

ISSN 0120-5846



Serie Técnica
No. 38

**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).
Principios metodológicos
y aplicaciones.**

Cali, Colombia
Abril de 2011

Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones.

Javier Alí Carbonell González ¹

Rafael Quintero Durán ²

Jorge Stember Torres Aguas ³

Carlos Andrés Osorio Murillo ⁴

Camilo H. Isaacs Echeverri ⁵

Jorge Ignacio Victoria Kafure ⁶

Cali, Colombia

Abril 2011

1. Ingeniero Agrícola, M.Sc. Director del Programa de Agronomía de Cenicaña <jacarbonell@cenicana.org>

2. Ingeniero Agrónomo, M.Sc. (Edafólogo de Cenicaña entre 1984 y 2008)

3. Ingeniero Agrónomo, Ph.D. (Director del Programa de Agronomía de Cenicaña entre 1988 y 2009)

4. Ingeniero Topográfico (Analista de Sistemas de Información Geográfica de Cenicaña entre 2003 y 2009)

5. Ingeniero Agrónomo, Jefe del Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología de Cenicaña <chisaacs@cenicana.org>

6. Ingeniero Agrónomo, Ph.D. Director del Programa de Variedades de Cenicaña <jvictoria@cenicana.org>

Publicación Cenicafía

ISSN 0120-5846

ISBN 978-958-8449-02-9

Cita bibliográfica

Carbonell González, J.A.; Quintero Durán, R.; Torres Aguas, J.S.; Osorio Murillo, C.A.; Isaacs Echeverri, C.H. y Victoria Kafure, J.I. 2011. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Cali, Cenicafía. 119 p. (Serie Técnica No. 38)

Comité editorial

Adriana Arenas Calderón

Álvaro Amaya Estévez

Edgar Fernando Castillo Monroy

Nohra Pérez Castillo

Victoria Carrillo Camacho

Producción editorial

Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología

Coordinación editorial y edición de textos: Victoria Carrillo Camacho

Diagramación: Alcira Arias Villegas

Preprensa e impresión: Feriva S.A.

Tiraje: 1900 ejemplares

Abril de 2011

Dirección postal

Calle 58 norte No. 3BN-110

Cali, Valle del Cauca, Colombia

Estación experimental

San Antonio de los Caballeros

Vía Cali-Florida, km 26

Tel: (57-2) 687 66 11

Fax: (57-2) 260 78 53

www.cenicana.org

buzon@cenicana.org

Contenido

	Página
Resumen	1
Introducción	3
Principios metodológicos y componentes de la zonificación	7
Balance hídrico regional	10
Estudio detallado de suelos	19
Grupos de Humedad	35
Grupos Homogéneos de Suelos.....	42
Zonificación agroecológica, cuarta aproximación	50
Aplicaciones	65
Caracterización conductual de productores y transferencia de tecnología con el enfoque de agricultura específica por sitio (AEPS®).....	65
Análisis de productividad	73
Desarrollo de variedades de caña de azúcar con el enfoque AEPS	90
Conclusiones	105
Agradecimientos	107
Referencias bibliográficas	108
Siglas y abreviaturas	112
Anexo. Sistema de Información AEPS en web	113
Servicios para cañicultores	113
Servidor de Mapas	116
Herramienta para verificación del Grupo de Humedad ...	119

Resumen

La zonificación agroecológica es una herramienta multifuncional que contribuye científicamente en la gestión de proyectos de desarrollo de tierras a escala predial, local y regional. En la definición de la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca se utiliza como fuente de información geográfica la zonificación climática por balance hídrico (precipitación con probabilidad de 75% y $K_c=0.7$) y el estudio detallado de los suelos, cartografía a escala 1:10 000, georreferenciada, con leyendas descriptivas de la clasificación de los suelos hasta el nivel de familia textural de acuerdo con los lineamientos del Sistema Taxonómico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (2003) adoptado en Colombia por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Como criterios de zonificación se tienen en cuenta los factores de suelo y clima ordenados en 33 Grupos Homogéneos de Suelos (definidos por la familia textural, el régimen de humedad y la profundidad efectiva) y en seis Grupos de Humedad (definidos por el balance hídrico, la permeabilidad del suelo, la pendiente, los signos de mal drenaje y su profundidad). Mediante la combinación de estas dos agrupaciones se identifican zonas caracterizadas por factores biofísicos de largo plazo, en las cuales se espera que la productividad del cultivo sea homogénea. Se presentan los principios metodológicos de la zonificación, las fuentes de referencia para la descripción de las zonas identificadas y algunas aplicaciones de agricultura específica por sitio (AEPS®) en el sector azucarero colombiano. Los resultados actualizados a diciembre de 2010 se refieren a 212,200 hectáreas ubicadas entre 3° y 5° de latitud norte y entre 76° 35' y 75° 49' de longitud oeste, donde se tienen estudios detallados de suelos y se identifican 156 zonas agroecológicas para el cultivo de la caña de azúcar.

Palabras clave: Zonificación agroecológica, agricultura específica por sitio, caña de azúcar, balance hídrico, suelos, sector azucarero, Colombia.

Introducción

El sector azucarero colombiano está constituido por trece ingenios azucareros que utilizan su capacidad instalada de molienda para procesar, en conjunto, aproximadamente 75 mil toneladas de caña de azúcar por día y durante un tiempo hábil que suma alrededor de 300 días al año.

Las tierras dedicadas al cultivo se encuentran ubicadas en el valle del río Cauca, entre 3° y 5° de latitud norte y entre 76° 35' y 75° 49' de longitud oeste, en altitudes entre 920 metros y 1150 metros sobre el nivel del mar.

Las unidades productivas de caña de azúcar ocupan un área bruta de 248 mil hectáreas distribuidas en 2615 predios localizados en los departamentos de Caldas (1.6%), Cauca (22%), Quindío (0.1%), Risaralda (1.6%) y Valle del Cauca (74%). El área sembrada con caña corresponde a 218 mil hectáreas.

El clima en la región se caracteriza por un régimen bimodal con dos temporadas lluviosas (abril-mayo y octubre-noviembre) y dos temporadas secas (julio-agosto y enero-febrero). Marzo, junio, septiembre y diciembre se consideran meses de transición.

De acuerdo con la dinámica de los factores bióticos y abióticos que inciden en la actividad productiva de la agroindustria y especialmente por las anomalías de la precipitación media y su distribución mensual, los indicadores de la productividad de las tierras vinculadas con los ingenios azucareros presentan variaciones entre un año y otro.

En 2010, cuando se cosecharon 22,926 suertes (lotes) en 172,296 hectáreas, los ingenios molieron 20.1 millones de toneladas de caña para producir 2.07 millones de toneladas de azúcar y 287 millones de litros de etanol.

En 2009 se cosecharon 25,010 suertes en 192,744 hectáreas y se procesaron 23.5 millones de toneladas de caña para producir 2.8 millones de toneladas de azúcar y 326 millones de litros de etanol.

De los trece ingenios azucareros, cinco cuentan con plantas industriales adjuntas para la producción de etanol carburante, seis manejan plantas de compostaje para la producción de abonos orgánicos y diez tienen capacidad de cogeneración de energía eléctrica.

Antes de los años 2006-2007 la principal fuente de información geográfica utilizada por el gremio azucarero en las decisiones de uso y desarrollo de las tierras agrícolas fue el Estudio Semidetallado de Suelos del Valle Geográfico del Río Cauca elaborado por el Instituto Geográfico Agustín Codazzi y publicado en escala 1:50 000 (Igac, 1980).

Con base en el estudio semidetallado de los suelos (Ibid) e información climatológica de distintas fuentes Cenicaña elaboró la primera aproximación de la zonificación agroclimática del valle del río Cauca (Cenicaña, 1984) y dos años después publicó la segunda aproximación (Cenicaña, 1986).

En el año 2000 formuló el proyecto Agricultura Específica por Sitio (AEPS), con el objetivo general de asegurar la adopción y el impacto de tecnologías limpias, específicas para diferentes condiciones agroecológicas y socioeconómicas, a fin de mejorar la sostenibilidad y la competitividad del sector azucarero en el largo plazo y contribuir al desarrollo económico de la región (Cenicaña, 2001).

De acuerdo con el objetivo planteado se definieron los principios metodológicos de la tercera aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca y se identificaron 51 zonas agroecológicas (Carbonell *et al.*, 2001) que resultaron de combinar diez Grupos de Suelos (98 suelos de estudios semidetallados ordenados según la metodología de Quintero y Castilla, 1992) y seis Grupos de Humedad (Torres *et al.*, 2000). Cenicaña digitalizó las cartas de suelos existentes en escala 1:50 000 y generó los mapas temáticos de la caracterización agroclimática y edáfica de las tierras cultivadas y la caracterización socioeconómica de los productores y sus unidades productivas.

Se adoptó la definición de zona agroecológica como una zona relativamente homogénea en cuanto a la productividad del cultivo y caracterizada por factores biofísicos de largo plazo generalmente estables.

La tercera aproximación de la zonificación agroecológica se constituyó en el marco de referencia de las investigaciones iniciales con enfoque AEPS. El concepto de AEPS fue considerado en la metodología de zonificación como un aspecto fundamental de la gestión de innovaciones tecnológicas en la agroindustria azucarera, porque aportan la visión predial indispensable para una aproximación más congruente de las zonas identificadas y las condiciones reales que enfrentan los productores.

A partir de la iniciativa de promover prácticas sostenibles con enfoque AEPS y utilizando la tercera aproximación de la zonificación agroecológica, se avanzó en los siguientes aspectos:

- Se fortaleció la capacidad de análisis en el sector azucarero mediante el uso de tecnología informática en Sistemas de Información Geográfica (SIG), disposición de bases de datos del sector productivo y desarrollo de sistemas de información en web administrados por Cenicaña.
- La revisión minuciosa de los estudios de suelos disponibles permitió documentar, con la participación de expertos, el conocimiento acerca de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle del río Cauca y mostró que los factores considerados para el agrupamiento de los suelos no siempre resultaban confiables cuando se trataba de incorporar un nuevo suelo en alguno de los diez grupos definidos de manejo. Se justificó entonces la iniciativa de avanzar en el estudio detallado de los suelos y, con los fines pertinentes, revisar y actualizar las agrupaciones utilizadas para el desarrollo de tierras en las áreas de influencia del sector azucarero.
- Los Grupos de Humedad propuestos por Cenicaña para el manejo del cultivo según las condiciones de humedad del suelo proporcionaron una mejor visión acerca de los suelos y sus condiciones prevalentes de humedad, con lo cual se fortaleció la gestión tecnológica en un espectro mayor de condiciones, con un énfasis progresivo en las zonas húmedas.
- El uso de la zonificación agroecológica en el sector azucarero para la toma de decisiones estratégicas de AEPS contribuyó significativamente a documentar la importancia de actualizar el estudio de las tierras cultivadas con caña de azúcar en el valle del río Cauca y la zonificación climática por balance hídrico, así como la necesidad de introducir ajustes en las metodologías de agrupación de las tierras con fines de zonificación agroecológica.

Así, en 2002 se iniciaron las gestiones para realizar el levantamiento detallado de los suelos sembrados con caña de azúcar en el valle del río Cauca y se comenzaron a acopiar datos históricos de precipitación y evaporación de distintas fuentes para actualizar el balance hídrico regional.

Con la coordinación de Cenicafña y la cofinanciación de Colciencias y los propietarios de los predios se contrató con el Instituto Geográfico Agustín Codazzi el Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca (Igac, 2006), que se llevó a cabo en 167,563 hectáreas mediante levantamientos agrológicos en escala 1:10 000. Los suelos fueron identificados de acuerdo con el Sistema Taxonómico del Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, 2003) y la clasificación se hizo hasta el nivel de familia textural. Estudios de igual naturaleza realizados por García *et al.* (2007, 2007a y 2007b) en un área aproximada de 50 mil hectáreas con caña fueron homologados según la metodología adoptada por el Igac.

Para elaborar la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica Cenicafña actualizó la zonificación climática por balance hídrico (Carbonell *et al.*, 2006) y con base en el estudio detallado de suelos propuso ajustes metodológicos en los criterios de clasificación de las tierras por Grupos de Humedad (Gómez *et al.*, 2007). También formuló, con el concurso de agrónomos asesores, la segunda aproximación de la metodología para el ordenamiento de los suelos en Grupos Homogéneos de Suelos (Quintero *et al.*, 2008).

Mediante el uso de herramientas de SIG y geoestadística se identificaron 149 zonas agroecológicas (Cenicafña, 2008) que resultaron de combinar los factores asociados con seis Grupos de Humedad (balance hídrico, permeabilidad del suelo, pendiente del terreno y signos de mal drenaje y su profundidad) y 33 Grupos Homogéneos de Suelos (familia textural, régimen de humedad y profundidad efectiva).

La caracterización de las zonas agroecológicas es un proceso dinámico que obedece al conocimiento disponible acerca de los factores utilizados para el efecto. En el sector azucarero las zonas identificadas con la metodología propuesta en la cuarta aproximación han sido objeto de actualización, análisis y adaptación con fines de investigación, transferencia de tecnología y manejo del cultivo con enfoque de AEPS. De acuerdo con la cuarta aproximación, a diciembre de 2010 se identifican 156 zonas agroecológicas para el cultivo de la caña de azúcar en 212,200 hectáreas con estudio detallado de suelos en el valle del río Cauca.

Se presentan a continuación los principios metodológicos de la cuarta aproximación, los factores utilizados en la caracterización de las zonas agroecológicas y algunas aplicaciones de AEPS desarrolladas por Cenicafña.

Principios metodológicos y componentes de la zonificación

El área de estudio con fines de zonificación agroecológica se localiza en el valle del río Cauca, entre 3° y 5° de latitud norte y entre 76° 35' y 75° 49' de longitud oeste, donde se cultiva la caña de azúcar que provee la materia prima para la operación de ocho ingenios azucareros y cinco ingenios duales de azúcar y etanol (Figura 1).

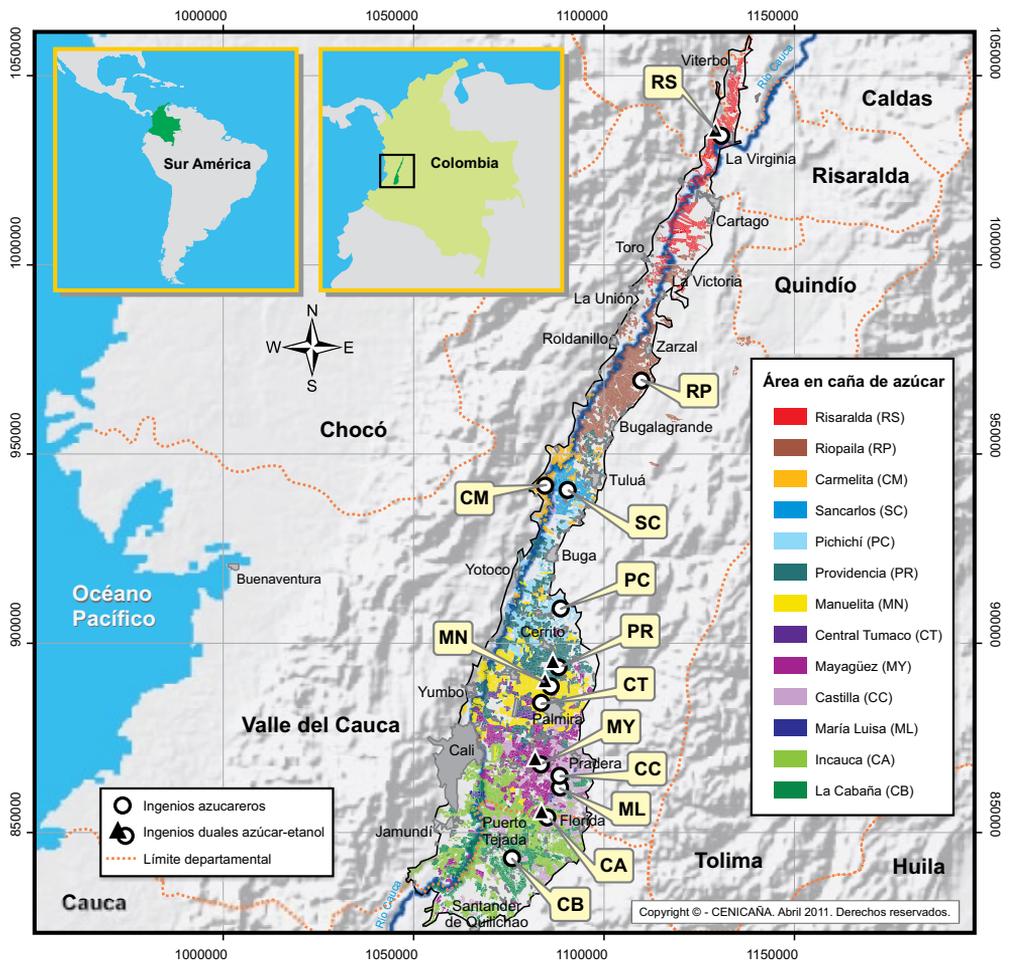


Figura 1. Distribución espacial del cultivo de caña de azúcar en el valle del río Cauca según el área de influencia de ocho ingenios azucareros y cinco ingenios duales de azúcar y etanol, 2010.

Las referencias principales de información utilizadas en la definición de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar dan cuenta de los factores integrados en la secuencia metodológica de análisis según la cual se identifican las zonas agroecológicas en la cuarta aproximación (Figura 2). Los factores y las fuentes son:

- a) Balance hídrico regional (Carbonell *et al.*, 2006).
- b) Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar localizadas en el valle geográfico del río Cauca (Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b).
- c) Grupos de Humedad, Afinamiento y Validación (Gómez *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2009).
- d) Grupos Homogéneos de Suelos, segunda aproximación (Quintero *et al.*, 2008).

El objetivo de la zonificación agroecológica es definir zonas homogéneas caracterizadas por factores biofísicos relativamente estables, en las cuales se espera que la respuesta del cultivo sea homogénea en términos de productividad.

Con la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica se complementa la clasificación de las tierras por capacidad de uso y se aportan criterios de decisión para localizar los sitios de investigación. La zonificación ofrece un marco de referencia confiable para extrapolar los resultados a zonas similares y para hacer más eficientes la transferencia de tecnología y su adopción según los factores biofísicos que definen cada condición.

En el sector azucarero colombiano la zonificación agroecológica constituye un elemento esencial del desarrollo agroindustrial sostenible, el cual se fundamenta en la adopción de la agricultura específica por sitio (AEPS). El enfoque AEPS es promovido como estrategia para el análisis de la vocación actual de uso de las tierras y la toma de decisiones de manejo agrícola y agronómico mediante tecnologías adecuadas, que contribuyan a la sostenibilidad del cultivo en equilibrio con los aspectos productivos, económicos, sociales y ambientales.

Los datos estadísticos de área y productividad que se mencionan en esta publicación se basan en información reportada por los ingenios azucareros (1990-2010). Para elaborar los mapas y cuadros descriptivos se usaron como referencia los estudios respectivos citados en el texto en cada caso.

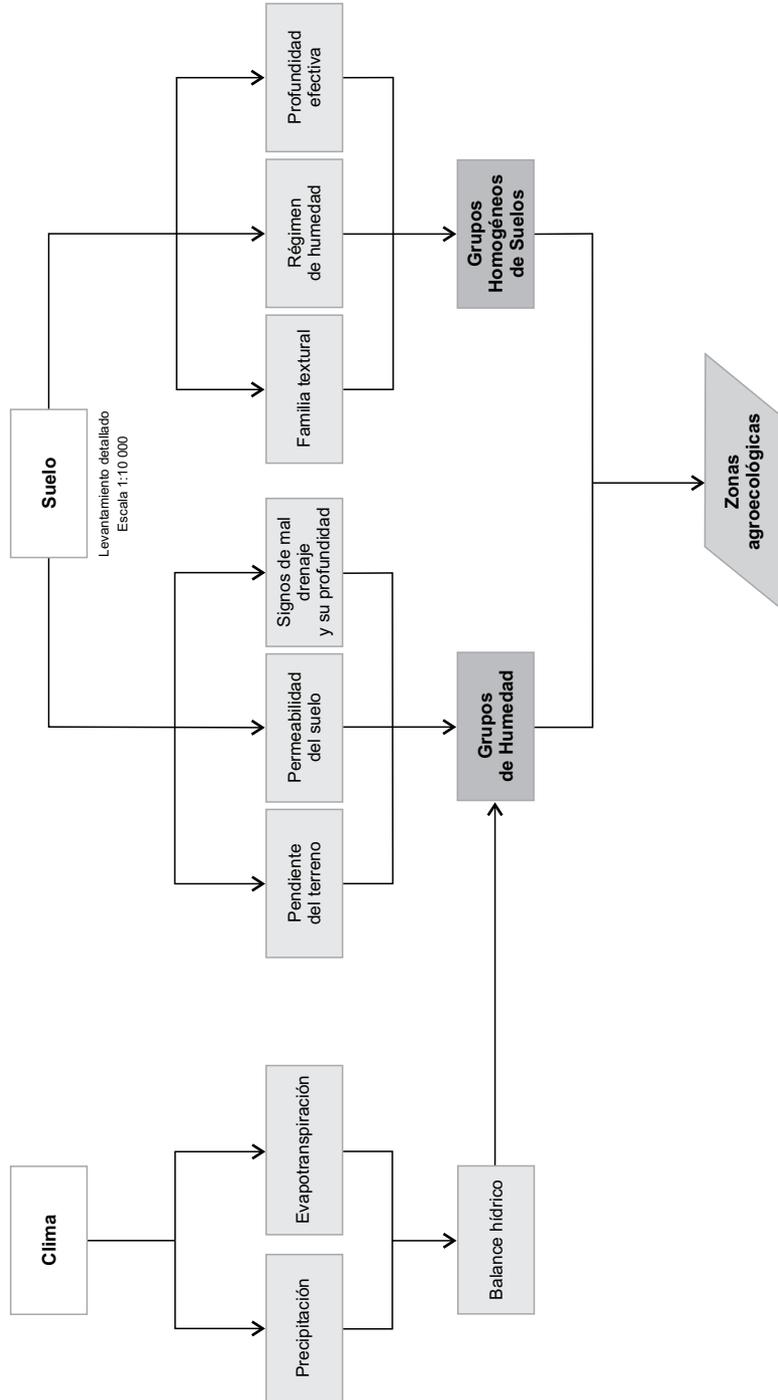


Figura 2. Diagrama metodológico de la secuencia de análisis de los factores tenidos en cuenta en la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, Colombia.

Balance hídrico regional

El balance hídrico (BH) de una región se define como el balance entre la precipitación y la evaporación, de forma que integra los diferentes parámetros del clima (Torres *et al.*, 2004). Cuando se aplica a un cultivo específico, la evaporación se reemplaza por la evapotranspiración actual de dicho cultivo; así se identifican las épocas secas (déficit de humedad) y las húmedas (excesos) y las zonas donde éstas se presentan, de modo que se pueden asignar los recursos de manejo hídrico requeridos en el sitio de cultivo, bien para compensar el déficit (sistemas de riego) o para evacuar los excesos (sistemas de drenaje).

Precipitación atmosférica

La precipitación atmosférica es uno de los elementos básicos del clima y hace referencia a cualquier forma de hidrometeoro que cae del cielo y llega a la superficie terrestre. Cumple una función esencial en el ciclo hidrológico al depositar agua fresca en el planeta. El agua y la temperatura son los factores principales que definen la distribución de la cobertura vegetal en la superficie terrestre, de modo que donde la temperatura lo permite las plantas crecen según la cantidad y la distribución de la precipitación.

En el caso de la caña de azúcar, la tasa de crecimiento de la planta es superior en lugares donde el clima se caracteriza por valores altos de oscilación diaria de la temperatura –días calientes y noches frías– y por una buena distribución de la cantidad de precipitación durante el año, como ocurre en el valle del río Cauca donde la oscilación media diaria de la temperatura tiene un valor climatológico de 10.8 °C y la precipitación media anual alcanza los 1275 mm (Red Meteorológica Automatizada, RMA, 1994-2010).

En la actualización del BH regional en el valle del río Cauca se analizaron series de datos de precipitación mensual correspondientes a más de 15 años de registros tomados en 216 estaciones pluviométricas operadas por distintas entidades: ingenios azucareros, Corporación Autónoma Regional de Valle del Cauca (CVC), Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia (Ideam), Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat) y Cenicaña.

A partir del estudio de frecuencias se optó por seleccionar el valor de la precipitación media anual con probabilidad de exceso del 75%, que se puede

interpretar también como el valor mínimo de precipitación que se tendría 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.

En la Figura 3 se presenta la ubicación geográfica de las estaciones pluviométricas y en la Figura 4, las isoyetas de precipitación media anual con probabilidad de ocurrencia de 75%.

Evapotranspiración

La evapotranspiración es el proceso por el cual el agua se mueve desde el suelo y las plantas hacia la atmósfera; está constituida a su vez por dos procesos: la transpiración, que es el movimiento del agua a través de las plantas hacia la atmósfera, y la evaporación, que es el movimiento del vapor de agua desde el suelo y las áreas con vegetación. Por razones prácticas, estos dos procesos se consideran juntos y la suma de ellos representa la porción de la precipitación que retorna a la atmósfera (Igac, 2003).

La evapotranspiración constituye un componente importante del ciclo hidrológico y del balance del agua en la Tierra; se estima que el 70% del agua total recibida por una zona (precipitación) es devuelta a la atmósfera a través del proceso de evapotranspiración.

Para el cálculo de la evapotranspiración en el valle del río Cauca se utilizaron datos diarios de 10 años o más de la evaporación abierta medida en el tanque Clase A, registrados en estaciones meteorológicas administradas por la CVC, el Ideam, el Ciat y Cenicaña. Se usaron también los valores de evaporación media mensual calculados de modo indirecto en once estaciones de la RMA con base en la ecuación definida por Cenicaña (Peña *et al.*, 2006). Esta ecuación incorpora los datos diarios de radiación solar, oscilación de la temperatura del aire, velocidad media del viento y humedad relativa del aire registrados en las estaciones automáticas. Mediante el análisis de las series de datos se estimó la evaporación media diaria en años normales (probabilidad de ocurrencia del 50%). Los valores de evaporación se multiplicaron por el coeficiente de cultivo $K_c=0.7$ para obtener la evapotranspiración.

La ubicación de los tanques Clase A y las estaciones RMA, así como la distribución espacial de la evapotranspiración media anual en el valle del río Cauca se presentan en las Figuras 5 y 6.

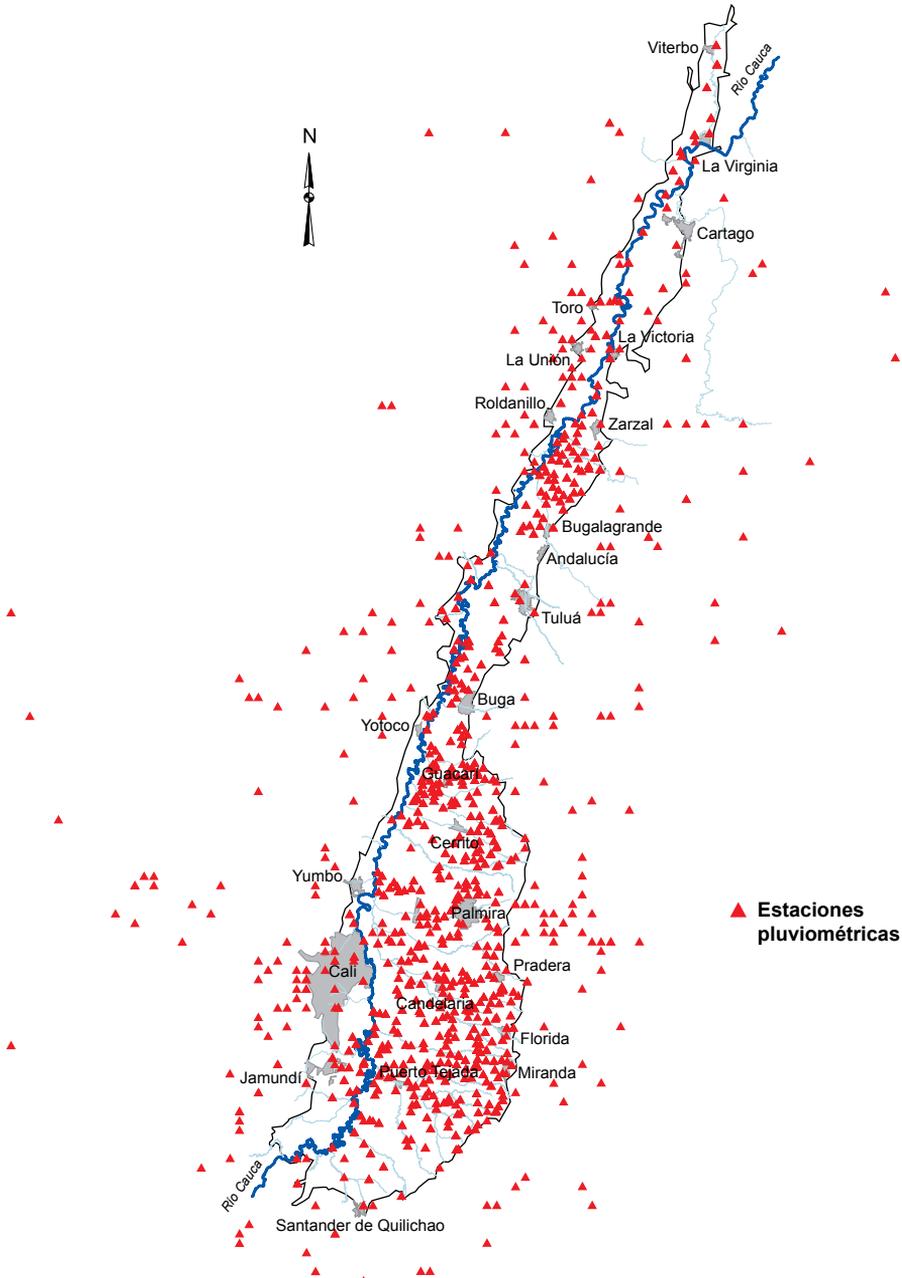


Figura 3. Ubicación de estaciones pluviométricas con registros de precipitación de más de 15 años, administradas por distintas entidades (ingenios azucareros, CVC, Ideam, Cenicafé, Ciat y Cenicaña).

