados mediante estudios detallados, correspondientes a 35 familias texturales.

Para facilitar la definición de los grupos homogéneos de suelos, las familias texturales fueron ordenadas en 12 grupos texturales de acuerdo con su similitud y su importancia. Los suelos incluidos en cada grupo textural fueron luego diferenciados de acuerdo con el régimen de humedad y la profundidad efectiva del suelo. Los regímenes de humedad corresponden al ústico o seco, el údico o húmedo y el ácuico o encharcado periódicamente. La profundidad efectiva, a dos niveles: suelos superficiales y suelos desde moderadamente profundos hasta profundos. Con base en dichos factores se identificaron 33 Grupos Homogéneos de Suelos (ver descripción en la página 4).

Grupos de Humedad

Los grupos de humedad identifican zonas en donde ocurren niveles similares de exceso o déficit de humedad en el suelo. Para la clasificación del área en grupos de humedad se tuvo en cuenta el balance hidrológico regional calculado para el cultivo de la caña de azúcar, junto con la información del estudio detallado de los suelos acerca de la permeabilidad, la pendiente del terreno, la presencia de nivel freático y su profundidad y la presencia de signos de mal drenaje y su profundidad (gleyseado moteado).

En el cálculo del balance hidrológico, la precipitación atmosférica fue determinada con una probabilidad de exceso de 75%, que se puede interpretar también como el valor mínimo de precipitación que se obtendría en 7.5 años en un período de 10 años; es decir que, solamente en 2.5 años de 10 es probable que ocurran eventos de precipitación menores al valor esperado.

Los Grupos de Humedad corresponden a seis condiciones que caracterizan zonas con déficit, humedad normal, baja, media, alta y muy alta (ver descripción en la página 4).

En 216,765 hectáreas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca se realizaron estudios detallados de los suelos, a partir de los cuales se identificaron las características morfológicas, químicas, físicas y mineralógicas de los suelos, además de sus variaciones en el paisaje. En total se reconocieron 238 suelos correspondientes a los órdenes Mollisols, Vertisols, Inceptisols, Alfisols, Entisols, Ultisols e Histosols.

Más información acerca de la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica en www.cenicana.org/aeps/index.php

Servidor de Mapas y demás herramientas aeps en línea con las zonas actualizadas

Carta Trimestral

ISSN 0121-0327

Año 29, No. 4 de 2007

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Dirección postal: Calle 58 Nte. No. 3BN- 110 Cali, Colombia
Estación Experimental, vía Cali-Florida km 26
Tel: (57-2) 687 6611 • Fax: 260 7853 • buzon@cenicana.org

Comité Editorial

Adriana Arenas Calderón • Álvaro Amaya Estévez
Camilo Isaacs Echeverry • Edgar Fernando Castillo Monroy
Jorge Stember Torres Aguas • Jorge Ignacio Victoria Kafure
Nohra Pérez Castillo • Victoria Carrillo Camacho

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial y edición de textos: Victoria Carrillo C.
Diagramación: Alcira Arias Villegas
Preprensa e impresión: Feriva S.A., Cali-Colombia

Catálogo en línea de la base datos bibliográfica

Consulte las referencias disponibles en
www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_enlinea.php

Solicite los documentos de interés
a Adriana Arenas <aarenas@cenicana.org>
o visite la biblioteca en la Estación Experimental



Zonificación agroecológica, cuarta aproximación*

* La nomenclatura de las nuevas zonas agroecológicas está definida por un número inicial entre 1 y 33 que identifica el Grupo Homogéneo de Suelos, seguido de la letra "H" unida a un número entre 0 y 5 que identifica el Grupo de Humedad. Así, por ejemplo, la zona agroecológica 11H3 reúne los suelos clasificados en el Grupo Homogéneo de Suelos 11, donde prevalecen las características del Grupo de Humedad 3.

Santander de Quilichao

Jamundí

Cali

Vijes

Cerrito

Yumbo

Buga

Tuluá

Bugalagrande

Zarzal

La Unión

Obando

Cartago

La Virginia

Viterbo

Zona Agroecológica	Área (ha)
1H0	465
1H1	5254
1H2	1135
1H3	307
1H4	38
1H5	35
2H0	57
2H1	127
2H2	34
2H3	345
2H4	20
3H1	15
3H2	107
3H3	668
3H4	662
3H5	102
4H1	288
4H2	131
4H3	134
5H2	3869
5H3	5310
5H4	1092
5H5	2656
6H0	2099
6H1	36237
6H2	6812
6H3	3288
6H4	2105
6H5	67
7H0	1273
7H1	2139
7H2	1321
7H3	222
8H1	108
8H2	985
8H3	3189
8H4	1138
8H5	945
9H2	150
9H3	545
9H4	314
9H5	346
10H2	1810
10H3	5617
10H4	4019
10H5	5091
11H0	19658
11H1	23839
11H2	8435
11H3	11179
11H4	1316
11H5	165
12H1	7
12H2	33
12H3	221
12H4	0
13H1	197
13H2	884
13H3	189
13H5	215
14H1	812
14H2	1019
14H3	124
14H4	162
14H5	217
15H0	756
15H1	5189
15H2	323
15H3	141
15H4	3
16H2	81
16H3	135
16H4	309
16H5	126
17H2	97
17H3	556
17H4	622
17H5	99
18H0	3036
18H1	4281
18H2	2729
18H3	788
18H4	265
18H5	38
19H0	48
19H1	38
19H2	96
20H1	84
20H2	9
20H3	37
20H4	87
20H5	135
21H0	1766
21H1	584
21H2	604
21H3	54
22H0	2485
22H1	313
22H2	114
22H3	36
22H5	28
23H0	517
23H1	3246
23H2	603
23H3	68
23H4	87
24H2	282
24H3	220
24H4	72
25H2	49
25H3	200
25H4	183
25H5	153
26H0	786
26H1	1281
26H2	38
26H3	25
26H4	5
27H0	116
27H1	154
27H3	320
27H4	20
28H2	4
28H3	123
28H4	4
29H0	573
29H1	325
29H2	20
29H3	13
30H0	2236
30H1	3605
30H2	758
30H3	241
30H4	5
31H0	1367
31H1	246
31H2	233
31H3	188
31H4	39
32H0	141
32H1	90
32H2	207
32H3	3
32H4	68
33H0	213
33H1	6
33H2	46
33H3	113
33H4	32

Grupos Homogéneos de Suelos y sus características principales

1 Suelos de textura muy fina, secos, profundos o moderadamente profundos, agrietados al secarse, ubicados principalmente en el cuerpo y pie de abanicos. El suelo Ultisols está en plano de terraza. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.	13 Suelos de textura franca fina, húmedos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados, ubicados en napas de desborde y planos de terraza.	25 Suelos de textura arcillosa sobre franca, ácuicos, superficiales, muy pobremente drenados y ubicados en cubetas de desborde y cuerpo de abanicos. Limitados por niveles freáticos superficiales y drenaje interno.
2 Suelos de textura muy fina, secos, profundos y moderadamente profundos, con grietas en épocas secas, ubicados entre el pie y el ápice de abanicos. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.	14 Suelos de textura franca fina, ácuicos, superficiales, ubicados en cuerpo y pie de abanicos, cubetas de desborde y terrazas. Limitados por drenaje interno pobre, nivel freático superficial y encharcamientos periódicos.	26 Suelos de texturas arcillosa sobre esquelética arcillosa, arcillosa sobre esquelética franca o arcillosa sobre esquelética, secos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados o moderadamente drenados, ubicados en el cuerpo y ápice de abanicos aluviales. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.
3 Suelos de textura muy fina, húmedos, profundos y moderadamente profundos, ubicados en cuerpo y pie de abanicos aluviales y planos de terraza. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.	15 Suelos de textura limosa fina principalmente, secos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados y ubicados en cuerpo de abanicos y en napas de explayamiento y de desborde. Limitados por permeabilidad mediana a lenta.	27 Suelos de textura arcillosa sobre esquelética arcillosa, secos, superficiales, con capas arcillosas compactas subsuperficiales, agrietados al secarse y están ubicados en el ápice de abanicos aluviales y planos de terraza. Limitados por escasa profundidad y permeabilidad lenta.
4 Suelos de textura muy fina, húmedos, superficiales, ubicados en el pie de abanicos y planos de terraza. Limitados por poca profundidad efectiva y escasez de macroporos y encharcamientos en época lluviosa.	16 Suelos de textura limosa fina, húmedos tendiendo a ácuicos, moderadamente profundos, pobremente drenados y ubicados en napas de desborde. Limitados por encharcamientos periódicos y acidez alta.	28 Suelos de textura arcillosa sobre esquelética arcillosa, húmedos, superficiales, ubicados en planos de terraza. Limitados por la presencia de capas arcillosas compactas subsuperficiales y pedregosidad.
5 Suelos de textura muy fina, ácuicos, superficiales, ubicados en el cuerpo y el pie de abanicos, cubetas de desborde y planos de terraza, que se encharcan en épocas lluviosas. Limitados por escasa profundidad y encharcamientos periódicos.	17 Suelos de texturas limosa fina y franca gruesa sobre arcillosa, ácuicos, superficiales, muy pobremente drenados, ubicados en el pie de abanicos y cubetas y napas de desborde. Limitados por escasa profundidad y encharcamientos periódicos.	29 Suelos de texturas esquelética arcillosa, esquelética arcillosa sobre esquelética franca, esquelética arcillosa sobre esquelética arenosa, secos, superficiales, bien drenados y ubicados en cuerpo y ápice de abanicos y explayamientos de desborde. Limitados por abundante presencia de fragmentos rocosos.
6 Suelos de textura fina, secos, profundos y moderadamente profundos que se agrietan al secarse, ubicados en el cuerpo y el pie de abanicos, planos de terraza y llanuras de desborde. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.	18 Suelos de textura franca gruesa, secos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados y ubicados en albardones, explayamientos de desborde y cuerpo y pie de abanicos. Limitados por permeabilidad muy rápida.	30 Suelos de texturas franca fina sobre arenosa, franca fina sobre esquelética arenosa, franca fina sobre esquelética franca o franca fina sobre fragmental, secos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados y ubicados en el ápice y cuerpo de abanicos aluviales y napas de desborde. Limitados por presencia de fragmentos rocosos subsuperficiales.
7 Suelos de textura fina, secos, superficiales, con capas arcillosas compactas subsuperficiales, agrietados al secarse y ubicados en el ápice, cuerpo y pie de abanicos y terrazas. Limitados por poca profundidad efectiva y escasez de macroporos y permeabilidad lenta.	19 Suelos de textura franca gruesa, secos, superficiales, ubicados en cauces abandonados y llanuras de desborde del río Cauca y tributarios. Limitados por permeabilidad muy rápida.	31 Suelos de texturas franca fina sobre esquelética arenosa, franca fina sobre esquelética franca o franca fina sobre fragmental, secos y superficiales, bien drenados, ubicados en el ápice y cuerpo de abanicos aluviales, albardones, vallecitos y cauces abandonados. Limitados por fragmentos rocosos subsuperficiales.
8 Suelos de textura fina, húmedos, profundos o moderadamente profundos, ubicados en el cuerpo y pie de abanicos, cubetas de desborde y planos de terrazas. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.	20 Suelos de textura franca gruesa, ácuicos, superficiales y ubicados en cauces abandonados y napas de desborde. Limitados por escasa profundidad y encharcamientos en época lluviosa.	32 Suelos de texturas franca gruesa sobre arcillosa o franca gruesa sobre limosa, secos, moderadamente profundos, bien drenados y ubicados en napas de desborde y cuerpo y pie de abanicos aluviales. Limitados por permeabilidad subsuperficial lenta.
9 Suelos de textura fina, húmedos, superficiales, con presencia de horizontes subsuperficiales de acumulación de arcilla y ubicados en el cuerpo y pie de abanicos y planos de terraza. Limitados por escasa profundidad y permeabilidad baja.	21 Suelos de texturas arenosa, franca gruesa sobre arenosa, esquelética franca o arenosa sobre arcillosa, secos, profundos y moderadamente profundos, ubicados en napas de desborde y albardones. Limitados por baja retención de humedad.	33 Suelos de texturas franca gruesa sobre esquelética franca, franca gruesa sobre esquelética arenosa, franca gruesa sobre fragmental o fragmental, secos, moderadamente profundos, excesivamente drenados y ubicados en el cuerpo y ápice de abanicos aluviales, lechos colmatados y napas de desborde. Limitados por abundante presencia de fragmentos rocosos y retención de humedad baja.
10 Suelos de textura fina, ácuicos, superficiales, muy pobremente drenados y ubicados en cuerpo y pie de abanicos y en cubetas de desborde. Limitados por escasa profundidad y encharcamientos periódicos.	22 Suelos de texturas esquelética franca, esquelética arenosa, arenosa sobre franca o esquelética franca sobre arcillosa, secos, superficiales, bien drenados, ubicados en napas de desborde, ápice y cuerpo de abanicos, albardones y cauces abandonados. Limitados por escasa profundidad y fragmentos rocosos.	
11 Suelos de texturas franca fina y franca fina sobre arcillosa, secos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados o moderadamente drenados y ubicados en el cuerpo y ápice de abanicos y en napas de desborde de la llanura aluvial.	23 Suelos de texturas arcillosas sobre franca y arcillosa sobre arenosa, secos, profundos o moderadamente profundos y ubicados en cuerpos y pie de abanicos y napas de desborde. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.	
12 Suelos de texturas franca y franca fina, secos, superficiales, ubicados en napas de desborde y en cuerpo de abanicos. Tienden a ser ácuicos por niveles freáticos superficiales. Limitados por escasa profundidad y encharcamientos en época lluviosa.	24 Suelos de textura arcillosa sobre franca, secos, superficiales, moderadamente drenados y ubicados en el cuerpo de abanicos. Limitados por escasa profundidad y escasez de macroporos en la superficie.	

Grupos de Humedad y sus características principales

HO (Déficit de humedad). Zonas con déficit de humedad y permeabilidad del suelo de media a alta, donde con frecuencia hay presencia de sales. Es necesario evitar los niveles freáticos superficiales por los riesgos de salinización de estos suelos. La instalación de drenaje subterráneo puede estar ligada a la recuperación de suelos salinos y/o sódicos.
H1 (Humedad normal). En este grupo se incluyen las áreas con exceso de humedad inferior a 200 mm/año y permeabilidad del suelo media a alta, así como aquellas áreas en donde, a pesar de presentar déficit de humedad, pueden ocurrir encharcamientos debido a la poca pendiente del terreno o por tener suelos de permeabilidad baja. En este grupo son convenientes la nivelación y el aporque.
H2 (Humedad baja). Áreas con exceso de humedad entre 200 mm/año y 400 mm/año y suelos con permeabilidad media a alta; así mismo, incluye áreas con nivel bajo de excesos (menor de 200 mm/año) y suelos de permeabilidad baja. Es conveniente el aporque, contar con campos bien nivelados y un sistema adecuado de canales de drenaje.
H3 (Humedad media). Este grupo incluye áreas con exceso de humedad entre 400 mm/año y 600 mm/año y suelos de permeabilidad media a alta y áreas con un exceso entre 200 mm/año y 400 mm/año con suelos de permeabilidad baja. Es conveniente la nivelación de precisión, usar canales colectores profundos para evacuar excesos de agua de escorrentía, instalar drenajes entubados en casos necesarios y trazar drenes topos en los suelos de permeabilidad baja. Además, es conveniente una dosis adicional de nitrógeno de acuerdo con el análisis de fertilidad del suelo y el estado del cultivo, aporque alto y siembra de variedades que toleren la humedad.