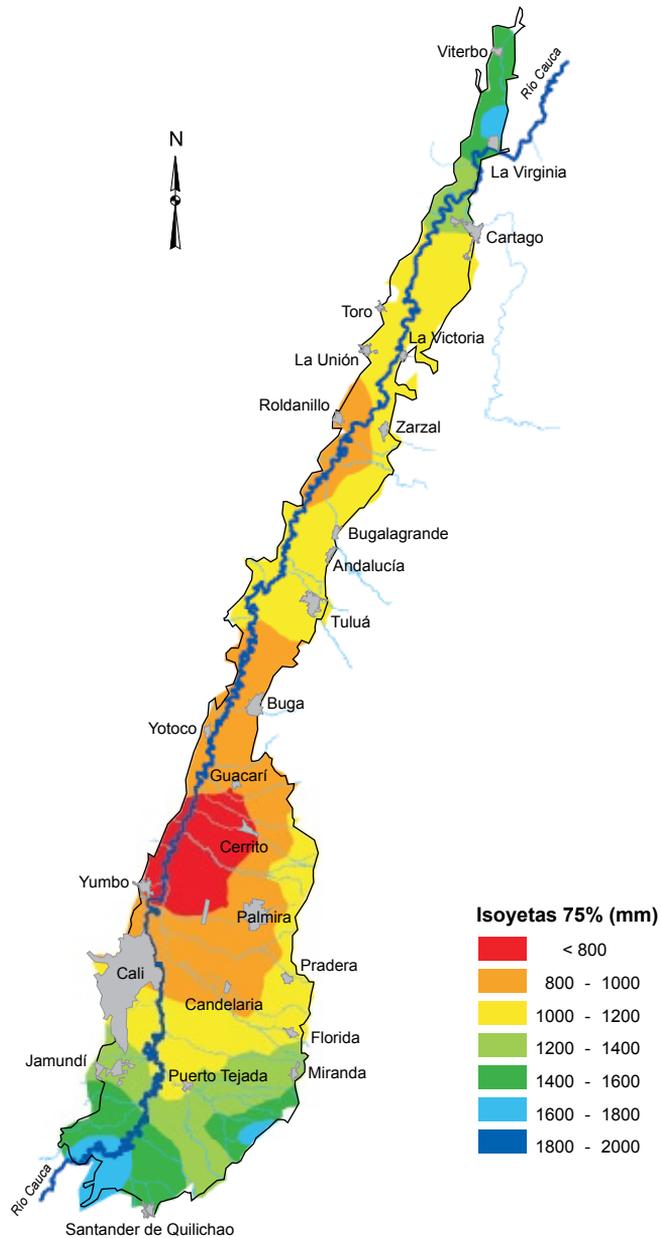


Figura 4. Distribución de la precipitación media anual con probabilidad de exceso de 75% en el valle del río Cauca. Valores estimados con base en registros históricos de precipitación mensual de más de 15 años.

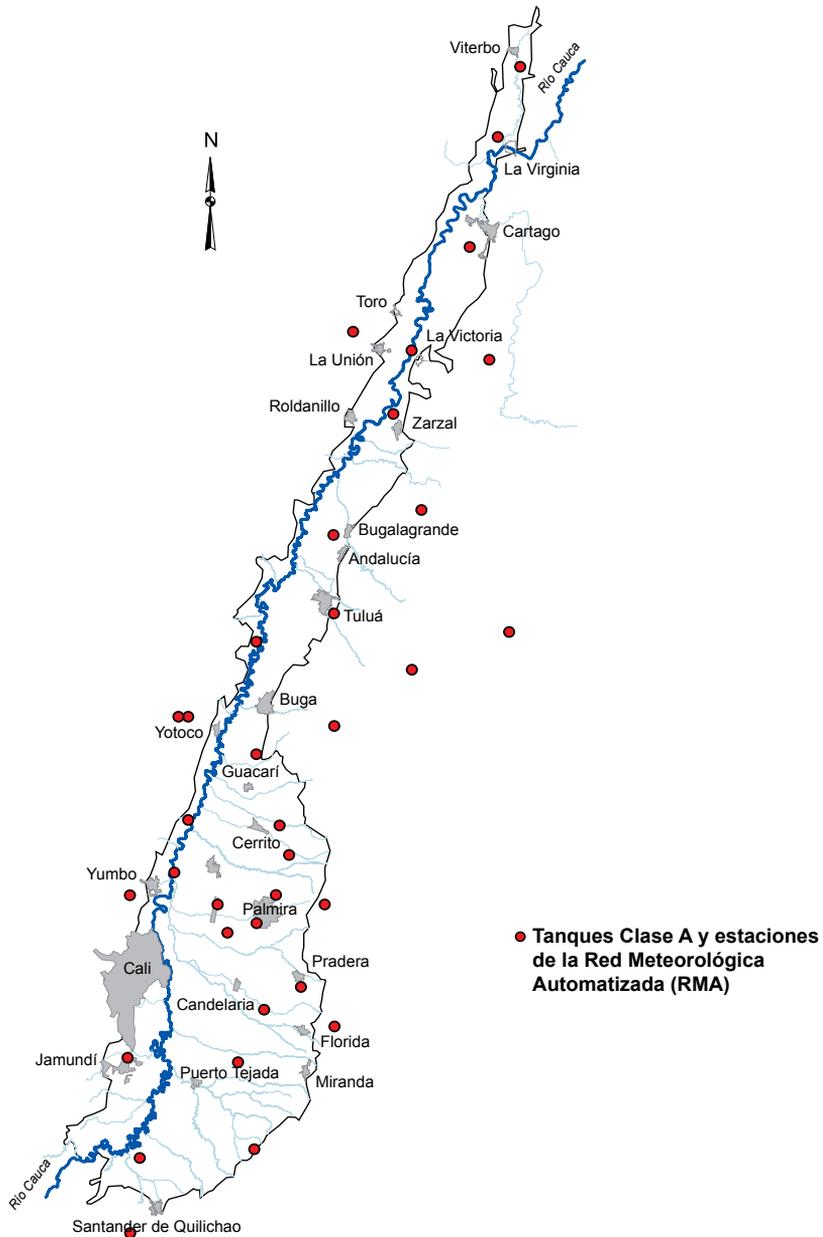


Figura 5. Ubicación de tanques Clase A y estaciones de la RMA con registros de evaporación (abierta y calculada) de más de 10 años. Estaciones administradas por distintas entidades (CVC, Ideam, Ciat y Cenicaña).

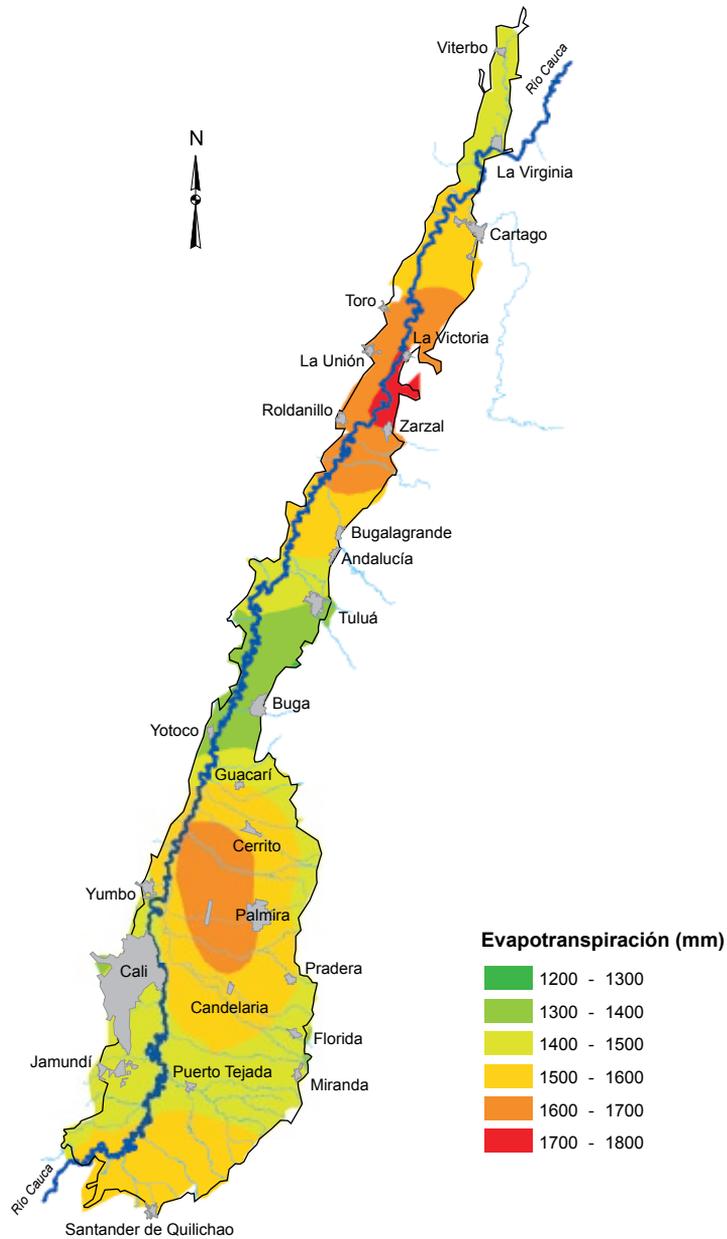


Figura 6. Distribución de la evapotranspiración media anual ($K_c=0.7$) en el valle del río Cauca. Valores estimados con base en registros históricos de evaporación diaria de más de 10 años.

Balance hídrico

Con herramientas de SIG se generaron los mapas de la distribución espacial de la precipitación y la evapotranspiración en celdas de 300 metros x 300 metros (formato *raster*). Para calcular el balance hídrico celda a celda se utilizó la ecuación siguiente:

$$BH = P - 0.7 Ev$$

Donde,

BH: balance hídrico

P: precipitación

Ev: evaporación

0.7: coeficiente de cultivo (Kc)

Los valores de BH obtenidos fueron transformados en valores discretos (intervalos de clase cada 200 mm) mediante operaciones de reclasificación del SIG. En función de la zonificación agroecológica se generó el mapa del BH regional para valores de precipitación media anual con probabilidad de exceso del 75% y evapotranspiración media anual estimada para la caña de azúcar con un Kc=0.7 y probabilidad de ocurrencia de 50% (Figura 7).

De acuerdo con la zonificación climática por balance hídrico, alrededor del 60% de las tierras azucareras presentan déficit de humedad (<0 mm/año) (Cuadro 1). En orden de importancia por área sembrada, las tierras con déficit se encuentran vinculadas con los ingenios Providencia, Manuelita, Riopaila, Mayagüez, Pichichí, Castilla, Sancarlos, Incauca, Carmelita, Central Tumaco, Risaralda, María Luisa y La Cabaña. Sobresalen en la distribución geográfica las porciones centrales del área cultivada, entre los municipios de El Cerrito, Palmira, Candelaria y Yumbo y en el distrito de riego Roldanillo-La Unión-Toro (RUT).

En cuanto a los niveles de exceso de humedad se registran tierras con BH entre 0-200 mm/año en todos los ingenios, principalmente en Incauca, Castilla, Mayagüez, Risaralda, La Cabaña y Carmelita; con exceso entre 200-600 mm/año, en cinco ingenios (Incauca, La Cabaña, Castilla, Risaralda y Mayagüez); y con exceso >600 mm/año, en cuatro ingenios (Risaralda, Castilla, Incauca y La Cabaña). Las tierras con exceso están localizadas principalmente en los extremos norte y sur del área de influencia del sector azucarero.

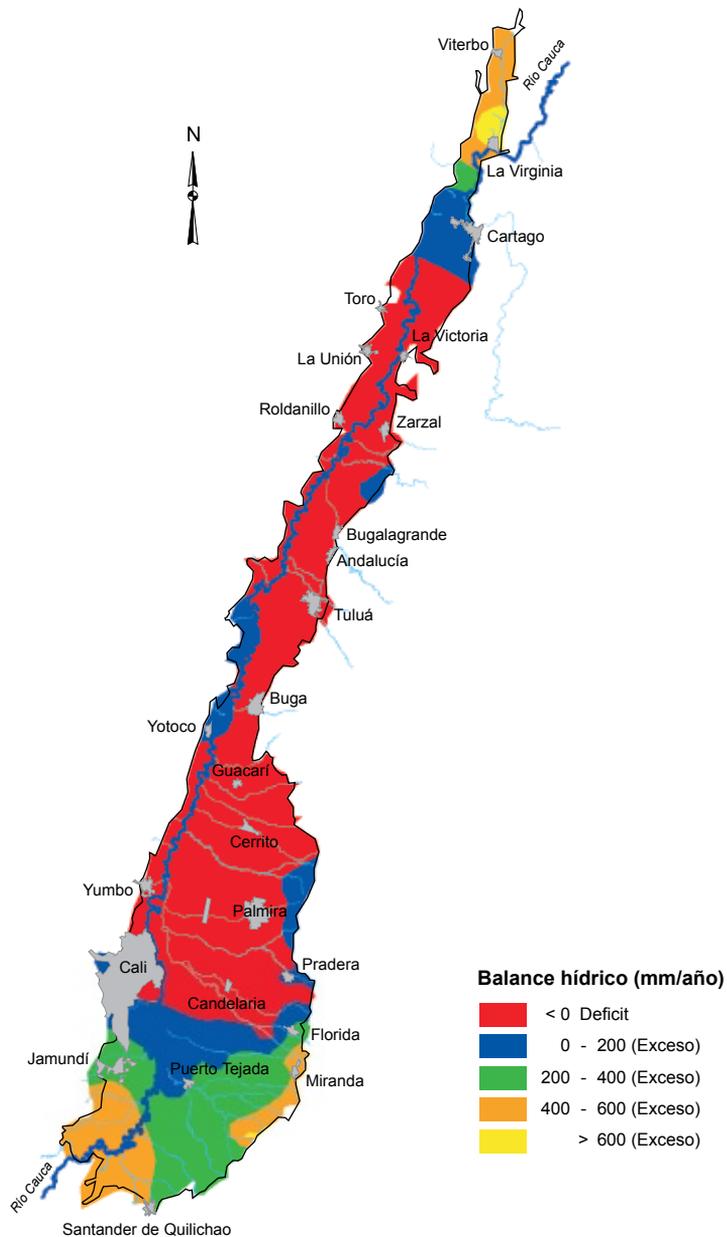


Figura 7. Balance hídrico anual en el valle del río Cauca definido con base en valores de precipitación mensual (>15 años) con probabilidad de exceso de 75% y valores de evapotranspiración estimados según la evaporación diaria (>10 años) y $Kc=0.7$.

Cuadro 1. Distribución del área sembrada con caña de azúcar por ingenio azucarero según el balance hídrico anual. Valle del río Cauca, diciembre 2010.

Adaptado de Carbonell *et al.*, 2006.

Ingenio	Distribución de área según balance hídrico anual (ha)							Total	%
	<0 mm Déficit	0-200 mm Exceso	200-400 mm Exceso	400-600 mm Exceso	>600 mm Exceso				
Carmelita	5,539	2,402	-	-	-	-	7,941	3.7	
Castilla	9,042	4,695	3,014	1,611	87		18,448	8.7	
Central Tumaco	3,317	100	-	-	-		3,417	1.6	
Incauca	4,731	10,623	14,442	8,487	165		38,448	18.1	
La Cabaña	230	2,794	10,482	2,996	6		16,508	7.8	
Manuelita	22,626	1,839	-	-	-		24,466	11.5	
María Luisa	1,329	592	-	-	-		1,922	0.9	
Mayagüez	16,064	3,671	710	582	-		21,027	9.9	
Pichichi	11,174	503	-	-	-		11,677	5.5	
Providencia	26,296	541	-	-	-		26,837	12.6	
Riopaila	19,710	1,192	-	-	-		20,902	9.8	
Risaralda	3,906	3,353	951	4,045	1,819		14,073	6.6	
Sancarlos	6,524	12	-	-	-		6,536	3.1	
Total	130,488	32,316	29,599	17,721	2,077		212,200	100.0	

Estudio detallado de suelos

En la definición de la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca se utilizó cartografía básica digital en escala 1:10 000 y cartografía georreferenciada en formato digital de levantamientos detallados y clasificación de uso de tierras (Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b), estudios realizados de acuerdo con los lineamientos adoptados por el Igac en el territorio colombiano.

Los levantamientos de suelos son un conjunto de investigaciones para caracterizar, clasificar, delimitar y representar en un mapa los diferentes suelos de una región, para luego interpretar la aptitud que tienen para un uso determinado y predecir su comportamiento y productividad con diferentes sistemas de manejo (Forero, 1984).

De acuerdo con Malagón Castro (1998):

“...el concepto suelo hace referencia a la colección de cuerpos naturales en la superficie de la corteza terrestre, con vida o capaz de tenerla, resultante de la acción de eventos simples o complejos (llamados procesos de formación) generados por la acción de factores, externos a él, dentro de los cuales se destacan el clima y los organismos, los cuales al actuar sobre los materiales geológicos los transforman en función del tiempo de actuación. Los suelos, en consecuencia, no pueden explicarse ni entenderse independientemente del ambiente en que se forman ni de las dimensiones temporal y espacial.

La tierra es un concepto más amplio ya que integra tanto los suelos como su contexto biofísico global; éste se expresa en las leyendas que acompañan los Levantamientos de Suelos. ...el levantamiento de suelos, o en otras palabras, el inventario de tierras tiene por objetivo conocer su distribución espacial, es decir su geografía, a diferentes niveles de detalle, de acuerdo con los propósitos buscados y el nivel jerárquico taxonómico de su clasificación.”

El levantamiento de suelos consiste en describir y cuantificar sus características (rasgos que pueden medirse o estimarse), de modo que se puedan establecer sus propiedades (rasgos derivados de la interacción de características) y deducir sus cualidades (comportamientos definidos por la interacción de características y propiedades). Estos elementos son evaluados

en el campo mediante el estudio del perfil del suelo y en el laboratorio con el análisis físico, químico y mineralógico de las muestras de suelo debidamente seleccionadas y preparadas.

Así, el levantamiento de suelos se basa en el reconocimiento cualitativo en campo del espesor de los horizontes o capas de suelo (que en su conjunto definen el perfil del suelo: sus colores característicos, la estructura, consistencia, etcétera), que permiten diferenciar los procesos generales de formación de los suelos, es decir, su génesis y evolución. También se basa en la interpretación de la información cuantitativa obtenida de los análisis de laboratorio (física, química, mineralógica y micromorfológica), que complementa el estudio de los horizontes diagnósticos y ayuda en la clasificación taxonómica de los suelos (Ibid).

Según el grado de detalle que se quiere conocer, el levantamiento de suelos puede ser de primer orden o muy detallado, segundo orden o detallado, tercer orden o semidetallado, cuarto orden o general, quinto orden o exploratorio y sexto orden o esquemático.

De acuerdo con la descripción de las cualidades de los levantamientos de suelos (Jaramillo, 2001), el levantamiento detallado requiere una intensidad de trabajo de campo muy alta y ofrece así mismo un conocimiento del suelo y unidades cartográficas de homogeneidad muy alta, con accesibilidad alta y aplicabilidad local a casi específica.

Existe una correspondencia entre la escala de los levantamientos de suelos y la generalización taxonómica que se utiliza para su clasificación, de modo que el conocimiento de los suelos se estructura en el marco de un sistema multicategorico. En Colombia se utiliza el Sistema Taxonómico Norteamericano (USDA, 2003) que incluye seis categorías, cada una integrada por clases (a mayor número de clases, mayor nivel de detalle), así: Orden, Suborden, Gran grupo, Subgrupo, Familia y Serie (Figura 8).

Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca

De acuerdo con la información de la base de datos geográfica administrada por Cenicaña, a diciembre de 2010 se identifican en el valle del río Cauca 232 unidades cartográficas de suelos en 212,200 hectáreas de influencia del cultivo de la caña de azúcar donde se cuenta con estudios detallados de suelos (escala 1:10 000).

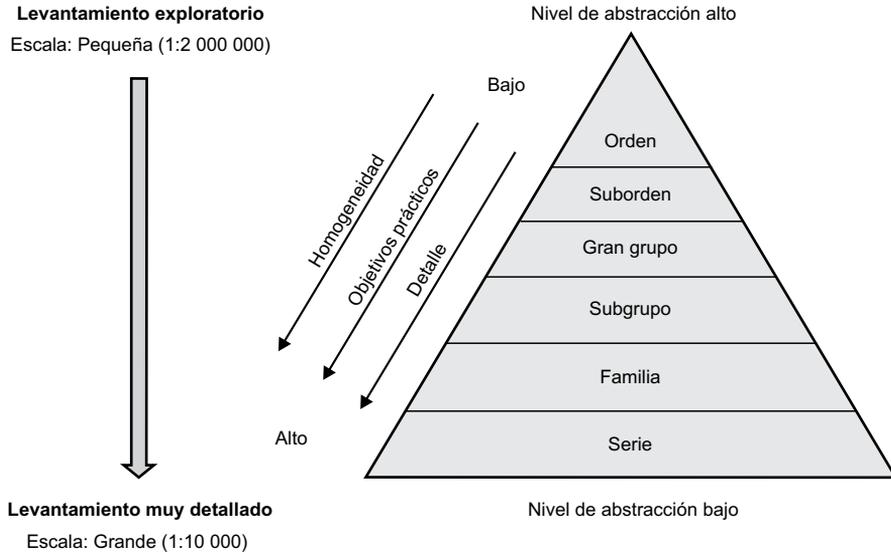


Figura 8. Sistema multicategorico norteamericano de taxonomia de suelos. Relaciones entre las categorias, el conocimiento del suelo y los tipos de levantamientos de suelos. Fuente: Malagón Castro, 1998.

Para el levantamiento de los suelos en el valle del río Cauca se actualizó en SIG la cartografía básica con referencia geográfica de todas las unidades productivas incluidas en el proyecto. En las primeras etapas del levantamiento, por ejemplo, se realizó la restitución cartográfica de aproximadamente 70 mil hectáreas ubicadas en el norte del departamento del Cauca.

La clasificación de los suelos al nivel taxonómico de familia está definida por criterios orientados al establecimiento de programas de uso y manejo de los suelos y la transferencia tecnológica.

A continuación se presenta una síntesis de los resultados del estudio detallado de suelos (Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b) en relación con la taxonomía de los suelos y las unidades cartográficas identificadas en las tierras sembradas con caña de azúcar. Por motivos didácticos se incluyen en primera instancia los aspectos asociados con el régimen de humedad del suelo y luego, la clasificación taxonómica.

Régimen de humedad del suelo. El régimen de humedad del suelo se refiere a la presencia de agua aprovechable en el suelo, entre el punto de marchitez y el punto de saturación, determinada mediante observaciones en la sección

control del perfil durante períodos específicos del año. El régimen de humedad es representativo del clima edáfico y está relacionado con el drenaje natural del suelo y con otras propiedades de los suelos tales como la saturación de bases y la reacción o pH; representa la repercusión del clima externo en el perfil del suelo y en sus manifestaciones relacionadas con las características, propiedades y aptitudes del suelo. De acuerdo con el estudio detallado de suelos, en el valle del río Cauca ocurren tres regímenes de humedad:

- **Ústico.** Se caracteriza porque la sección control de humedad del suelo está seca parcialmente o en su totalidad durante 90 días acumulativos o más en años normales o está seca en alguna parte por más de 180 días acumulativos o por 90 días consecutivos.
- **Údico.** Es aquel en el cual la sección control de humedad no está seca en ninguna de sus partes durante un período de 90 días acumulativos en año normales.
- **Ácuico.** Se caracteriza por una saturación del suelo por agua freática o agua de la zona capilar durante un lapso de pocos días, lo cual implica ausencia de oxígeno. Ocurre en condiciones de drenaje natural pobre y muy pobre.

En el área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca predomina el régimen de humedad ústico, seguido del ácuico y el údico. Para el cultivo de la caña de azúcar es importante el manejo en el régimen de humedad ácuico dado que el exceso de humedad afecta tanto el desarrollo de la planta como las labores agrícolas. Todos los ingenios azucareros tienen tierras vinculadas en zonas con régimen de humedad ácuico, aunque éstas son más frecuentes en Incauca, La Cabaña, Riopaila, Risaralda, Providencia y Sancarlos (Cuadro 2).

Órdenes y subórdenes de suelos. La distribución del área cultivada con caña de azúcar en el valle del río Cauca por ingenio azucarero según el orden de suelo se muestra en el Cuadro 3. El orden de suelo más representativo en área es el Mollisol (48%), seguido de los órdenes Vertisol (31%), Inceptisol (17%), Alfisol (2%), Entisol (0.8%), Ultisol (0.5%) e Histisol (0.01%).

Mollisoles. Son suelos sueltos, con estructura y consistencia favorables para el desarrollo de las raíces; tienen un horizonte superficial oscuro, rico en materia orgánica en proceso de mineralización y alta

Cuadro 2. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según régimen de humedad. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre de 2010. Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Ingenio	Distribución de área según régimen de humedad (ha)				
	Ústico	Údico	Ácuico	Total	%
Carmelita	6,269	-	1,671	7,941	3.7
Castilla	16,637	210	1,602	18,448	8.7
C. Tumaco	3,218	-	199	3,417	1.6
Incauca	26,106	5,055	7,287	38,448	18.1
La Cabaña	10,353	2,471	3,732	16,556	7.8
Manuelita	23,072	5	1,379	24,456	11.5
María Luisa	1,694	-	228	1,922	0.9
Mayagüez	18,983	364	1,680	21,027	9.9
Pichichí	10,578	-	1,088	11,667	5.5
Providencia	24,625	-	2,162	26,787	12.6
Riopaila	12,799	338	7,766	20,902	9.8
Risaralda	4,302	4,512	5,281	14,095	6.6
Sancarlos	4,815	-	1,721	6,536	3.1
Total	163,450	12,955	35,796	212,200	100.0

saturación de bases. Se encuentran ubicados en el piedemonte, principalmente en los ápices y cuerpos de abanicos, napas de explayamiento y llanuras de desborde.

Los Mollisoles predominan en área en el sector azucarero. Los subórdenes más frecuentes son:

- Ustolls: Ricos en carbonatos en todo el perfil, se encuentran en aluviones medios, abanicos aluviales y llanuras de desborde de los ríos tributarios, en régimen de humedad ústico. Ocupan alrededor del 45% del área en caña.
- Aquolls: Se encuentran en abanicos aluviales y llanuras de desborde de los ríos tributarios, en régimen de humedad ácuico (cerca del 2% del área).
- Udolls: Ubicados en abanicos aluviales y llanuras de desborde de los ríos tributarios, en régimen de humedad údico (0.7%).

Cuadro 3. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según el orden de suelo. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre de 2010.

Adaptado de Igac, 2006; García et al., 2007, 2007a y 2007b.

Ingenio	Distribución de área según orden de suelo (ha)										Total	%
	Mollisol	Vertisol	Inceptisol	Alfisol	Entisol	Ultisol	Histosol	Total	%			
Carmelita	1,257	3,884	2,505	-	296	-	-	7,941	3.7			
Castilla	13,380	3,589	1,229	168	77	75	-	18,518	8.7			
Central Tumaco	1,648	1,566	203	-	-	-	-	3,417	1.6			
Incauca	20,558	5,691	10,002	1,158	423	610	6	38,448	18.1			
La Cabaña	7,071	2,949	5,439	722	209	170	-	16,561	7.8			
Manuelita	15,490	6,102	2,671	-	186	-	-	24,448	11.5			
María Luisa	1,216	313	389	-	4	-	-	1,922	0.9			
Mayagüez	14,369	4,674	1,849	83	40	13	-	21,027	9.9			
Pichichi	3,554	7,422	620	-	111	-	-	11,707	5.5			
Providencia	11,345	12,437	2,739	-	266	-	-	26,787	12.6			
Riopaila	5,417	9,064	4,665	1,612	48	-	-	20,807	9.8			
Risaralda	3,115	4,653	4,873	1,182	260	-	-	14,083	6.6			
Sancarlos	2,009	4,286	240	-	0	-	-	6,536	3.1			
Total	100,428	66,630	37,423	4,926	1,919	868	6	212,200	100.0			

Vertisoles. Suelos muy arcillosos, con manifestaciones notorias de expansión al humedecerse y contracción al secarse. Son ricos en arcillas expansibles, las cuales hacen que los suelos se agrieten cuando están secos y que las grietas desaparezcan cuando están húmedos. Otros suelos, de un orden taxonómico distinto al Vertisol pero que también contienen arcillas expansibles que expresan el mismo efecto, se describen como suelos con características vérticas.

En el estudio detallado de suelos se encontraron Vertisoles principalmente en el piedemonte, en los cuerpos y pie de abanicos, en cubetas de desborde y de decantación y en terrazas. Los subórdenes más frecuentes son:

- Usterts: En abanicos aluviales y régimen de humedad ústico, ocupan el 22% del área en caña.
- Aquerts: En abanicos aluviales y llanuras de desborde del río Cauca, sin horizonte sálico hasta 75 cm de la superficie, en régimen de humedad ácuico (8.6% del área).
- Uderts: Suelos en régimen de humedad údico, en tierras donde se observan grietas que se abren y se cierran una vez al año o más veces, sin que permanezcan abiertas por más de 90 días acumulativos en la mayoría de los años. Ocupan menos del 1% del área en caña.

Inceptisoles. Son suelos con desarrollo pedogenético incipiente, con bajo grado de diferenciación morfológica, que presentan evidencias de evolución de algunos procesos formativos pero sin predominio de algún proceso en especial. Los subsuelos son habitualmente mal drenados. Los Inceptisoles se encuentran en el piedemonte y en la planicie aluvial del río Cauca, en cubetas de desborde, cuerpo y pie de abanicos y albardones, napas de explayamiento y de desborde y terrazas. Los subórdenes más frecuentes son:

- Usteps: En abanicos aluviales y llanuras de desborde del río Cauca y sus tributarios, en régimen de humedad ústico, ocupan alrededor del 8% del área en caña.
- Aquepts: Subsuelos mal drenados, en régimen ácuico, se observan en llanuras de desborde del río Cauca (5.5% del área).

- Udepts: Ubicados principalmente en abanicos aluviales y de terrazas de llanuras de desborde del río Cauca, en régimen de humedad údico, abarcan el 3.5% del área en caña.

Alfisoles. Son suelos genéticamente evolucionados, con un perfil morfológicamente desarrollado, toda vez que presentan un horizonte subsuperficial enriquecido con arcilla trasladada de los horizontes superficiales. Tienen alta saturación de bases, más del 35% del complejo de cambio. Se hallan principalmente en el piedemonte. Los subórdenes son:

- Ustalfs: Formados con material parental de aluviones finos y muy finos, se encuentran en el cuerpo del piedemonte, en régimen de humedad ústico. Ocupan el 1.1% del área en caña.
- Udalfs: Formados por aluviones finos y fluvio-volcánicos medios, finos y muy finos, se encuentran en el piedemonte, en régimen de humedad údico, y ocupan el 0.5% del área en caña.
- Aquals: Se observan en el piedemonte y en la planicie aluvial del río Cauca, en régimen de humedad ácuico (0.3% del área).

Entisoles. Son suelos jóvenes, con historia pedogenética muy corta que se encuentran ubicados principalmente en el piedemonte, en las napas de desborde y en los albardones y explayamientos de ruptura del río Cauca.

La mayoría de estos suelos solamente tiene un horizonte claro, de poco espesor, generalmente pobre en materia orgánica. Ocupan aproximadamente el 0.9% del área en caña.

Casi todos los Entisoles encontrados corresponden al suborden Fluvents (0.7% del área en caña); son suelos propios de planicies y valles aluviales, en general con granulometría arcillo-limosa y cantidad regular de materia orgánica.

Ultisoles. Suelos con buen desarrollo del perfil, ácidos, poco salinos, pobres en nutrientes y enriquecidos en arcilla. Se encuentran en el piedemonte, en los planos de terraza y en los ápices de abanicos, en el 0.4% del área. Los subórdenes son (de mal drenados a bien drenados): Aquults, Ustults y Uduults.

Histosoles. Suelos orgánicos por depósitos de turba y lignito, sin distinciones climáticas, ricos en materia orgánica, inmaduros, mal drenados y no estructurados. Ocupan el 0.003% del área en caña.

Grandes grupos de suelos. En el valle del río Cauca predominan los Mollisoles, Vertisoles e Inceptisoles en régimen de humedad ústico y con un perfil morfológicamente simple (Haplustolls, Haplusterts, Haplustepts); los Vertisoles e Inceptisoles con drenaje pobre (Endoaquerts, Endoaquepts); y los Vertisoles con régimen de humedad ústico y un horizonte cálcico (Calciusterts) (Cuadro 4).

Subgrupos. En el Cuadro 5 se muestran los principales subgrupos de suelos y sus características.

Las variaciones que se presentan en el suelo señalan cómo el suelo está evolucionando hacia otro taxón (Fluventic, Pachic, Vertic, Entic). Por ejemplo, el subgrupo Vertic Haplustolls indica que el suelo del orden Mollisol ubicado en un régimen de humedad ústico (seco) está evolucionando hacia el orden Vertisol.

Cuadro 4. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según el gran grupo de suelos. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre 2010. Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Grandes grupos de suelos y sus niveles categóricos inferiores			Distribución de área según gran grupo	
Gran grupo	Suborden	Orden	ha	%
Haplustoll	Ustoll	Mollisol	89,677	42.3
Haplustert	Ustert	Vertisol	37,486	17.7
Endoaquert	Aquert	Vertisol	18,920	8.9
Haplustept	Ustept	Inceptisol	16,864	7.9
Endoaquept	Aquept	Inceptisol	11,931	5.6
Calciustert	Ustert	Vertisol	8,122	3.8
Eutrudept	Udept	Inceptisol	6,320	3.0
Argiustoll	Ustoll	Mollisol	3,954	1.9
Endoaquoll	Aquoll	Mollisol	3,886	1.8
Haplustalf	Ustalf	Alfisol	2,672	1.3
Total			199,831	94.2

Cuadro 5. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según los subgrupos de suelos más representativos. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre 2010.

Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Subgrupo de suelos	Características principales	Área	
		ha	%
Typic Haplustert	Vertisoles típicos, en régimen de humedad ústico.	32,362	15.0
Pachic Haplustoll	Mollisoles en régimen de humedad ústico, con un epipedón muy grueso (>50 cm de profundidad).	19,04	8.8
Fluventic Haplustoll	Mollisoles en régimen de humedad ústico, formados sobre materiales aluviales, con distribución irregular de carbono orgánico.	18,717	8.7
Fluvaquentic Haplustoll	Mollisoles en régimen de humedad ústico, formados sobre material aluvial, con distribución irregular de carbono orgánico y drenaje imperfecto.	9,022	4.2
Entic Haplustoll	Mollisoles en régimen de humedad ústico, que no presentan horizonte cámbico.	8,852	4.1
Typic Endoaquert	Vertisoles típicos con drenaje pobre (nivel freático alto) en régimen de humedad ácuico.	8,22	3.8
Typic Calcicustert	Vertisoles típicos en régimen de humedad ústico, que poseen un horizonte cálcico.	8,178	3.8
Vertic Haplustoll	Mollisoles en régimen de humedad ústico, con un alto contenido de arcillas expansibles.	7,586	3.5
Typic Haplustoll	Mollisoles típicos en régimen de humedad ústico.	6,533	3.0
Vertic Endoaquept	Inceptisoles mal drenados (nivel freático alto), con alto contenido de arcilla y algunas características vérticas, en régimen de humedad ácuico.	6,322	2.9
Total		124,832	57.8

Familias texturales. La familia textural está definida por los porcentajes de las fracciones de arcilla, limo y arena que se encuentran en la sección control del perfil ubicada aproximadamente entre los 25 cm y 100 cm de profundidad del suelo, complementados con fragmentos más gruesos que la arena como constituyentes del suelo.

En el estudio detallado de suelos se detectaron 35 familias texturales, de las cuales 13 corresponden a clases de familias texturales homogéneas y 22 a familias mezcladas o contrastantes, formadas por la secuencia de horizontes o capas con texturas diferentes, que influyen en el manejo del suelo, especialmente en las prácticas agronómicas relacionadas con el movimiento del agua a través de los horizontes, la preparación o la labranza en socas y el mejoramiento del drenaje del suelo, entre otros aspectos.

En el Cuadro 6 se presenta la distribución porcentual del área según la familia textural de los suelos. Diez familias cubren el 94% del área estudiada. La familia textural más representativa en área es la fina (37%), seguida de las familias franca fina (31%) y muy fina (10%). En la familia fina (Arf, arcillosa fina), entre el 35% y el 59% de la masa del suelo está constituida por arcilla

Cuadro 6. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según la familia textural de los suelos. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre 2010. Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Familia textural	Área	
	ha	%
Fina	78,478	37.0
Francosa fina	66,005	31.1
Muy fina	22,186	10.5
Francosa gruesa	11,314	5.3
Limosa fina	6,310	3.0
Francosa fina sobre arenosa	4,793	2.3
Arcillosa sobre francosa	4,156	2.0
Arcillosa sobre esquelética arcillosa	2,541	1.2
Arenosa	2,362	1.1
Francosa fina sobre esquelética arenosa	2,043	1.0
Total	200,187	94.3

(30-59% en Vertisoles). En la franca fina (Ff), el 15% o más del peso de la masa del suelo de la sección control corresponde a partículas de arena fina (0.25-0.1 mm), incluidos fragmentos de 75 mm de diámetro y contenidos de arena entre 18-34% (menos del 30% en Vertisoles). En la familia muy fina (Arm_f, arcillosa muy fina), el 60% o más de la masa del suelo está constituida por arcilla.

Fases cartográficas. En las leyendas de la cartografía de suelos, cada unidad cartográfica descrita (consociación o complejo) incluye la nomenclatura de las fases correspondientes.

Textura de la capa arable. Agrupada en clases texturales, se refiere a la distribución de partículas por tamaño en el primer horizonte (profundidad de 0-25 cm). El estudio detallado de suelos muestra que en las áreas sembradas con caña de azúcar en el valle del río Cauca predominan las fases correspondientes a la textura fina (arcillo-arenosa, arcillo-limosa y arcillosa) y moderadamente fina (franco-arcillosa, franco-arcillo-arenosa, franco-arcillo-limosa). En el 91% del área se presentan las fases texturales fina, moderadamente fina y media (Cuadro 7).

Salinidad, sodicidad, inundaciones, drenaje artificial y pedregosidad superficial. La información derivada del estudio detallado de los suelos se presenta en el Cuadro 8, donde se destaca un área cercana a las 35 mil hectáreas con sistemas de drenaje artificial.

Pendiente. Predomina la pendiente entre 0-1% (Cuadro 9).

Profundidad efectiva. Según el estudio detallado no hay limitantes para el desarrollo del cultivo a más de 100 cm en 91,466 hectáreas; existe alguna limitación entre los 50-100 cm en 110,791 hectáreas y hay alguna restricción para el desarrollo radicular entre 0-50 cm en 28,077 hectáreas (suelos superficiales).

Principales suelos según sus nombres vernáculos. En el estudio detallado se identifican 232 consociaciones de suelos (Figura 9). Los diez suelos más representativos en área se describen en el Cuadro 10.

Cuadro 7. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según la textura de la capa arable. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre 2010. Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Fase textural, entre 0-25 cm	Clases texturales agrupadas*	Área	
		ha	%
Moderadamente fina	FAr ,FArA, FArL	98,073	46.22
Fina	ArA, ArL, Ar	84,761	39.94
Muy fina	>60% de Ar	18,200	8.58
Media	F, FL, L	10,173	4.79
Moderadamente gruesa	FA	741	0.35
Gruesa	AF-A	136	0.06
Total		212,083	99.94

* A: arena; Ar: arcilla; L: limo; F: franco.

Cuadro 8. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según la presencia de sales y sodio y las clases drenada, inundable y pedregosa. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre 2010. Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Fases cartográficas	Área	
	ha	%
Sales (>4 mmhos)	8,090	3.8
Sodio	1,772	0.8
Artificialmente drenadas	35,575	16.8
Inundaciones	538	0.3
Piedras en la superficie	4,133	1.9
Total	50,109	23.6

Cuadro 9. Distribución del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca según la pendiente topográfica. Estudio detallado de suelos. Datos a diciembre 2010. Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Pendiente topográfica (%)	Área	
	ha	%
0 - 1	195,520	92.1
1 - 3	14,406	6.8
3 - 7	1,628	0.8
7 - 12	645	0.3
Total	212,199	100.0

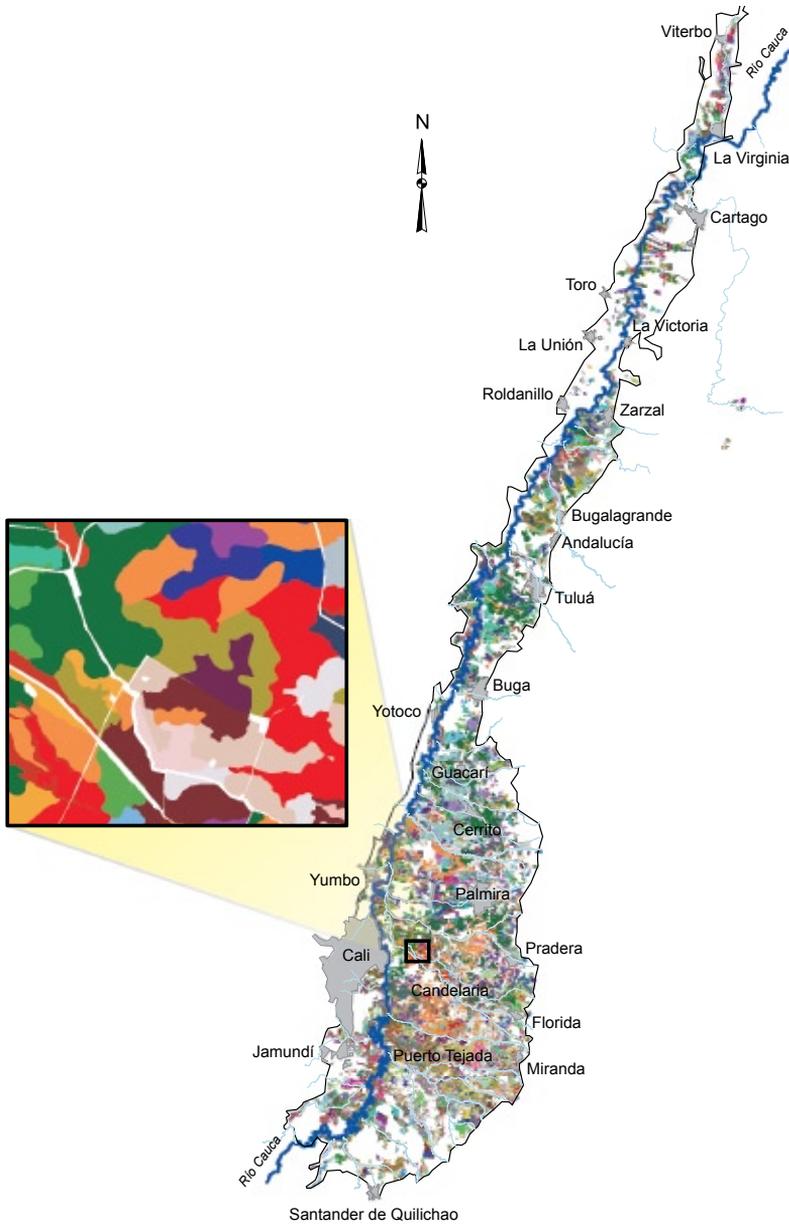


Figura 9. Suelos identificados en el estudio detallado de suelos en el valle del río Cauca.
Fuente: Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Cuadro 10. Distribución del área sembrada con caña de azúcar según las consociaciones de suelo más representativas. Estudio detallado de suelos. Valle del río Cauca, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.
Adaptado de Igac, 2006; García *et al.*, 2007, 2007a y 2007b.

Consociación de suelo	Características	Área	
		ha	%
Corintias (Typic Haplustert, familia fina)	Suelos profundos y moderadamente profundos, bien drenados, de texturas finas, reacción neutra a moderadamente alcalina, capacidad catiónica de cambio alta, con contenidos de carbono orgánico y fósforo altos. Son suelos con características vérticas dominantes y fertilidad alta, en régimen de humedad ústico.	23,943	11.3
Palmira (Pachic Haplustoll, familia franca fina)	Suelos profundos, de texturas medias y moderadamente finas, bien drenados, con reacción ligera a fuertemente alcalina, capacidad catiónica de cambio media, contenido de bases medio, saturación alta, carbono orgánico bajo y fertilidad alta, en régimen ústico.	13,651	6.4
Manuelita (Fluventic Haplustoll, familia franca fina)	Suelos profundos y muy profundos, de texturas medias y moderadamente finas, bien drenados, reacción neutra, contenido de bases medio-bajo, saturación alta, carbono orgánico bajo y fertilidad alta, en régimen ústico.	12,003	5.7
Galpón (Typic Calcustert, familia fina)	Suelos moderadamente profundos, con horizontes cálcicos, texturas finas, bien drenados, capacidad catiónica de cambio alta, bases totales y saturación de bases altas, relación calcio/magnesio en todo el perfil (algunas veces invertida), reacción ligeramente alcalina, fertilidad alta y muy alta, en régimen ústico.	7,913	3.73
Guadual (Fluvaquentic Haplustoll, familia franca fina)	Suelos moderadamente profundos, de texturas medias y moderadamente finas, con drenaje moderado a imperfecto, reacción moderadamente ácida a moderadamente alcalina, capacidad catiónica de cambio medio alta, saturación alta y fertilidad alta, en régimen ústico.	5,891	2.78
Juanchito (Vertic Endoaquept, familia fina)	Suelos moderadamente profundos, con drenaje pobre pero artificialmente drenados, texturas finas, características vérticas, capacidad catiónica de cambio alta, reacción ligeramente ácida a moderadamente alcalina, carbono orgánico medio en superficie y bajo en profundidad, fósforo bajo y fertilidad alta, en régimen ácuico.	5,539	2.61

Continúa

Conociación de suelo	Características	Área	
		ha	%
Nuevo Pichichi (Typic Haplustert, familia muy fina)	Suelos profundos, bien drenados, de texturas muy finas, con capacidad catiónica de cambio y saturación altas, carbono orgánico medio, fósforo disponible bajo, fertilidad natural alta y propiedades vérticas, en régimen ústico.	5,245	2.5
Palmeras (Vertic Haplustept, familia fina sobre franca fina)	Suelos profundos, de texturas medias, bien drenados, con reacción neutra a ligeramente alcalina, carbono orgánico alto en superficie y bajo en profundidad, características vérticas en algunas capas del perfil y fertilidad alta, en régimen ústico.	4,494	2.1
Burriá (Typic Endoaquert, familia muy fina)	Suelos moderadamente profundos, con drenaje pobre pero artificialmente drenados, texturas muy finas, características vérticas, reacción ligera a moderadamente alcalina, saturación de bases alta, algunos afectados por sales y/o sodio, carbono orgánico bajo y fertilidad alta, en régimen ácuico.	4,349	2.0
Cantarina (Pachic Vertic Haplustoll, familia fina)	Suelos profundos, de texturas finas, bien drenados y moderadamente bien drenados, con reacción ligeramente ácida a moderadamente alcalina, capacidad catiónica de cambio media y alta, contenidos de bases alta y fertilidad alta, en régimen ústico. Tienen el horizonte A muy grueso.	4,159	2.0
Jordán (Typic Haplustoll, familia francosa fina)	Suelos profundos, de texturas moderadamente finas, bien drenados, reacción ligera a moderadamente alcalina, saturación de bases alta, carbono orgánico bajo y fertilidad alta, en régimen de humedad ústico.	3,880	1.8
Total		91,067	42.9

Grupos de Humedad

Mediante el ordenamiento de las tierras en Grupos de Humedad se identifican los campos donde se presentan condiciones normales de humedad y aquellos donde prevalecen condiciones difíciles por el exceso de ésta.

En la tercera aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (Carbonell *et al.*, 2001), las tierras fueron ordenadas en seis Grupos de Humedad (C0, C1, C2, C3, C4 y C5) definidos con la metodología propuesta por Torres *et al.* (2000).

Para la cuarta aproximación de la zonificación Cenicaña afinó y validó los criterios usados en la caracterización de los Grupos de Humedad, con el fin de precisar mejor las condiciones locales de suelo y topografía que pudieran alterar la condición de humedad prevalente en un sitio específico.

Para el efecto se verificaron las condiciones de humedad en 86 sitios del valle del río Cauca con base en el balance hídrico calculado con una probabilidad de exceso de precipitación de 75% y determinaciones *in situ* de la permeabilidad del suelo. En cada sitio se evaluaron las variables consideradas como las de mayor influencia para el ajuste de las condiciones de humedad: presencia de signos de mal drenaje (moteados y gleysados en el suelo) y su profundidad; presencia de nivel freático y su profundidad; pendiente topográfica o del terreno; e infraestructura de drenaje. A cada variable se le asignó un valor de ponderación según el grado de influencia en las condiciones de humedad (Gómez *et al.*, 2007; Torres *et al.*, 2009).

De acuerdo con los criterios definidos para el ajuste, Cenicaña incorporó el conocimiento experto relacionado y desarrolló una aplicación de tecnología informática que fue evaluada con la información de los 86 sitios de verificación. Los resultados mostraron diferencias en el 73% de los casos de verificación con respecto al Grupo de Humedad asignado antes. Además de las variables mencionadas, se observó que la presencia de sales en el suelo y la presencia de vegetación de zonas húmedas también son un buen indicativo de los problemas de drenaje. Aunque estas variables no se incluyeron en el ajuste, se considera que su apreciación es importante para definir la condición de humedad de un sitio específico (Ibid).

Para diferenciar los nuevos Grupos de Humedad de los anteriores, en la nomenclatura la letra “C” (C0 a C5) cambió por la letra “H” (H0 a H5).

Afinamiento y caracterización de los Grupos de Humedad

En la definición de los Grupos de Humedad utilizados en la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica se tienen en cuenta como factores de agrupación la zonificación climática por balance hídrico (75% de exceso y $K_c=0.7$) y los resultados del estudio detallado de suelos en cuanto al drenaje natural (como equivalencia de la permeabilidad del suelo), la pendiente topográfica y la presencia de signos de mal drenaje (moteados y gleysados) y su profundidad.

Para el ajuste de los Grupos de Humedad se utiliza el diagrama de flujo de la Figura 10, con los criterios siguientes:

- En sitios donde la presencia de moteados en el perfil de suelo se encuentra a una profundidad menor de 50 cm el Grupo de Humedad inicial asciende una categoría (pasa de C0 a H1 y así sucesivamente hasta H5)
- En sitios donde se encuentran gleysados a una profundidad menor que 50 cm el Grupo de Humedad asciende dos categorías (C0 a H2...)
- Donde se encuentran gleysados entre 50-80 cm el Grupo de Humedad asciende una categoría (C0 a H1...)
- En sitios con pendiente mayor que 1% el Grupo de Humedad desciende una categoría (C5 a H4...)

En la calificación de la permeabilidad del suelo (Figura 11) se agrupan los suelos con características similares de drenaje natural y se usan los criterios de equivalencia siguientes:

- Drenaje bueno a moderadamente bueno equivale a permeabilidad alta.
- Drenaje imperfecto a moderadamente imperfecto equivale a permeabilidad media.
- Drenaje pobre a muy pobre equivale a permeabilidad baja.

Las asociaciones entre el nivel de humedad y la permeabilidad del suelo en los nuevos Grupos de Humedad (H0 - H5) y algunas recomendaciones de manejo se presentan en los Cuadros 11 y 12.

En el área de estudio predominan las tierras con déficit de humedad y humedad normal (57% del área en caña) y con humedad entre baja y media (32% del área); en el 11% restante la humedad es entre alta y muy alta (Figura 12, Cuadro 13).

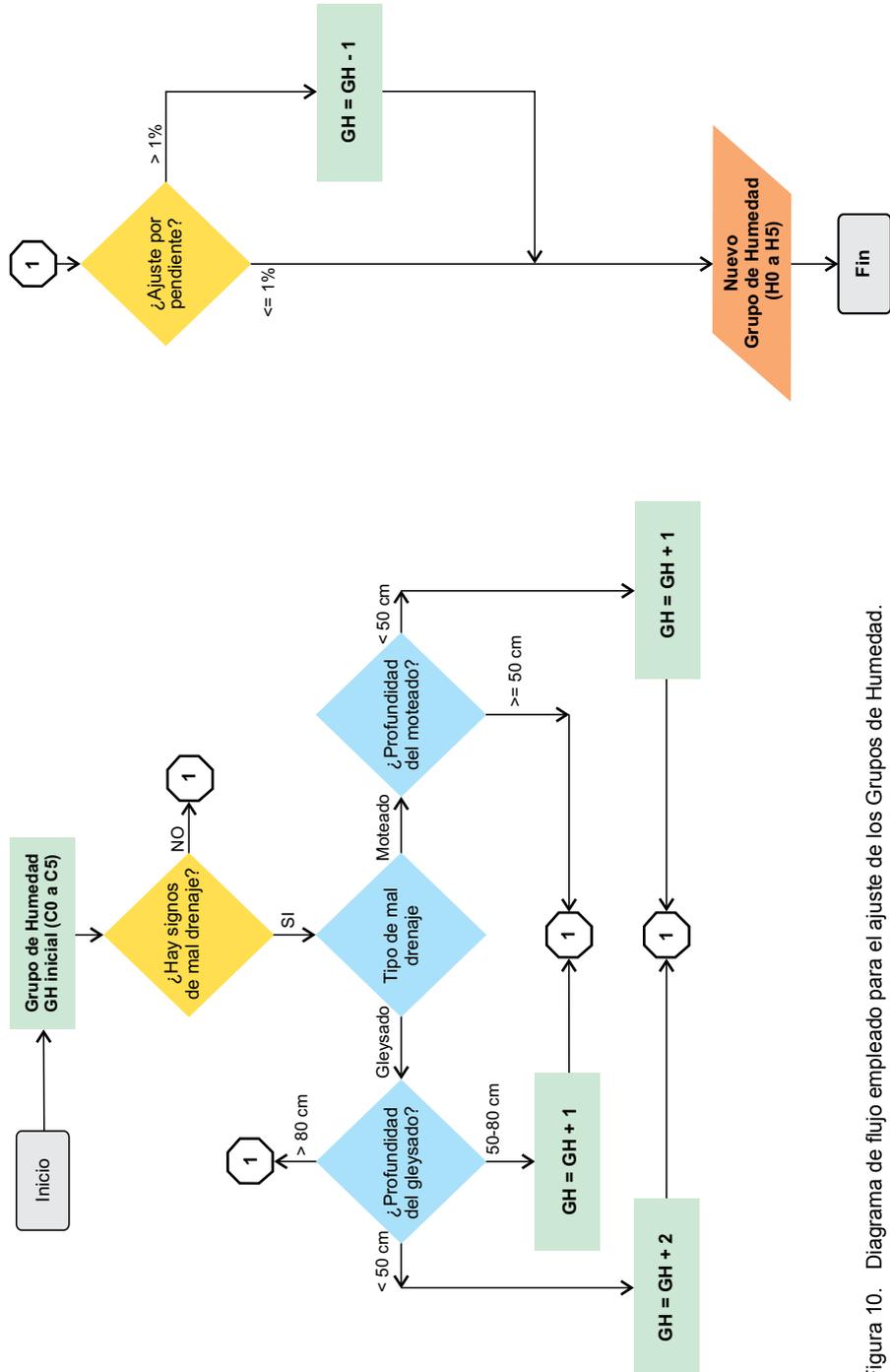


Figura 10. Diagrama de flujo empleado para el ajuste de los Grupos de Humedad. Adaptado de Gómez et al., 2007 y Torres et al., 2009.



Figura 11. Permeabilidad del suelo en el valle del río Cauca según el drenaje natural definido en el estudio detallado de suelos. Criterios de calificación de permeabilidad: Alta equivale a drenaje bueno a moderadamente bueno; Media, drenaje imperfecto a moderadamente imperfecto; Baja, drenaje pobre a muy pobre.

Cuadro 11. Ordenamiento de los nuevos Grupos de Humedad.

Fuente: Gómez *et al.*, 2007.

Ordenamiento de los Grupos de Humedad			
Nivel de humedad (mm/año)	Permeabilidad del suelo		
	Baja	Media	Alta
Muy alto (>600)	H5	H5	H4
Alto (400 – 600)	H4	H3	H3
Medio (200 – 400)	H3	H2	H2
Bajo (0 – 200)	H2	H1	H1
Déficit (<0)	H1	H0	H0

Cuadro 12. Descripción de los nuevos Grupos de Humedad y recomendaciones de manejo.

Adaptado de Torres *et al.*, 2000.

Grupo de Humedad	Nivel de exceso (mm/año)	Permeabilidad del suelo	Recomendaciones de manejo
H0 Déficit	<0	Media a alta	Evitar niveles freáticos superficiales (riesgo de salinización). Instalar drenaje subterráneo (recuperación de suelos salinos y sódicos).
H1 Humedad normal	0-200 <0	Media a alta Baja	Nivelación y aporque (evitar encharcamientos en suelos de poca pendiente y permeabilidad baja).
H2 Humedad baja	200-400 0-200	Media a alta Baja	Nivelación, aporque y sistema de canales de drenaje.
H3 Humedad media	400-600 200-400	Media a alta Baja	Nivelación de precisión, aporque alto, canales colectores profundos (evacuar agua de escorrentía), drenajes entubados en casos necesarios, variedades tolerantes a la humedad, trazado de drenes topo (suelos de permeabilidad baja), dosis adicional de nitrógeno (según análisis de suelo y estado del cultivo).
H4 Humedad alta	>600 400-600	Alta Baja (predominio de suelos arcillosos en relieve plano)	Nivelación de precisión, surcos <120 m, sistema de drenaje entubado y trazado de drenes topo, canales colectores abiertos y profundos, sistema de bombeo de aguas de drenaje (si es difícil la evacuación por gravedad), aporque alto, siembra en el lomo del surco, variedades tolerantes a la humedad, dosis adicional de nitrógeno (según análisis de suelo y estado del cultivo) y cosecha sólo en períodos secos.
H5 Humedad muy alta	>600	Baja a media (suelos arcillosos en relieve plano)	Igual que en H4. La cosecha debe ser manual y sólo en los períodos secos.

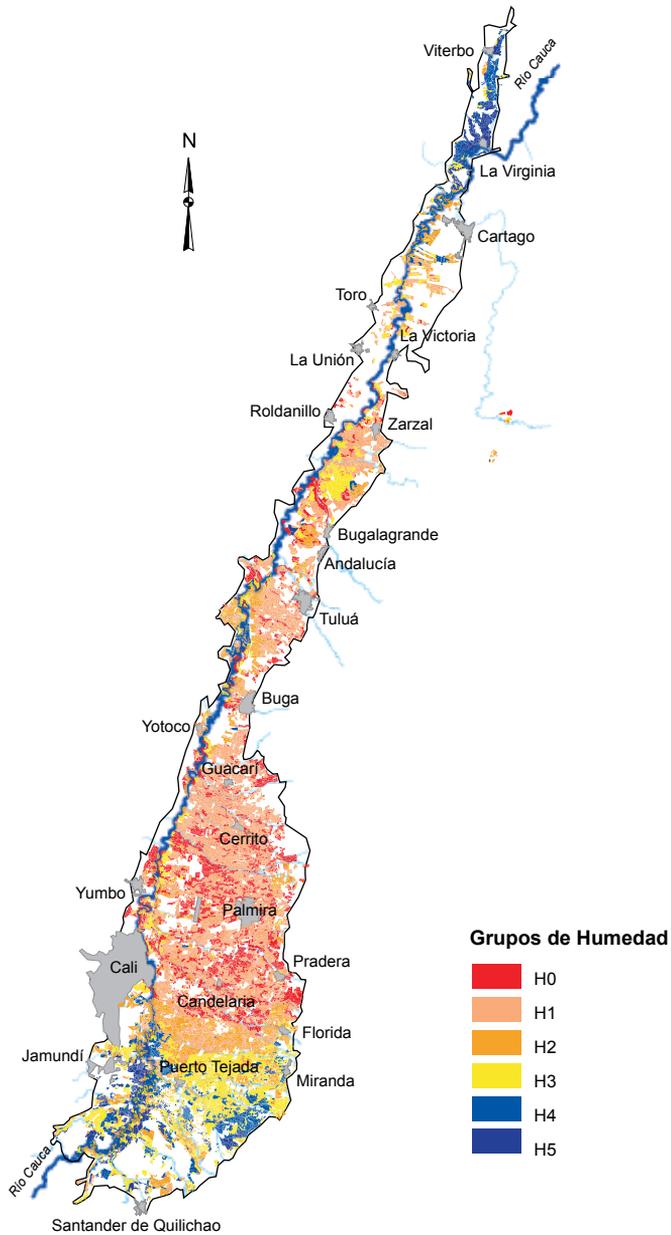


Figura 12. Grupos de Humedad utilizados en la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Cuadro 13. Distribución del área sembrada con caña de azúcar según el Grupo de Humedad. Valle del río Cauca, datos a diciembre 2010. Adaptado de Gómez *et al.*, 2007.