Descripción de los Grupos Homogéneos de Suelos y los Grupos de Humedad, con base en los cuales Cenicaña elaboró la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

H4 (Humedad alta). Incluye áreas con exceso de humedad superior a 600 mm/año con suelos de permeabilidad alta y también áreas con excesos entre 400 mm/año y 600 mm/año en donde predominan los suelos arcillosos de permeabilidad baja y relieve plano. En estos sitios es deseable la nivelación de precisión, surcos cortos (menores de 120 m de longitud), sistema de drenaje entubado combinado con drenaje topo, canales colectores abiertos y profundos y el uso de sistema de bombeo de aguas de drenaje en sitios con limitaciones para su evacuación por gravedad. También es conveniente el aporque alto, la siembra en el lomo de los surcos, siembra de variedades que toleren la humedad, aplicación suplementaria de nitrógeno de acuerdo con el análisis de fertilidad del suelo y el estado del cultivo; la cosecha debe realizarse sólo en periodos secos.
H5 (Humedad muy alta). Áreas con exceso de humedad superior a 600 mm/año en donde predominan los suelos arcillosos con permeabilidad baja a media y relieve plano. En este grupo es aún más conveniente la nivelación de precisión, surcos cortos (menores de 120 m de longitud). Es aconsejable un sistema de canales abiertos para el drenaje subterráneo combinados con drenajes topo. También se deben usar sistemas de canales colectores profundos, estaciones para el bombeo de aguas de drenaje interno y superficial en sitios con limitaciones para la evacuación por gravedad. Se justifica además el aporque alto, la siembra en el lomo de los surcos, siembra de variedades que toleren la humedad, aplicación suplementaria de nitrógeno de acuerdo con el análisis de fertilidad del suelo y el estado del cultivo. La cosecha debe ser manual y sólo en los periodos secos.

Identificación de los patrones espectrales de los suelos en el valle del río Cauca

Paulo José Murillo S., Javier Carbonell G., Ernesto Bastidas-Obando*



Resultados preliminares
y conclusiones finales
de los proyectos
de investigación
científica y tecnológica
de Cenicaña

Introducción

La espectrorradiometría involucra la medición de la energía reflejada por un cuerpo de acuerdo con su longitud de onda, de manera que para cualquier objeto se puede obtener un patrón espectral característico y único, con ventajas para su caracterización y discriminación, mediante un procedimiento no destructivo, rápido y económico.

A partir de este principio y con el propósito de iniciar la construcción de una librería espectral de los suelos que se encuentran en el valle del río Cauca, durante 2007 Cenicaña realizó una investigación preliminar para la caracterización radiométrica de los suelos y el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (Carbonell *et al.*, 2007). El trabajo se llevó a cabo con el apoyo financiero de la Unión Europea y el Instituto Geográfico Agustín Codazzi en el marco del proyecto "Mejora de los sistemas de cartografía del territorio colombiano" (ver <<http://ue.igac.gov.co/>>).

La construcción de una librería espectral de suelos es el primer paso para verificar si los patrones espectrales obtenidos de los diferentes suelos pueden ser caracterizados y discriminados. A su vez, posibilita estimar la composición mineralógica, lo que permite inferir características físicas y químicas de los suelos. De igual forma, ofrece un soporte científico y documental para la comparación y el intercambio con librerías espectrales generadas por otras instituciones nacionales e internacionales.

En la última década (1997-2007), los trabajos de mapeo de suelos y su discriminación a partir de medidas de laboratorio, campo e imágenes satelitales han tenido un incremento notable (Demattê *et al.*, 2000 y 2004; Ben-dor *et al.*, 2000; Dunn *et al.*, 2002). Con estos trabajos se han revelado las regiones del espectro electromagnético que correlacionan con ciertas características mineralógicas de los suelos y algunas condiciones de forma (pendiente, concavidad y absorción), regiones que denotan mayor o menor presencia de minerales en el patrón espectral.

Brasil es el país de Sur América pionero en el uso de medidas espectrales de laboratorio para la evaluación y caracterización de suelos. La gran extensión de su territorio dificulta la realización de estudios de suelos convencionales debido a los costos y al tiempo requeridos, lo cual ha posibilitado el empleo de estrategias alternativas e innovadoras.

En el estado de Sao Paulo, Demattê *et al.* (2004) desarrollaron una metodología para la evaluación de diferentes tipos de suelo a partir de medidas en laboratorio con un espectrorradiómetro IRIS (*Infrared Intelligent Spectroradiometer*) (GER, 1996). Los suelos pueden ser discriminados de acuerdo con la intensidad de su reflectancia espectral y la magnitud de absorción en algunas regiones espectrales.

También se ha estudiado la influencia de la vinaza en el patrón espectral del suelo, y se ha mostrado que su aplicación al suelo incrementa los contenidos de calcio y potasio en éste, con lo cual aumenta significativamente la reflectancia espectral del suelo a lo largo del espectro electromagnético entre los 400 nm y los 2500 nm (Demattê *et al.*, 2004a).

Comparaciones entre mapas de suelos generados a partir de imágenes satelitales y aéreas, y mapas generados con métodos convencionales, han mostrado buena correspondencia (Demattê *et al.*, 2004b; Ben-dor *et al.*, 2002); sin embargo, la presencia de vegetación afecta el patrón espectral del suelo, lo que dificulta la identificación de éste y su caracterización mineralógica (Pizarro *et al.*, 2001).

* Respectivamente: Ingeniero Topográfico, Analista Percepción Remota de Cenicaña <pjmurillo@cenicana.org>; Ingeniero Agrícola M.Sc., Superintendente de la Estación Experimental de Cenicaña <jacarbonell@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo M.Sc., vinculado a Cenicaña durante el desarrollo del proyecto "Caracterización radiométrica de los suelos y el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca" <ebastidaso@unal.edu.co>.

A continuación se presentan los aspectos metodológicos y los resultados de la caracterización radiométrica de los suelos del valle del río Cauca realizada por Cenicaña en 2007.

Materiales y metodología

Se presentan la localización del área de estudio y las metodologías para la recolección de las muestras de suelo, la adquisición de datos espectrales, la estimación del contenido de minerales y los análisis de laboratorio.

Área de estudio

El área de estudio corresponde a la región azucarera del valle del río Cauca, en los departamentos de Cauca, Valle del Cauca, Risaralda y Caldas, entre los 3° y 5° de latitud norte y los 76°22' y 75°31' de longitud oeste.

Para la construcción de la librería espectral fueron seleccionados nueve suelos correspondientes a los subgrupos Typic Haplusterts, Pachic Haplustolls, Fluventic Haplustolls, Vertic Endoaquepts, Chromic Endoaquepts, Aeris Endoaquepts, Aeris Endoaquepts, Udic Haplustolls y Typic Palehumults (Cuadro 1). Los cuatro primeros suelos son importantes por el área que ocupan en el valle del río Cauca y solo acerca de ellos se presentan los resultados a continuación. Los suelos fueron identificados mediante estudios detallados (IGAC, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b).

Cuadro 1. Suelos del valle del río Cauca seleccionados para su caracterización radiométrica (2007).

Suelo	Clasificación taxonómica	Área (ha)
Corintias	Typic Haplusterts	24,537
Palmira	Pachic Haplustolls	13,955
Manuelita	Fluventic Haplustolls	11,923
Juanchito	Vertic Endoaquepts	5,108
Río de Janeiro	Chromic Endoaquepts	2,712
Catorce	Aeris Endoaquepts	2,327
Cascajal	Aeris Endoaquepts	2,135
Sinai	Udic Haplustolls	2,858
Caloto	Typic Palehumults	423

Recolección de muestras

Para la caracterización de cada suelo fueron seleccionados un total de cuatro sitios donde se tomaron, de forma sistemática, 11 muestras; es decir que el patrón espectral de cada suelo se basó en un total de 44 muestras.

Las muestras fueron recogidas del primer horizonte del perfil, entre 5 cm de profundidad y 15 cm. Fueron puestas a secar por 24 horas a 50°C y luego se molieron y tamizaron usando un tamiz manual WWR Scientific #25 (710µm).

Adquisición de datos espectrales

Las 176 muestras de los suelos Corintias (Typic Haplusterts), Palmira (Pachic Haplustolls), Manuelita (Fluventic Haplustolls) y Juanchito (Vertic Endoaquepts) fueron evaluadas en el espectrofotómetro Nir FOSS modelo 6500. La mediana fue considerada el patrón representativo de cada suelo. El programa para la construcción de la librería fue ENVI 4.3 (*Environment for Visualizing Images*). Los valores de absorbancia entregados por el espectrofotómetro fueron convertidos en reflectancia usando la ecuación siguiente (Dunn *et al.*, 2002):

$$R = \text{Antilog}(-A)$$

donde

R: reflectancia

A: absorbancia

Los patrones espectrales de los minerales fueron tomados de librerías espectrales ya construidas. Estas librerías espectrales tienen un acceso libre y algunas, como U.S Geological Survey (USGS), Johns Hopkins University y Jet Propulsion Laboratory se encuentran disponibles en el programa ENVI 4.3.

Estimación del contenido de minerales en los suelos

El patrón espectral de un suelo está compuesto por cuatro factores: materia orgánica, humedad, contenido de minerales y textura.

Luego de que la muestra es secada y tamizada, el patrón espectral es influenciado principalmente por la composición mineralógica del suelo. La estimación de los minerales se hizo a través del modelo *Linear Spectral Unmixing* (LSU). Este modelo supone que el patrón espectral de un objeto, en este caso el suelo, es la combinación lineal de los patrones espectrales de cada uno de los minerales que lo componen, por ejemplo:

$$f_{\text{suelo}} = f_{\text{mineral 1}} \cdot C_{\text{mineral 1}} + f_{\text{mineral 2}} \cdot C_{\text{mineral 2}} + \dots + E$$

donde

f_{suelo} : patrón del suelo.

$f_{\text{mineral 1}}$, $f_{\text{mineral 2}}$: patrones espectrales de minerales.

$C_{\text{mineral 1}}$, $C_{\text{mineral 2}}$: abundancia de minerales.

E : error.





Para obtener el patrón espectral de los suelos se recogieron muestras del primer horizonte del perfil (5-15 cm de profundidad) y en el laboratorio de Cenicaña se usó un espectrofotómetro.

Cuarenta y cuatro muestras de cada uno de los suelos fueron evaluadas en el equipo Nir FOSS modelo 6500. La mediana fue considerada como el patrón representativo de cada suelo.

Como se tiene el patrón espectral del suelo y el de diversos minerales tomados de librerías espectrales ya construidas, es posible conocer los contenidos de cada mineral en el patrón del suelo de interés.

Los resultados obtenidos a partir del modelo LSU fueron comparados con los análisis de laboratorio, donde los minerales fueron agrupados en finos y gruesos. Para la identificación de las arcillas, que corresponden al material fino, se usaron las longitudes de onda entre 1100 nm y 2500 nm, mientras que para los minerales de material grueso se tomó el espectro desde 400 nm hasta 2500 nm.

Análisis de suelos

Para validar el modelo se realizaron análisis mineralógicos de arcillas usando un difractor de rayos X y análisis de arenas utilizando un microscopio petrográfico; ambos procedimientos fueron ejecutados en el Laboratorio de Suelos del IGAC.

Es importante aclarar que para estos análisis se trabaja con material fino para arcillas y grueso para arenas y que la evaluación en el espectrofotómetro involucró ambos materiales.

Resultados y discusión

En la Figura 1 se muestran los patrones espectrales de los suelos Juanchito y Corintias. Las diferencias en reflectancia se deben fundamentalmente a la influencia de atributos tales como los contenidos de materia orgánica, hierro, arenas, limos y la presencia de minerales (Demattê *et al.*, 2004). La absorción en la región de 1400 nm se debe a la presencia de grupos OH⁻; la fuerte absorción en la región de 1900 nm indica la presencia de minerales 2:1 como micas, vermiculitas y montmorillonitas; por su parte, la caolinita tiene una absorción característica en la región de los 2200 nm.

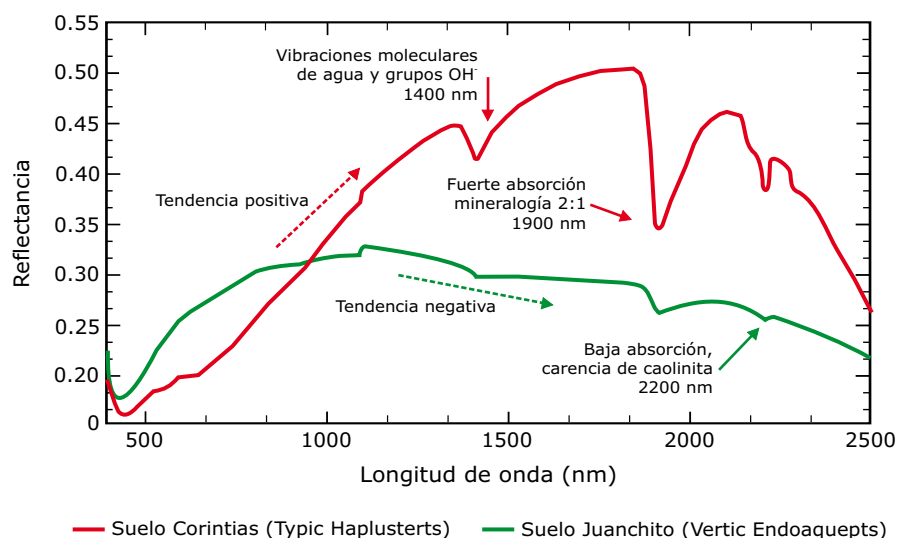


Figura 1. Comparación descriptiva de los patrones espectrales de dos suelos.

Las comparaciones entre el modelo LSU y los análisis de laboratorio mostraron que el suelo Juanchito está dominado en su totalidad por la presencia de vermiculita. Las estimaciones de clorita para los suelos Manuelita (20%), Palmira (30%) y Juanchito (5%) fueron adecuadas, mientras que para el suelo Corintias no se obtuvo correspondencia en la estimación.