Ingenio	Distribución de área según Grupo de Humedad (ha)										Total	%	
	H0	H1	H2	H3	H4	H5	H4	H3	H2	H1			
Carmelita	1,996	3,246	1,440	882	377	-	-	377	882	1,440	3,246	7,941	3.7
Castilla	3,614	6,920	3,369	2,684	1,465	397	-	1,465	2,684	3,369	6,920	18,448	8.7
Central Tumaco	905	2,148	286	78	-	-	-	-	78	286	2,148	3,417	1.6
Incauca	1,083	5,559	10,162	13,597	4,863	3,184	-	4,863	13,597	10,162	5,559	38,448	18.1
La Cabaña	221	709	3,995	6,812	2,665	2,155	-	2,665	6,812	3,995	709	16,556	7.8
Manuelita	9,019	12,691	1,623	1,069	54	-	-	54	1,069	1,623	12,691	24,456	11.5
María Luisa	462	1,111	131	28	191	-	-	191	28	131	1,111	1,922	0.9
Mayagüez	6,335	10,050	2,936	864	584	258	-	584	864	2,936	10,050	21,027	9.9
Pichichí	2,887	7,336	1,168	203	73	-	-	73	203	1,168	7,336	11,667	5.5
Providencia	6,188	17,882	1,571	1,110	35	-	-	35	1,110	1,571	17,882	26,787	12.6
Riopaila	2,847	9,883	2,508	5,273	201	189	-	201	5,273	2,508	9,883	20,902	9.8
Risaralda	109	2,606	2,437	2,020	3,248	3,675	-	3,248	2,020	2,437	2,606	14,095	6.6
Sancarlos	494	4,329	1,508	204	-	-	-	-	204	1,508	4,329	6,536	3.1
Total	36,161	84,469	33,133	34,824	13,755	9,858	-	13,755	34,824	33,133	84,469	212,200	100.0

Grupos Homogéneos de Suelos

En 2006-2007, en el estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle del río Cauca se identificaron 238 suelos, de los cuales 235 fueron ordenados en 33 Grupos Homogéneos de Suelos de acuerdo con los tres factores siguientes: (a) La distribución de partículas por tamaño en la sección control de la familia textural; (b) Los regímenes de humedad del suelo y (c) La profundidad disponible para el normal desarrollo de las raíces de las plantas (Quintero *et al.*, 2008).

La agrupación de los suelos se basó en el propósito de mejorar la eficacia de la investigación y facilitar la extrapolación de resultados y la transferencia de tecnología en el sector azucarero. Los Grupos Homogéneos de Suelos fueron definidos en forma concisa de acuerdo con las características relacionadas con los tres factores clave mencionados, que pueden dar ideas acerca de la fertilidad de los suelos, sus limitaciones y algunas estrategias de manejo.

Las 35 familias texturales detectadas en el estudio detallado fueron agrupadas en 12 grupos texturales (Cuadro 14) que, junto con los regímenes de humedad ústico, údico y ácuico y con la profundidad efectiva, dieron lugar a la conformación de los 33 Grupos Homogéneos de Suelos (Cuadro 15).

La distribución del área cultivada según el Grupo Homogéneo de Suelos se presenta en la Figura 13.

En el Cuadro 16 se resumen las características principales de cada grupo de suelos y las limitaciones generales que pueden afectar su manejo. Las limitaciones de la mayoría de los suelos que conforman un determinado grupo o las limitaciones intragrupalas más notorias son (Ibid):

- Agrietamientos profundos en épocas secas que causan rompimiento de raíces y pérdidas apreciables de agua de riego y que se relacionan con contenidos altos de arcillas expandibles.
- Horizontes subsuperficiales argílicos o de acumulación de arcilla relativamente cerca de la superficie del suelo que limitan la profundidad efectiva del suelo y el desarrollo del sistema radical del cultivo.
- Niveles freáticos superficiales que limitan la presencia de oxígeno en la zona de raíces y retardan significativamente el desarrollo del cultivo.

Cuadro 14. Grupos homogéneos de familias texturales en la parte plana del valle del río Cauca. Valle del río Cauca, área a diciembre de 2010.
Fuente: Quintero *et al.*, 2008.

N°	Grupos texturales		Área	
	Familias texturales por grupo	Abreviaturas*	(ha)	(%)
1	Muy fina.	Armf	22,854	10.54
2	Fina.	Arf	79,816	36.82
3	Franca fina. Franca fina sobre arcillosa. Franca.	Ff - Ff/Ar - F	68,671	31.68
4	Limosa fina. Limosa fina sobre arcillosa. Limosa gruesa.	Lf - Lf/Ar - Lg	8,423	3.89
5	Franca gruesa. Mezclada.	Fg - Mezclada	11,674	5.39
6	Arenosa. Arenosa sobre arcillosa. Arenosa sobre franca. Esquelética arenosa. Esquelética franca. Franca gruesa sobre arenosa.	A - A/Ar - A/F - EA - EF - Fg/A	5,966	2.75
7	Arcillosa sobre arenosa. Arcillosa sobre franca.	Ar/A - Ar/F	5,682	2.62
8	Arcillosa sobre esquelética. Arcillosa sobre esquelética arcillosa. Arcillosa sobre esquelética franca.	Ar/E - Ar/E Ar - Ar/EF	2,875	1.33
9	Esquelética arcillosa. Esquelética arcillosa sobre esquelética arenosa. Esquelética arcillosa sobre esquelética franca.	E Ar - E Ar/EA - EA/EF	931	0.43
10	Franca fina sobre arenosa. Franca fina sobre esquelética arenosa. Franca fina sobre esquelética franca. Franca fina sobre frangmental.	Ff/A - Ff/EA - Ff/EF - Ff/frangm	8,918	4.11
11	Esquelética franca sobre arcillosa. Franca gruesa sobre arcillosa. Franca gruesa sobre limosa.	EF/Ar - Fg/Ar - Fg/L	545	0.25
12	Franca gruesa sobre esquelética arenosa. Franca gruesa sobre esquelética franca. Franca gruesa sobre frangmental. Frangmental.	Fg/EA - Fg/EF - Fg/frangm - frangm	410	0.19
Total			216,765	100.00

* Ar: arcillosa; A: arenosa; E: esquelética; F: franca; frangm: frangmental; f: fina; g: gruesa; L: limosa; mf: muy fina.

Cuadro 15. Factores determinantes para conformar los Grupos Homogéneos de Suelos al adicionarlos al grupo textural.

Fuente: Ibid.

Grupo textural	Factores determinantes de diferenciación	Grupo de Suelos
1	Régimen humedad y profundidad	1 - 5
2	Régimen humedad y profundidad	6 - 10
3	Régimen humedad y profundidad	11 - 14
4	Régimen humedad y profundidad	15 - 17
5	Régimen humedad y profundidad	18 - 20
6	Profundidad	21 - 22
7	Régimen humedad y profundidad	23 - 25
8	Régimen humedad y profundidad	26 - 28
9	Ninguno (forma un grupo)	29
10	Profundidad	30 - 31
11	Ninguno (forma un grupo)	32
12	Ninguno (forma un grupo)	33

- Encharcamientos en épocas lluviosas por baja permeabilidad y contenido alto de arcilla; precipitaciones altas que conducen a saturaciones de humedad, baja asimilación de N y K y desarrollo muy restringido de la caña.
- Limitaciones químicas relacionadas con alta acidez y baja fertilidad del suelo como consecuencia de bajas capacidades de intercambio catiónico propias de suelos degradados, que también pueden estar relacionadas con la ubicación en planos de terrazas.

De acuerdo con Quintero *et al.* (2008), las limitaciones deben relacionarse ante todo con la selección de la variedad de caña de azúcar y con prácticas de manejo como: Sistemas de riego, láminas de agua, caudales y frecuencias de riego; sistemas de preparación o labranza en socas que incluyan la subsolada para facilitar la roturación de capas compactas y el desarrollo radical; sistemas de drenaje, siembra en el lomo del surco y planes específicos de fertilización definidos según las condiciones de suelo y clima de cada sitio de producción; uso de enmiendas para neutralizar el aluminio intercambiable del suelo y suplir las deficiencias de nutrimentos. Para superar la baja capacidad de intercambio catiónico relacionada con contenidos altos de arena, se sugiere el uso de abonos orgánicos, el fraccionamiento de la dosis de N y el uso de fuentes de nutrimentos que reduzcan las pérdidas por lixiviación, especialmente las pérdidas de N en forma nítrica.

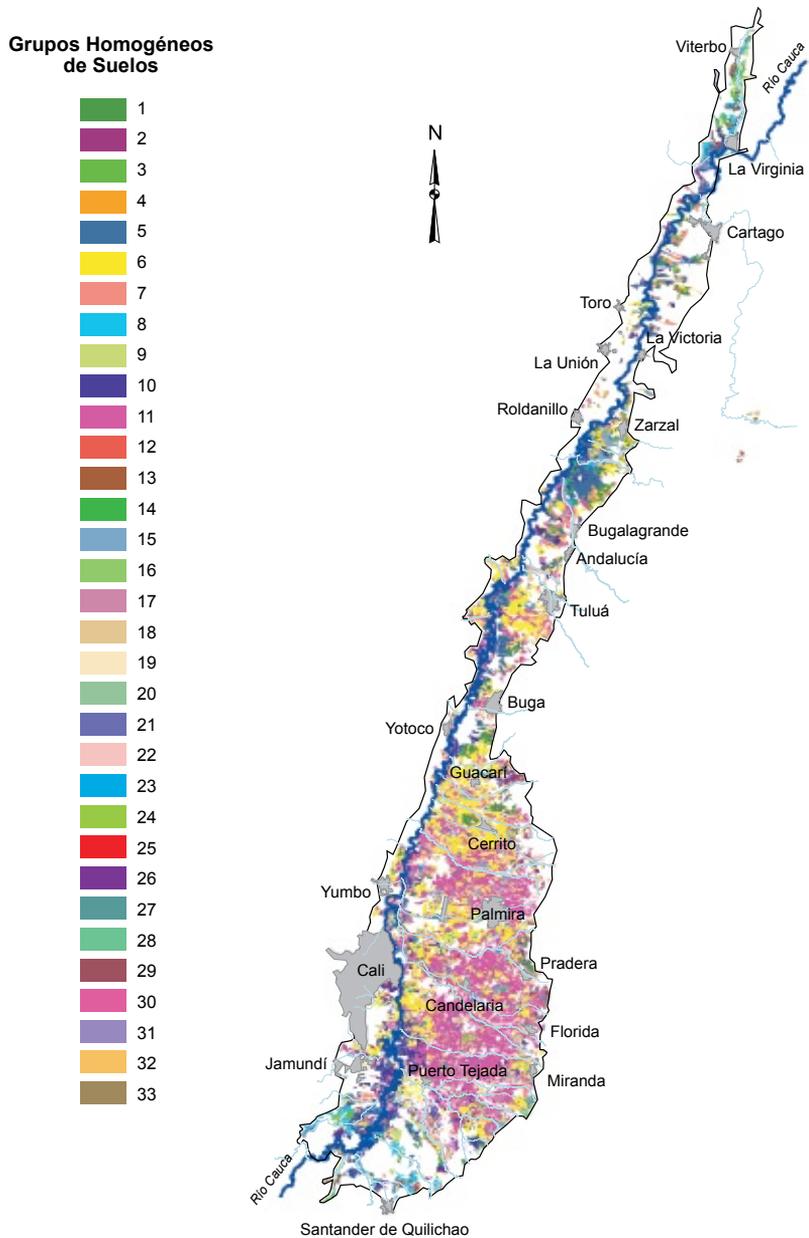


Figura 13. Grupos Homogéneos de Suelos utilizados en la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Cuadro 16. Características principales de los Grupos Homogéneos de Suelos en el valle del río Cauca. Información actualizada a diciembre de 2010.

Adaptado de Quintero *et al.*, 2008.

Grupo de Suelos (No.)	Órdenes (No. suelos)	Características principales
1	Vertisoles (3) Mollisoles (1) Inceptisoles (1) Ultisoles (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 Ultisol está en plano de terraza. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.
2	Alfisoles (2) Mollisoles (1) Ultisoles (1)	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.
3	Inceptisoles (4) Mollisoles (1) Vertisoles (1)	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.
4	Alfisoles (1) Inceptisoles (1)	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.
5	Vertisoles (6) Inceptisoles (4) Alfisoles (1)	Suelos de textura muy fina, ácuicos, superficiales, ubicados en cuerpo y pie de abanicos, cubetas de desborde y planos de terraza que se encharcan en épocas lluviosas. Limitados por escasa profundidad y encharcamientos periódicos.
6	Mollisoles (8) Inceptisoles (6) Vertisoles (5)	Suelos de textura fina, secos, profundos y moderadamente profundos que se agrietan al secarse, ubicados en el cuerpo y pie de abanicos, planos de terraza y llanuras de desborde. Limitados por escasez de macroporos y permeabilidad lenta.
7	Alfisoles (3) Mollisoles (2) Ultisoles (2) Entisoles (1) Inceptisoles (1) Vertisoles (1)	Suelos de textura fina, secos, superficiales, con capas arcillosas compactas subsuperficiales, agrietados al secarse y están ubicados en el ápice, cuerpo y pie de abanicos y terrazas. Limitados por poca profundidad efectiva y escasez de macroporos y permeabilidad lenta.
8	Inceptisoles (7) Vertisoles (3) Mollisoles (1)	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.
9	Alfisoles (3) Mollisoles (1) Inceptisoles (1)	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.

Continúa

Cuadro 16. Continuación.

Grupo de Suelos (No.)	Órdenes (No. suelos)	Características principales
10	Inceptisoles (5) Vertisoles (3) Mollisoles (1) Alfisolos (1)	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.
11	Mollisoles (18) Inceptisoles (6) Vertisoles (2) Entisoles (2) Alfisolos (1)	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.
12	Histosoles (1) Mollisoles (1)	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.
13	Inceptisoles (3) Mollisoles (1)	Suelos de textura franca fina, húmedos, profundos o moderadamente profundos, bien drenados, ubicados en napas de desborde y planos de terraza.
14	Inceptisoles (2) Mollisoles (1) Vertisoles (1)	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.
15	Mollisoles (8) Inceptisoles (4) Vertisoles (1)	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.
16	Inceptisoles (1)	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.
17	Inceptisoles (2) Mollisoles (2)	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.
18	Inceptisoles (6) Mollisoles (6) Entisoles (1) Vertisoles (1)	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.

Continúa

Cuadro 16. Continuación.

Grupo de Suelos (No.)	Órdenes (No. suelos)	Características principales
19	Entisoles (2)	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.
20	Mollisoles (2) Inceptisoles (1)	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.
21	Mollisoles (5) Inceptisoles (2) Entisoles (1)	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.
22	Mollisoles (5) Entisoles (4) Inceptisoles (2)	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.
23	Mollisoles (3) Inceptisoles (4) Vertisoles (3)	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.
24	Mollisoles (1)	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.
25	Inceptisoles (2) Vertisoles (1)	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.
26	Inceptisoles (2) Mollisoles (1) Vertisoles (1)	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.

Continúa

Cuadro 16. Continuación.

Grupo de Suelos (No.)	Órdenes (No. suelos)	Características principales
27	Mollisoles (2) Ultisoles (1)	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.
28	Alfisoles (1)	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.
29	Mollisoles (4)	Suelos de texturas esquelética arcillosa, esquelética arcillosa sobre esquelética franca, esquelética arcillosa sobre esquelética arenosa, secos, superficiales, bien drenados, en cuerpo y ápice de abanicos y explayamientos de desborde. Limitados por abundante presencia de fragmentos rocosos.
30	Mollisoles (13) Inceptisoles (5)	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.
31	Mollisoles (3) Entisoles (1)	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.
32	Mollisoles (4)	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.
33	Mollisoles (5) Entisoles (1)	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.

Zonificación agroecológica, cuarta aproximación

La cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca obedece a la combinación de las coberturas temáticas dadas por el ordenamiento de las tierras en Grupos de Humedad y Grupos Homogéneos de Suelos.

Al 31 de diciembre de 2010, en 212,200 hectáreas sembradas con caña de azúcar se identifican 156 zonas agroecológicas (Cuadro 17 y Figura 14).

En la nomenclatura utilizada para la identificación de las zonas, el número inicial se refiere al Grupo Homogéneo de Suelos y la letra 'H' (condición de humedad) con su respectivo número indica el Grupo de Humedad; de este modo, por ejemplo, la zona agroecológica 1H0 reúne las tierras clasificadas en el Grupo Homogéneo de Suelos 1 y en el Grupo de Humedad H0.

La distribución del área sembrada con caña de azúcar por zona agroecológica y por ingenio azucarero se muestra en el Cuadro 18.

Se identifican doce zonas agroecológicas que ocupan, cada una, más del 2% del área en caña; la cobertura total de estas zonas es de 132,200 hectáreas, el 62% del área estudiada. La descripción de las ocho zonas de mayor área se presenta en el Cuadro 19 junto con las limitaciones principales de los suelos y las recomendaciones específicas de manejo agrícola y agronómico según las condiciones prevalentes de humedad. Para cada zona agroecológica se encuentra información de igual naturaleza a través del Sistema de Información AEPS disponible en <www.cenicana.org/aeeps/index.php>

La secuencia metodológica de análisis de los factores definidos para la identificación de las zonas agroecológicas y la publicación en línea de la cartografía temática al nivel de suerte, con sus leyendas respectivas y coordenadas geográficas definidas, se logran por medio de SIG.

A través de herramientas propias de SIG se automatizan los procesos del caso, según los procedimientos definidos de captura de datos, almacenamiento, análisis, actualización, manejo de información, publicación y consulta.

En los análisis se aplican técnicas de estadística espacial y se utilizan herramientas de tecnología informática y bases de datos geográficos y datos estadísticos.

Cuadro 17. Zonas agroecológicas para el cultivo de la caña de azúcar identificadas en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Diciembre de 2010.

Ordenamiento de las zonas agroecológicas (cuarta aproximación)						
Grupo de Suelos	Grupo de Humedad					
	H0	H1	H2	H3	H4	H5
1	1H0	1H1	1H2	1H3	1H4	1H5
2	2H0	2H1	2H2	2H3	2H4	-
3	-	3H1	3H2	3H3	3H4	3H5
4	-	4H1	4H2	4H3	-	-
5	-	5H1	5H2	5H3	5H4	5H5
6	6H0	6H1	6H2	6H3	6H4	6H5
7	7H0	7H1	7H2	7H3	7H4	-
8	-	8H1	8H2	8H3	8H4	8H5
9	-	9H1	9H2	9H3	9H4	9H5
10	10H0	-	10H2	10H3	10H4	10H5
11	11H0	11H1	11H2	11H3	11H4	11H5
12	-	12H1	12H2	12H3	12H4	-
13	13H0	13H1	13H2	13H3	13H4	13H5
14	-	14H1	14H2	14H3	14H4	14H5
15	15H0	15H1	15H2	15H3	-	-
16	-	16H1	16H2	16H3	16H4	16H5
17	-	-	17H2	17H3	17H4	17H5
18	18H0	18H1	18H2	18H3	18H4	18H5
19	19H0	19H1	19H2	-	-	-
20	-	20H1	20H2	20H3	20H4	20H5
21	21H0	21H1	21H2	21H3	-	-
22	22H0	22H1	22H2	22H3	22H4	22H5
23	23H0	23H1	23H2	23H3	23H4	-
24	-	-	24H2	24H3	24H4	-
25	-	-	25H2	25H3	25H4	25H5
26	26H0	26H1	26H2	26H3	26H4	-
27	27H0	27H1	-	27H3	27H4	-
28	-	-	28H2	28H3	28H4	-
29	29H0	29H1	29H2	29H3	-	-
30	30H0	30H1	30H2	30H3	30H4	-
31	31H0	31H1	31H2	31H3	31H4	-
32	32H0	32H1	32H2	32H3	32H4	-
33	33H0	33H1	33H2	33H3	33H4	-

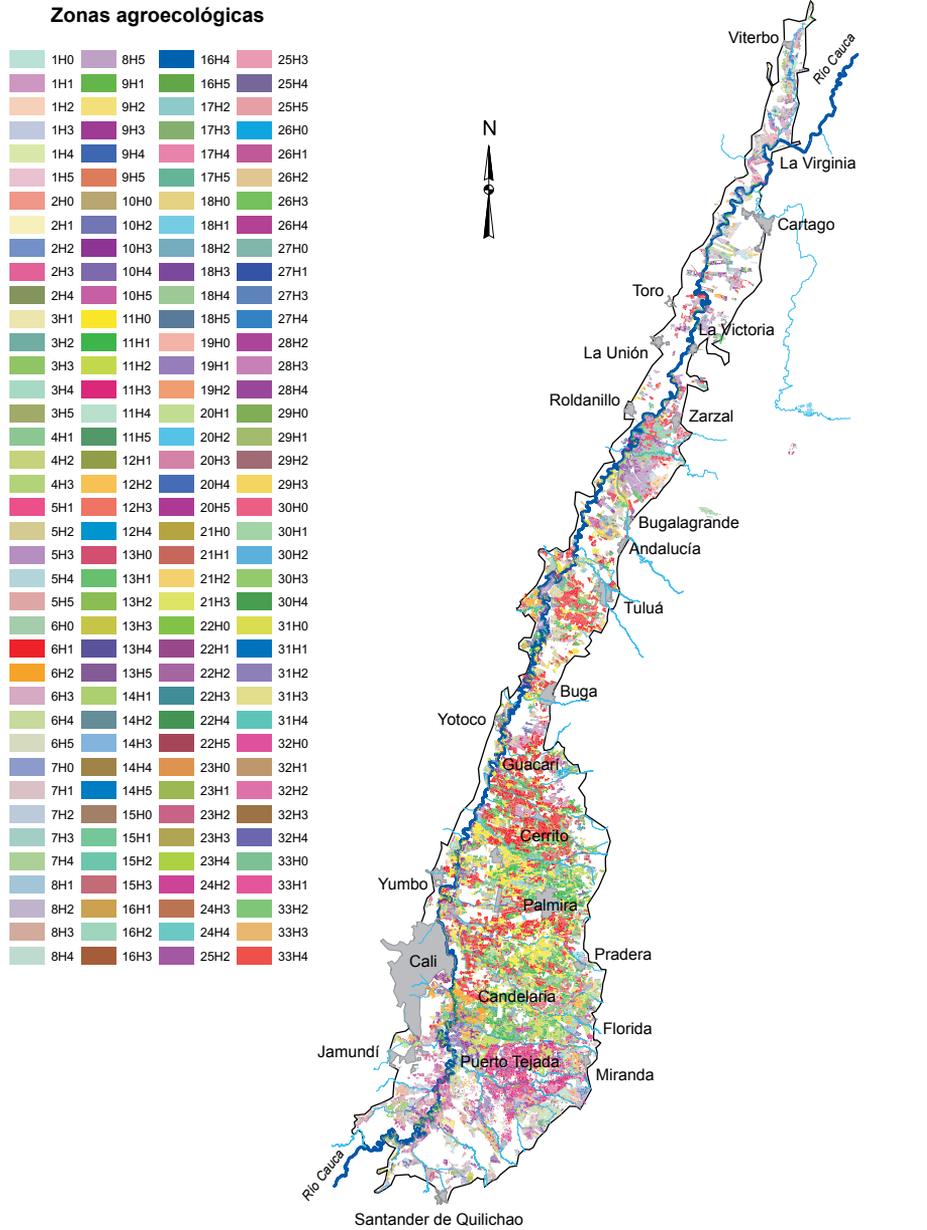


Figura 14. Zonas agroecológicas identificadas en la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

Cuadro 18. Distribución del área sembrada con caña de azúcar según las zonas agroecológicas identificadas para el cultivo en el valle del río Cauca, diciembre de 2010.

Zona agroecol.	Área por ingenio azucarero (ha)													Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carme-Ita	Central Tumaco	Maria Luisa	Manue-Ita	Maya-güez	Pichichí	Provi-dencia	Rio-palla	Risa-ralda	San-carlos		
1H0	-	-	96	-	-	-	92	144	70	9	-	-	-	411	0.19
1H1	53	-	144	112	-	-	66	147	1,298	745	1,541	579	21	4,705	2.22
1H2	72	106	1	57	-	-	46	25	-	-	394	396	-	1,097	0.52
1H3	97	100	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	210	0.10
1H4	15	4	11	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	30	0.01
1H5	11	22	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	33	0.02
2H0	-	-	-	-	-	-	0.1	23	-	10	-	-	-	33	0.02
2H1	-	-	-	-	-	-	26	25	-	19	-	-	-	70	0.03
2H2	34	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	34	0.02
2H3	161	134	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	295	0.14
2H4	1	17	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	19	0.01
3H1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	68	-	68	0.03
3H2	97	19	-	-	-	-	-	-	-	-	-	23	-	139	0.07
3H3	370	199	10	-	-	-	-	-	-	-	-	95	-	674	0.32
3H4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	515	-	515	0.24
3H5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	92	-	92	0.04
4H1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	251	303	-	555	0.26
4H2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	123	-	125	0.06

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agrocol.	Área por ingenio azucarero (ha)													Total	%	
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carmelita	Central Tumaco	María Luisa	Manuelita	Mayagüez	Pichichi	Provincia	Riopaila	Risairaldia	Sancarlos			
4H3	72	92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	163	0.08
5H1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	-	1	0.00
5H2	50	-	41	130	76	-	141	37	702	693	293	45	1,107	3,315	1.56	
5H3	31	3	53	427	14	-	190	236	54	218	3,137	566	119	5,047	2.38	
5H4	323	244	75	34	-	9	49	182	-	2	176	846	-	1,940	0.91	
5H5	859	533	47	-	-	-	-	99	-	-	-	1,077	-	2,616	1.23	
6H0	-	-	23	435	131	-	753	163	306	204	-	-	-	2,014	0.95	
6H1	1,816	49	1,932	1,525	1,253	304	4,787	2,995	3,747	9,907	2,805	656	2,743	34,520	16.27	
6H2	2,000	1,090	620	825	8	16	163	911	271	262	446	160	4	6,776	3.19	
6H3	1,285	961	626	81	-	-	32	75	6	-	-	132	-	3,197	1.51	
6H4	1,004	632	324	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1,960	0.92	
6H5	18	-	46	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	0.03	
7H0	-	0	133	4	-	-	1	-	18	24	901	14	-	1,096	0.52	
7H1	6	16	41	175	-	-	71	37	67	111	1,142	103	172	1,941	0.91	
7H2	534	246	58	-	-	1	-	6	-	-	83	373	-	1,301	0.61	
7H3	35	39	121	-	-	-	-	5	-	-	-	-	-	200	0.09	
7H4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0.00	
8H1	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	22	96	-	123	0.06	

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agroecol.	Área por ingenio azucarero (ha)													Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carme-Ita	Central Tumaco	Maria Luisa	Manue-Ita	Maya-güez	Pichichi	Provi-dencia	Rio-palla	Risa-ralda	San-carlos		
8H2	845	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	73	-	983	0.46
8H3	2,157	935	16	-	-	-	43	-	-	-	-	114	-	3,265	1.54
8H4	160	275	74	-	-	-	5	17	-	-	-	727	-	1,259	0.59
8H5	20	-	15	-	-	-	-	-	-	-	-	787	-	822	0.39
9H1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	27	-	27	0.01
9H2	106	35	49	-	-	-	-	260	-	-	-	13	-	464	0.22
9H3	319	368	3	-	-	-	-	43	-	-	-	28	-	761	0.36
9H4	10	-	7	-	-	-	-	-	-	-	-	242	-	259	0.12
9H5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	274	-	274	0.13
10H0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	0.00
10H2	161	17	47	215	31	-	118	198	116	241	456	38	289	1,927	0.91
10H3	1,001	9	196	307	65	28	660	252	143	778	2,118	457	81	6,094	2.87
10H4	1,585	1,060	656	332	-	182	-	303	73	33	25	357	-	4,605	2.17
10H5	2,039	1,537	243	-	-	-	-	133	-	-	189	655	-	4,796	2.26
11H0	733	18	1,572	1,106	595	134	5,527	4,009	1,049	3,069	1,277	30	301	19,419	9.15
11H1	2,541	247	2,796	676	602	605	4,860	4,010	978	3,694	507	423	1,036	22,976	10.83
11H2	3,605	885	1,787	91	-	95	708	788	2	53	31	367	-	8,412	3.96
11H3	5,969	3,224	1,156	-	-	-	-	96	-	-	4	156	-	10,604	5.00

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agroecol.	Área por ingenio azucarero (ha)													Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carmelita	Central Tumaco	María Luisa	Manuelita	Mayagüez	Pichichí	Provincia	Riopaila	Risardalda	Sancarlos		
11H4	867	162	113	-	-	-	-	-	-	-	-	117	-	1,259	0.59
11H5	103	-	43	-	-	-	-	-	-	-	-	5	-	150	0.07
12H1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	6	-	6	0.00
12H2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	31	0.01
12H3	68	63	77	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	209	0.10
12H4	-	0.3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0	0.00
13H0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	61	11	-	71	0.03
13H1	6	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	77	-	87	0.04
13H2	394	363	9	-	-	-	-	0.5	-	-	-	153	-	920	0.43
13H3	311	82	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79	-	472	0.22
13H4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	1	-	1	0.00
13H5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	189	-	189	0.09
14H1	-	-	40	96	-	8	7	43	-	10	558	38	12	812	0.38
14H2	25	-	26	3	14	-	13	19	-	0.2	497	301	108	1,007	0.47
14H3	215	93	28	-	-	-	-	42	-	-	2	34	0.2	415	0.20
14H4	70	22	-	-	-	-	-	44	-	-	-	78	-	214	0.10
14H5	66	29	2	-	-	-	-	-	-	-	-	182	-	278	0.13
15H0	-	-	-	-	94	-	561	56	-	77	-	-	-	788	0.37

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agrocol.	Área por ingenio azucarero (ha)														Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carme-Ilta	Central Tumaco	Maria Luisa	Manue-Ilta	Maya-güez	Pichichí	Provi-dencia	Rio-palla	Risa-ralda	San-carlos			
15H1	18	5	259	59	94	1	488	91	118	1,027	2,641	48	7	4,857	2.29	
15H2	84	59	29	22	-	-	1	11	-	15	18	99	-	338	0.16	
15H3	74	48	13	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	136	0.06	
16H1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	-	-	3	0.00	
16H2	19	-	25	-	-	-	-	-	-	-	0.1	79	-	123	0.06	
16H3	39	29	-	-	-	-	-	-	-	-	-	36	-	104	0.05	
16H4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	178	-	178	0.08	
16H5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	111	-	111	0.05	
17H2	-	-	-	-	-	-	-	4	-	7	31	70	-	112	0.05	
17H3	-	-	77	3	-	-	173	11	-	104	12	151	-	530	0.25	
17H4	512	43	30	11	-	-	-	38	-	-	-	47	-	681	0.32	
17H5	56	24	0.2	-	-	-	-	-	-	-	-	20	-	101	0.05	
18H0	52	24	284	359	52	81	702	436	231	597	162	-	27	3,007	1.42	
18H1	529	115	335	360	100	102	1,143	315	233	800	16	75	38	4,162	1.96	
18H2	680	496	356	35	156	9	283	425	70	157	9	42	-	2,718	1.28	
18H3	445	147	56	-	-	-	-	61	-	-	-	66	-	775	0.37	
18H4	169	61	39	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	269	0.13	
18H5	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	34	0.02	

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agroecol.	Área por ingenio azucarero (ha)														Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carmelita	Central Tumaco	Maria Luisa	Manuelita	Mayagüez	Pichichí	Provincia	Riopaila	Risairalda	Sancarlos	Total		
19H0	-	-	-	-	-	1	6	2	12	11	3	11	-	46	0.02	
19H1	8	27	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	37	0.02	
19H2	90	60	1	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	159	0.08	
20H1	-	-	-	45	-	2	14	9	-	19	21	-	-	110	0.05	
20H2	4	-	8	4	-	-	-	3	-	-	250	-	-	269	0.13	
20H3	99	38	-	1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	139	0.07	
20H4	12	40	2	-	-	-	-	-	-	-	-	30	-	84	0.04	
20H5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	112	-	112	0.05	
21H0	134	11	197	30	-	35	403	540	144	153	-	-	27	1,674	0.79	
21H1	217	27	46	6	-	7	0.2	223	-	-	-	-	-	525	0.25	
21H2	391	174	81	-	1	-	2	23	-	-	-	-	-	671	0.32	
21H3	8	32	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	49	0.02	
22H0	2	90	158	21	-	15	432	224	329	1,011	20	11	25	2,338	1.10	
22H1	3	5	2	7	28	-	107	1	2	85	11	13	-	264	0.12	
22H2	46	19	44	-	-	-	-	-	-	-	-	9	-	117	0.06	
22H3	3	9	6	-	-	-	-	-	-	-	-	14	-	31	0.01	
22H4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2	-	2	0.00	
22H5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25	-	25	0.01	

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agroecol.	Área por ingenio azucarero (ha)													Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carmelita	Central Tumaco	María Luisa	Manuelita	Mayagüez	Pichichí	Providencia	Riopaila	Risarralda	Sancarlos		
23H0	11	-	54	-	-	-	-	0.2	18	2	395	-	-	481	0.23
23H1	127	5	310	71	21	33	447	779	208	676	176	-	164	3,018	1.42
23H2	438	69	31	-	-	11	22	-	-	-	-	2	-	572	0.27
23H3	12	12	17	-	-	-	-	-	-	-	-	16	-	57	0.03
23H4	9	18	-	-	-	-	-	-	-	-	-	48	-	74	0.04
24H2	56	89	14	-	-	-	-	117	-	-	-	-	-	276	0.13
24H3	68	33	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	187	0.09
24H4	0	9	53	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	62	0.03
25H2	-	-	-	-	-	0.2	-	2	-	47	-	-	-	49	0.02
25H3	73	-	-	63	-	-	15	-	-	10	-	35	4	201	0.09
25H4	81	29	31	-	-	-	-	-	-	-	-	31	-	171	0.08
25H5	10	9	-	-	-	-	-	26	-	-	-	117	-	161	0.08
26H0	-	-	45	-	-	-	-	128	312	212	-	-	-	697	0.33
26H1	-	58	141	34	-	2	141	101	464	245	10	11	6	1,214	0.57
26H2	-	-	-	38	-	-	5	19	-	-	-	-	-	62	0.03
26H3	1	-	23	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	24	0.01
26H4	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0.00
27H0	-	-	58	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	71	0.03

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agroecol.	Área por ingenio azucarero (ha)													Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carmelita	Central Tumaco	Maria Luisa	Manuelita	Mayagüez	Pichichi	Provincia	Riopaila	Risarálda	San Carlos		
27H1	-	-	56	-	-	-	-	2	2	80	-	2	-	142	0.07
27H3	304	1	9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	314	0.15
27H4	-	12	5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	17	0.01
28H2	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0.00
28H3	123	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	123	0.06
28H4	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0.00
29H0	-	11	123	-	-	6	32	248	39	39	-	-	-	458	0.22
29H1	7	48	90	-	-	-	102	104	14	14	-	-	-	365	0.17
29H2	7	-	6	-	-	-	13	-	-	-	-	-	-	26	0.01
29H3	-	2	10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11	0.01
30H0	20	45	530	28	1	178	299	489	81	330	13	2	-	2,016	0.95
30H1	199	100	678	76	49	47	442	1,157	109	405	176	34	130	3,602	1.70
30H2	260	112	92	19	-	-	87	56	7	-	-	-	-	634	0.30
30H3	18	124	67	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	209	0.10
30H4	1	-	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0.00
31H0	2	21	271	12	32	-	176	61	52	413	14	17	112	1,183	0.56
31H1	9	1	47	3	-	-	36	-	1	46	-	45	-	187	0.09
31H2	90	63	23	-	-	-	-	16	-	-	-	32	-	223	0.11

Continúa

Cuadro 18. Continuación.

Zona agroecol.	Área por ingenio azucarero (ha)													Total	%
	Incauca	La Cabaña	Castilla	Carmelita	Central Tumaco	María Luisa	Manuelita	Mayagüez	Pichichí	Provincia	Riopaila	Risaralda	San Carlos		
31H3	164	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	41	-	220	0.10
31H4	15	-	2	-	-	-	-	-	-	-	-	26	-	43	0.02
32H0	44	-	22	-	-	-	28	18	10	15	-	-	-	137	0.06
32H1	12	-	4	-	-	-	54	12	4	-	-	-	-	87	0.04
32H2	52	3	16	-	-	-	36	2	-	95	-	-	-	206	0.10
32H3	-	-	3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	3	0.00
32H4	15	29	20	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	64	0.03
33H0	86	-	47	2	-	17	34	11	-	6	-	14	2	219	0.10
33H1	3	2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	5	0.00
33H2	20	20	4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	44	0.02
33H3	73	32	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	105	0.05
33H4	7	4	17	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	29	0.01
Total	38,448	16,556	18,448	7,941	3,417	1,922	24,456	21,027	11,667	26,787	20,902	14,095	6,536	212,200	100

Cuadro 19. Descripción de las ocho zonas agroecológicas más representativas del área sembrada con caña de azúcar en el valle del río Cauca. Datos a diciembre de 2010.

Zonas agroecológicas 11H0, 11H1, 11H2 y 11H3 29 suelos (52,999 hectáreas)		
Características principales	Limitaciones principales que pueden presentar los suelos	Recomendaciones de manejo
<p>Tierras ordenadas en el Grupo Homogéneo de Suelos No. 11. Suelos de texturas franca fina y franca fina sobre arcillosa y contenido de arcilla menor del 35% en la sección control del perfil, distribuidos en el cuerpo y pie de los abanicos de la llanura aluvial de régimen údico, en las napas de desborde de la llanura de desborde del río Cauca y de sus tributarios y en planos de terraza de los mismos. Moderadamente bien drenados y bien drenados y moderadamente profundos y profundos.</p> <p>De relieve plano (pendientes entre 0-1%) y régimen de humedad ústico, se encuentran suelos de permeabilidad alta, media y baja.</p> <p>Según el grupo de humedad corresponden a zonas con déficit (H0: <0 mm/año), zonas con humedad normal (H1: <200 mm/año), zonas con humedad baja (H2: <200-400 mm/año) y zonas con exceso de humedad de nivel medio (H3: 200-600 mm/año).</p>	<p>Sin limitaciones aparentes para el manejo ni para el crecimiento de las raíces.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Hacer nivelación y aporque. • No se justifica la subsolada para la preparación ni para el levantamiento de socas. • En las zonas H3: Nivelación de precisión, aporque alto, canales colectores profundos (evacuar agua de escorrentía), drenajes entubados en casos necesarios, variedades tolerantes a la humedad, trazado de drenes topo (suelos de permeabilidad baja), dosis adicional de nitrógeno (según análisis de suelo y estado del cultivo).

Continúa

Cuadro 19. Continuación.

Zonas agroecológicas 6H1 y 6H2 19 suelos (41,296 hectáreas)		
Características principales	Limitaciones principales que pueden presentar los suelos	Recomendaciones de manejo
<p>Tierras ordenadas en el Grupo Homogéneo de Suelos No. 6. Suelos de texturas finas y contenidos de arcilla entre 35% y 60% en la sección control del perfil, distribuidos en el cuerpo y pie de los abanicos de la llanura aluvial y planos de terraza.</p> <p>Moderadamente bien drenados y bien drenados y moderadamente profundos y profundos.</p> <p>En régimen de humedad ústico, se encuentran suelos de permeabilidad media a alta y permeabilidad baja, que según el Grupo de Humedad corresponden a zonas con humedad normal (H1: <200 mm/año) y zonas con exceso de humedad de nivel bajo (H2: <200-400 mm/año).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Horizontes compactos y condiciones de poca aireación derivadas del alto contenido de arcilla. • Grietas observadas en el campo que pueden causar ruptura y estrangulación de raíces pero que también pueden favorecer la penetración del agua lluvia o de riego y la aireación. • Cambios volumétricos importantes a diferentes contenidos de humedad. • Capacidad de retención de humedad mediana a baja. • Bajo contenido de macroporos que incide en la baja capacidad de aireación. • Permeabilidad lenta a muy lenta. • Consistencia muy dura en seco y muy pegajosa y muy plástica en mojado. La plasticidad alta dificulta las prácticas de labranza porque los suelos se adhieren a los implementos agrícolas y causan el atascamiento de la maquinaria. 	<ul style="list-style-type: none"> • Conservar un nivel adecuado de humedad en el suelo para su manejo. • Hacer nivelación y aporque. • Construir drenajes superficiales para prevenir o controlar encharcamientos. • Utilizar el arado de disco y rastrillos en condiciones adecuadas de humedad para evitar la compactación. Si se preparan los suelos en condiciones de humedad alta se forma el pie de arado. • Subsolar para romper el pie de arado o para mejorar las condiciones de aireación. La subsolada se debe hacer hasta 60 cm empezando por las primeras capas para continuar hacia la profundidad a fin de evitar la formación de bloques gruesos. • Incorporar materia orgánica (residuos de cosecha, cachaza, cenichaza o compost) para aumentar la permeabilidad y la capacidad de retención de humedad y para facilitar la liberación del calcio del suelo. • Aplicar riegos frecuentes y de lámina alta (riegos pesados) cuando los suelos están agrietados, y luego lámina media y baja para impedir el encharcamiento. Los riegos deben ser en el momento oportuno: frecuentes en época de verano, apoyados por un adecuado sistema de drenajes.

Continúa

Cuadro 19. Continuación.

Zonas agroecológicas 10H3, 10H4 y 10H5 10 suelos (15,495 hectáreas)		
Características principales	Limitaciones principales que pueden presentar los suelos	Recomendaciones de manejo
<p>Tierras ordenadas en el Grupo Homogéneo de Suelos No.10. Suelos de texturas finas, contenidos de arcilla superior al 35% y menor del 60% en toda la sección control del perfil, distribuidos en el cuerpo y pie de abanicos y en las cubetas de decantación y desborde de la llanura de desborde del río Cauca. El material de origen de los suelos corresponde a aluviones muy finos con propiedades vérticas manifestadas en forma de grietas y superficies de presión y de deslizamiento (<i>slickensides</i>).</p> <p>Pobrementemente drenados y superficiales a muy superficiales, la mayor parte de estos suelos ha sido drenada artificialmente para el abatimiento del nivel freático mediante la construcción de canales abiertos y profundos, con lo cual la profundidad efectiva ha pasado a ser moderadamente profunda.</p> <p>En régimen de humedad ácuico, en sitios donde se presenta exceso de agua para los cultivos durante la mayor parte del año, se encuentran suelos de permeabilidad alta, media y baja que según el Grupo de Humedad corresponden a zonas con excesos en niveles medios (H3: 200-600 mm/año), altos (H4: entre 400 y >600 mm/año) y muy altos (H5: <600 mm/año).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Mal drenaje. • Nivel freático permanentemente alto que restringe el área del sistema radical de las plantas. • Propiedades vérticas manifestadas por grandes grietas. • Pegajosidad y plasticidad altas cuando los suelos están mojados. • Permeabilidad e infiltración muy bajas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Las prácticas de manejo deben estar encaminadas especialmente al control del nivel freático a una profundidad que no interfiera el normal desarrollo de las raicillas, mediante la construcción y mantenimiento de canales de drenaje abiertos o de tubos enterrados y drenes superficiales para prevenir o controlar encharcamientos. • Hacer nivelación de precisión y a porque alto. • Sembrar variedades de caña de azúcar que toleren la humedad. • Establecer sistemas de monitoreo para detectar el ascenso de sales solubles y sodio (muy posible en estas condiciones), a fin de poder utilizar métodos de riego que garanticen el lavado de las sales trasladadas. El monitoreo es fundamental para la toma de decisiones de manejo de estos suelos. • Realizar la labranza en condiciones adecuadas de humedad de los suelos, es decir, ni muy húmedos ni muy secos (suelo friable); efectuar subsoladas para evitar el pie de arado. • Aplicar una dosis adicional de nitrógeno. • En las zonas H4 y H5: Diseñar el campo con surcos cortos (<120 m), contar con sistema de bombeo de agua de drenaje en sitios con limitaciones para la evacuación por gravedad, sembrar en el lomo y cosechar sólo en períodos secos. • En la zona H5 cosechar sólo con el sistema de corte manual.

Aplicaciones de la zonificación agroecológica

Durante la última década Cenicaña ha promovido la estrategia de la agricultura específica por sitio (AEPS) para el desarrollo productivo y sostenible del cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, de modo que la zonificación agroecológica ha sido adoptada como un componente fundamental en la formulación de los proyectos de investigación, desarrollo tecnológico, validación y transferencia de tecnología, en la definición de las recomendaciones con enfoque AEPS y en el monitoreo de los resultados.

De acuerdo con los objetivos de los proyectos se han elaborado nuevas agrupaciones derivadas de la zonificación o se han desarrollado aplicaciones concretas de análisis, contando en lo posible con el concurso de investigadores, asesores y productores azucareros en la definición de los criterios de razonamiento y los dominios de recomendación.

Se busca promover la adopción del enfoque AEPS en la administración y el manejo de las unidades productivas de caña de azúcar en el valle del río Cauca mediante aproximaciones sucesivas de la zonificación agroecológica, el desarrollo de tecnologías limpias, la gestión de innovaciones y la disponibilidad de datos e información ordenados de forma útil y funcional para los grupos interesados.

Caracterización socioeconómica de productores y transferencia de tecnología con enfoque AEPS

En 1998 se llevó a cabo el censo de los productores de caña de azúcar y las unidades productivas que sirvió de base para la segmentación de los clientes de la tecnología de Cenicaña en función del diseño de estrategias de transferencia y comunicación técnica (Isaacs *et al.*, 1999).

De acuerdo con la metodología de segmentación, los clientes fueron tipificados según el nivel de adopción de tecnología en las unidades productivas, el nivel de escolaridad de los productores y el tipo de tenencia del cultivo. Se identificaron dos grupos (G1 y G2) y cinco subgrupos (G1: MD-1, PV-1 y PV-2; G2: MD-2 y PV-3) (Isaacs *et al.*, 2000).

Mediante entrevistas con una muestra representativa de productores se elaboró la caracterización de base acerca de la tecnología en uso en las unidades productivas, los factores socioeconómicos en las estructuras de producción y su influencia en el comportamiento de adopción de tecnología (Isaacs *et al.*, 2000a; Isaacs y Raigosa, 2000). De modo complementario se hizo la caracterización conductual de los adoptantes potenciales según las características personales (psicológicas, sociológicas y socioeconómicas) que influyen en el proceso de innovación tecnológica (Isaacs *et al.*, 2002).

En alineación con los propósitos del estudio se formularon las estrategias de transferencia de tecnología, con avances que incluyen: (a) El establecimiento de la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT) (Isaacs y Uribe, 2002); (b) La operatividad del sistema de seguimiento dinámico del cambio técnico, la adopción de innovaciones y las demandas de investigación y transferencia; (c) El ordenamiento de los procesos de validación de tecnología con enfoque AEPS; (d) La oferta de servicios de información y comunicación técnica con enfoque AEPS; y (e) El desarrollo de bases de datos de usuarios y clientes de la tecnología (Cenicafña, 2010).

La tipificación de los productores de caña de azúcar y sus unidades productivas se actualiza según la frecuencia de los resultados del seguimiento que se realiza cada dos años mediante entrevistas con una muestra representativa de productores que participan en las actividades de la Red GTT. A continuación se presentan los resultados de la tipificación con datos a febrero de 2010 y en el Cuadro 20, la caracterización conductual de cada subgrupo.

Productores y haciendas del Grupo 1:

- **MD-1, cultivo con manejo directo de ingenio.** Se cuentan 375 haciendas que ocupan un área total de 33,477 hectáreas, con un promedio de 106 hectáreas por hacienda. Los productores manejan tierras propias, arrendadas y de cuentas en participación; el 100% de ellos tienen educación universitaria.
- **PV-1, cultivo con manejo de proveeduría.** Se cuentan 536 haciendas que ocupan un área total de 19,693 hectáreas, con un promedio de 48 hectáreas por hacienda. El mayor porcentaje de propietarios de la tierra y del cultivo son personas naturales (no tienen empresas constituidas) y con educación secundaria. Son los productores menos innovadores del Grupo 1 y sus unidades productivas presentan las productividades más bajas.

- **PV-2, cultivo con manejo de proveeduría.** Son 1018 haciendas, con un promedio de 82 hectáreas por hacienda y un área total de 68,924 hectáreas. Los productores de este subgrupo tienen educación universitaria, el mayor porcentaje de tierras propias del Grupo 1 y en las unidades productivas muestran niveles intermedios de innovación tecnológica y productividad.

Productores y haciendas del Grupo 2:

- **MD-2, cultivo con manejo directo de ingenio (productividad alta).** Son 482 haciendas, con un promedio de 116 hectáreas por hacienda y un área total de 49,232 hectáreas. Los productores tienen educación universitaria y manejan tierras propias, en administración y de cuentas en participación.
- **PV-3, cultivo con manejo de proveeduría (productividad alta).** Se cuentan 268 haciendas que ocupan un área total de 25,600 hectáreas, con un promedio de 109 hectáreas por hacienda. Los productores de este subgrupo tienen educación universitaria, son los más innovadores de toda la población y tienen las productividades más altas.

A manera de ejemplo se presenta la distribución espacial de los productores tipificados en tierras de la zona agroecológica 11H3 en el sur del valle del río Cauca y la productividad media (2004-2010) en el área total cubierta por la zona 11H3 en comparación con los resultados por subgrupo (Figuras 15 y 16).

De acuerdo con el enfoque de AEPS integrado en las estrategias de transferencia de tecnología, en 2009 Cenicaña comenzó una nueva etapa de desarrollo de la Red GTT con el propósito de ordenar los procesos de validación de tecnología y contar con áreas demostrativas donde se puedan observar las diferencias en el cultivo debidas a la combinación de prácticas de manejo agronómico convencional y manejo de AEPS (Cenicaña, 2010).

La adopción del enfoque AEPS en el manejo de las unidades productivas de caña de azúcar se encuentra en un nivel entre medio y alto, según lo muestran los resultados del seguimiento durante el período 2006-2008 sobre adopción de tecnología en fincas de productores que participan en la Red GTT, vinculados con ocho ingenios y responsables de la productividad en el 85% de las tierras en caña. Los productores respondieron si conocían las zonas agroecológicas presentes en las unidades productivas y si utilizaban ese conocimiento para decidir las variedades de caña de azúcar por sembrar y las prácticas de preparación de suelos y de cultivo.

Cuadro 20. Caracterización conductual de productores de caña de azúcar del valle del río Cauca.

Adaptado de Isaacs *et al.*, 2002 (modelo explicativo de la conducta innovadora de M.J. Marrón, citado por Puyol R.; Estebanez, J.; Méndez, R., 1995. Geografía humana. Tercera edición).

VARIABLES que caracterizan la conducta innovadora	TIPO DE PRODUCTOR					
	PV-1	PV-2	PV-3	MD-1	MD-2	
Inherentes a la innovación						
Rentabilidad económica alta	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Compatibilidad con el sistema de cultivo anterior	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Explotación fácil	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Posibilidad de experimentación previa	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Comparación inmediata de la rentabilidad	Si	Si	Si	Si	Si	Si
Relativas a las características personales de los adoptantes						
Socioeconómicas						
Escolaridad	24% primaria 76% secundaria	100% profesional	82% profesional 17% secundaria 1% primaria	100% profesional	100% profesional	100% profesional
Disponibilidad económica	Media-baja	Media-alta	Media-alta	Media	Media	Media
Explotación de tamaño	Bajo. Promedio 48 ha	Medio Promedio 82 ha	Medio-alto Promedio 109 ha	Medio-alto Promedio 106 ha	Alto Promedio 116 ha	Alto Promedio 116 ha
Régimen de explotación	Proveeduría	Proveeduría	Proveeduría	Propia, arrendada y participación	Propia, participación y administración	Propia, participación y administración

Continúa

Cuadro 20. Continuación.

Sicológicas	PV-1	PV-2	PV-3	MD-1	MD-2
Autonomía en toma de decisiones	Si	Si	Si + agilidad	No	No
Fatalismo	Medio	Medio	Ausente	Bajo	Bajo
Motivación de logro	Si	Si	Si	Si	Si
Predisposición al cambio	Bajo	Medio	Alto	Alto	Alto
Aversión al riesgo	Alto	Medio	Bajo	Bajo	Bajo
Tradicionalista, emprendedor, innovador	Tradicionalista	Emprendedor	Innovador	Tradicionalista	Innovador
Sociológicas					
Situación familiar	Aparentemente sin trabas	Aparentemente sin trabas	Aparentemente sin trabas	Aparentemente sin trabas	Sin trabas
Edad	De 41 a 60 años o más	De 31 a 50 años	De 41 a 60 años	De 35 a 50 años	De 31 a 50 años
Comportamiento					
Localismo, cosmopolitismo	Localismo	Cosmopolitismo	Cosmopolitismo	Cosmopolitismo	Cosmopolitismo
Participación social	No afiliado a asociaciones	Afiliado a Procaña	Afiliado a Asocaña y Tecnicaña	Afiliado a Tecnicaña	Afiliado a Tecnicaña
Exposición a canales de comunicación	Baja-medio	Medio-alta	Alta	Medio-alta	Alta
Variables estructurales	PV-1	PV-2	PV-3	MD-1	MD-2
Adecuación de tierras	Medio	Medio-alta	Alta	Medio	Alta
Disponibilidad hídrica	Aceptable	Aceptable	Abundante	Aceptable	Abundante
Comunidad	Conservadora	Aperturista	Aperturista	Conservadora	Aperturista
Desarrollo económico	Bajo a medio	Medio-alto	Alto	Moderadamente alto	Moderadamente alto

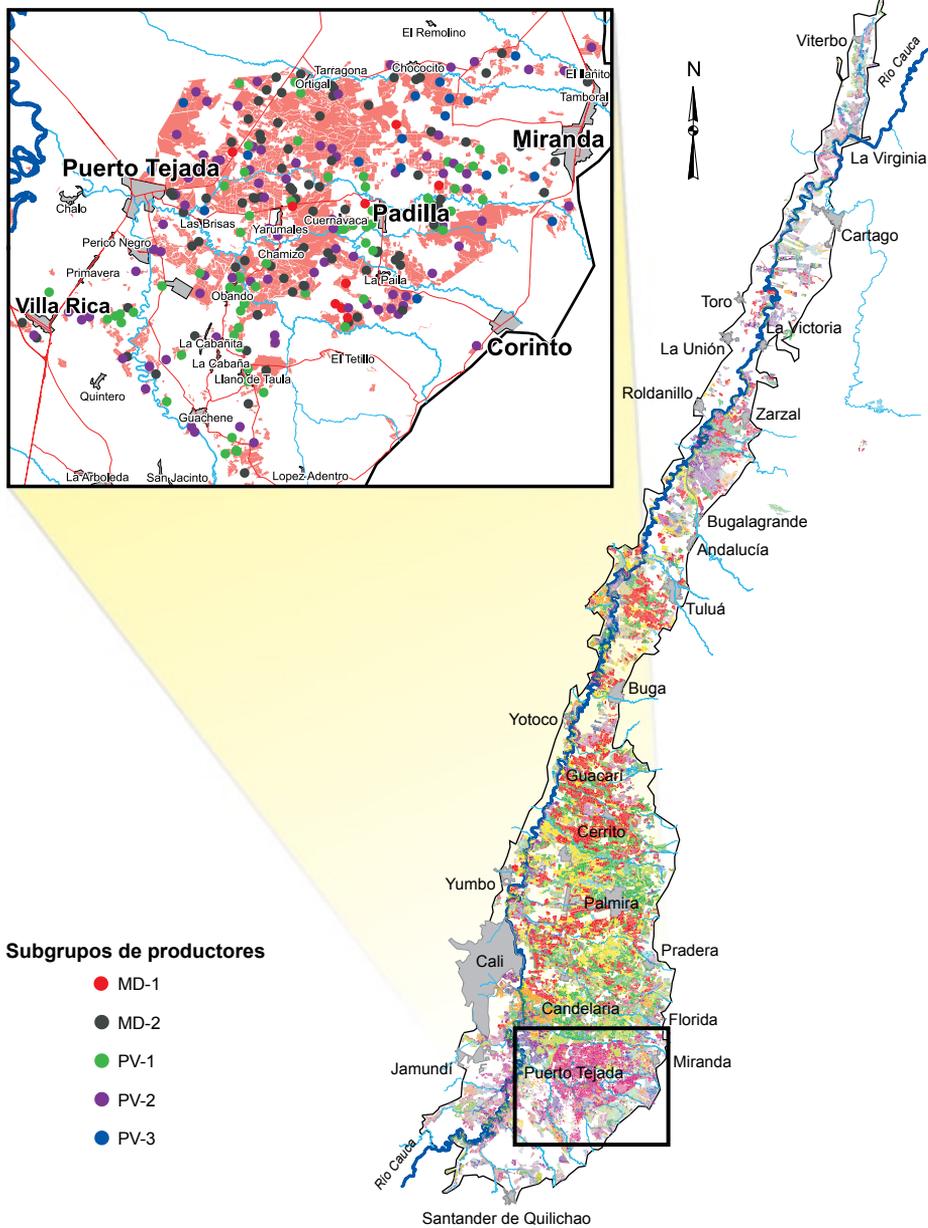


Figura 15. Ejemplo de la distribución de los subgrupos de productores de caña de azúcar en la zona agroecológica 11H3.

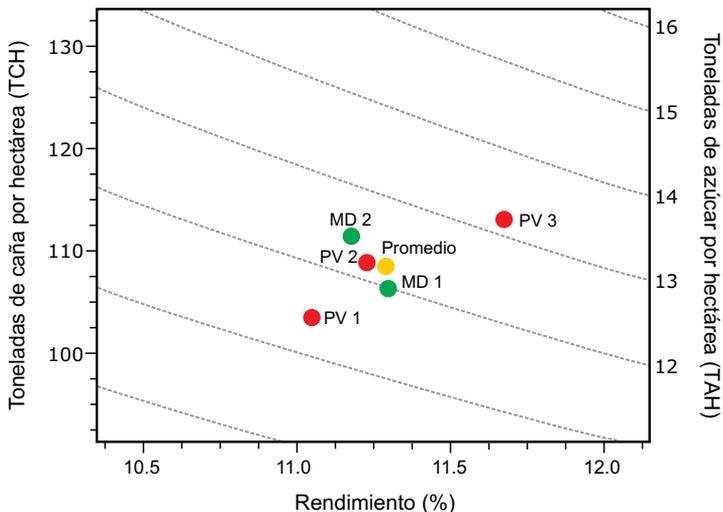


Figura 16. Productividad media en la zona agroecológica 11H3 (2004-2010) según subgrupo de productores (MD-1, MD-2, PV-1, PV-2 y PV-3).

Los productores que han adoptado el manejo de AEPS manifiestan que las zonas agroecológicas han sido útiles para orientar las decisiones acerca de las tecnologías por utilizar y que el manejo de AEPS ha generado mejoramientos en productividad relacionados con disminución de costos y aumento de la producción.

Con el fin de facilitar la gestión de información técnica, la comunicación y el conocimiento científico acerca de la zonificación agroecológica y propiciar su uso en aplicaciones concretas de interés práctico para los usuarios, Cenicaña administra el Sistema de Información AEPS en web, a través del cual presta desde noviembre de 2003 servicios de información en línea (Isaacs *et al.*, 2004).

Las herramientas disponibles son: (1) Servidor de mapas; (2) Herramienta para la verificación del Grupo de Humedad; (3) Sistema de consulta a la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada; (4) Sistema de consulta de producción comercial; (5) Curvas de isoproductividad; (6) Simces v.1.0: Sistema de información para el manejo de caña específico por sitio; (7) Renova v.1.0: Modelo económico para apoyar la decisión de renovación de cultivos de caña de azúcar; (8) SEF 2009: Sistema experto de fertilización; (9) Balance Hídrico v.3.0: Sistema para la programación de los riegos y (10) Control administrativo del riego, hoja electrónica v.1.5.