Las arcillas 1:1 como caolinita tuvieron poca presencia en los análisis y en el modelo espectral. Su estimación para el suelo Palmira fue acorde con los resultados de laboratorio reportados por el IGAC (8%), de igual forma para el suelo Juanchito (1%), pero para los suelos Manuelita y Corintias la correspondencia en sus porcentajes disminuyó. Los suelos Palmira, Manuelita y Corintias presentaron dominancia de montmorillonitas en el análisis mineralógico pero en el modelo primaron las vermiculitas (Figura 2 y Cuadro 2). Lo anterior se debe a que las arcillas 2:1

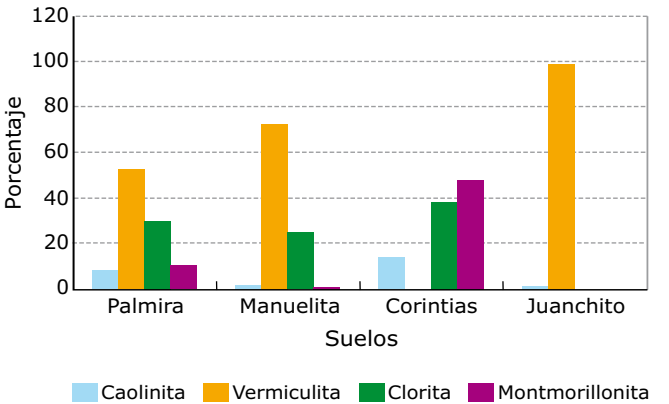


Figura 2. Abundancia de arcillas en cuatro suelos, estimada con el modelo *Linear Spectral Unmixing* (LSU). Fuente: Carbonell *et al.*, 2007.

Cuadro 2. Análisis de arcillas en cuatro suelos usando un difractómetro de rayos X. Fuente: Laboratorio de suelos del IGAC.

Mineral	Contenido de arcillas en suelos ¹			
	Palmira	Manuelita	Corintias	Juanchito
Montmorillonita	++++	++++	++++	-
Clorita	++	+++	?	tr
Vermiculita	?	?	tr	++++
Micas (hidratadas)	tr	tr	-	tr
Caolinita	+	++	?	?
Gibbsite	tr	tr	-	tr
Cuarzo	tr	tr	tr	+
Feldespato	tr	tr	tr	tr

1. Calificación: ++++ significa dominante (>50%); +++, abundante (30-50%); ++, común (15-30%); +, presente (5-15%); tr, trazas; ?, dudoso.

como montmorillonitas y vermiculitas tienen una absorción similar en la misma región espectral (Demattê *et al.*, 2004); esto surge la necesidad de un refinamiento mayor del modelo espectral.

En el grupo de materiales gruesos, las comparaciones de los resultados del modelo con los análisis de arenas para los diferentes tipos de suelos tuvieron una buena correspondencia. Los suelos Palmira y Manuelita presentaron altos contenidos de cuarzo (Figura 3), corroborados por el análisis de laboratorio (Cuadro 3), mientras que lo contrario sucedió con los suelos Corintias y Juanchito. La estimación de piroxenos, opacos y alterados fue excelente para todos los suelos, pero el feldespato fue sobreestimado para los suelos Corintias y Juanchito. Lo anterior se debió posiblemente a que el agrupamiento de los minerales representativos de los feldespatos no fue el adecuado.

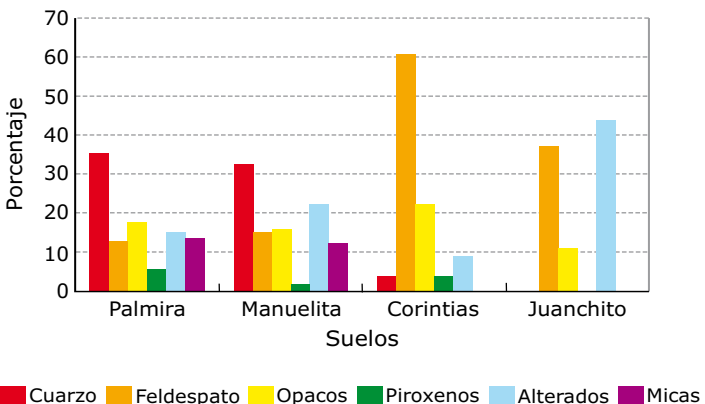


Figura 3. Abundancia de arenas en cuatro suelos, estimada con el modelo *Linear Spectral Unmixing* (LSU). Fuente: Carbonell *et al.*, 2007.

Cuadro 3. Análisis de arenas en cuatro suelos usando un microscopio petrográfico. Fuente: Laboratorio de suelos del IGAC.

Mineral	Contenido de arenas en suelos (%)			
	Palmira	Manuelita	Corintias	Juanchito
Cuarzo	27	32	20	16
Feldespato	10	9	11	8
Anfibol	8	7	tr ¹	4
Epidota	8	10	tr	tr
Opacos	16	15	29	13
Piroxeno	13	5	tr	tr
Alterados	18	22	39	58

1. tr significa trazas.

La comparación entre los resultados del modelo y los análisis de arcillas y arenas muestra que si bien existe buena correspondencia en algunos suelos, también existe confusión en la estimación de varios minerales, lo cual justifica continuar el refinamiento del modelo para la caracterización mineralógica precedente del patrón espectral. Esta caracterización puede mejorar si los minerales de entrada al modelo son evaluados en el mismo espectrorradiómetro, pues los empleados en este análisis fueron tomados de librerías espectrales, donde el tamaño de la partícula y el espectrorradiómetro para la evaluación son diferentes, lo cual afectó la caracterización mineralógica.

Es necesario continuar con la construcción de la librería espectral de los suelos en el valle del río Cauca, evaluando no solo el primer horizonte sino, además, tomando muestras a diferentes profundidades, con el objetivo de elaborar una caracterización más completa de los suelos e identificar su variabilidad.

Conclusiones y recomendaciones

Las metodologías desarrolladas para el muestreo en campo y laboratorio son útiles para obtener información sobre los suelos de una forma rápida y económica.

La construcción de una librería espectral es el primer paso para conocer y discriminar diferentes tipos de suelos mediante el uso de técnicas de radiometría. Las librerías son útiles para estimar componentes mineralógicos de los suelos, lo que permite identificar características físicas y químicas de éstos, por ejemplo, en regiones geográficas con potencial para la siembra de caña de azúcar.

Los patrones espectrales de los suelos sirven para complementar y visualizar información de estudios detallados de suelos. Los pedólogos podrían emplear esta herramienta no solo como apoyo sino como una nueva tecnología para el estudio de los suelos de acuerdo con su reflectancia espectral, cuantificando elementos por medio de modelos de regresión.

Referencias bibliográficas

- Ben-dor, E.; Patkin, K.; Banin, A. y Karnieli, A. 2002. Mapping of several soil properties using DAIS-7915 hyperspectral scanner data. A case study over clayey soils in Israel. *International Journal of Remote Sensing*. 23, 6. (jun.): 1043-1062.
- Carbonell González, J.; Bastidas-Obando, E. y Murillo Sandoval, P.J. 2007. Caracterización radiométrica de los suelos y del cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Informe final. Contrato No.1969 Unión Europea-Cenicaña. Cenicaña, Cali, Colombia. 224 p. CD-ROM.
- Dunn, B.W.; Beecher, H.G.; Batten, G.D. y Ciavarella, S. 2002. The potencial of near-infrared reflectance spectroscopy for soil análisis. A case study the Riverine Plain of south-eastern Australia. *Australian Journal of Experimental Agriculture*. 42, 8. (ago.): 607-614.
- Demattê, J.A.M.; Huete, A.R.; Ferreira Jr., L.G.; Alves, M.C.; Nanni, M.R. y Cerri, C.E. 2000. Evaluation of tropical soils through ground and orbital sensors. Vol. 2, p.35-42. En: *Internacional Conference Geospatial Information in Agriculture and Forestry*, 2. Proceedings. Lake Buena Vista, Florida, EUA. 10-12 Jan., 2000, Lake Buena Vista, EUA.
- ; Camposa, R.C.; Alves, M.C.; Fiorio, P. y Nanni, M.R. 2004. Visible-NIR reflectance: a new approach on soil evaluation. *Geoderma*. 121, 1-2. (jul.): 95-112.
- ; Gama, A.P.; Cooper, M.; Araújo, J.C.; Nanni, M.R. y Fiorio, P. 2004a. Effect of fermentation residue on the spectral reflectance properties of soils. *Geoderma*. 120, 3-4. (jun.): 187-200.
- ; Genu U., A.M.; Fiorio, P.R.; Ortiz, J.L.; Mazza, J.A. y Lissoni Leonardo, H.C. 2004b. Comparison between soil maps obtained by spectral remote sensing and conventional method. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 39, 12. (dec.): p.1219-1229. Disponible en <<http://www.scielo.br/scielo.php>> consultado el 10-12-2007.
- García S., A.; Fino R., W.; Velásquez U., F.; Revelo D., C.; Restrepo P., H. y Ochoa S., W. 2007. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar localizadas en el valle geográfico del río Cauca. Ingenio Central Tumaco. CD-ROM.
- ; Fino R., W.; Velásquez U., F.; Revelo D., C.; Restrepo P., H.; Ochoa S., W. y Contreras T., G.A. 2007a. Estudio detallado de suelos, clasificación taxonómica, clasificación por capacidad de uso de las tierras y conformación de grupos de manejo de las tierras sembradas con caña de azúcar. Ingenio Risaralda. CD-ROM.
- ; Fino R., W.; Velásquez U., F.; Revelo D., C.; Restrepo P., H.; Ochoa S., W. y Contreras T., G.A. 2007b. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar localizadas en el valle geográfico del río Cauca. Ingenio Riopaila. CD-ROM.
- GER (Geophysical Environmental Research). 1996. *Geophysical Environmental Research Mark V dual gild of View Iris Manual*. Version 1.3. Milbook. New York. 63 p.
- IGAC (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 2006. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. IGAC, Bogotá D.C., Colombia. Informe general. 1005 p. CD-ROM.
- Pizarro, M.A.; Epiphanyo, J.C.N. y Galvão, L.S. 2001. Mineralogical characterization of tropical soils by hyperspectral remote sensing. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, 36, 10. (oct.): 1277-1286p.

Observaciones acerca de la mosca *Salpingogaster nigra* Schiner (Diptera Syrphidae) como predador de ninfas del salivazo *Aeneolamia varia*

Luz Adriana Lastra B.; Luis Antonio Gómez L.; Ulises Castro V.*



La hembra de la mosca
oviposita en la espuma
donde se encuentra
la ninfa del salivazo.

Introducción

Salpingogaster nigra es una mosca que en su estado de larva se alimenta de las ninfas de salivazo. Está presente en Colombia y en otros países de América, donde ha sido reconocida como un enemigo natural de todas las especies de salivazo de la raíz y de los pastos (Mendonça, *et al.*, 2005).

Esta mosca con apariencia de avispa es abundante en las áreas de influencia de los ingenios Providencia, Carmelita y Sancarlos en el valle del río Cauca, razón por la cual Cenicaña adelanta estudios preliminares con el objetivo de determinar su actividad benéfica como un posible agente de control biológico para disminuir las poblaciones del salivazo *A. varia*.

Para la producción de los estados biológicos de la mosca en condiciones de laboratorio es necesario disponer de un huésped para alimentar el estado inmaduro del insecto benéfico. Con este fin, en la Estación Experimental de Cenicaña se está estableciendo una colonia del salivazo *Zulia carbonaria* usando como planta huésped el pasto *Brachiaria ruziziensis* Ciat 654, de manera que se pueda contar con una cría permanente de ninfas que sirvan como presa de la mosca. En el proceso se ha contado con la experiencia del Programa de Entomología de Forrajes del Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat), que además de entrenamiento le ha proporcionado a Cenicaña las macetas iniciales sembradas con *Braquiaria* e infestadas con ninfas de salivazo, así como la semilla para la multiplicación del pasto. Se usa *Z. carbonaria* debido a que esta especie se encuentra distribuida ampliamente en el valle del río Cauca, mientras que *A. varia* está confinada al área comprendida entre los municipios de Buga y Tuluá.

Con la colonia de salivazo será viable producir los estados biológicos de la mosca para iniciar los ensayos de investigación acerca de su biología, comportamiento, reproducción con respecto al consumo de ninfas y actividad benéfica.

* Respectivamente: Bióloga-Entomóloga, Investigadora Temporal <lalastra@cenicana.org>. Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Entomólogo <lagomez@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, M.Sc., Entomólogo II. Todos de Cenicaña.



En las hembras de *S. nigra* (arriba), la terminación del abdomen es más aguda que en los machos (abajo).



Comportamiento del adulto en el campo

Los adultos de la mosca se desplazan por los callejones de las suertes de caña en busca de ambientes húmedos, frescos y sombreados. Se posan en las plantas de caña y en malezas que crecen en los canales de riego y los callejones, cuyas flores son fuente de néctar y polen.

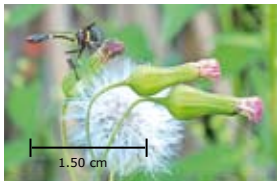
Descripción morfológica del adulto

El adulto de *S. nigra* tiene el aspecto de una avispa, por su colorido y su similitud en la forma del cuerpo. No obstante, se puede diferenciar a simple vista porque posee sólo un par de alas y además tiene las antenas más cortas y los ojos son más grandes que las avispas.

El cuerpo del adulto de *S. nigra* mide aproximadamente 1.5 centímetros de largo y es de color negro con dos bandas amarillas en la frente, dos en los costados del tórax y una en el tercer segmento tarsal de todas las patas.

Se puede identificar su sexo rápidamente por diferencias en los ojos y en la terminación del abdomen.

En las hembras, los ojos se juntan en la parte dorsal y la terminación del abdomen es más aguda que en los machos (ver fotografías, izquierda).

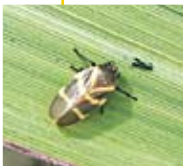


El cuerpo del adulto de *S. nigra* mide 1.50 centímetros de largo, aproximadamente.

Cuando la larva de la mosca eclosiona, comienza a alimentarse de la ninfa del salivazo hasta matarla.



Salivazo *Aeneolamia varia*



En junio de 2007 se detectó por primera vez en la caña de azúcar sembrada en el valle del río Cauca el salivazo identificado como *Aeneolamia varia*, insecto que apareció en focos localizados donde los síntomas de daño eran visibles. Luego de un mes de rastreos se determinó que la plaga estaba distribuida en cerca de 20,000 hectáreas concentradas entre los municipios de Buga y Tuluá.

El área fue declarada en emergencia sanitaria por parte de las autoridades competentes. En los campos afectados se comenzaron a usar trampas adherentes para la captura de adultos y labores culturales para el control de ninfas, al tiempo que se establecieron actividades de limpieza de los equipos agrícolas y restricciones de movilidad de suelo y material vegetal para evitar la diseminación del insecto hacia otras zonas. Adicionalmente, se instauraron programas de muestreo para estimar el porcentaje de infestación de la plaga a fin de aplicar insecticidas como estrategia de choque en los sitios donde las poblaciones alcanzan el umbral de daño económico establecido internacionalmente (Gómez, 2007).

A. varia es considerada la plaga más dañina del cultivo de la caña de azúcar en Venezuela y de los pastos para ganadería en los Llanos Orientales de Colombia y en el piedemonte de la Orinoquia y la Amazonia (Linares y Salazar, 2007; Peck, 2001).