Actualmente, como parte de los objetivos vigentes del proyecto AEPS, Cenicaña avanza en el desarrollo de una Matriz de Recomendaciones Tecnológicas (MRT) diseñada para ofrecer información acerca de las alternativas más adecuadas de manejo del cultivo (variedades de caña y prácticas agrícolas y agronómicas) según las condiciones específicas de cada sitio dedicado a la producción azucarera en el valle del río Cauca (Isaacs *et al.*, 2010).

Entre las herramientas del Sistema de Información AEPS que más utilizan los productores está el Servidor de Mapas, a través del cual se ofrece acceso en línea a la cartografía temática de información geográfica y estadística para consultas al nivel de suerte, hacienda o ingenio, en escala 1:10 000. La información geográfica contiene coberturas de suertes, haciendas, ingenios, vías principales y secundarias, vía férrea, otras vías, ríos, quebradas, vegetación boscosa, construcciones e imágenes de satélite, entre otras. La cartografía temática ofrece los siguientes mapas:

- Climatología: Área de influencia de la RMA. Mapas con información meteorológica, climatológica y anomalías de las variables atmosféricas por hora, día, década, mes y año.
- Agroecología: Estudio detallado de suelos, Grupos Homogéneos de Suelos, Grupos de Humedad y zonas agroecológicas.
- Productividad: Indicadores de productividad por suerte de caña.
- Áreas de restricción de quemas agrícolas: Según legislación vigente.
- Edad actual del cultivo: Según edad de siembra o cosecha.
- Imágenes de satélite: Índice de vegetación para el seguimiento del desarrollo del cultivo.

En julio de 2010 se puso a disposición de los usuarios una herramienta sencilla para verificar la pertenencia de una suerte de caña al Grupo de Humedad que aparece registrado en el Servidor de Mapas. Por medio de opciones de selección múltiple, en cinco pasos se confirman las observaciones y mediciones de campo que mejor describen las condiciones de la suerte y se obtiene como resultado el grupo de humedad al que ésta pertenece. Se pueden consultar las herramientas del Sistema de Información AEPS en <www.cenicana.org/aeeps/index.php>. Ver Anexo.

Otros servicios en web son el catálogo de biblioteca y publicaciones de Cenicaña, páginas de contenido técnico y memorias de reuniones, comités, capacitaciones y eventos de la Red GTT (Isaacs *et al.*, 2007).

Análisis de productividad

A continuación se utilizan las curvas de isoproductividad para mostrar los resultados de la productividad media de las suertes cosechadas de las zonas agroecológicas de interés. Para el análisis, en las suertes con más de una zona agroecológica de influencia se toma como referencia la zona de mayor cobertura.

Zonas agroecológicas contrastantes

En la Figura 17 se presentan los resultados de productividad de las cinco zonas donde se obtienen los valores más altos y las cinco zonas donde se obtienen los más bajos en toneladas de caña por hectárea (TCH), rendimiento comercial en azúcar (%) y toneladas de azúcar por hectárea (TAH). Los resultados corresponden a las cosechas realizadas entre 1990 y 2009 en las suertes clasificadas en tales zonas de acuerdo con la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica.

En el grupo de productividad alta se encuentran las zonas 12H2, 20H1, 21H1, 25H2 y 32H1 y en el grupo de productividad baja, las zonas 1H3, 3H1, 9H3, 27H3 y 28H2.

La zona de mayor productividad es la 32H1, donde se obtienen más de 18 toneladas de azúcar por hectárea (TAH) en promedio, en comparación con la zona 12H2, que produce 16 TAH. La productividad en la zona 32H1 es mejor en términos de rendimiento en azúcar con más de 1.5 unidades porcentuales de diferencia y toneladas de caña similares, alrededor de 145-150 TCH.

Las tierras representativas de la zona 32H1 se caracterizan por suelos de texturas franca gruesa sobre arcillosa o franca gruesa sobre limosa, moderadamente profundos y bien drenados, distribuidos en napas de desborde y en el cuerpo y pie de abanicos aluviales, en régimen de humedad ústico. La permeabilidad de los suelos es media a alta o baja, con posibles limitaciones por permeabilidad subsuperficial baja; la condición de humedad es normal (H1: <200 mm/año). Al finalizar 2010 la zona 32H1 ocupaba un área de 87 hectáreas distribuidas en cinco ingenios, el 62% en el Ingenio Manuelita.

Por su parte, las tierras de la zona 12H2 se caracterizan por suelos de texturas franca y franca fina, superficiales, ubicados en napas de desborde y en cuerpo de abanicos, en régimen de humedad ústico con tendencia a ácuico por niveles freáticos superficiales; son suelos limitados por la escasa

profundidad y encharcamientos periódicos. La permeabilidad de los suelos es media a alta o baja y la condición de humedad es baja (H2: <200-400 mm/año). La zona cubre un área de 31 hectáreas, todas en tierras vinculadas con el Ingenio Risaralda.

Las zonas que presentan los resultados más bajos de productividad son la 28H2, que ocupa 3 hectáreas y la 3H1, con 68 hectáreas; ambas se encuentran únicamente en el Ingenio Risaralda.

En la Figura 17 se observa que las diferencias más notorias entre los grupos de productividad corresponden al tonelaje de caña. Así, por ejemplo, las zonas 32H1 y 3H1 muestran una diferencia de 9 TAH entre ellas (18 TAH y 9 TAH, respectivamente) pues, aunque el rendimiento en azúcar es igual (12.2%), la producción media de caña es de 150 TCH en la zona 32H1 y de 70 TCH en la zona 3H1.

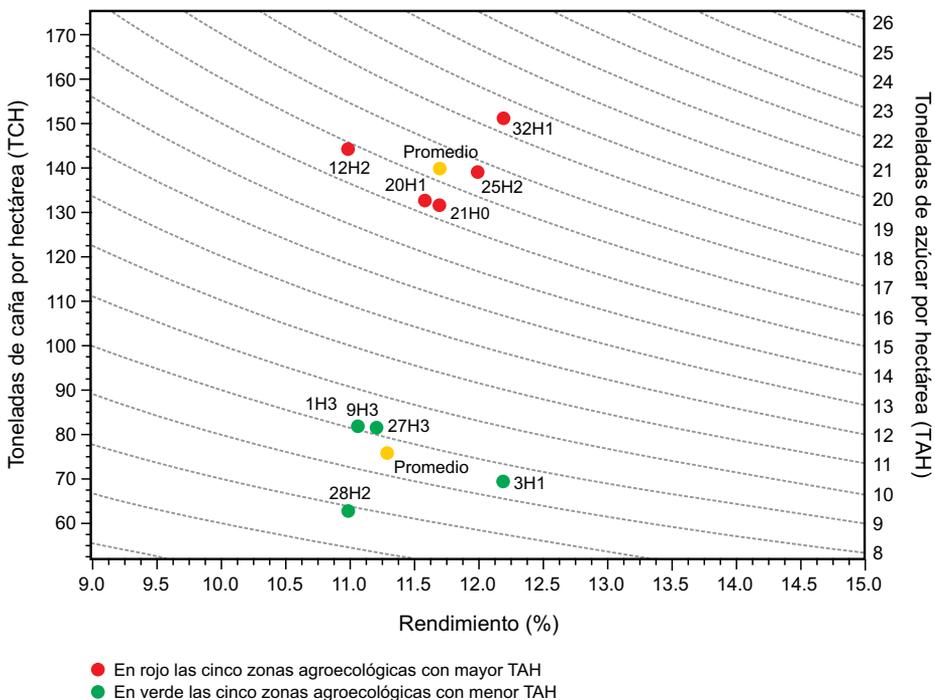


Figura 17. Productividad media en las zonas agroecológicas donde se registran los valores más altos y los más bajos. Tierras cultivadas con caña de azúcar en el valle del río Cauca (1990-2009).

Las tierras representativas de la zona 3H1 se caracterizan por suelos de texturas muy finas, con más del 60% de arcilla en la sección control del perfil, distribuidos en el cuerpo y pie de abanicos de la llanura aluvial de piedemonte, en régimen de humedad údico. Son suelos moderadamente bien drenados y bien drenados, con profundidad efectiva entre moderadamente profunda y profunda, limitada algunas veces por la presencia de horizontes compactos y condiciones de poca aireación derivadas del alto contenido de arcillas. La permeabilidad de los suelos es media a alta o baja y la condición de humedad es normal (H1: <200 mm/año).

Variedades de caña de azúcar

El análisis comparativo de 22 variedades de caña cosechadas entre 1990 y 2009 en dos zonas agroecológicas de productividad contrastante se muestra en la Figura 18.

En la zona 11H0 se obtienen en promedio 15 TAH, con 130 TCH y 11.7% de rendimiento comercial. La productividad oscila entre 14-19 TAH (115-165 TCH y 10.1-12.7% de rendimiento). Las cinco variedades de mejor adaptación según los resultados de productividad, con tonelajes y rendimientos altos son: CC 91-1988, CC 93-744, CC 92-2804, CC 93-4418 y CC 92-2198, variedades promisorias en proceso de evaluación y seguimiento y en evaluación a escala semicomercial, con índices que superan el promedio de la zona y los resultados de la variedad CC 85-92. La zona agroecológica 11H0 representa aproximadamente el 9% del área en caña en el valle del río Cauca. Durante el período de observación de los datos se cosecharon 200,239 hectáreas de suertes en esta zona, de acuerdo con la cuarta aproximación de la zonificación.

Por su parte, en la zona 9H3 se obtienen en promedio 9 TAH, con 84 TCH y 11.1% de rendimiento. La productividad oscila entre 8-14 TAH (80-120 TCH y 10.6-12.5% de rendimiento). Las tres variedades de mejor adaptación según los resultados de productividad son: PR 61-632, MZC 74-275 y CC 85-92. Las variedades promisorias CC 93-4418 y CCSP 92-3191 presentan índices que superan el promedio de la zona y se comparan con los resultados de la variedad CC 85-92. La zona agroecológica 9H3 representa aproximadamente el 0.36% del área en caña en el valle del río Cauca. Durante el período de observación de los datos se cosecharon 5761 hectáreas de suertes en esta zona, de acuerdo con la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica.

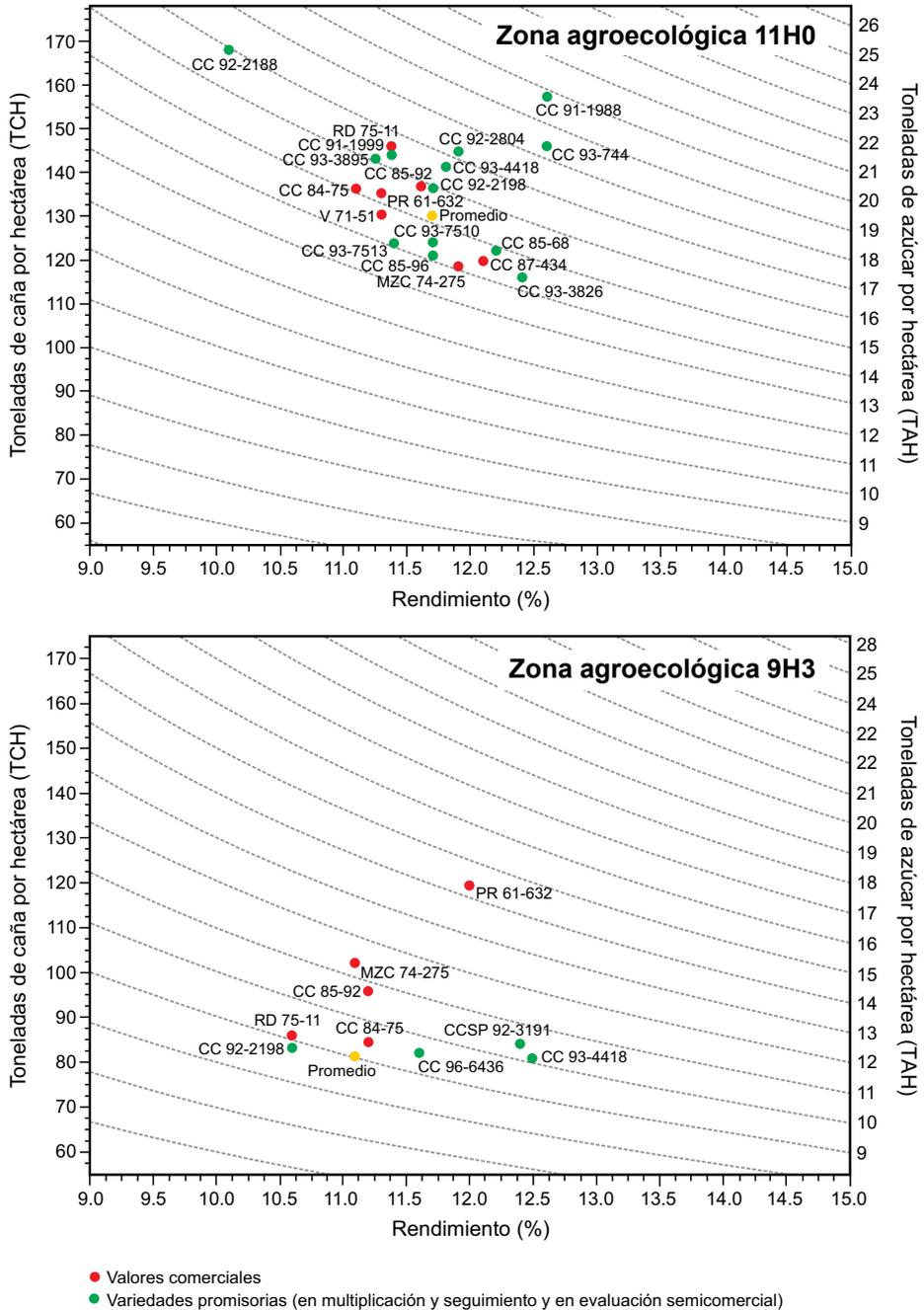


Figura 18 Productividad media en dos zonas agroecológicas contrastantes (11H0 y 9H3) y resultados según la variedad de caña de azúcar. Valle del río Cauca (1990-2009).

En la Figura 19 se presentan los promedios de TCH de las doce variedades más cosechadas entre 1990 y 2009 por el sector azucarero en las zonas 11H0 y 9H3. Los resultados son contrastantes; las diferencias más pequeñas entre las zonas ocurren con las variedades MZC 74-275 y PR 61-632 y las más grandes, con la POJ 2878. La variedad CC 85-92 muestra una diferencia mediana de las TCH entre zonas, en todo caso menor que las registradas con las demás variedades incluidas en el análisis.

Productividad real y productividad obtenible

En la productividad de las zonas agroecológicas influyen un conjunto de factores que pueden ser determinantes, limitantes o reductores (Cuadro 21) (Rabbinge, 1993; Kropff *et al.*, 1997 y Rozeff, 1999). Cuando la mayoría de los factores limitantes y los factores reductores son controlados por el agricultor, se logra la producción obtenible.

Con el fin de identificar las brechas de productividad en cada zona agroecológica se analizaron las variables de productividad de las suertes cosechadas en el sector azucarero durante el período 2000-2008. Las estadísticas descriptivas (promedios) se presentan en el Cuadro 22.

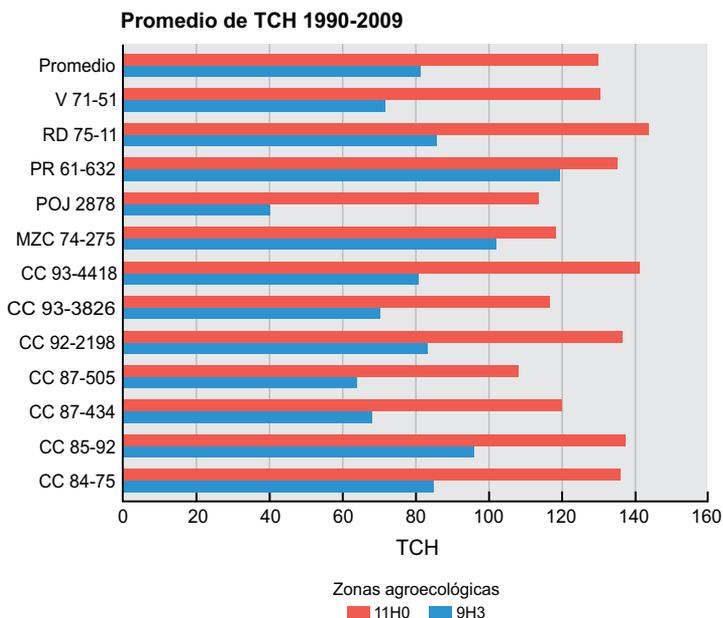


Figura 19. Toneladas de caña por hectárea (TCH) en las zonas agroecológicas 11H0 y 9H3 según la variedad de caña de azúcar. Valle del río Cauca (1990-2009).

Cuadro 21. Factores que inciden en la producción de la caña de azúcar.

Adaptado de: Rabbinge, 1993; Kropff *et al.*, 1997; Rozeff, 1999.

Factores determinantes
Clíma
Radiación solar (cantidad y distribución temporal)
Temperatura (distribución temporal)
Fotoperíodo
Cultivo
Variedad de caña de azúcar
Concentración de CO ₂ en la atmósfera
Factores limitantes
Disponibilidad de agua: lluvia, riego
Profundidad del nivel freático y drenaje
Disponibilidad de nutrientes: mayores (N, P, K), menores, tipos, cantidad, época y forma de aplicación
Tipo de suelo: clasificación, pH, profundidad y espesor de los horizontes, aireación, compactación, materia orgánica, formación de costras, acidez, salinidad, sodicidad, tasa de infiltración, presencia de piedras
Floración
Factores reductores
Manejo
Nivelación de tierras
Variedad (adaptabilidad, volcamiento, resistencia a plagas y enfermedades, baja capacidad de soqueo, tasa de disminución de la producción por corte, floración, características de molienda)
Siembra (calidad de semilla, profundidad, espaciamiento, aplicación del riego)
Prácticas de cultivo (subsolación, escarificación y aporque)
Erosión física y química
Presencia de contaminantes del suelo
Calamidades por inundaciones
Edad de cosecha y número del ciclo de producción
Maduración
Volcamiento
Quemas de cosecha
Época de cosecha
Modalidad de cosecha (altura de corte, cantidad de materia extraña)
Sistema de cosecha (manejo y transporte poscosecha)
Control de malezas
Plagas
Enfermedades

Para estimar las brechas en cada zona agroecológica se halló el cuartil 75 para las variables toneladas de caña por hectárea y por hectárea y mes (TCH y TCHM), rendimiento en comercial azúcar (%) y toneladas de azúcar por hectárea y mes (TAHM) (Cuadro 23). Los resultados muestran el valor máximo de cada variable por zona y, según el análisis, se puede presumir con un 25% de probabilidad que en cada zona es posible obtener dicho valor o más según la variable.

Mediante la clasificación del cuartil 75 en cuartiles, se identifican las siguientes categorías de las variables: (a) Alta: Entre 140-165 TCH, con promedios de 147 TCH, 12.3% de rendimiento, 13.1 meses de edad de corte y 1.38 TAHM. (b) Media: Entre 116-139 TCH, con promedios de 128 TCH, 12.4% de rendimiento, 13 meses de edad y 1.23 TAHM. (c) Baja: Entre 89-115 TCH, con promedios de 100 TCH, 12.3% de rendimiento, 12.9 meses de edad y 0.95 TAHM.

Así, por ejemplo, en la zona agroecológica 32H1 se tiene una productividad media real de 1.38 TAHM con 147 TCH, 12.4% de rendimiento y 13.2 meses de edad de cosecha y se estima que la productividad media obtenible puede ser equivalente a las 1.58 TAHM, con 165 TCH, 13.3% de rendimiento y 13.8 meses de edad de cosecha. Lo anterior indica que en esta zona existe la posibilidad de mejorar la productividad media en 18 TCH, 0.9% de rendimiento y 0.2 TAHM, con edades de cosecha de 13.8 meses en promedio. En la zona agroecológica 6H1, la más representativa en área con 34,520 hectáreas (16% del total en caña), la productividad media real es de 1.13 TAHM con 124 TCH, 12% de rendimiento y 12 meses de edad de cosecha; se estima que la productividad media obtenible puede ser equivalente a 1.36 TAHM, con 142 TCH, 12.6% de rendimiento y 13.2 meses de edad de cosecha, lo cual indica que en esta zona existe la posibilidad de mejorar la productividad media en 18 TCH, 0.6% de rendimiento y 0.23 TAHM, con edades de cosecha de 13.2 meses en promedio. Con respecto a las oportunidades para el sector azucarero en general, se estima una producción obtenible de 1.19 TAHM con edades de cosecha de 13 meses en promedio, 126 TCH, 9.7 TCHM y 12.3% de rendimiento; se identifican 78 zonas agroecológicas donde se supera el promedio, con fluctuaciones entre 127-165 TCH y 11.2-13.3% de rendimiento comercial.

Canicaña adelanta proyectos de investigación en los cuales se están caracterizando las suertes de caña que presentan producciones potenciales y obtenibles altas para determinar el efecto de los factores determinantes, limitantes y reductores que mejor explican las diferencias en productividad.

Cuadro 22. Productividad media por zona agroecológica en el período 2000-2008.

Fuente: Cenicaña. 2009. Sistema de Información AEPS. Base de datos de producción comercial <www.cenicana.org/aeps/sistema_consultas_produccion.php>

Zona agroecológica	Área (ha)*	TCH	Rto. (%)	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)
1H0	1,266	105.0	12.4	13.1	7.7	0.96	13.6
1H1	25,438	113.3	11.9	13.5	8.5	1.01	13.3
1H2	7,941	99.0	11.5	11.4	7.6	0.88	13.0
1H3	1,198	80.0	11.2	8.9	6.1	0.68	13.2
1H4	96	100.3	11.2	11.3	6.8	0.76	14.8
1H5	215	78.1	11.4	8.9	5.7	0.65	13.6
2H0	330	84.3	12.0	10.1	6.5	0.78	12.9
2H1	714	97.2	12.4	12.0	7.3	0.9	13.4
2H2	228	75.4	12.1	9.2	5.8	0.71	12.9
2H3	1,833	79.3	11.5	9.1	6.0	0.69	13.2
2H4	144	80.0	11.0	8.8	6.2	0.69	12.9
3H1	62	60.0	13.0	7.8	4.3	0.56	13.9
3H2	511	101.6	11.4	11.6	7.8	0.88	13.1
3H3	3,345	87.6	11.9	10.5	6.7	0.8	13.0
3H4	3,782	106.5	12.2	13.0	8.2	1.01	13.0
3H5	777	100.6	11.9	12.0	8.1	0.96	12.4
4H1	1,848	124.9	11.5	14.4	9.4	1.08	13.3
4H2	696	131.0	10.8	14.2	10.4	1.12	12.6
4H3	1,011	78.7	11.8	9.3	5.9	0.7	13.3
5H2	18,491	123.2	12.2	15.0	8.9	1.08	13.9
5H3	32,378	113.5	11.7	13.2	8.7	1.01	13.1
5H4	6,588	110.5	11.6	12.8	8.5	0.98	13.0
5H5	13,029	103.6	11.7	12.1	8.1	0.94	12.9
6H0	11,132	118.2	11.9	14.1	8.6	1.02	13.8
6H1	190,649	123.9	12.0	14.8	9.4	1.13	13.1
6H2	39,558	107.7	11.6	12.5	8.2	0.96	13.1
6H3	18,652	99.1	11.3	11.2	7.9	0.89	12.6
6H4	10,477	99.8	11.2	11.2	8.0	0.89	12.5
6H5	285	86.8	11.5	10.0	6.3	0.73	13.7
7H0	8,127	110.8	11.7	13.0	8.7	1.02	12.7

Continúa

Cuadro 22. Continuación.

Zona agroecológica	Área (ha)*	TCH	Rto. (%)	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)
7H1	12,520	114.3	11.7	13.4	8.7	1.02	13.1
7H2	6,433	94.8	11.7	11.1	7.4	0.87	12.8
7H3	1,453	96.9	12.0	11.6	7.8	0.94	12.4
8H1	403	119.6	11.4	13.6	9.1	1.03	13.2
8H2	6,207	100.8	11.4	11.5	7.6	0.87	13.2
8H3	17,800	101.1	11.6	11.7	7.8	0.91	12.9
8H4	6,920	108.9	11.7	12.8	8.4	0.99	12.9
8H5	5,935	110.7	11.7	13.0	8.7	1.01	12.8
9H2	386	95.3	11.4	10.8	7.2	0.81	13.3
9H3	3,270	77.5	11.3	8.7	6.1	0.68	12.8
9H4	1,704	105.3	12.5	13.2	8.1	1.01	13.0
9H5	1,772	102.7	12.2	12.6	7.9	0.96	13.1
10H2	8,741	122.3	12.0	14.7	8.9	1.07	13.7
10H3	28,055	117.2	11.6	13.6	9.0	1.05	13.0
10H4	20,838	105.6	11.5	12.1	8.1	0.93	13.0
10H5	24,160	103.0	11.6	11.9	8.0	0.92	12.9
11H0	105,408	131.3	11.8	15.5	10.0	1.18	13.1
11H1	128,095	127.4	11.8	15.1	9.8	1.16	13.0
11H2	49,570	117.7	11.5	13.6	9.3	1.07	12.7
11H3	66,827	111.4	11.2	12.4	9.0	1	12.4
11H4	5,540	102.9	11.5	11.9	8.0	0.92	13.0
11H5	315	102.9	11.4	11.8	7.7	0.88	13.4
12H1	49	142.7	10.5	15.0	10.9	1.15	13.0
12H2	264	146.5	10.9	16.0	11.3	1.23	13.0
12H3	1,147	91.0	11.3	10.2	7.1	0.79	12.9
13H1	720	81.0	12.1	9.8	5.7	0.69	14.3
13H2	4,385	115.5	11.8	13.6	9.0	1.05	12.9
13H3	845	105.5	11.7	12.3	8.4	0.98	12.6
13H5	1,506	104.3	11.9	12.4	8.2	0.98	12.7
14H1	5,536	116.4	11.7	13.7	9.3	1.09	12.5

Continúa

Cuadro 22. Continuación.

Zona agroecológica	Área (ha)*	TCH	Rto. (%)	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)
14H2	6,244	124.2	11.6	14.5	9.6	1.12	13.0
14H3	809	112.2	11.3	12.6	8.8	0.99	12.7
14H4	960	113.7	11.8	13.4	9.0	1.06	12.6
14H5	1,350	110.0	11.6	12.7	8.7	1.01	12.6
15H0	3,522	133.5	11.9	15.9	10.2	1.21	13.1
15H1	30,630	122.2	11.6	14.2	9.5	1.1	12.9
15H2	1,901	111.1	11.4	12.6	9.0	1.02	12.4
15H3	565	106.7	11.1	11.8	8.3	0.92	12.9
15H4	32	88.7	11.8	10.5	6.8	0.8	13.1
16H2	533	132.8	11.3	15.0	10.3	1.17	12.9
16H3	620	118.8	11.4	13.5	9.3	1.05	12.8
16H4	1,300	122.9	11.4	14.1	9.5	1.09	12.9
16H5	852	116.6	11.5	13.4	9.3	1.06	12.6
17H2	484	132.8	11.0	14.7	10.0	1.11	13.2
17H3	3,559	118.7	11.6	13.7	9.3	1.07	12.8
17H4	3,857	113.7	11.4	13.0	9.1	1.03	12.6
17H5	271	107.2	11.3	12.1	8.1	0.91	13.2
18H0	13,108	128.8	11.6	15.0	10.0	1.17	12.8
18H1	19,854	125.1	11.5	14.4	9.7	1.11	12.9
18H2	12,448	119.3	11.3	13.5	9.3	1.05	12.9
18H3	3,704	113.4	11.3	12.8	9.0	1.01	12.7
18H4	1,257	111.0	11.2	12.4	8.8	0.99	12.6
18H5	180	110.0	11.9	13.1	8.6	1.02	12.8
19H0	103	107.0	12.0	12.8	7.9	0.95	13.5
19H1	62	120.2	10.7	12.9	10.0	1.07	12.0
19H2	574	114.3	11.0	12.6	9.1	1	12.5
20H1	413	140.6	11.5	16.1	10.4	1.19	13.5
20H3	206	111.8	11.2	12.5	8.7	0.97	12.9
20H4	284	98.2	11.0	10.8	7.9	0.86	12.5
20H5	488	121.9	11.8	14.4	9.6	1.13	12.7
21H0	3,979	130.4	11.6	15.2	10.1	1.17	13.0
21H1	880	130.0	12.0	15.6	10.0	1.2	13.0
21H2	318	113.0	11.0	12.4	8.9	0.97	12.8

Continúa

Cuadro 22. Continuación.

Zona agroecológica	Área (ha)*	TCH	Rto. (%)	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)
21H3	381	98.4	10.7	10.5	8.5	0.9	11.7
22H0	6,493	104.0	12.0	12.5	8.1	0.97	12.8
22H1	893	122.5	11.7	14.3	9.4	1.09	13.1
22H2	294	84.3	11.5	9.7	6.8	0.78	12.4
22H3	223	86.0	11.0	9.5	6.5	0.72	13.2
22H5	89	102.1	11.4	11.7	8.0	0.92	12.7
23H0	3,533	117.7	11.5	13.5	9.7	1.12	12.1
23H1	15,244	126.7	12.0	15.2	9.7	1.15	13.1
23H2	3,239	109.9	11.4	12.5	8.7	0.98	12.7
23H3	325	116.7	11.4	13.3	8.9	1.01	13.2
23H4	366	111.1	11.4	12.7	9.0	1.03	12.3
24H2	1,866	120.5	11.7	14.1	9.1	1.06	13.3
24H3	1,222	90.0	11.6	10.5	7.2	0.84	12.5
24H4	379	73.0	12.0	8.8	5.9	0.71	12.4
25H2	316	140.9	11.9	16.8	11.0	1.31	12.8
25H3	913	122.3	11.4	14.0	9.6	1.1	12.7
25H4	936	118.6	11.2	13.3	9.3	1.04	12.7
25H5	686	109.4	11.2	12.2	8.6	0.96	12.7
26H0	3,548	99.3	12.2	12.1	7.5	0.91	13.2
26H1	6,315	102.2	12.2	12.5	7.8	0.95	13.1
26H2	312	108.1	11.0	11.9	7.0	0.77	15.4
26H3	242	98.0	12.0	11.8	8.4	1	11.7
26H4	7	75.4	10.2	7.7	6.8	0.7	11.0
27H0	476	73.7	12.4	9.1	5.5	0.68	13.3
27H1	1,154	87.0	12.1	10.5	6.8	0.82	12.7
27H3	1,936	73.8	11.5	8.5	5.8	0.67	12.7
27H4	125	83.3	11.5	9.6	6.5	0.74	12.9
28H2	12	62.5	11.1	7.0	4.8	0.53	13.1
28H3	380	76.1	10.9	8.3	6.0	0.65	12.7
29H0	1,985	91.7	12.2	11.2	6.9	0.84	13.3
29H1	1,642	80.8	12.2	9.8	6.1	0.75	13.2
29H2	55	104.9	11.6	12.2	9.0	1.04	11.7
29H3	121	80.6	11.8	9.5	6.5	0.77	12.3

Continúa

Cuadro 22. Continuación.

Zona agroecológica	Área (ha)*	TCH	Rto. (%)	TAH	TCHM	TAHM	Edad (meses)
30H0	10,933	120.9	11.8	14.3	9.5	1.12	12.8
30H1	18,044	124.2	11.8	14.7	9.7	1.15	12.8
30H2	3,805	116.0	11.5	13.3	9.1	1.04	12.7
30H3	1,142	86.3	11.4	9.9	6.7	0.77	12.9
31H0	5,786	106.7	12.0	12.8	8.3	1	12.8
31H1	490	115.4	12.2	14.0	9.3	1.12	12.5
31H2	883	91.8	11.2	10.2	6.9	0.77	13.2
31H3	322	90.5	11.5	10.4	6.9	0.8	13.0
31H4	107	110.3	12.2	13.5	8.9	1.09	12.4
32H0	113	126.1	11.5	14.5	9.6	1.1	13.1
32H1	410	147.0	12.4	18.3	11.1	1.38	13.2
32H2	580	125.8	11.7	14.7	9.9	1.16	12.7
32H4	418	106.7	11.0	11.7	8.5	0.94	12.5
33H0	1,161	123.8	11.7	14.5	10.1	1.18	12.3
33H2	173	84.7	11.1	9.4	6.5	0.72	13.0
33H3	648	98.4	11.1	10.9	7.8	0.86	12.6
33H4	154	93.9	11.1	10.4	7.6	0.84	12.4

* El dato de área cosechada por zona agroecológica equivale a la sumatoria de las hectáreas cosechadas en cada evento de corte efectuado durante el período 2000-2008 en las suertes asociadas con cada zona.

Cuadro 23. Productividad máxima media obtenible por zona agroecológica según los resultados de las suertes cosechadas en el período 2000-2008 (cuartil superior).

Fuente: Cenicafé. 2009. Sistema de Información AEPS. Base de datos de producción comercial <www.cenicana.org/aeps/sistema_consultas_produccion.php>

Zona agroecológica	q75_TCH	q75_TCHM	q75_Rendimiento(%)	q75_TAHM
32H1	165	11.9	13.3	1.58
20H1	158	12.1	12.4	1.50
16H2	158	11.9	12.0	1.43
12H1	157	12.2	11.3	1.37
31H4	157	11.4	12.9	1.47
12H2	154	12.4	11.5	1.43
25H2	154	12.2	12.8	1.57
21H1	152	11.5	12.4	1.43
16H3	151	11.5	11.9	1.37
15H0	151	11.2	12.7	1.43
19H1	150	11.6	11.2	1.30
11H0	149	11.2	12.5	1.40
17H2	149	11.4	11.7	1.33
21H0	146	11.4	12.3	1.40
18H0	146	11.4	12.3	1.40
11H1	146	11.1	12.5	1.39
23H1	146	11.0	12.7	1.39
4H2	146	11.5	11.8	1.36
8H1	146	11.5	12.0	1.37
30H1	145	11.1	12.5	1.39
16H4	145	11.0	12.2	1.34
18H1	144	11.0	12.2	1.34
14H2	144	11.1	12.5	1.38
4H1	143	11.2	12.3	1.38
5H2	143	10.3	12.9	1.32
10H2	143	10.4	12.8	1.33
22H3	142	11.2	11.9	1.33
6H1	142	10.8	12.6	1.36
32H2	142	11.2	12.1	1.35

Continúa

Cuadro 23. Continuación.

Zona agroecológica	q75_TCH	q75_TCHM	q75_Rendimiento(%)	q75_TAHM
18H5	142	10.7	12.6	1.35
25H4	141	10.7	11.9	1.27
17H5	141	10.1	12.2	1.24
15H1	141	11.0	12.3	1.36
22H5	141	11.0	12.3	1.36
25H3	140	10.9	12.5	1.36
14H3	140	10.9	11.9	1.30
17H3	140	10.6	12.4	1.31
24H2	139	10.3	12.2	1.26
6H0	139	10.0	12.8	1.28
30H0	138	10.7	12.5	1.34
23H0	138	11.2	12.3	1.37
33H0	137	10.9	12.5	1.36
32H0	137	11.2	12.5	1.40
18H2	137	10.5	11.9	1.26
14H1	137	11.0	12.5	1.37
23H3	136	10.2	12.2	1.25
10H3	136	10.6	12.4	1.31
25H5	136	10.1	11.7	1.18
30H2	136	10.5	12.2	1.28
11H2	135	10.5	12.3	1.29
22H1	135	10.2	12.4	1.26
16H5	134	10.4	12.2	1.28
17H4	134	10.4	12.0	1.25
14H4	134	10.6	12.6	1.33
5H4	134	10.4	12.4	1.29
5H3	134	10.2	12.4	1.27
31H1	133	10.3	12.9	1.33
1H1	133	10.1	12.7	1.28
21H2	132	10.3	11.6	1.19
7H1	132	10.2	12.6	1.29
20H5	132	10.3	12.8	1.32
8H4	132	10.0	12.5	1.26

Continúa

Cuadro 23. Continuación.

Zona agroecológica	q75_TCH	q75_TCHM	q75_Rendimiento(%)	q75_TAHM
23H2	131	10.2	12.1	1.23
1H4	131	7.7	12.2	0.94
8H5	130	10.1	12.5	1.25
7H0	130	10.4	12.4	1.28
13H2	129	9.8	12.8	1.25
18H3	129	10.1	12.0	1.22
11H3	128	10.2	11.8	1.20
18H4	128	9.9	11.8	1.16
14H5	128	9.8	12.3	1.20
11H5	128	8.9	12.2	1.08
5H5	127	9.8	12.5	1.22
15H2	127	10.4	12.2	1.27
22H0	127	9.7	12.7	1.22
19H2	127	10.2	11.7	1.19
23H4	127	10.3	12.2	1.25
6H2	127	9.6	12.4	1.19
32H4	126	10.2	11.7	1.20
20H3	126	10.0	11.8	1.19
31H0	126	9.8	12.8	1.25
3H4	126	9.6	13.0	1.25
10H4	125	9.6	12.1	1.17
26H2	125	8.4	12.4	1.04
9H4	125	9.2	13.3	1.22
13H3	125	9.8	12.3	1.20
19H0	124	9.4	12.8	1.20
10H5	123	9.6	12.2	1.17
15H3	123	9.3	11.8	1.10
8H3	123	9.4	12.2	1.15
20H4	123	10.1	11.7	1.19
26H1	123	9.2	13.0	1.20

Continúa

Cuadro 23. Continuación.

Zona agroecológica	q75_TCH	q75_TCHM	q75_Rendimiento(%)	q75_TAHM
1H0	122	8.9	13.2	1.17
13H5	120	9.3	12.5	1.16
3H5	120	9.4	12.7	1.19
8H2	120	8.9	12.1	1.08
26H0	119	9.1	12.9	1.17
9H5	119	9.0	13.0	1.17
3H2	119	9.5	12.2	1.16
11H4	119	9.1	12.2	1.12
26H3	119	10.1	12.8	1.28
6H4	119	9.5	11.8	1.12
6H3	119	9.4	11.9	1.12
1H2	118	9.4	12.4	1.16
29H2	116	10.1	12.6	1.27
29H0	116	8.7	12.9	1.12
9H2	116	8.6	12.0	1.04
3H3	116	8.8	12.8	1.12
33H4	115	9.0	11.9	1.07
7H2	114	8.8	12.4	1.10
33H3	114	8.7	11.6	1.01
2H1	113	8.1	13.0	1.05
24H3	111	8.8	12.4	1.09
29H1	111	7.9	12.9	1.02
21H3	109	9.6	11.1	1.07
31H2	109	8.2	11.9	0.97
31H3	109	8.2	12.4	1.02
2H0	107	8.0	12.5	1.00
27H4	106	7.4	12.5	0.92
12H3	105	8.1	11.8	0.95
7H3	105	8.7	12.9	1.13
30H3	103	8.5	12.1	1.02

Continúa

Cuadro 23. Continuación.

Zona agroecológica	q75_TCH	q75_TCHM	q75_Rendimiento(%)	q75_TAHM
15H4	101	7.7	12.8	0.99
2H2	101	8.5	13.0	1.10
22H2	101	7.8	12.5	0.98
6H5	100	7.8	11.9	0.93
27H1	99	7.7	12.8	0.98
28H3	99	7.7	11.4	0.88
2H3	98	7.5	12.1	0.90
26H4	97	8.4	10.9	0.92
33H2	96	7.8	11.8	0.91
13H1	96	6.6	12.8	0.84
9H3	95	7.6	11.9	0.90
27H0	93	7.1	13.0	0.92
1H3	92	7.5	11.9	0.89
2H4	91	7.0	11.6	0.81
27H3	91	6.8	12.1	0.82
29H3	90	7.3	12.5	0.92
4H3	89	6.9	12.6	0.87
Promedio general	126	9.7	12.3	1.19

Desarrollo de variedades de caña de azúcar con enfoque AEPS

En el Programa de Variedades de Cenicaña, la obtención y el desarrollo de las variedades es el resultado de la integración del conocimiento de investigadores y productores, quienes buscan aumentar la productividad y la rentabilidad de una zona agroecológica dada. En Cenicaña el enfoque AEPS se aplica en la investigación de campo y por lo tanto, los principios del mismo se han venido adaptando al proceso de obtención y desarrollo de variedades.

La validez de la zonificación agroecológica para la ubicación de variedades en función de la respuesta en productividad se verificó mediante la evaluación experimental de la interacción variedad por sitio (López *et al.*, 2009).

Sitios de selección

Para la selección de variedades con enfoque AEPS, a partir de la tercera aproximación de la zonificación agroecológica se caracterizaron tres ambientes de mejoramiento, de modo que en sitios representativos de cada ambiente se comenzaron a adelantar procesos de selección y desarrollo de variedades para zonas secas, húmedas y de piedemonte (Cenicaña, 2002).

Desde 2008, de acuerdo con la cuarta aproximación de las zonas agroecológicas, los ambientes de mejoramiento corresponden a zonas secas-semicas, zonas húmedas y zonas de piedemonte. Los criterios para el ordenamiento de las zonas se definen por las variables que caracterizan el Grupo de Humedad y la familia de suelos, para luego discriminar las tierras según la altitud y la pendiente topográfica. La superficie cubierta en la caracterización de cada ambiente de mejoramiento supera el área sembrada con caña de azúcar en razón de los procedimientos de SIG utilizados para el efecto.

La selección de variedades se realiza para los siguientes ambientes:

- **Zonas secas-semisecas:** Tierras en la parte plana del valle del río Cauca con condición de humedad H0, H1 ó H2. Se encuentran 73 zonas agroecológicas en 155,615 hectáreas (Cuadro 24); no se incluyen las áreas de piedemonte de las cordilleras Oriental y Occidental. Los sitios de selección se localizan en la Estación Experimental de Cenicaña en San Antonio de los Caballeros.

Cuadro 24. Zonas agroecológicas representativas del ambiente seco-semiseco caracterizado en función de la selección de variedades mejoradas de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Datos a diciembre de 2010.

Condición de humedad H0		Condición de humedad H1		Condición de humedad H2	
Zona agroecológica	Área (ha)	Zona agroecológica	Área (ha)	Zona agroecológica	Área (ha)
1H0	378	1H1	5,276	1H2	1,276
6H0	1,874	3H1	9	2H2	34
7H0	1,114	4H1	328	3H2	64
11H0	19,833	6H1	37,128	4H2	131
15H0	765	7H1	2,038	5H2	3,910
18H0	3,058	8H1	149	6H2	6,965
19H0	51	11H1	22,705	7H2	1,257
21H0	1,773	12H1	7	8H2	839
22H0	1,634	13H1	305	9H2	566
23H0	503	14H1	816	10H2	1,896
26H0	325	15H1	5,180	11H2	8,203
27H0	12	18H1	4,213	12H2	33
29H0	126	19H1	38	13H2	974
30H0	1,991	20H1	84	14H2	1,066
31H0	815	21H1	601	15H2	315
32H0	141	22H1	146	16H2	129
33H0	165	23H1	3,202	17H2	115
-	-	26H1	1,061	18H2	2,811
-	-	27H1	44	19H2	187
-	-	29H1	186	20H2	83
-	-	30H1	3,503	21H2	734
-	-	31H1	108	22H2	34
-	-	32H1	90	23H2	616
-	-	33H1	6	24H2	282
-	-	-	-	25H2	49
-	-	-	-	26H2	46
-	-	-	-	28H2	4
-	-	-	-	29H2	14
-	-	-	-	30H2	743
-	-	-	-	31H2	205
-	-	-	-	32H2	207
-	-	-	-	33H2	46
Total	34,558	Total	87,222	Total	33,834

- **Zonas húmedas:** También en la parte plana del valle, son tierras con condición de humedad H3, H4 ó H5. Se encuentran 70 zonas agroecológicas en 60,978 hectáreas (Cuadro 25); no se incluyen las áreas de piedemonte de las cordilleras Oriental y Occidental. Los sitios de selección se localizan en la hacienda Cachimbalito de Incauca y ocasionalmente en las haciendas La Cabaña o La Victoria del Ingenio La Cabaña.
- **Zonas de piedemonte:** Tierras ubicadas a más de 1050 metros sobre el nivel del mar, con pendientes mayores a 3%, excluidas napas de desborde, lechos colmatados y cauces abandonados ubicados en el piedemonte de las cordilleras Oriental y Occidental. Las condiciones de humedad varían entre H0 y H5. Se encuentran 95 zonas agroecológicas en 13,740 hectáreas (Cuadro 26). Los sitios de selección se localizan en la hacienda Piedechinche del Ingenio Providencia y ocasionalmente en la hacienda Los Ranchos de Riopaila Castilla (planta Castilla).

Evaluación del Banco de Germoplasma y programación de cruzamientos

En los sitios de selección se evalúan y caracterizan las variedades del Banco de Germoplasma de Cenicaña y se identifican las mejores en términos de producción de caña, producción de sacarosa (% caña), diámetro de tallo, deshoje, floración, macollamiento, volcamiento, población de tallos y altura. Los parámetros anteriores se califican por medio de descriptores que se expresan en forma relativa con respecto a un testigo. Así mismo, las variedades se evalúan por la resistencia o susceptibilidad a las enfermedades principales de carbón, roya café, roya naranja, mosaico, escaldadura de la hoja y virus de la hoja amarilla, que se califican de acuerdo con las escalas internacionales propuestas por la Sociedad Internacional de Técnicos Azucareros, ISSCT. De acuerdo con los resultados de las evaluaciones se definen los grupos élite de variedades que intervienen en cruzamientos específicos para cada sitio de mejoramiento (Viveros *et al.*, 2009).

La selección de los progenitores se efectúa a partir del Sistema de Información de Variedades, SIVAR, el cual tiene un módulo específico para la programación de cruzamientos. Esta herramienta tiene en cuenta de manera simultánea todas las características con sus respectivas restricciones para buscar complementariedad; la selección se inicia comparando la primera variedad del grupo con la segunda y así sucesivamente, para luego comparar la segunda variedad con la siguiente y las restantes y así sucesivamente hasta terminar la comparación entre todas las variedades del grupo.

Cuadro 25. Zonas agroecológicas representativas del ambiente húmedo caracterizado en función de la selección de variedades mejoradas de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Datos a diciembre de 2010.

Condición de humedad H3		Condición de humedad H4		Condición de humedad H5	
Zona agroecológica	Área (ha)	Zona agroecológica	Área (ha)	Zona agroecológica	Área (ha)
1H3	194	1H4	38	1H5	35
2H3	345	2H4	20	3H5	102
3H3	755	3H4	671	5H5	2,946
4H3	169	5H4	2,032	6H5	67
5H3	5,450	6H4	2,036	8H5	952
6H3	2,784	8H4	1,430	9H5	349
7H3	196	9H4	315	10H5	5,959
8H3	3,072	10H4	4,698	11H5	165
9H3	837	11H4	1,202	13H5	215
10H3	6,048	12H4	0	14H5	301
11H3	11,120	14H4	326	16H5	126
12H3	224	16H4	309	17H5	118
13H3	255	17H4	722	18H5	34
14H3	411	18H4	283	20H5	135
15H3	136	20H4	95	22H5	28
16H3	167	22H4	3	25H5	181
17H3	564	23H4	87	-	-
18H3	806	25H4	188	-	-
20H3	142	27H4	15	-	-
21H3	52	30H4	5	-	-
22H3	24	31H4	39	-	-
23H3	68	32H4	68	-	-
24H3	158	33H4	9	-	-
25H3	217	-	-	-	-
26H3	18	-	-	-	-
27H3	2	-	-	-	-
29H3	4	-	-	-	-
30H3	228	-	-	-	-
31H3	160	-	-	-	-
32H3	3	-	-	-	-
33H3	66	-	-	-	-
Total	34,673	Total	14,591	Total	11,714

Cuadro 26. Zonas agroecológicas representativas del ambiente de piedemonte caracterizado en función de la selección de variedades mejoradas de caña de azúcar en el valle del río Cauca. Datos a diciembre de 2010.

Condición H0		Condición H1		Condición H2		Condición H3		Condición H4		Condición H5	
Z.A.	Área (ha)										
1H0	146	1H1	141	1H2	27	1H3	114	6H4	103	5H5	19
2H0	57	2H1	127	3H2	60	5H3	23	8H4	42	10H5	122
6H0	233	3H1	6	5H2	8	6H3	688	10H4	233	18H5	3
7H0	161	6H1	503	6H2	212	7H3	25	11H4	147	25H5	12
11H0	312	7H1	113	7H2	184	8H3	460	13H4	1	-	-
13H0	3	11H1	1,631	8H2	151	10H3	47	14H4	21	-	-
15H0	46	15H1	38	10H2	2	11H3	401	15H4	3	-	-
18H0	272	18H1	145	11H2	993	13H3	8	24H4	72	-	-
21H0	6	20H1	25	13H2	75	14H3	54	26H4	5	-	-
22H0	975	21H1	1	15H2	22	15H3	14	27H4	4	-	-
23H0	15	22H1	167	16H2	5	16H3	7	28H4	4	-	-
26H0	476	23H1	44	17H2	23	18H3	63	30H4	1	-	-
27H0	104	26H1	257	18H2	165	21H3	12	31H4	8	-	-
29H0	447	27H1	110	20H2	17	22H3	15	33H4	24	-	-
30H0	252	29H1	284	21H2	14	24H3	62	-	-	-	-
31H0	552	30H1	276	22H2	95	26H3	7	-	-	-	-
33H0	48	31H1	138	23H2	45	27H3	318	-	-	-	-
-	-	-	-	26H2	31	28H3	123	-	-	-	-
-	-	-	-	29H2	13	29H3	9	-	-	-	-
-	-	-	-	30H2	32	30H3	29	-	-	-	-
-	-	-	-	31H2	33	31H3	73	-	-	-	-
-	-	-	-	-	-	33H3	48	-	-	-	-
Total	4,103	Total	4,005	Total	2,208	Total	2,600	Total	668	Total	156

El principio básico del algoritmo consiste en sumar, para determinada característica, los valores de las dos variedades en comparación; si la suma es igual o inferior a un valor crítico entonces el proceso pasa a la segunda característica y así sucesivamente hasta completar la totalidad de las comparaciones. Si la suma de una característica sobrepasa el nivel crítico, ese cruzamiento no se puede realizar.

Para cada uno de los sitios de mejoramiento, cada año se programan y realizan cruzamientos específicos tanto en la Estación Experimental de Cenicaña en San Antonio de los Caballeros como en la Estación Experimental del Centro de Investigación y Desarrollo de la Caña de Azúcar (CIDCA) en Tapachula, México. A partir de la semilla sexual de los cruzamientos se obtienen las plántulas que se siembran en cada uno de los sitios de mejoramiento. El proceso de selección de los mejores clones se realiza a través de estados sucesivos.

Obtención de clones y selección

Cada año se inicia el proceso de selección con aproximadamente 120 mil plántulas que son distribuidas en los sitios de selección. En cada sitio, los mejores clones pasan por tres estados de selección (Estados I, II y III) de acuerdo con los criterios o características fundamentales (alto contenido de azúcares reductores totales, alta producción de caña por hectárea, escasa floración, resistencia al carbón, roya, mosaico y virus de la hoja amarilla) y las características deseables (tallos erectos, alto deshoje, sin pelusa, resistencia a raquitismo de la soca, escaldadura de la hoja y pulgón amarillo) definidas para la selección de genotipos con adaptabilidad en cada ambiente.

De acuerdo con los ambientes de selección se han establecido los objetivos específicos de mejoramiento, así: (1) Para las zonas secas-semisecas se seleccionan variedades que aumenten el contenido de sacarosa mínimo en 5% y mantengan el TCH en comparación con el testigo; (2) Para las zonas húmedas se seleccionan variedades que aumenten el contenido de sacarosa mínimo en 5% y aumenten en 15% el TCH; (3) Para las zonas de piedemonte se seleccionan las variedades que mantengan el contenido de sacarosa y aumenten en 15% el TCH.

En el Estado I se efectúa la selección por familia identificando los mejores cruzamientos por sacarosa (% caña) en la plantilla (por encima del promedio de todas familias en evaluación) y seleccionando fenotípicamente

en la primera soca los mejores individuos, que pasan al Estado II; luego se seleccionan en la primera soca los mejores clones, que pasan al Estado III y que son sembrados en dos zonas agroecológicas mayoritarias del valle del río Cauca y, según el sitio de selección, durante dos cortes se seleccionan al final un grupo de variedades (10-15 variedades) que conforman las pruebas regionales que se siembran en las zonas agroecológicas mayoritarias del valle del río Cauca, ubicadas en zonas secas-semisecas, zonas húmedas y zonas de piedemonte, dependiendo del sitio de selección original.

Eventualmente, según el sitio de selección se introducen variaciones en el proceso con el fin de asegurar la estabilidad de los resultados. Tal es el caso de las zonas húmedas que en el pasado presentaban resultados variables en el proceso de selección de clones según el proceso ocurriera durante un período de incidencia externa atmosférica como el fenómeno de “El Niño” o “La Niña”, lo cual resultaba en clones cuyo comportamiento era variable. Por tanto, a partir de la diferenciación de clones según su capacidad de producción de aerénquima en las raíces (Unigarro, 2009), todos los estados de selección para zonas húmedas se realizan manteniendo el nivel freático a una profundidad aproximada de 40 cm a partir de los cuatro meses de edad de la caña. Mediante esta variación en el manejo agronómico y la selección de clones con base en altura y población (Viveros *et al.*, 2008), están resultando clones con buenas perspectivas agronómicas de zonas húmedas, como por ejemplo CC 05-940 y CC 05- 945, entre otros.

Las pruebas regionales se establecen en los ingenios azucareros con mayor área en las zonas agroecológicas de mayor interés, para dar la mayor cobertura posible. Estas pruebas regionales se establecen en experimentos de franjas de seis surcos a lo largo del tablón y en tres repeticiones, durante tres cortes, en un diseño de látice. Este diseño de experimentación entrega resultados de producción de las variedades muy similares a los comportamientos de dichas variedades a escala comercial (Palma *et al.*, 2009).

Al final del proceso, entre 9 y 9.5 años después de haber sembrado toda la progenie de un cruzamiento dado, se encuentran variedades que sobresalen por su productividad tanto en TCH y sacarosa (% caña) como en toneladas de sacarosa por hectárea (TSH). Aunque la información disponible acerca de las nuevas variedades proviene de áreas pequeñas, los resultados contribuyen a caracterizar las mejores variedades respecto al testigo y orientan la multiplicación de las mismas para que los ingenios efectúen multiplicaciones posteriores.

Seguimiento y multiplicación

Cenicafña, los ingenios azucareros y los cultivadores de caña identifican los sitios y las zonas agroecológicas donde las nuevas variedades superan en producción los resultados obtenidos con la variedad más cultivada en cada zona, así como las zonas agroecológicas donde las variedades nuevas son iguales o presentan una productividad inferior a la variedad comercial. Realizan la siembra y multiplicación de las nuevas variedades, de manera que van conociendo los sitios y zonas agroecológicas donde las nuevas variedades merecen ser sembradas o donde se debe evitar su siembra por baja productividad.

Como resultado del proceso de obtención, desarrollo, seguimiento y multiplicación de las variedades que se realiza actualmente, está ocurriendo una renovación de las variedades que por varios años ha cultivado el sector azucarero colombiano. Si se compara la información 2009 acerca del área sembrada por variedad (Cuadro 27) con la información de años anteriores,

Cuadro 27. Variedades de caña de azúcar sembradas por la agroindustria azucarera. Valle del río Cauca, diciembre 2010.

Variedad	Área	
	ha	%
CC 85-92	156,017	71.5
CC 84-75	22,813	10.4
V 71-51	5,664	2.6
CC 93-4418	5,179	2.4
PR 61-632	2,948	1.4
CC 93-3895	1,955	0.9
CC 93-3826	1,660	0.8
CC 92-2198	1,531	0.7
CC 93-4181	1,331	0.6
MZC 74-275	1,186	0.5
CC 92-2804	1,041	0.5
Miscelánea y otras	8,190	3.8
Renovación	8,796	4
Total	218,311	100

se observa que el área sembrada con las variedades V 71-51, PR 61-632, MZC 74-275, RD 75-11 y Co 421 ha disminuido año tras año y éstas han sido reemplazadas por nuevas variedades.

La dependencia del sector azucarero de la variedad CC 85-92 en más del 71% del área representa un riesgo desde el punto de vista sanitario, puesto que la región no está exenta de la llegada de una nueva plaga (por ejemplo el barrenador eldana, *Eldanasaccharina*) o una nueva enfermedad (como moldeo vellosa, moldeo polvoso, fiji o quemazón de la hoja, entre otras) que ocasionen pérdidas en producción. Situaciones de este tipo han ocurrido en otros países (Magarey *et al.*, 2001).

A continuación se presenta la información disponible acerca de las variedades CC 93-3895, CC 92-2804 y CC 93-4418, correspondiente a las cosechas realizadas entre enero de 2004 y noviembre de 2010. Estas tres variedades junto con CC 85-92 han sido las de mayor crecimiento en área en el sector azucarero colombiano durante los seis últimos años.

Variedad CC 93-3895

La variedad CC 93-3895 ha sido cosechada en 7750 ha y 62 zonas agroecológicas. En la Figura 20 se muestra el área de influencia de las zonas agroecológicas donde CC 93-3895 es significativamente superior, igual o inferior en productividad (TCH, rendimiento real en fábrica y TAH) respecto a los testigos CC 85-92 y CC 84-75. En 43 zonas es igual o superior.

La variedad CC 93-3895 es significativamente superior en productividad en sitios representativos de las zonas 5H2, 7H0, 8H4 y 10H2 (color verde en el mapa). Estas zonas tienen influencia en 8090 ha (3.7% del área total sembrada con caña).

Es igual (color azul) que los testigos en las zonas 1H1, 3H4, 5H3, 5H5, 6H0, 6H1, 6H4, 6H5, 7H1, 7H2, 8H2, 8H3, 8H5, 10H4, 10H5, 11H0, 11H2, 11H4, 13H2, 13H3, 13H5, 14H1, 14H4, 17H5, 20H2, 21H0, 21H2, 22H0, 22H1, 23H4, 25H5, 26H1, 29H1, 30H1, 30H2, 30H3, 31H0, 31H2 y 33H3. Estas 39 zonas son representativas de 117,791 hectáreas (54.4% del total sembrado).

Finalmente es inferior en productividad (color rojo) respecto a los testigos en las zonas 3H3, 3H5, 5H4, 6H2, 6H3, 11H1, 11H3, 14H2, 15H1, 15H2, 18H0, 18H1, 18H2, 18H3, 21H1, 23H1, 23H2, 24H2 y 30H0. Estas 19 zonas son representativas de 71,299 hectáreas (32.9% del total sembrado).