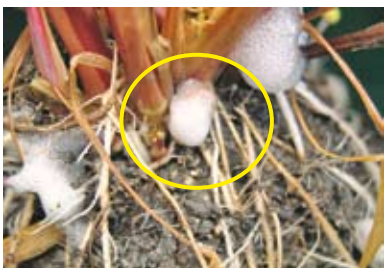


En las áreas de los ingenios Carmelita, Providencia y Sancarlos, donde se ha declarado la emergencia sanitaria por la presencia del salivazo *A. varia* en cultivos de caña de azúcar, Cenicaña hace observaciones de campo y recolecciones sistemáticas de adultos de la mosca *S. nigra*, que con frecuencia se posan en las flores de las malezas circundantes en busca de néctar y polen. El objetivo es conocer el comportamiento de la mosca y su actividad benéfica como posible agente de control biológico para disminuir las poblaciones del salivazo.

En el invernadero, la hembra de *S. nigra* ovipositó sobre la espuma de *Z. carbonaria*, especie de salivazo utilizada para las evaluaciones.



La larva de *S. nigra* depreda la ninfa del salivazo y luego se desplaza en busca de otras ninfas.



Fotos: Luz Adriana Lastra B.

Comportamiento reproductivo de la hembra

En el invernadero de Cenicaña, en una jaula de aluminio se liberaron 120 individuos de *S. nigra* provenientes de cinco recolecciones realizadas en el campo en un período de dos meses. Se les suministró como alimento azúcar granulado, flores del pasto *Echinochloa* y agua. Los adultos permanecieron en la jaula vivos hasta por dos semanas y se observaron copulando y muy activos.

El 12.5% de los adultos capturados fueron hembras, que después de la cópula se colocaron junto a las macetas sembradas con *Braquiaria* e infestadas con *Z. carbonaria*. Se observó que las hembras de la mosca caminaban sobre la tierra en busca de la espuma, ovipositando donde estaban las ninfas del salivazo.

Cuando la larva eclosiona del huevo se desplaza con facilidad buscando la saliva y dentro de ésta, la ninfa. La larva se adhiere a la ninfa para succionar sus líquidos, matándola en poco tiempo. Luego se desplaza en busca de más ninfas.

Referencias bibliográficas

- Gómez L., L.A. 2007. Manejo del salivazo *Aeneolamia varia* en cultivos de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Carta Trimestral. 29, 2-3 (Abr-Sep.):10-17
- Linares, B.; Salazar, J. 2007. Candelilla; salivazo de la caña de azúcar *Aeneolamia varia* (Fabricius). Disponible en <<http://www.plagas-agricolas.info.ve/fichas/ficha.php?hospedero=285&plaga=161>> consultado el 12-12-2007.
- Lapointe, S.L.; Sotelo, M.S.; Serrano, M.S.; Arango, G. 1989. Cría masiva de especies de Cercópidos en invernadero. Pasturas Tropicales, v.11 (3). Pp: 25-28
- Mendonça, A.F.; Flores, S.; Sáenz, C.E. 2005. Cigarrinhas da cana-de-açúcar na América Latina e Caribe. p.51-94. En: Cigarrinhas da cana-de-açúcar. Controle biológico. Mendonça, A.F. (ed.). Insecta. Maceió, Brasil. p.317.
- Peck, D. 2001. Diversidad y distribución geográfica del salivazo (Homoptera: Cercopidae) asociado con gramíneas en Colombia y Ecuador. Revista Colombiana de Entomología 27 (3-4):129-136.

Evaluación de la compactación causada por vagones de transporte a través de la superficie de contacto suelo-llanta en el Ingenio Carmelita S.A.

Luis A. Rodríguez; Jaime A. Urbano; Walter Montoya; Napoleón Bernal; Oscar Chaparro; Diego F. Escobar*

Introducción

La compactación es definida como la compresión de una masa de suelo hasta lograr un volumen menor e incrementar la densidad, como resultado de las presiones externas aplicadas (Jorajuría, 2005). En suelos cultivados con caña de azúcar, la compactación es causada principalmente por el tráfico de equipos durante la cosecha y afecta la condición física del suelo, el desarrollo del cultivo y finalmente la producción. Torres y Villegas (1993) encontraron reducciones en producción hasta de 10% cuando el tráfico se mantuvo confinado al entresurco y reducciones hasta de 45% cuando se presentó tráfico directo sobre la cepa.

La compactación está directamente relacionada con las llantas y el suelo. Su magnitud y profundidad dependen de variables como el área de contacto suelo-llanta, la presión de inflado, la rigidez de la llanta y la carga estática sobre la llanta; también de factores del suelo como la humedad, la textura y la consistencia.

Las llantas son de mayor importancia cuando el tráfico se realiza sobre superficies de características que son muy diferentes entre sí. En el campo se deben preferir las llantas de alta flotación que, comparadas con las llantas convencionales, son regularmente de mayor sección y volumen de aire y pueden trabajar a menor presión de inflado, generando mayor superficie y menor presión de contacto con el suelo. En callejones y vías pavimentadas, los requerimientos son opuestos para disminuir la resistencia al rodado y evitar el deterioro rápido de las llantas.

La compactación suele evaluarse en función de los cambios ocasionados en algunas propiedades físicas del suelo como la densidad aparente, la porosidad, la infiltración y la conductividad hidráulica. El presente trabajo se realizó para comparar la compactación inducida en el suelo por tres tipos de llantas utilizadas en vagones tipo Milenio durante la cosecha mecanizada en el Ingenio Carmelita. Se efectuaron trabajo de taller para determinar cargas y superficies de contacto y

trabajo de campo para medir la compactación durante la cosecha. El suelo se caracterizó a través de la prueba de Proctor y los límites de consistencia. A presiones de inflado de 240 kPa y 310 kPa, el área total y la presión de contacto suelo-llanta mostraron diferencias significativas entre las llantas, con valores en los rangos de 1922 cm² a 2495 cm² y de 222 kPa a 269 kPa, respectivamente. Los resultados obtenidos en campo no son concluyentes debido a las diferencias en los contenidos de humedad del suelo en los puntos donde fue evaluada cada llanta.

Metodología

Se evaluaron tres tipos de llantas con desgaste similar, las cuales se designaron como llanta tipo 1 (600/55-26.5 TL), llanta tipo 2 (560/80D26) y llanta tipo 3 (600/55R26.5). El trabajo de toma de datos se dividió en tres fases: caracterización de las llantas con carga, realizada en el taller; caracterización del suelo en el lote de prueba antes de la cosecha; caracterización de la compactación causada. Para las pruebas de taller y campo se utilizaron tres vagones tipo Milenio, cada uno equipado con un juego completo de llantas de cada tipo y cargados con caña cosechada mecánicamente. Con cada juego de llantas se realizaron pruebas y mediciones a presiones de inflado de 240 kPa (35 psi) y 310 kPa (45 psi); estas presiones están en el rango utilizado en llantas de transporte de caña, que oscila entre 240 kPa y 345 kPa (35-50 psi).

Caracterización de las llantas

En el taller se determinó la carga sobre cada llanta de cada vagón utilizando una báscula portátil y se midió la deflexión vertical de las llantas ocasionada por las cargas. La banda de rodamiento de las llantas fue impregnada con aceite quemado y luego se obtuvieron las impresiones de las huellas sobre papel, para determinar en ellas la superficie de contacto. El ensayo se hizo con todas las llantas a las dos presiones de inflado (240 kPa y 310 kPa).

* Respectivamente: Ingeniero mecánico, Ph.D., Asesor en Mecanización Agrícola, Cenicaña <larodriguez@cenicana.org>; Ingeniero Agrícola, Investigador Temporal en Mecanización Agrícola, Cenicaña <jaurbano@cenicana.org>; Ingeniero Mecánico, Jefe de Taller Agrícola, Ingenio Carmelita S.A. <wmontoya@ingeniocarmelita.com>; Ingeniero Agrónomo, Ingeniero Técnico de Campo, Ingenio Carmelita S.A. <nbernal@ingeniocarmelita.com>; Ingeniero Mecánico, Ph.D., Profesor Universidad Nacional de Colombia sede Palmira <ochaparroa@palmira.unal.edu.co>; Estudiante de pregrado en Ingeniería Agrícola, Universidad Nacional de Colombia, Sede Palmira, en desarrollo de trabajo de grado en el Ingenio Carmelita S.A.

Áreas de contacto. En las huellas impresas en papel se definieron y midieron dos áreas: el área total de la superficie de contacto suelo-llanta y el área de contacto de los tacos o bloques del grabado de la llanta (Figura 1).

Para la primera medición se delimitó el contorno de la huella uniendo los puntos externos de contacto y midiendo el área con un planímetro digital; la situación se presenta cuando la llanta se mueve sobre superficies deformables, como es el caso de suelos con cierto nivel de humedad en los que el taco o bloque penetra en el suelo. Para la segunda medición, correspondiente al área de los tacos, se delimitó el contorno de la huella de cada taco y se sumaron las áreas respectivas; la situación se presenta cuando las máquinas transitan sobre superficies duras, no deformables y ocurre en suelos secos de texturas finas o muy finas, en callejones y en carreteras.

Presiones de contacto. La presión de contacto determinada con cargas y superficies es el mejor indicador de la compactación que puede causar una máquina en el campo. Las presiones de contacto se determinaron relacionando la carga sobre la llanta con la superficie total y de tacos a las dos presiones de inflado.

Deflexiones de las llantas. La deflexión de una llanta bajo una carga determinada es un indicador de

la capacidad de deformación de la llanta. Este factor tiene relación con la rigidez de la llanta y con el cambio en la superficie de contacto por efecto de factores como la presión de inflado y la carga. Un cambio en la deflexión vertical involucra también cambios en la deflexión horizontal de los flancos de la llanta y en las áreas de contacto. El asentamiento de las llantas se midió simultáneamente con la carga para determinar la deflexión por unidad de carga, expresada en milímetros por tonelada (mm/t).

Caracterización del campo

La compactación causada por el conjunto tractor-vagón fue evaluada durante la cosecha mecánica. La medición se realizó en dos tablones de la suerte 23 de la hacienda La Carmelita del Ingenio Carmelita, suelo Corintias (Typic Haplusterts) de textura arcillosa, orden Vertisols, zona agroecológica 6H2. El lote de prueba se caracterizó antes de la cosecha mediante muestreos en cuatro calicatas para determinar la densidad aparente, el contenido de humedad y los límites de consistencia; se realizó la prueba de Proctor para determinar el contenido de humedad al cual el suelo alcanza su densidad aparente máxima.

Desde el punto de vista de la resistencia del suelo (resistencia a la compresión, resistencia al corte), la consistencia es un término que se utiliza para designar la manifestación de las fuerzas físicas de adhesión y

Huellas de contacto en superficie plana



Figura 1. Huellas de contacto de tres tipos de llantas sobre una superficie plana (impresión en papel) usando un vagón cargado con caña picada.

cohesión que actúan en el suelo a varios contenidos de humedad (Baver, 1956). La consistencia del suelo se determina a través de los límites de Atterberg: límite plástico superior (LPS), límite plástico inferior (LPI) e índice de plasticidad (IP). El índice de plasticidad es un indicador de la facilidad y respuesta del suelo en términos de mecanización; suelos con índices bajos ($IP < 5\%$) son de baja plasticidad y fácil manejo, mientras que suelos con IP alto ($> 10\%$) son generalmente de contenido de arcilla alto, plasticidad alta, manejo difícil y deterioro fácil, especialmente si se mecanizan cuando el grado de humedad es alto. La consistencia del suelo también se relaciona con el coeficiente de expansión lineal (COLE), que es un indicador de la expansión y la contracción de los suelos al humedecerse y al secarse (Montenegro y Malagón, 1990).

La compactación del suelo se manifiesta como un incremento en su densidad aparente, densificación que tiene un límite relacionado con el contenido de humedad del suelo; estos factores se relacionan mediante la prueba de Proctor que determina el contenido de humedad (óptimo) con el cual se alcanza la densidad máxima (compactación máxima).

Evaluación de la compactación durante la cosecha

Durante la cosecha mecanizada se realizan cuatro pases de máquinas sobre cada entresurco, dos pases de la cosechadora y dos pases del conjunto tractor-vagón. Esto hace difícil separar el efecto de los vagones, la cosechadora y el tractor, motivo por el cual se evaluó el efecto acumulado del tráfico de los equipos de cosecha sobre el suelo.

Al ingresar al campo, las llantas se calibraron a 310 kPa; una vez el vagón estuvo lleno de caña, se hizo transitar con dos de sus llantas en el fondo del entresurco y en ese sitio se construyó una calicata para el muestreo de humedad y densidad aparente y la medición de la resistencia a la penetración horizontal con un penetrómetro de mano. Luego las llantas se calibraron a 240 kPa para repetir el procedimiento. Las muestras para determinar la densidad aparente se tomaron entre 0-20 cm de profundidad, 20-40 cm y 40-60 cm. Las mediciones de resistencia a la penetración horizontal se hicieron cada 10 cm a lo ancho del entresurco y hasta los 60 cm de profundidad.

Resultados

Los resultados de este trabajo se refieren a la condición inicial del suelo y a las mediciones en el taller y el campo. Las condiciones de las llantas y los vagones fueron similares para los dos tableros pero, debido a las condiciones de drenaje, se presentaron diferencias en los contenidos de humedad del suelo en los sitios de medición.

Caracterización del suelo

Los límites de consistencia indican que se trata de un suelo de características plásticas y de manejo difícil, en el cual las fuerzas de adhesión y cohesión entre las partículas son significativas. Las determinaciones mostraron que el LPS fue de 73.5%; el LPI, de 36.2%; y el IP, de 37.3%. El coeficiente de expansión lineal (COLE) igual a 0.206 indica que el suelo se expande y se contrae fácilmente por efecto de los cambios de humedad y, además, que es muy susceptible a la compactación natural. En la prueba de Proctor se presentó una humedad óptima de 31% para una densidad aparente máxima en base seca de 1.42 g/cm^3 .

El contenido gravimétrico de humedad en el suelo antes de la cosecha fue de 44% en promedio, con diferencias grandes dentro del lote, mientras la densidad aparente fue de 1.19 g/cm^3 en promedio. Así como hubo zonas con humedades por debajo del LPI, donde el suelo es semisólido y por ello tiene buena capacidad de soporte y donde la compactación puede ser mayor pero menos profunda, también hubo zonas con humedades por encima del LPI, donde el suelo es plástico, tiene menor consistencia y es más propenso a la deformación y donde los esfuerzos creados en la masa de suelo pueden ser menores pero alcanzan mayor profundidad. Igualmente se observó que los contenidos de humedad del suelo al momento de la cosecha fueron superiores a la humedad óptima para compactación, lo cual implica el riesgo de causar deformaciones en la superficie.

Comportamiento de las llantas

La carga sobre las llantas varió entre 4.9 t (48 kN) y 6.1 t (59.5 kN). Esta diferencia se debe a la distribución de la carga en el vagón y al mayor peso del vagón en la parte delantera. La carga por eje osciló entre 10.1 t (99 kN) y 11.5 t (112.4 kN) y aunque los tres tipos de llantas operaron dentro de sus límites de capacidad de carga, el peso por eje fue demasiado alto si se compara con los límites de carga tolerables para evitar la compactación en el subsuelo; para vehículos con enllantado sencillo dicho límite es de 6 t/eje (58.8 kN/eje) y con enllantado dual puede llegar hasta 8 t/eje (78.4 kN/eje) (Keller y Arvidsson, 2004).

Los resultados de las mediciones realizadas en el taller se muestran en el Cuadro 1, donde se incluyen los promedios de las áreas de contacto, las deflexiones y las presiones de contacto sobre una superficie plana a presiones de inflado de 240 kPa y 310 kPa y donde la reducción de área o el incremento de presión de contacto suelo-llanta se refieren a cambios por efecto de la variación en la presión de inflado.

En la Figura 1 se muestran las huellas de los tres tipos de llantas, las cuales se utilizaron para definir y medir las áreas de contacto sobre una superficie plana.

Cuadro 1. Resumen de las mediciones realizadas con tres tipos de llantas instaladas en vagones cargados con caña cosechada mecánicamente, a dos presiones de inflado y sobre una superficie plana (promedios de cuatro llantas por tipo y vagón). Taller Agrícola del Ingenio Carmelita, 2007.

Variable	Unidad	Llantas evaluadas		
		Tipo 1	Tipo 2	Tipo 3
Área de contacto (total)				
A 240 kPa	cm ²	2222	2076	2495
A 310 kPa	cm ²	2011	1922	2172
Reducción de área ¹	cm ²	211	154	324
	%	9.5	7.4	13.0
Presión de contacto (total)				
A 240 kPa	kPa	236	250	222
A 310 kPa	kPa	262	269	255
Incremento de presión ¹	kPa	26	19	33
	%	11.0	7.6	14.9
Deflexión de las llantas				
A 240 kPa	mm/t	16.1	15.8	17.8
A 310 kPa	mm/t	15.2	15.0	16.8
Área de contacto (tacos)				
A 240 kPa	cm ²	940	857	1218
A 310 kPa	cm ²	905	773	1078
Reducción de área ¹	cm ²	35	84	140
	%	3.7	9.8	11.5
Presión de contacto (tacos)				
A 240 kPa	kPa	575	606	454
A 310 kPa	kPa	582	667	514
Incremento de presión ¹	kPa	7	61	60
	%	1.2	10.1	13.2

* La reducción del área de contacto o el incremento de la presión de contacto se refieren a cambios por efecto de las variaciones en la presión de inflado de las llantas (240 kPa y 310 kPa).

Se observa que el diseño de las llantas ha producido cambios en la geometría de la huella, pasando de huellas elípticas con el eje mayor en la dirección del desplazamiento a huellas de tendencia rectangular con una dimensión mayor perpendicular al desplazamiento. Estas llantas con mayor sección pueden generar mayor superficie de contacto, menor presión de contacto y menor profundidad de huella.

Con base en los datos del Cuadro 1, correspondientes al promedio de las cuatro llantas de cada vagón, se

pueden hacer algunas predicciones sobre el comportamiento de las llantas en el campo, a saber:

1. Entre los factores que influyen en el área de la superficie de contacto está la capacidad de deformación de la llanta por efecto de la carga, la cual depende además de la rigidez de la estructura de la llanta. Dicha área fue similar en los tres tipos de llantas, con variaciones en un rango muy pequeño (15 mm/t a 17.8 mm/t), y no hubo diferencias significativas en las deflexiones unitarias por efecto

del factor llanta ($p < 0.05$), así como tampoco se presentó diferencia significativa en el área de contacto por efecto de la deflexión unitaria.

2. La llanta tipo 3 presentó la mayor superficie de contacto con las dos presiones de inflado, así como la mayor reducción del área de contacto (13%) por efecto del incremento de la presión de inflado de 240 kPa a 310 kPa. Los datos muestran que desde el punto de vista de la menor compactación inducida, la llanta tipo 3 responde mejor a la reducción de la presión de inflado. Este hecho es importante ya que una de las alternativas para aminorar la compactación es disminuir la presión de inflado con el fin de incrementar la superficie de contacto. El área total de las llantas varió entre 1900 cm² y 2500 cm² y los valores más altos con ambas presiones de inflado correspondieron a la llanta tipo 3, como se muestra en la Figura 2, arriba; el análisis estadístico mostró que el área total de esta llanta difiere significativamente del área total de las otras llantas en prueba ($p < 0.05$).
3. Con respecto a la relación entre las áreas de contacto y las dimensiones de las llantas, se debe tener en cuenta que la llanta tipo 1 tiene menor ancho de sección, lo cual no la favorece en una comparación debido a que esta dimensión es un factor determinante de la superficie de contacto.
4. El factor más adecuado para la predicción de los niveles de compactación es la presión media ejercida sobre la superficie de contacto suelo-llanta (Figura 2, abajo). Las mediciones efectuadas muestran que la llanta tipo 3 debe generar menores presiones de contacto. La mayor influencia en este comportamiento la tiene el diseño radial de la llanta y en menor grado, su menor rigidez. La presión media de contacto para cada tipo de llanta con las presiones de inflado evaluadas osciló entre 222 kPa y 269 kPa (Cuadro 1); los valores más bajos con ambas presiones de inflado correspondieron a la llanta tipo 3 y el análisis estadístico mostró que las llantas tipo 2 y tipo 3 difieren significativamente ($p < 0.05$) por efecto de la presión en la superficie de contacto suelo-llanta. En general, las presiones de contacto causadas por los equipos de transporte de caña fueron muy altas como consecuencia del exceso de carga transportada en los vagones. Las presiones medias de contacto fueron superiores al límite de prevención de la compactación superficial (100 kPa) establecido para suelos que han ganado resistencia y que han sufrido algún asentamiento durante el secado (Spoor, *et al.*, 2003).
5. En el tráfico de vehículos de transporte sobre superficies duras adquiere importancia la superficie de contacto de los tacos o bloques de la llanta con

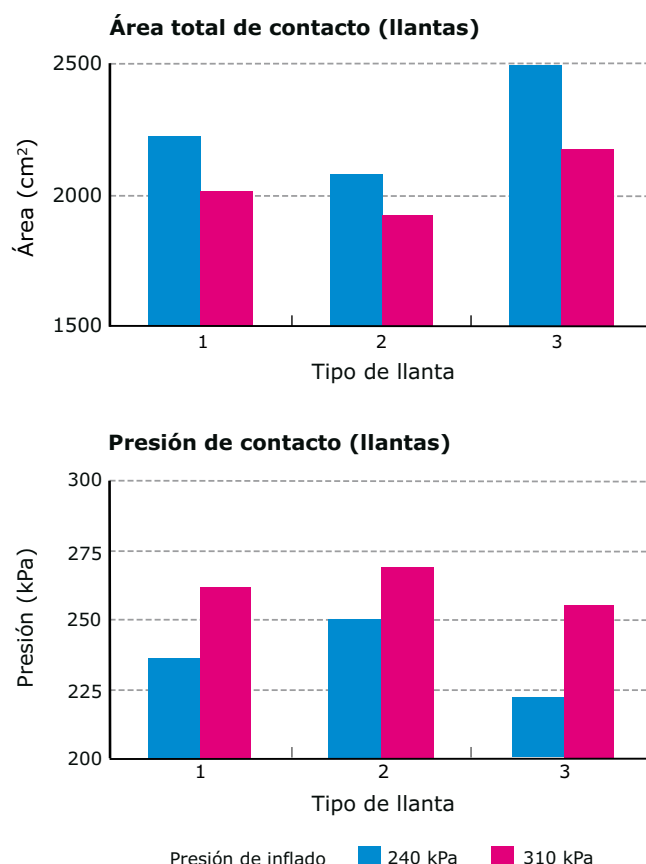


Figura 2. Área total de contacto y presión de contacto en la superficie suelo-llanta a dos presiones de inflado.

el piso. En la Figura 3 se muestran el área y la presión de contacto de los tacos o bloques de las llantas probadas. La superficie de contacto de los tacos disminuye al aumentar la presión de inflado, mientras que las presiones de contacto suelo-llanta varían en sentido inverso, tal como ocurre con la superficie total de contacto. El área de contacto de los tacos o bloques varió entre 857 cm² y 1217 cm², con valores más altos para la llanta tipo 3 a ambas presiones de inflado. Las diferencias en este factor están relacionadas con la forma geométrica del grabado: llantas con grabado en forma de barras o tacos alargados presentan menor área de contacto (tipo 2) que aquellas con diseño de bloques (tipos 1 y 3). Esto es importante en el transporte por carretera y en tráfico sobre superficies duras que no se deforman por su consistencia o su alto nivel de compactación. En dichas superficies, a mayor área de contacto con el suelo se ocasiona mayor resistencia a la rodadura. El análisis estadístico mostró diferencias significativas ($p < 0.05$) en las áreas de contacto de las tres llantas. Las menores presiones se presentaron con las llantas de los tipos 1 y 3 (Cuadro 1).

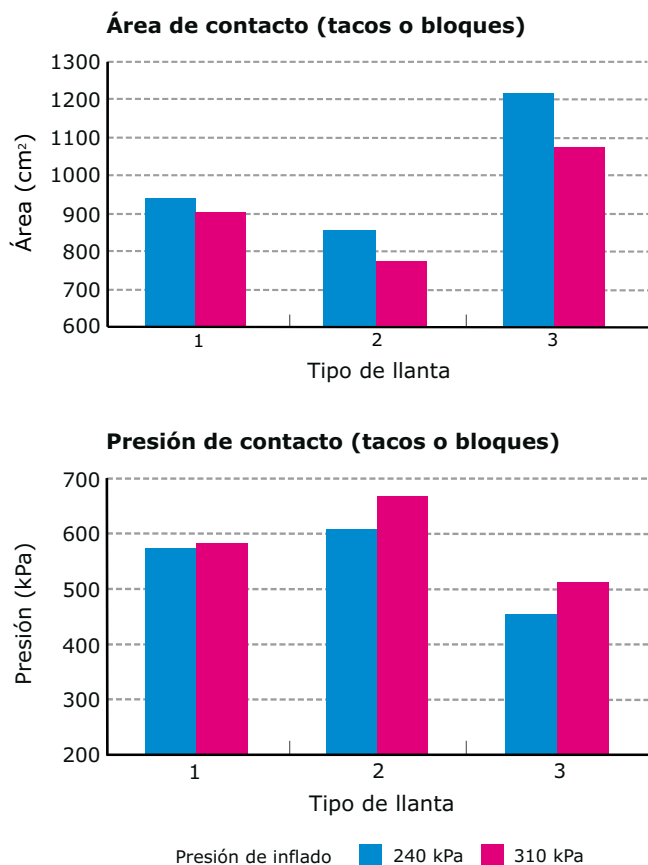


Figura 3. Áreas de contacto de tacos o bloques y presiones de contacto con tres tipos de llantas a dos presiones de inflado.

Mediciones en campo

El efecto de los equipos de cosecha en la compactación del suelo se evaluó por medio de la densidad aparente y la resistencia a la penetración horizontal. Los promedios de la densidad aparente (base seca) y la humedad en cada sitio de prueba se presentan en el Cuadro 2.

En la Figura 4 se muestran los promedios de la densidad aparente del suelo después de pasar los vagones cargados con caña y con llantas infladas a las presiones de prueba, a partir de muestras tomadas por triplicado a los 10 cm, 30 cm y 50 cm de profundidad. Las densidades variaron entre 1.2 g/cm³ y 1.4 g/cm³; la llanta tipo 3 resultó más favorable desde el punto de vista de la menor compactación inducida con ambas presiones de inflado al presentar menores valores en la densidad aparente, los cuales difirieron significativamente ($p < 0.05$) de los medidos para la llanta tipo 1. Estos datos concuerdan con los resultados de las pruebas en el taller, donde la llanta tipo 3 presentó mayores áreas de contacto y menores presiones en la superficie de interacción con el suelo.

Se debe recordar que la humedad del suelo no fue uniforme en todos los sitios de medición, por lo cual los resultados no son concluyentes; las mediciones se realizaron a contenidos de humedad del suelo entre 34% (llanta tipo 2 a 240 kPa) y 47.6% (llanta tipo 3 a 310 kPa). Hubo diferencias significativas en la humedad del suelo en los puntos de medición; se presentaron sitios de prueba muy cercanos al punto óptimo de humedad (31%) para densificación máxima según la

Cuadro 2. Densidad aparente (base seca) y humedad del suelo en cada sitio de prueba luego del tráfico de vagones equipados con tres tipos de llantas. Suerte 23 de la hacienda Carmelita, zona agroecológica 6H2. Ingenio Carmelita, 2007.

Tipo de llanta	Humedad (%)	Densidad aparente (g/cm ³)	
		A 240 kPa	A 310 kPa
1	35.3	1.25	1.33
2	34.2	1.35	1.24
3	47.6	1.15	1.14

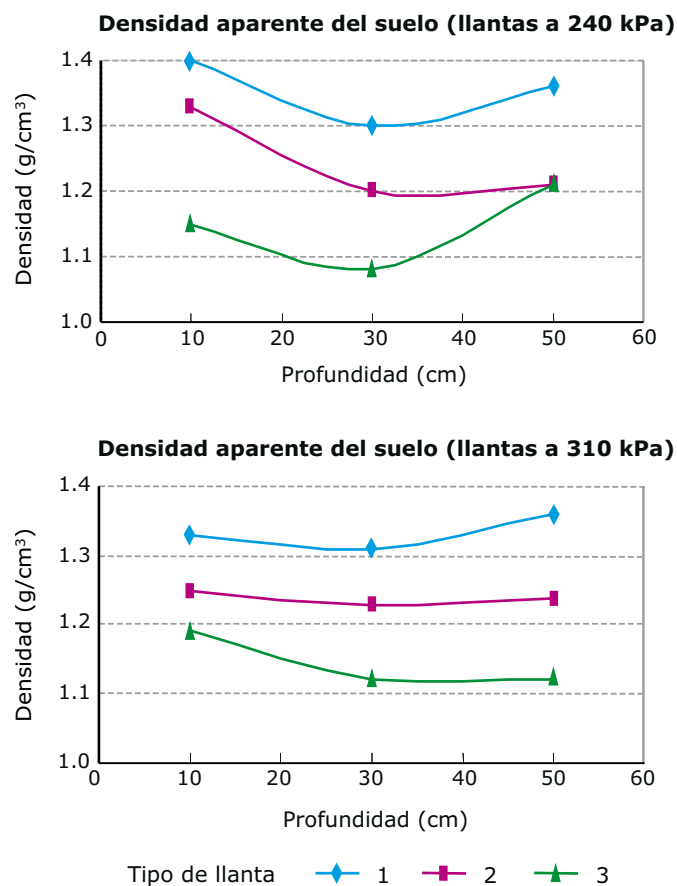


Figura 4. Densidad aparente del suelo (base seca) luego del tráfico de tres tipos de llantas con dos presiones de inflado.

prueba de Proctor, y sitios con 47.6% de humedad donde el suelo se densifica menos pero es más susceptible a la deformación por efecto de las cargas aplicadas.

En los puntos de prueba se realizaron mediciones de resistencia a la penetración horizontal bajo la huella de la llanta a cada presión de inflado. El contenido de humedad del suelo es también importante en la resistencia a la penetración, pues a medida que la humedad aumenta se maximiza el efecto negativo sobre el suelo y es mayor la profundidad de la zona afectada (Balbuena, *et al.*, 2000). Las mediciones de la resistencia a la penetración se muestran en la Figura 5, donde se observa la misma tendencia de variación a ambas presiones de inflado, con diferencias significativas entre los tipos de llantas ($p < 0.05$). Los resultados señalan que a 310 kPa, las llantas de los tipos 2 y 3 tuvieron un comportamiento muy similar, mientras que a 240 kPa la llanta tipo 3 fue la mejor alternativa, dados los menores valores de resistencia a la penetración en toda la profundidad evaluada.

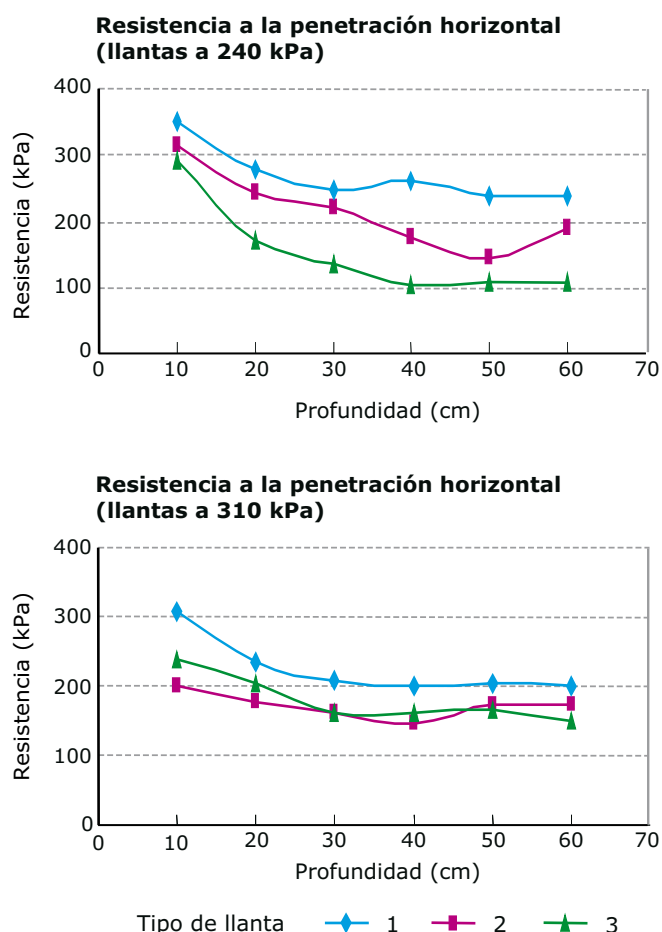


Figura 5. Variación de la resistencia a la penetración horizontal según la profundidad del suelo luego del tráfico de tres tipos de llantas a dos presiones de inflado.

Conclusiones y recomendaciones

1. En las condiciones de esta evaluación y teniendo en cuenta las consideraciones expresadas acerca de los datos obtenidos, se puede concluir que la causa principal de la compactación inducida en el suelo se debió en mayor proporción al efecto de la carga transportada por los vagones durante la cosecha, que generó presiones de contacto en la superficie suelo-llanta y cargas por eje superiores a las establecidas como límites preventivos de la compactación (100 kPa y 6 t/eje).
2. La llanta tipo 3 mostró las mejores características en cuanto a los indicadores de la compactación del suelo, debido a que el área de contacto suelo-llanta fue mayor y los valores de presión de contacto, resistencia a la penetración y densidad aparente fueron más bajos.
3. La determinación de los niveles de la compactación causada por el tráfico de la maquinaria agrícola debe ser documentada con mediciones previas de las condiciones del suelo, particularmente del contenido de humedad y la prueba de Proctor. Teniendo en cuenta estos datos se puede evitar que en las labores de cosecha se causen perjuicios mayores en el recurso suelo y en la producción del cultivo.
4. Es recomendable realizar las labores de cosecha en condiciones adecuadas de humedad para disminuir el efecto negativo del tráfico de la maquinaria agrícola en el suelo y, evitar el tránsito cuando la humedad del suelo se aproxime al valor óptimo con el cual se alcanza la densidad aparente máxima.

Referencias bibliográficas

- Balbuena, R.H.; Terminiello, A.M.; Claveirie, J.P.; Casado, J.P.; Marlats R. 2000. Compactación del suelo durante la cosecha forestal. Evolución de las propiedades físicas. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola y Ambiental. Vol.4, No.3. Pag. 453-459. Campiña Grande, Brasil.
- Baver, L.D. 1956. Soil physics. John Wiley and Sons. New York. USA
- Jorajuria, D. 2005. Compactación del suelo agrícola inducida por tráfico vehicular. Una revisión. En: Reología del suelo agrícola bajo tráfico. Editorial de la Universidad Nacional de La Plata. Buenos Aires. Argentina.
- Keller, T.; Arvidsson, J. 2004. Technical solutions to reduce the risk of subsoil compaction: effects of dual wheels, tandem wheels and tyre inflation pressure on stress propagation in soil. Soil and Tillage Research. Vol. 79. Pag. 191-205. Elsevier, Ámsterdam, The Netherlands.
- Montenegro, H.; Malagón, D. 1990. Propiedades físicas de los suelos. Instituto Geográfico Agustín Codazzi, IGAC. Bogotá. Colombia.
- Spoor, G.; Tijink, F.G.J.; Weisskopf, P. 2003. Subsoil compaction: risk, avoidance, identification and alleviation. Soil and Tillage Research. Vol.73. Pag. 175-182. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands.
- Torres, J.S.; Villegas, F. 1993. Differentiation of soil compaction and cane stool damage. Sugar Cane No. 1. Pag. 7-11. England.

Simulación de la logística de abastecimiento de caña utilizando el software Crystal Ball®

Luis G. Amú, Diego F. Cobo, Camilo H. Isaacs, Adolfo L. Gómez*

La administración logística de sistemas de abastecimiento en procesos continuos, como es el caso de la caña para azúcar y etanol, representa un reto cuando se trata de mejorar y mantener eficiencias integrales a partir de la coordinación entre las actividades agrícolas y los procesos industriales.

En el marco del proyecto CATE (corte de caña, alce, transporte y entrega de la materia prima a la fábrica) se ha desarrollado un modelo de simulación para la logística de cosecha, con el objetivo de analizar el comportamiento de las variables del sistema, desde el campo hasta la fábrica, a partir de la configuración de recursos y la evaluación de estrategias operacionales, aplicando simulación estocástica con la ayuda del software Crystal Ball®.

La administración logística de sistemas de abastecimiento en procesos continuos, como es el caso de la caña para azúcar y etanol, representa un reto cuando se trata de mejorar y mantener eficiencias integrales a partir de la coordinación entre las actividades agrícolas (campo) y los procesos industriales (fábrica). La cantidad de recursos que se manejan y la variabilidad de las actividades involucradas en el proceso azucarero exigen herramientas sofisticadas que contribuyan, desde una perspectiva sistémica, en la toma de decisiones acertadas antes de las operaciones, durante ellas y después de ellas.

El suministro de caña a las fábricas en las cantidades pactadas, las condiciones requeridas, los tiempos estipulados y con el mejor aprovechamiento de los recursos, es la meta de cualquier ingenio, específicamente del área de cosecha; sin embargo, el hecho de no contar con herramientas eficaces que puedan predecir el comportamiento del sistema y el impacto de una decisión, lleva a que en muchas ocasiones se adelanten acciones que, además de ser costosas, no arrojan los resultados esperados.

La modelación de procesos y la simulación mediante el uso de herramientas informáticas especializadas son opciones que permiten describir y analizar el comportamiento de un sistema virtual, para luego inferir sobre lo que puede pasar en la realidad y evaluar el impacto de establecer políticas diferentes, cambiar procedimientos, adquirir recursos, generar nuevos productos o adoptar tecnologías, sin alterar los recursos actuales.

Variables de entrada del modelo

El modelo fue desarrollado en Excel y corrido con el software Crystal Ball®. Las ecuaciones y el comportamiento estadístico de las variables de entrada fueron definidos y validados con base en la información registrada en tiempo real en un ingenio piloto durante tres meses y con información histórica del mismo. Las ecuaciones corresponden a cálculos necesarios para determinar el valor de las variables indicadas en la interfaz para el ingreso de información. Debido a que la simulación es estocástica, hay algunos datos que deben ser ingresados de acuerdo con su distribución estadística (Figura 1, casillas verdes) y otros, como constantes (Figura 1, casillas blancas).

Resultados de la simulación

La simulación del modelo permite obtener resultados referentes a los requerimientos operacionales como sitios de descargue necesarios (mesas), número de trenes de vagones por utilizar por día, número de ciclos por tren, tiempos de ciclo, tiempos de transporte, toneladas por día, descargas de vagones necesarias por hora, entre otros.

Para facilitar el análisis durante la simulación y al final de ésta, se tienen cuatro interfaces. En la Figura 2 se muestran las que permiten realizar un mejor análisis de los resultados por cada variable.

- Descripción estadística (Figura 2a): análisis por parámetros estadísticos, media, moda, desviación estándar, coeficiente de variación, etcétera.
- Diagrama acumulado (Figura 2b): comportamiento de la variable en términos de la probabilidad de que ésta obtenga un máximo valor definido.
- Diagrama de frecuencia (Figura 2c): rango de confiabilidad en el cual la variable toma los valores de un intervalo determinado.
- Cuantil (Figura 2d): análisis acumulado de probabilidad que muestra el valor máximo que se obtiene de una variable por cada incremento gradual en la probabilidad.

* Respectivamente: Ingeniero Industrial, Ingeniero de Logística CATE; Ingeniero Mecánico <dcobo@cenicana.org>; Ingeniero Agrónomo, Jefe Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología <chisaacs@cenicana.org>; Ingeniero Mecánico, M.Sc., Ingeniero de Procesos Mecánicos <algomez@cenicana.org>. Todos de Cenicaña.

DATOS DE ENTRADA MODELO DE SIMULACIÓN CATE			
Requerimiento de molienda (ton/hr)		Velocidad media vacío (km/hr)	
Número de vagones por tren		Velocidad media lleno (km/hr)	
Capacidad de vagón (ton)		Distancia media (km)	
Tiempo muerto por vagón (min/vagón)		Tiempo de alce (hr/tren)	
Tiempo de descarga por vagón (min/vagón)		Tiempo de báscula (minutos)	
Tiempo entre trenes para descarga (min/tren)		Muestreo (minutos)	
Ancho empleado de la mesa (mts)		Tiempo muerto patio (minutos)	
Altura Gallego (mts)		Porcentaje tiempo productivo	
Densidad de la caña en la mesa (kg/m3)			

Las ecuaciones y el comportamiento estadístico de las variables de entrada fueron definidos y validados con base en la información registrada en tiempo real en un ingenio piloto durante tres meses, y con información histórica del mismo ingenio.

Figura 1. Variables de entrada del modelo de simulación de abastecimiento de caña.

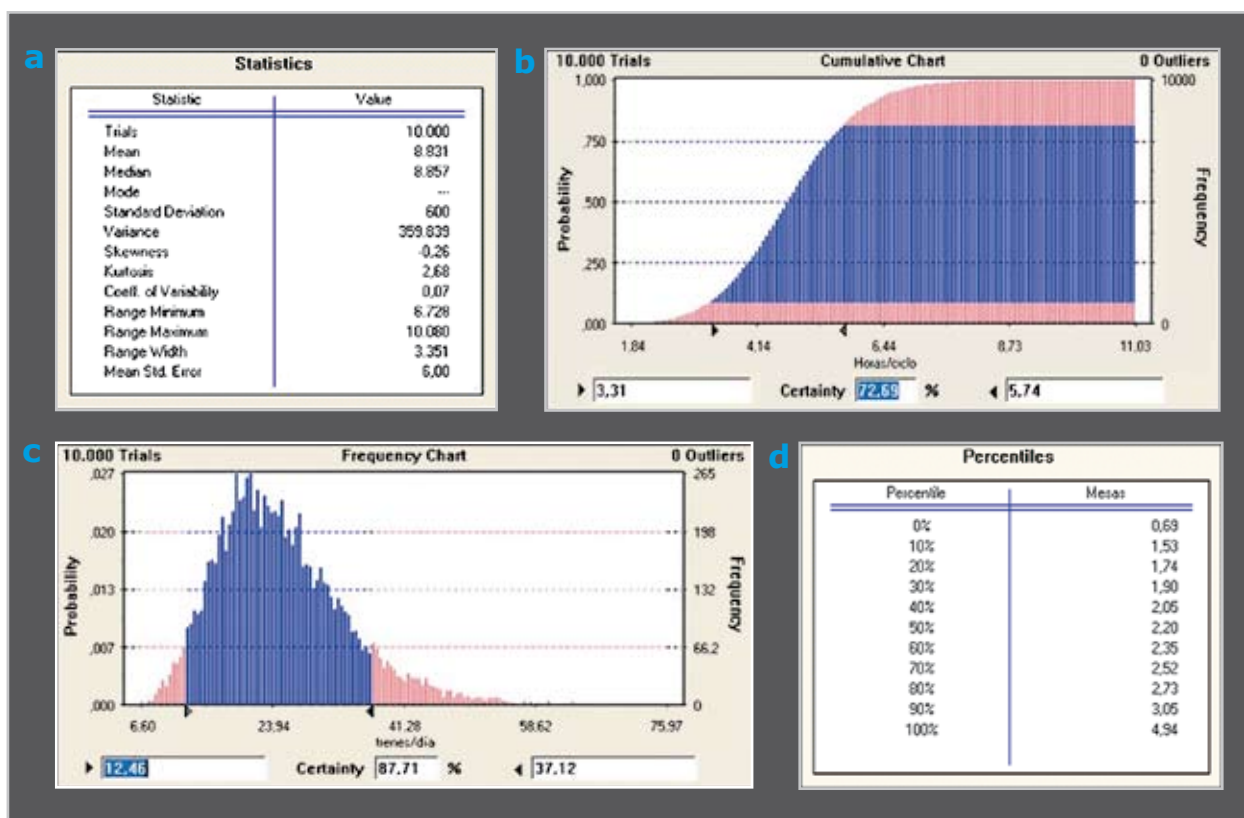


Figura 2. Ejemplo de resultados de la simulación: (a) Descripción estadística; (b) Diagrama acumulado; (c) Diagrama de frecuencia; (d) Percentil.

La simulación del modelo permite obtener resultados referentes a los requerimientos operacionales del sistema de corte de caña, alce, transporte y entrega de la materia prima a la fábrica, como por ejemplo sitios de descargue necesarios (mesas), número de trenes de vagones por utilizar por día, número de ciclos por tren, tiempos de ciclo, tiempos de transporte, toneladas por día, descargas de vagones necesarias por hora, entre otros.

Sensibilidad y correlación de las variables

Al finalizar la simulación se puede hacer un análisis de sensibilidad identificando aquellas variables de entrada que tienen mayor impacto en cada una de las variables de salida; de igual manera, se puede conocer el índice de correlación entre las variables. En la Figura 3 se ilustran los resultados de sensibilidad y correlación de las variables de entrada sobre la variable de salida que, en el ejemplo, corresponde al número de trenes requeridos:

- Análisis de sensibilidad (Figura 3a): indica el porcentaje con el que contribuye cada variable de entrada (distancia, número de vagones por tren, capacidad de vagón, etcétera) en el valor de la variable de salida (por ejemplo, número de trenes requeridos).
- Correlación de las variables (Figura 3b): muestra cómo un aumento en el valor de la variable de entrada afecta el valor de la variable de salida, incrementándolo (cuando la correlación es positiva) o disminuyéndolo (correlación negativa).

Ventajas del modelo de simulación

- Simular el comportamiento de las variables de análisis con más de cien mil iteraciones en menos de cinco minutos.
- Ingresar los datos como variables estocásticas y como variables determinísticas.
- Conocer los rangos de confiabilidad de las variables de salida, en términos porcentuales.
- Evaluar el impacto de las decisiones durante el proceso de análisis.
- Identificar el peso y la correlación de las variables de entrada sobre las variables de decisión o análisis.

Conclusiones

- Los resultados de la simulación están ligados a la confiabilidad de los datos obtenidos en el ingenio y son particulares para cada ingenio.
- Este modelo es una herramienta de base que le ayuda al usuario a tomar decisiones, aplicar estrategias y validarlas. Cabe señalar que los resultados del modelo no se pueden tomar como la verdad absoluta pues hay factores que dependen de quienes tienen que realizar las operaciones.
- El modelo permite hacer análisis sistémico de las operaciones de cosecha y es posible identificar lo que sucede con una variable de interés cuando se realiza un cambio en el proceso.
- La operación y el mantenimiento de la maquinaria y los equipos de transporte son algunos de los factores que generan costos altos en la cosecha de caña; las simulaciones han mostrado un potencial para optimizar hasta en 15% el uso de estos recursos mediante una mejor coordinación logística en las labores de alce, transporte y descargue.

Referencia bibliográfica

Iannoni, A. P. Morabito, R. 2004. A discrete simulation analysis of a logistics supply system. Transportation Research Part E. (December). Sao Carlos, Brasil.

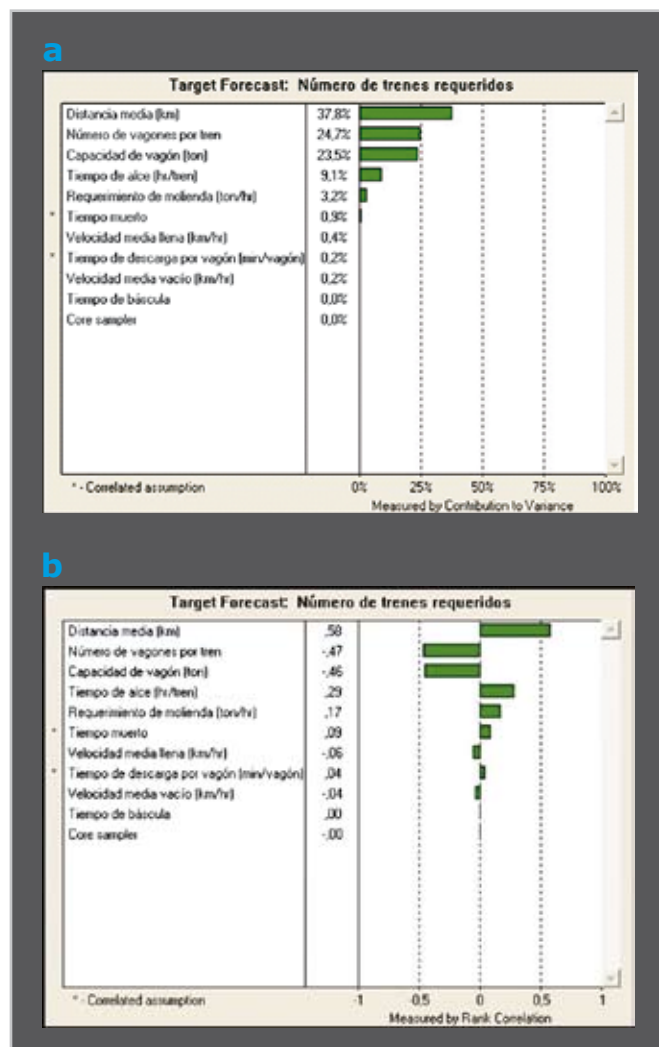


Figura 3. (a) Análisis de sensibilidad; (b) Correlación de las variables de entrada sobre la variable de salida.

Tiempo de desintegración húmeda como factor importante en los análisis directos (DAC) de caña de azúcar

Jesús E. Larrahondo*, Miryam Rojas Q.*, Sonia P. Ordoñez M.**,
Liliana Patricia Echeverry S.* y Alberto E. Palma Z.*

Introducción

Las industrias australiana y sudafricana adoptaron el análisis directo vía húmeda (DAC) para determinar la calidad de la caña que ingresa a la fábrica y en sus procesos de selección de variedades (SASTA, 1985; Geplacea, 1988; Hugot, 1974). Inicialmente este sistema tuvo como objeto evaluar los contenidos de sacarosa (pol % caña o sacarosa % caña) y los sólidos totales solubles (brix) y fibra % caña. Luego, con la implementación de controles de fábrica y de un sistema de pago por calidad, se identificó que el método DAC proporcionaba un cálculo mejor y una buena aproximación del azúcar recuperable estimado (ARE % caña) en los balances de fábrica (Van Hengel, 1974).

En el método se reconocen el efecto y la importancia que tienen la sacarosa % caña (S), la no-sacarosa % caña (N) y la fibra % caña (F) en la producción azucarera. El ARE % caña determinado mediante el DAC es un valor que se calcula principalmente a partir de los contenidos de sacarosa % caña de la caña y de sus pérdidas estimadas o calculadas en mieles finales y bagazo, de acuerdo con la siguiente ecuación:

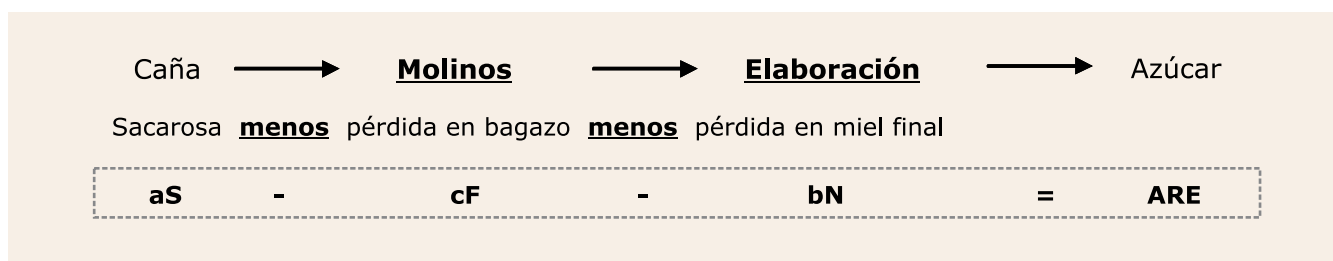
$$\text{ARE \% caña} = aS - bN - cF$$

Donde a , b y c son los factores fabriles particulares de cada ingenio, los cuales reflejan las pérdidas directas de sacarosa % caña debidas a los contenidos de no-sacarosa (N) y fibra % caña (F) de la caña que se está procesando. Los efectos de estos factores en la producción azucarera se ilustran en el diagrama siguiente:

El factor a se basa en las pérdidas en la cachaza e indeterminadas (si a es igual a 1.0, este hecho corresponde a unas pérdidas despreciables). El factor b se basa en la relación de sacarosa perdida en la miel final por cada unidad de no-sacarosa % caña. El factor c , en la razón del contenido de sacarosa % caña perdida en el bagazo por cada unidad de fibra % caña. El factor b oscila aproximadamente entre 0.4 y 0.5 y el factor c , entre 0.04 y 0.06. Por su parte, el factor a es muy cercano a la unidad (ejemplo: 0.998) cuando las pérdidas de sacarosa % caña en la cachaza y las pérdidas indeterminadas son muy bajas; por lo tanto, para aspectos prácticos en los cálculos de ARE %, el factor a se puede aproximar a 1.0.

Con el propósito de lograr una implementación eficaz del sistema de gestión de la calidad ISO 9001:2000 y para facilitar el uso del método DAC en el Laboratorio de Química de Cenicaña se elaboró un programa en hoja electrónica (Excel®) que mediante el ingreso de algunos datos básicos de los ingenios azucareros colombianos permite determinar los parámetros a , b y c para un ingenio en un período o época del año (Larrahondo y Torres, 1989; Larrahondo y García, 1997). Igualmente, se revisó el procedimiento de análisis directo de caña de azúcar desarrollado por la industria sudafricana (SASTA, 1985) y utilizado en el Laboratorio de Química de Cenicaña.

Con base en lo anterior y teniendo en cuenta las condiciones locales, se revisó el tiempo de digestión o desintegración húmeda de las muestras desfibradas al igual que el tiempo de secado de las mismas para determinar la humedad como parámetro básico del cálculo de la fibra en la caña.



* Respectivamente: Químico, Ph.D., Químico Jefe <jelarra@cenicana.org>; Tecnóloga Química; Tecnóloga Química; Matemático, M.Sc., Biometrista. Todos de Cenicaña.

** Química, M.Sc., vinculada a Cenicaña como Joven Investigadora en convenio con Colciencias (ene.-jul. 2005) y como estudiante de Maestría en Ciencias Químicas, Universidad del Valle, en desarrollo de trabajo de grado (oct. 2006-nov. 2007);

Evaluación y resultados

Para la revisión de la digestión se tomaron como base tamaños de muestra de 500 g y 250 g y una relación caña:agua de 1:2, mientras que para la determinación de la humedad (%) en caña se usaron muestras de 100 g. El tiempo óptimo de desintegración se determinó en función de los valores y la variabilidad observada en los porcentajes de pol % caña.

Teniendo en cuenta la susceptibilidad de la sacarosa a la hidrólisis y el volumen de muestras que deben ser analizadas a diario, de acuerdo con los análisis estadísticos (prueba de Duncan) se encontró que el tiempo de digestión óptimo y más adecuado fue de mínimo tres minutos, el cual no exhibió diferencias significativas (con una confianza del 95%) respecto a 5 minutos y 10 minutos (Cuadro 1). Este tiempo modifica el tiempo asignado de 10 minutos para tamaño de muestra de 500 g (Fernández, 2000) cuando se evalúa un alto número de muestras por día, sin perjuicio de la calidad de los resultados.

Cuadro 1. Variaciones en los porcentajes de pol % caña y brix % caña según el tiempo de desintegración húmeda en los análisis directos (DAC) de caña.

Tiempo (min.)	Muestras (No.)	Brix (% caña)	Pol (% caña)
10	4	17.33 a*	16.11 a
7	4	17.30 a	16.1 a
5	4	17.11 ab	16.0 ab
3	4	16.90 bc	15.8 ab
2	4	16.72 c	15.54 b
1	4	15.93 d	14.63 c

* Valores con letras iguales no presentan diferencias significativas con un nivel de confianza de 95% (prueba de Duncan).

En la sesión 23 del Comité Internacional de Métodos Unificados para los Análisis de Azúcar (ICUMSA, 2003) se analizaron los avances de la utilización de la espectroscopia de infrarrojo cercano (NIR) en los análisis de caña basados en el método primario DAC, con el propósito de poder disponer de una herramienta de evaluación de calidad de caña para un alto número de muestras, especialmente en los programas de selección de variedades.

Schäffler (SASTA, 1985) en Sudáfrica demostró que las predicciones para los principales parámetros que determinan la calidad de la caña (pol % caña, brix % caña y fibra % caña) y del cálculo de azúcar recuperable en la caña desfibrada (sin digestión previa) son muy aceptables, con errores estándares de predicción de 0.4 para pol y brix y de 1.1 para la fibra % caña.

En Colombia, Larrahondo y colaboradores (2001) reportaron valores similares cuando se empleó el DAC (vía húmeda) como método primario. Aunque los errores estándares de calibración y predicción para humedad y fibra en el NIR fueron generalmente más altos que los observados para pol % caña y brix % caña, los investigadores concluyeron que el método NIR presenta grandes ventajas cuando se trata de evaluar un número de muestras alto y producir resultados buenos y rápidos en condiciones de trabajos habituales para caña desfibrada.

Conclusiones

El tiempo de desintegración húmeda para la determinación de pol % caña y brix % caña en el método de análisis directo (DAC) es un factor crítico para garantizar la precisión y la confiabilidad de los resultados. Reducciones en el tiempo de desintegración pueden inducir valores inferiores a los obtenidos con un tiempo óptimo previamente estandarizado.

Referencias bibliográficas

- Fernandes, A.C., 2000. Cálculos na agroindústria da cana-de-açúcar. STAB. Piracicaba. 193 p
- Geplacsa (Grupo de Países Latinoamericanos y el Caribe Exportadores de Azúcar). 1988. Sistemas de pago de la caña de azúcar por calidad. Geplacsa, México. 159 p. (Serie Diversificación).
- Hugot, E. 1974. Direct analysis and evaluation of sugarcane. p.1426-1436. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 15. Proceedings. Durban. Sudáfrica. Jun, 1974. ISSCT.
- ICUMSA (International Commission for Uniform Methods of Sugar Analysis), 23 Session, Pune, India, 3-7 June, 2002. 2003. Proceedings. Bartens, Berlin. 320 p.
- Larrahondo, J.E.; Palau G., F.; Navarrete, A.; Ramírez, C. 2001. Applications of near infrared spectroscopy in the sugarcane industry of Colombia. v.1, p.163-165. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 24. Proceedings. Brisbane, Australia. 17-21 sept., 2001. ISSCT, Brisbane, Australia.
- ; García E., O. 1997. Análisis directo y determinación del azúcar recuperable de la caña de azúcar. Carta Trimestral. 19, 4 (Oct-Dic.): 3-5.
- ; Torres, J.S. 1989. Evaluación y determinación del azúcar recuperable de la caña de azúcar. Carta Trimestral. 11, 3:12-14.
- SASTA (South African Sugar Technologist Association). 1985. Laboratory manual for South African sugar factories including the official methods. 3 ed. SASTA. Mount Edgecombe. 436 p.
- Van Hengel, A. 1974. Proposal for the evaluation of cane and sugar in identical units at standardized factory efficiency. P.1445-1455. En: Congress of the International Society of Sugar Cane Technologists, 15. Proceedings. Durban. Sudáfrica. Jun, 1974. ISSCT.

Algunas consideraciones sobre la fertilización foliar con elementos menores en la agricultura de hoy

Para determinar la cantidad de un micronutriente que la planta necesita se requiere el análisis del tejido foliar como complemento del análisis de suelo, de manera que se pueda identificar con seguridad el nutriente deficiente. En las aplicaciones de elementos menores se debe tener un cuidado especial, pues al ser requeridos por las plantas en cantidades muy pequeñas es fácil pasar de un problema de deficiencia a otro de toxicidad.

Generalidades

Los elementos menores o micronutrientes son tan importantes en la nutrición vegetal como los elementos mayores o macronutrientes. La diferencia, como su nombre lo indica, es que los micronutrientes se encuentran en suelos y plantas en concentraciones mucho más bajas que los macronutrientes. Sin embargo, la reducción del rendimiento de un cultivo por deficiencia de cualquiera de los micronutrientes puede ser tan drástica como la causada por la deficiencia de uno de los macronutrientes. En general, el rango de concentración en que se encuentran los elementos mayores en los tejidos vegetales está entre 1000 ppm y 15,000 ppm, mientras que la concentración de los elementos menores oscila entre 0.1 ppm y 1 ppm. El contenido de micronutrientes en forma disponible en los suelos es muy variable y depende principalmente del material que dio origen al suelo.

Cuando se aplican nutrientes de manera foliar, éstos deben penetrar la cutícula de la hoja. La cutícula es una capa polimérica parcialmente impermeable, razón por la cual a los productos aplicados foliarmente se les debe incorporar agentes activos (surfactantes o adyuvantes) que reduzcan la tensión superficial de las gotas, incrementando con ello la tasa de absorción (Flores, 1989). La absorción también puede ocurrir, aunque en menor proporción, a través de los estomas (Taiz y Zeiger, 2006), los cuales tienen como función principal el intercambio gaseoso.

Mediante las aplicaciones foliares se pueden corregir deficiencias nutricionales en un tiempo menor que el requerido con las aplicaciones al suelo. Sin embargo, cuando la deficiencia es extrema y ha sido causada por uno de los elementos mayores primarios (nitrógeno, fósforo o potasio: N, P o K), el efecto de la aplicación foliar es generalmente temporal debido a que la cantidad requerida por la planta es tan alta que la deficiencia no puede ser corregida con una sola aplicación foliar. Por lo tanto, la corrección de la deficiencia extrema de un macronutriente puede obligar a que se realicen varias aplicaciones foliares para evitar la quemazón de las hojas que se produciría con una sola aplicación con la concentración necesaria para suplir la deficiencia del macronutriente.

Las aplicaciones foliares de elementos mayores funcionan aceptablemente cuando se hacen como complemento de la fertilización edáfica. En general, las aplicaciones foliares de elementos menores (requeridos en menor cantidad que los mayores) suelen ser agroeconómicamente más efectivas y económicamente más atractivas que las aplicaciones de elementos mayores y mucho más eficientes que las aplicaciones al suelo, especialmente cuando existen problemas de precipitación como en el caso del hierro en suelos de pH alto donde éste se precipita como $\text{Fe}(\text{OH})_3$ (hidróxido férrico), el cual no es disponible para las plantas.

* Ingeniero Agrónomo, Ph.D., Edafólogo de Cenicaña <fmunoz@cenicana.org>

Las aplicaciones de elementos menores en nuestro medio

Desde hace algún tiempo ha habido un interés creciente por la aplicación foliar de elementos menores a la caña de azúcar para incrementar su productividad. Buscando ese incremento, son comunes las aplicaciones de productos comerciales que incluyen mezclas de elementos mayores, elementos menores, fitohormonas y otras sustancias. Hay que resaltar que se debe tener mucho cuidado con la aplicación indiscriminada de elementos menores especialmente, pues al ser requeridos por las plantas en cantidades muy pequeñas es fácil pasar de un problema de deficiencia a otro de toxicidad.

Los síntomas de toxicidad son muy difíciles de reconocer visualmente y a menudo son confundidos con síntomas de deficiencias. A manera de ilustración y debido a que no se cuenta con evaluaciones de toxicidad en caña de azúcar, en la cual se ha hecho énfasis en el estudio de las deficiencias nutricionales, en la Figura 1 se muestran los síntomas de toxicidad por elementos menores en plantas de geranio.

El análisis de suelo es de gran importancia para conocer la disponibilidad de los diferentes elementos menores para el cultivo. Sin embargo, el análisis de suelo no es suficiente para determinar la cantidad de un micronutriente que la planta necesita, por lo que se requiere también el análisis del tejido foliar para complementar la información y así planear la aplicación.

Al planear una aplicación foliar se deben tener en cuenta factores ambientales como la temperatura atmosférica, la humedad relativa del aire y la intensidad lumínica, que afectan la tasa de absorción y translocación de los nutrimentos aplicados al follaje. Para aumentar la eficiencia de la fertilización foliar se deben hacer dos o tres aplicaciones en intervalos cortos, particularmente si la deficiencia ya ha causado un retraso importante en el crecimiento. Finalmente, se debe tener especial cuidado para identificar el nutrimento deficiente y evitar las aplicaciones indiscriminadas de nutrimentos que no son necesarios.

¿Cuáles son los riesgos al aplicar elementos menores?

La curva típica que relaciona la concentración de un nutrimento en el tejido vegetal presenta tres regiones: deficiencia, suficiencia y toxicidad (Figura 2).

En la zona de deficiencia se observa la respuesta en crecimiento o rendimiento relacionada directamente con la aplicación del elemento deficiente. En la transición entre la zona de deficiencia y la zona de suficiencia se encuentra el punto de concentración crítica del nutrimento, el cual puede ser agronómicamente definido como el contenido mínimo del nutrimento en el tejido y que está relacionado con el crecimiento máximo o rendimiento del cultivo. En la zona de suficiencia sucede el denominado "consumo de lujo", llamado así porque no se observa incremento del crecimiento o el rendimiento con el aumento de la concentración del nutrimento en

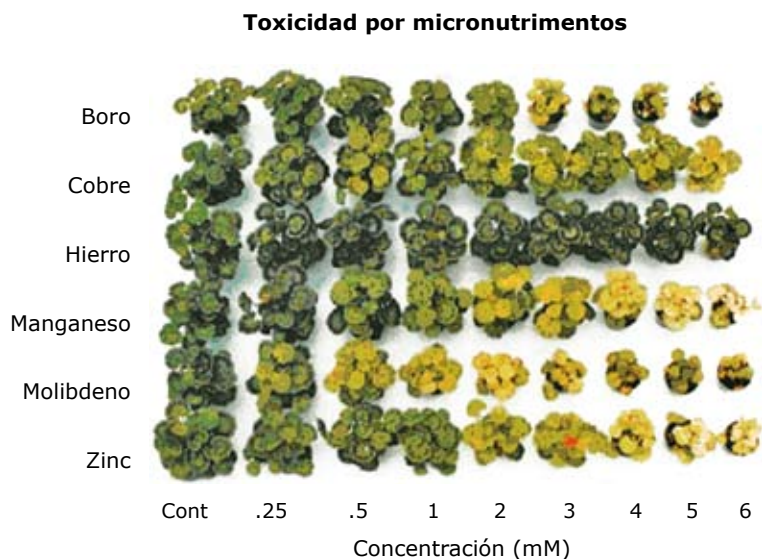


Figura 1. Síntomas de toxicidad por elementos menores en plantas de geranio.

Fuente: Pasian, C. 2007. Micronutrient toxicity. Horticulture on-line. Disponible en <http://floriculture.osu.edu/archive/mar98/mntox.html>. Consultado 6-11-2007.

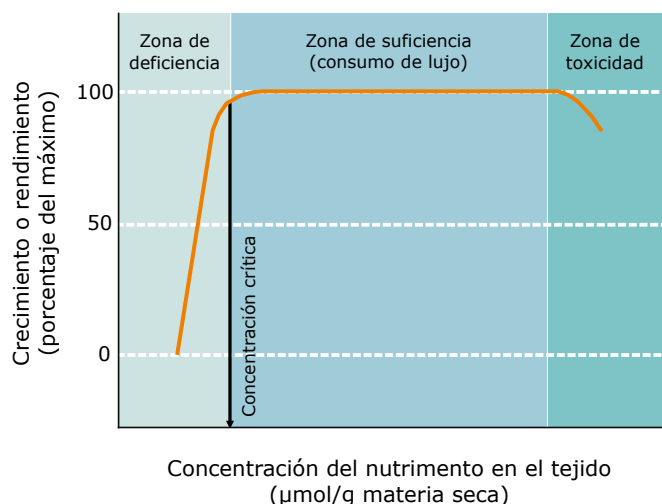


Figura 2. Relación entre crecimiento o rendimiento y concentración de un nutriente en el tejido de las plantas: zonas de deficiencia, suficiencia y toxicidad.

Fuente: Bloom, A.J. 2006. Mineral nutrition. p.73-93. En: Taiz L. y Zeiger E. Plant physiology. Cuarta edición. Sinauer Associates, Inc. Publishers. Sunderland, USA. 764 p.

el tejido. Finalmente, en la zona de toxicidad, el rendimiento (o crecimiento) disminuye con el aumento de la concentración del elemento. Cabe anotar que la amplitud de la zona de suficiencia depende del elemento en cuestión; esta zona es generalmente muy estrecha para los elementos menores, por lo que fácilmente se puede pasar de una condición de suficiencia a una de toxicidad debido a la aplicación indiscriminada de los micronutrientes.

De acuerdo con lo anterior, se deduce que las aplicaciones indiscriminadas de productos comerciales compuestos por mezclas de varios elementos menores pueden ser contraproducentes si no se evalúa su verdadera necesidad.

Para ilustrar lo que podría pasar supongamos que, de acuerdo con los análisis, se tiene una deficiencia de boro (B) y que los demás elementos menores están en niveles adecuados. Con base en esta información se decide aplicar un producto comercial que contiene B y otros elementos menores. Al ajustar la dosis de aplicación de B se corregirá su deficiencia pero se estarán sobreaplicando los otros elementos menores, con el riesgo de cambiar la deficiencia de B por una toxicidad causada por otro micronutriente. De esta forma, el efecto positivo potencial sobre la producción (al corregir la deficiencia de B) puede ser contrarrestado por el efecto tóxico causado por la sobreaplicación de otro micronutriente.

Investigaciones de Cenicaña con elementos menores

En el valle del río Cauca las investigaciones de Cenicaña sobre fertilización de la caña de azúcar con elementos menores corresponden a cuatro ensayos en diferentes suelos de los órdenes Mollicols, Inceptisols y Vertisols con la variedad MZC 74-275 (Quintero, 2004). En estos experimentos se probaron diferentes dosis de boro (B), cinc (Zn), cobre (Cu), hierro (Fe) y manganeso (Mn) aplicadas al suelo, con resultados que llevaron a sugerir dosis entre 1-3 kg/ha de B, 3-5 kg/ha de Zn, 1-3 kg/ha de Cu, 3-7.5 kg/ha de Fe y 2.5-5 kg/ha de Mn para fertilización edáfica de la caña de azúcar. Los niveles críticos usados para determinar el requerimiento de micronutrientes para la caña de azúcar a partir del análisis de suelo son los propuestos por Malavolta (1990).

No obstante, debido a que las investigaciones realizadas hasta el momento no son suficientes para establecer los niveles críticos específicos para el cultivo de la caña de azúcar en las condiciones agroecológicas del valle del río Cauca y en vista del creciente interés de los productores al respecto, Cenicaña ha establecido cuatro experimentos en diferentes suelos (de un total de ocho experimentos programados) mediante los cuales se busca confirmar las dosis de fertilización edáfica con elementos menores. Así mismo, teniendo en cuenta que las aplicaciones foliares de elementos menores son más efectivas que las aplicaciones edáficas, como se expresó antes, Cenicaña tiene planes para establecer otros experimentos con el objetivo de definir las dosis de elementos menores recomendadas para la fertilización foliar de las variedades de caña de azúcar cultivadas en el valle del río Cauca.

Por el momento, para la aplicación edáfica de elementos menores se recomienda seguir las pautas agronómicas definidas por Quintero (2004) a fin de identificar y corregir posibles deficiencias y disminuir el riesgo de generar fitotoxicidad por aplicaciones innecesarias de microelementos.

www.cenicana.org/biblioteca/catalogo_online.php

Referencias bibliográficas

- Flores, M.E. 1989. La Planta: estructura y función. Editorial Tecnológica de Costa Rica. Cartago. 504 p.
- Malavolta, E. Micronutrientes en la fertilización de la caña de azúcar. En: Seminario. Actualidad y futuro de los micronutrientes en la agricultura. Sociedad Colombiana de la Ciencia del Suelo (SCCS). Palmira, Colombia, Octubre 24-25 de 1990. Memorias. Palmira, SCCS. 1990. p. 293-332.
- Quintero R. 2004. Efectos de la aplicación de elementos menores en caña de azúcar en suelos del valle del río Cauca. Cenicaña, Cali, Colombia. 11 p. (Documento de trabajo, no.530).



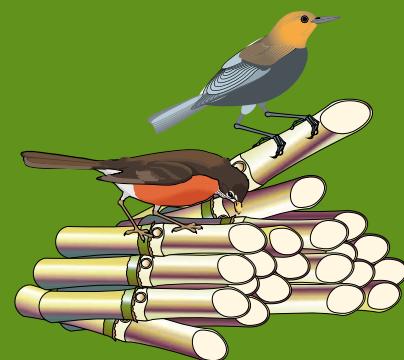
SEÑOR CAÑICULTOR

Si cambia de dirección postal, por favor, infórmenos. Sólo así podremos continuar enviándole esta publicación al lugar correcto.

Remita sus datos actualizados incluyendo: nombres y apellidos, cédula de ciudadanía, dirección postal y de correo electrónico, teléfono, fax.

Rte/ Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología
Cenicaña
Calle 58 norte N° 3BN-110
Cali, Colombia

buzon@cenicana.org



Antes de traer

variedades al Valle del Cauca procedentes de otros lugares de Colombia o del exterior, comuníquese con Cenicaña.

El material vegetal debe permanecer en cuarentena para evitar posibles problemas sanitarios que pongan en peligro la productividad de la industria azucarera.

Establezca contacto en Cenicaña con Jorge Ignacio Victoria K.
<jivictor@cenicana.org>

Tarifa postal reducida
No. 2008 -129
Servicios Postales
Nacionales S.A.
Vence 31 dic. 2008

Somos el nuevo operador postal oficial de Colombia.

SERVICIOS POSTALES NACIONALES S.A.
CORREOS DE COLOMBIA

Consulte nuestro portafolio de servicios de correo y mensajería especializada

018000 111 210
Línea Gratuita Nacional
Bogotá: 4199299