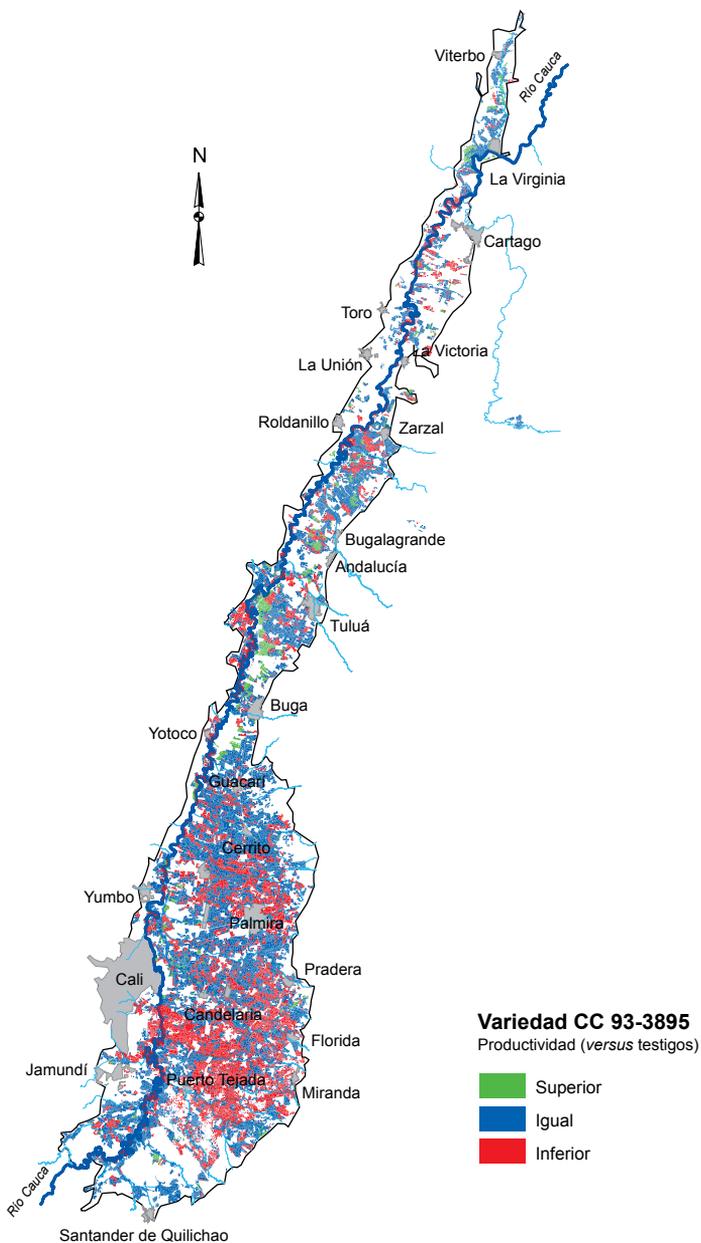


Figura 20. Distribución espacial de las zonas agroecológicas de influencia en los sitios donde CC 93-3895 es significativamente superior, igual o inferior en productividad (TCH, rendimiento real en fábrica y TAH) respecto a los testigos CC 85-92 y CC 84-75. Valle del río Cauca, enero 2004 - noviembre 2010.

La zona agroecológica donde más se ha sembrado la variedad CC 93-3895 es la 6H1, en donde se han cosechado 1733 ha con los resultados comerciales a través de los cortes que se presentan en el Cuadro 28. Los resultados de productividad han sido estables a través de los cinco cortes a pesar de la disminución en la edad de cosecha.

Cuadro 28. Resultados de productividad con la variedad CC 93-3895 en la zona agroecológica 6H1. Valle del río Cauca (enero 2004-noviembre 2010).

Corte (No.)	Área (ha)	Edad (meses)	TCH	TCHM	Rendimiento (%)	TAHM	TAH
1	631	14.0	132.5	9.5	12.1	1.148	16.1
2	519	13.7	127.7	9.4	12.7	1.188	16.2
3	427	13.4	122.2	9.2	12.6	1.156	15.4
4	123	13.1	121.1	9.3	11.8	1.090	14.2
5	33	11.7	116.4	10.1	11.6	1.149	13.3

Variedad CC 92-2804

La variedad CC 92-2804 ha sido cosechada en 2255 ha y 32 zonas agroecológicas. En la Figura 21 se muestra el área de influencia de las zonas donde la variedad es significativamente superior, igual o inferior en productividad (TCH, rendimiento real y TAH) respecto a los testigos CC 85-92 y CC 84-75. En 29 zonas es igual o superior.

Es significativamente superior en productividad en sitios representativos de las zonas 10H4, 11H0, 13H2, 14H3, 17H4, 18H1, 18H2, 18H3, 21H0, 21H2, 30H1 y 33H3 (color verde en el mapa). Estas 12 zonas tienen influencia en 39,092 ha (18% del área total sembrada con caña).

Es igual (color azul) que los testigos en las zonas 1H1, 6H1, 6H2, 7H0, 10H2, 11H1, 11H2, 11H3, 15H1, 16H2, 18H0, 21H1, 22H0, 23H2, 27H1, 30H0 y 32H2. Estas 17 zonas son representativas de 109,416 hectáreas (50.5% del total sembrado).

Finalmente es inferior en productividad (color rojo) respecto a los testigos en las zonas 5H5, 6H3 y 8H3, representativas de 9,133 hectáreas (4.2% del total sembrado).

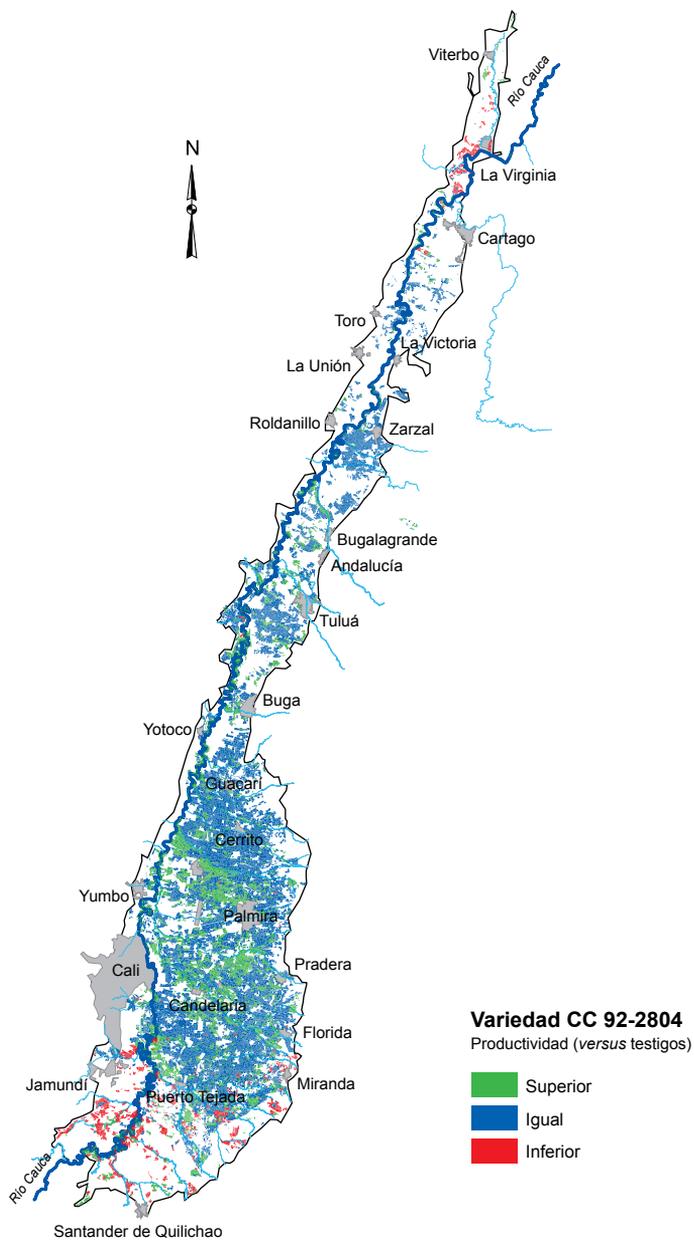


Figura 21. Distribución espacial de las zonas agroecológicas de influencia en los sitios donde CC 92-2804 es significativamente superior, igual o inferior en productividad (TCH, rendimiento real en fábrica y TAH) respecto a los testigos CC 85-92 y CC 84-75. Valle del río Cauca, enero 2004 - noviembre 2010.

La zona agroecológica donde más se ha sembrado la variedad CC 92-2804 es la 6H1, en donde se han cosechado 821 hectáreas con los resultados comerciales a través de los cortes que se presentan en el Cuadro 29. Los resultados de productividad han sido muy estables través de los siete cortes a pesar de las disminuciones en las edades de cosecha.

Cuadro 29. Resultados de productividad con la variedad CC 92-2804 en la zona agroecológica 6H1. Valle del río Cauca (enero 2004-noviembre 2010).

Corte (No.)	Área (ha)	Edad (meses)	TCH	TCHM	Rendimiento (%)	TAHM	TAH
1	276	14.0	141.6	10.2	12.4	1.254	17.5
2	253	13.7	127.6	9.4	12.4	1.158	15.8
3	120	12.0	127.8	10.6	11.8	1.250	15.1
4	66	14.3	140.2	10.0	12.3	1.230	17.3
5	61	11.5	118.1	10.3	11.9	1.225	14.1
6	28	16.2	134.7	8.4	12.8	1.069	17.3
7	19	11.6	125.0	10.7	11.9	1.280	15.0

Variedad CC 93-4418

La variedad CC 93-4418 ha sido cosechada en 3796 ha y 43 zonas agroecológicas. En la Figura 22 se muestra el área de influencia de las zonas agroecológicas donde CC 93-4418 es significativamente superior, igual o inferior en productividad (TCH, rendimiento real en fábrica y TAH) respecto a los testigos CC 85-92 y CC 84-75. En 32 zonas es igual o superior.

La variedad CC CC 93-4418 es significativamente superior en productividad en sitios representativos de las zonas 5H5, 7H1, 11H3, 13H2, 14H3, 15H0, 15H1, 21H2, 22H0, 22H1, 30H3 y 31H2 (color verde en el mapa). Estas 12 zonas tienen influencia en 26,802 ha (12.4% del área total sembrada con caña).

Es igual (color azul) que los testigos en las zonas 5H3, 6H1, 6H2, 7H3, 10H3, 10H5, 11H0, 11H1, 11H2, 14H1, 18H0, 18H1, 18H2, 21H1, 24H2, 26H1, 28H3, 30H1, 30H2 y 32H0. Estas 20 zonas son representativas de 128,856 hectáreas (59.5% del total sembrado).

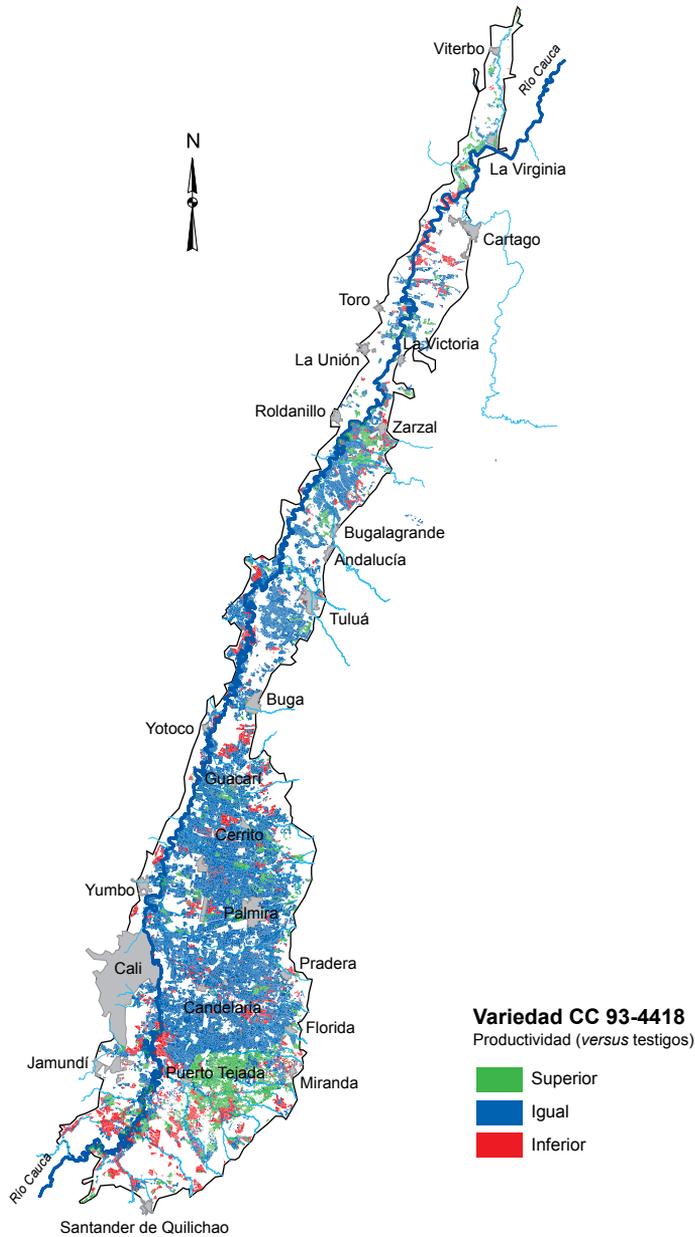


Figura 22. Distribución espacial de las zonas agroecológicas de influencia en los sitios donde CC 93-4418 es significativamente superior, igual o inferior en productividad (TCH, rendimiento real en fábrica y TAH) respecto a los testigos CC 85-92 y CC 84-75. Valle del río Cauca, enero 2004 - noviembre 2010.

Finalmente es inferior en productividad (color rojo) respecto a los testigos en las zonas 1H1, 5H4, 6H0, 6H3, 8H3, 9H2, 9H3, 10H4, 21H0, 24H3 y 30H0. Estas zonas son representativas de 23,859 hectáreas (11% del total sembrado).

La zona agroecológica donde más se ha sembrado la variedad CC 93-4418 es la 6H1, en donde se han cosechado 1025 ha con los resultados comerciales a través de los cortes que se presentan en el Cuadro 30. Los resultados de productividad han sido muy estables a través de los cinco cortes.

Más información acerca de la productividad de las nuevas variedades en cada zona agroecológica se puede consultar en el Sistema de Información AEPS en <www.cenicana.org/aeps/index.php>

Cuadro 30. Resultados de productividad con la variedad CC 93-4418 en la zona agroecológica 6H1. Valle del río Cauca (enero 2004-noviembre 2010).

Corte (No.)	Área (ha)	Edad (meses)	TCH	TCHM	Rendimiento (%)	TAHM	TAH
1	570	13.5	138.9	10.3	11.8	1.208	16.3
2	253	13.6	141.9	10.6	11.5	1.207	16.3
3	136	13.1	122.6	9.4	11.9	1.118	14.6
4	54	13.5	123.9	9.1	11.7	1.062	14.4
5	12	12.5	99.6	8.0	15.4	1.228	15.3

Conclusiones

La cuarta aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca es una herramienta de gestión para el desarrollo sostenible regional, en cuanto ofrece un marco de referencia ordenado acerca de los factores biofísicos de largo plazo que caracterizan la capacidad de uso y la aptitud productiva de las tierras con vocación agrícola actualmente dedicadas a la producción azucarera.

El compromiso del sector azucarero nacional con el desarrollo sostenible se fundamenta en principios de competitividad regional basados en el conocimiento del territorio, visto como un sistema agroecológico según el cual se orientan las decisiones de acción estratégica de la agroindustria. Esta visión del territorio como un sistema agroecológico regional contribuye a la formación y el fortalecimiento de una cultura agrícola azucarera responsable con su entorno, en la cual se antepone a toda acción los principios de protección y conservación de la riqueza ambiental y la diversidad biológica, económica y social existentes tanto en los sitios de cultivo como en aquellos asociados con los distintos factores productivos.

En el valle del río Cauca la caña de azúcar ha sido cultivada por más de una centuria y en torno a ella se ha desarrollado una cultura agrícola con vocación agroindustrial. Al 31 de diciembre de 2010 en la región se contaban 218 mil hectáreas sembradas en caña, 212 mil de ellas con estudio detallado de suelos. De acuerdo con la metodología propuesta en la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica, en estas 212 mil hectáreas se identifican 156 zonas agroecológicas para el cultivo de la caña de azúcar.

La metodología de zonificación se basa en el conocimiento de los suelos mediante estudios detallados (escala 1:10 000) y en la zonificación climática por balance hídrico. A partir de este conocimiento se conformaron 33 Grupos Homogéneos de Suelos (232 consociaciones) y seis Grupos de Humedad (condiciones prevalentes en el suelo con 75% de probabilidad de exceso de precipitación y Kc de 0.7). Las zonas agroecológicas resultan de la intersección entre los Grupos Homogéneos de Suelos y los Grupos de Humedad que, en conjunto, definen las características biofísicas de largo plazo representativas de cada sitio de cultivo.

Cenicaña, en su rol de promotor y facilitador de la adopción exitosa de mejores prácticas en las unidades productivas azucareras, promueve la participación de todos los involucrados en las iniciativas de investigación, desarrollo tecnológico e innovación de los procesos productivos con fundamento en el enfoque de la agricultura específica por sitio (AEPS).

El enfoque de AEPS se define como el arte de realizar las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal de acuerdo con las condiciones agroecológicas del sitio donde se cultiva para obtener de ella su rendimiento potencial. Los fundamentos de la AEPS desarrollados durante la última década han sido adoptados progresivamente en el sector azucarero colombiano, en los programas de investigación, la planeación sectorial, la transferencia de tecnología y la introducción de prácticas sostenibles en la actividad productiva.

Los avances logrados hasta el momento se deben al interés de los productores azucareros en el conocimiento acerca de las tierras a su cargo, el mejoramiento continuo de la eficiencia técnica y económica de la producción y la interacción proactiva con las comunidades de influencia.

A través del Sistema de Información AEPS disponible en web, Cenicaña ofrece a los productores azucareros información geográfica, técnica y de productividad asociada con las zonas agroecológicas de influencia en sus predios.

Los servicios de información son útiles en tanto correspondan al análisis de datos confiables, completos y precisos.

Las bases de datos y los modelos de análisis de la información disponible requieren la cooperación de los agricultores en el suministro de los estudios detallados de suelos que se realicen en las unidades productivas y la actualización de la cartografía básica de las fincas, el registro de las principales variables meteorológicas directamente en los predios y su análisis frecuente, así como la verificación de los suelos y sus condiciones de humedad donde y cuando se considere pertinente.

De este modo la gestión del conocimiento técnico para el desarrollo de la AEPS en el sector azucarero colombiano encuentra en la zonificación agroecológica un marco de referencia confiable en función de los objetivos de sostenibilidad propuestos.

Agradecimientos

Los autores y Cenicaña expresan sus agradecimientos a los cultivadores de caña de azúcar y a los ingenios azucareros comprometidos con los proyectos que han dado lugar a la zonificación agroecológica, y en especial con el estudio detallado de suelos en el valle del río Cauca, por la cofinanciación para la ejecución de las actividades y la colaboración logística.

A Colciencias, por la cofinanciación en los proyectos relacionados con el estudio detallado de suelos, la restitución cartográfica del norte del departamento del Cauca y el desarrollo del enfoque de agricultura específica por sitio en el sector azucarero.

Al Igac y su equipo de reconocedores, por la cooperación institucional y personal prestada durante la ejecución del contrato concerniente al estudio detallado de suelos y por el aprendizaje compartido.

A las personas e instituciones que suministran información histórica de precipitación y evaporación para la actualización de la zonificación climática por balance hídrico: cañicultores e ingenios, Cenicafé, Ciat, CVC e Ideam.

De modo particular, a los doctores Abdón Cortés Lombana y Alfonso García Sánchez, por su colaboración en el estudio detallado de suelos y sus aportes en la definición de los Grupos Homogéneos de Suelos.

Referencias bibliográficas

- Carbonell González, J.A.; Amaya Estévez, A.; Ortiz Uribe, B.V.; Torres Aguas, J.S.; Quintero Durán, R. e Isaacs Echeverri, C.H. 2001. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Tercera aproximación. Cenicaña. Cali. 59 p. (Serie Técnica, no.29)
- Carbonell González, J.A.; Osorio Murillo, C.A. y Cortés Betancourt, E. 2006. Balance hídrico en el valle del río Cauca, nueva versión. p.265-274. En: Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar, 7. Memorias, v.1. Cali, Colombia. 6-8 sep., 2006. Tecnicaña. Cali, Colombia.
- Cenicaña. 1984. Primera aproximación agroclimática del valle del río Cauca. p. 73-81. En: Informe Anual 1983. Cenicaña, Cali, Colombia. 88 p.
- Cenicaña. 1986. Zonificación agroclimática del valle del río Cauca (segunda aproximación). Cali, Cenicaña. 8 p. (Documento de trabajo no.181)
- Cenicaña. 2001. Agricultura específica por sitio. p. 57. En: Informe Anual 2000. Cenicaña, Cali, Colombia. 104 p.
- Cenicaña. 2002. Macroproyecto Alta Sacarosa Estable. p. 9-16. En: Informe Anual 2001. Cenicaña, Cali, Colombia. 80 p.
- Cenicaña. 2008. Agricultura específica por sitio. p. 9-19. En: Informe Anual 2007. Cenicaña, Cali, Colombia. 108 p.
- Cenicaña. 2010. Informe Anual 2009. Cenicaña, Cali, Colombia. 118 p.
- Forero M., C. 1984. Métodos de levantamientos de suelos. CIAF (Centro Interamericano de Fotointerpretación). Bogotá. 83 p.
- García S., A.; Fino R., W.; Velásquez U., F.; Revelo D., C.; Restrepo P., H.; Ochoa S., W. y Contreras T., G.A. 2007. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar localizadas en el valle del río Cauca. Central Tumaco. Disponible en (CD-ROM)
- García S., A.; 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. Disponible en (CD-ROM)
- García S., A.; 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 del río Cauca. Ingenio Riopaila. Disponible en (CD-ROM)

- Gómez Enríquez, A.; Cruz Valderrama, R.; Torres Aguas, J.S.; Londoño, J.D. y Campos, A. 2007. Macroproyecto de agricultura específica por sitio. Afinamiento y validación de los grupos de humedad. Contrato Colciencias-Cenicaña. Código: 2214-07-174-09. Cenicaña, Cali, Colombia. 120 p.
- Igac (Instituto Geográfico Agustín Codazzi). 1980. Estudio semidetallado de suelos del valle geográfico del río Cauca. Igac. Bogotá. 582 p.
- Igac. 2003. Atlas de Colombia. ed. 5. Igac. Bogotá. 342 p.
- Igac. 2006. Estudio detallado de suelos y capacidad de uso de las tierras sembradas con caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca. Informe general. Cenicaña. Cali. 37 p. (2v.; CD-ROM) (Anexo II. Leyenda general del estudio detallado Igac-Cenicaña)
- Isaacs Echeverri, C.H.; Caicedo Muñoz, G.H.; Paz Torres, H.G. 1999. Estudio del cliente de la nueva tecnología de Cenicaña. Segundo informe técnico. Contrato Colciencias-Cenicaña. Código 2214-07-336-95. Cenicaña. Cali. 181 p.
- Isaacs Echeverri, C.H.; Carrillo Camacho, V.E.; Caicedo Muñoz, G.H.; Paz Torres, H.G.; Palma Zamora, A.E. 2000. Los clientes de la nueva tecnología. Censo y tipificación de productores de caña de azúcar de la industria azucarera colombiana, 1998. Cenicaña. Cali. 64 p. (Serie Técnica, no.27)
- Isaacs Echeverri, C.H.; Raigosa Varela, J.P.; Caicedo Muñoz, G.H.; Paz Torres, H.G.; Carrillo Camacho, V.E. 2000a. Estudio del cliente de la nueva tecnología de Cenicaña. Tercer informe técnico. Contrato Colciencias-Cenicaña. Código 2214-07-336-95. Cenicaña. Cali. 202 p.
- Isaacs Echeverri, C.H. y Raigosa Varela, J.P. 2000. Factores que influyen en la difusión y adopción de las variedades CC 85-92 y CC 84-75 en el sector azucarero colombiano. Cenicaña. Cali. 31 p. (Documento de Trabajo, no.474)
- Isaacs Echeverri, C.H.; Caicedo Muñoz, G.H.; Raigosa Varela, J.P. 2002. Caracterización conductual de productores de caña de azúcar. Análisis descriptivo. Primer informe técnico. Cenicaña. Cali. 62 p. (Documento de trabajo, no.492)
- Isaacs Echeverri, C.H.; Uribe Jaramillo, P.T. 2002. Grupos de transferencia de tecnología con el enfoque de agricultura específica por sitio. Carta Trimestral. v.24 nos.3-4 (jul.-dic.): 23-26
- Isaacs Echeverri, C.H.; Carrillo Camacho, V.E.; Anderson Acuña, E.; Carbonell González, J.A.; Ortiz Uribe, B.V. 2004. Desarrollo de un sistema interactivo de información en web con el enfoque de agricultura específica por sitio. Cenicaña. Cali. 73 p. (Serie Técnica, no.34)
- Isaacs Echeverri, C.H.; Carrillo Camacho, V.E.; Silva, H.F.; Castillo Beltrán, S.V. 2007. Sistemas de información a su medida. Carta Trimestral. v.29 no.2-3 (abr.-sep.): 1-5

- Isaacs Echeverri, C.H.; Carbonell González, J.A.; Zamorano Álvarez, D.; González Buriticá, L.E.; Londoño Arango, S.; Castillo Beltrán, S.V. 2010. Agricultura específica por sitio. Cuarta fase. Segundo informe técnico. Contrato Colciencias-Cenicafña. Proyecto 2214-452-21079; Convenio 471-2008. Cenicafña, Cali. 91 p.
- Jaramillo J., D.F. 2002. Introducción a la ciencia del suelo. Universidad Nacional de Colombia. Medellín. 613 p.
- López Zuñiga, L.O.; Arce, C.A.; Victoria Kafure, J.I.; Isaacs Echeverri, C.H.; Moreno Gil, C. A.; Salazar Villarreal, F. 2009. Validación de la zonificación agroecológica en función de la respuesta de las variedades de caña de azúcar. p.349-355. En: Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 8. Memorias. 16-18 sept., 2009. Cali, Colombia. Tecnicaña, Cali, Colombia.
- Magarey, R.C.; Croft, B.J. and Willcox, T.G. 2001. An epidemic of orange rust on sugarcane in Australia. Proc. Int. Soc. Sugar Cane Technol. 24 (2): 410-416.
- Malagón Castro, D. 1998. El recurso suelo en Colombia. Inventario y problemática. Rev. Acad. Colomb. Cienc. 22, 82 (marzo): 13-52.
- Palma Zamora, A.E.; Viveros Valens, C.A.; Victoria Kafure, J.I. 2009. Correspondencia entre el tonelaje de las nuevas variedades en las pruebas regionales y las suertes comerciales. p.39-46. En: Congreso de la Asociación Colombiana de Técnicos de la Caña de Azúcar, 8. Memorias. Cali, Colombia. 16-18 sep., 2009. Tecnicaña, Cali, Colombia.
- Peña Quiñones, A.J.; Cortés Betancourt, E.; Torres Aguas, J.S.; Carbonell González, J.A.; Moreno Gil, C.A. y Palma Zamora, A.E. 2006. Estimación de la evaporación a partir de variables meteorológicas en el valle del río Cauca-Colombia. Cenicafña. Cali. 13 p. (en CD-ROM).
- Quintero Durán, R. y Castilla, C. 1992. Agrupación de los suelos del Valle Geográfico del Río Cauca. Cenicafña. Cali. 19 p. (Serie Técnica, no.8)
- Quintero Durán, R.; García Sánchez, A.; Cortés Lombana, A.; Muñoz Arboleda, F.; Torres Aguas, J.S.; Carbonell González, J.A. y Osorio Murillo, C.A. 2008. Grupos homogéneos de suelos del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (segunda aproximación). Cenicafña. Cali. 112 p. (Serie Técnica, no.37)
- Torres Aguas, J.S.; Carbonell González, J.A; Ortiz Uribe, B.V.; Daza, O.H.; Cruz Valderrama, R.; Villegas Tascón, F. 2000. Grupos de humedad para el manejo del cultivo en condiciones difíciles. Cali. Cenicafña. 16 p. Documento de trabajo, no.441. (Presentado en Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar 5, Cali, 4-6 oct., 2000).
- Torres Aguas, J.S.; Cruz Valderrama, R. y Villegas Trujillo, F. 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. Segunda edición. Cali, Cenicafña. 66p. (Serie técnica, no. 33)

- Torres, J.S.; Cruz Valderrama, R.; Gómez, A.; Londoño, J.D.; Campos Rivera, A.; Caidedo Ángel, J.H. 2009. Afinamiento y validación de los grupos de humedad usados en la zonificación agroecológica. Cenicaña. Cali. 12 p.; CD-ROM (Documento de Trabajo No.696)
- Unigarro M., C.A. 2009. Evaluación del área de aerénquima radical en caña de azúcar (*Saccharum* spp) como característica de tolerancia a la hipoxia en el valle del río Cauca. Tesis Ingeniero Agrónomo. Universidad de Nariño, Facultad de Ciencias Agrícolas. Pasto, Colombia. Cenicaña, Cali. 69 p.
- USDA (United States Department of Agriculture). 2003. Keys to Soil Taxonomy. Ninth Edition. 332 p.
- Viveros, C.A., Cassalet, C., Amaya, A. y Victoria, J.I. 2009. A tool for designing crosses for sugarcane improvement in CENICAÑA. p.24. En: Sugarcane Breeding and Germplasm Workshop, 9. Proc. Cairns. Australia. 17-21 August. ISSCT, Cairns. Australia.
- Viveros Valens, C.A.; Victoria Kafure, C.A.; López Zuñiga, L.O.; Ranjel Jiménez, H.; Ángel Sánchez, J.C.; Villegas, A.; Cuervo, L.E. 2008. Avances en la selección de variedades de caña de azúcar para las zonas húmedas del valle del río Cauca. Carta Trimestral. v.30, no.3-4 (jun.-dic.): p.3-9.

Siglas y abreviaturas

De instituciones y grupos

Asocaña	Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia
Cenicafé	Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cenicafé	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
CIDCA	Centro de Investigación y Desarrollo Tecnológico de la Caña de Azúcar
Colciencias	Departamento Administrativo de Ciencia, Tecnología e Innovación
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
Igag	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
ISSCT	Sociedad Internacional de Técnicos Azucareros
USDA	Departamento de Agricultura de Estados Unidos

Varios

AEPS	Agricultura Específica por Sitio
BH	Balance Hídrico
RMA	Red Meteorológica Automatizada
RUT	Distrito de riego Roldanillo-La Unión-Toro
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIVAR	Sistema de Información de Variedades
TAH	Toneladas de azúcar por hectárea
TAHM	Toneladas de azúcar por hectárea y mes
TCH	Toneladas de caña por hectárea
TCHM	Toneladas de caña por hectárea y mes
TSH	Toneladas de sacarosa por hectárea

Anexo

Sistema de Información AEPS en web

Servicios para cañicultores

<www.cenicana.org/aeps/index.php>

Cenicaña ofrece a sus dondantes distintos servicios de información a través de internet, gracias a los cuales resultan muy sencillas las siguientes tareas:

- Identificar las zonas agroecológicas asociadas con cada suerte de caña
- Conocer acerca de los suelos presentes en cada sitio
- Reconocer las características físicas principales de los suelos
- Consultar el historial de producción y el clima de cada suerte
- Verificar el Grupo de Humedad asignado a cada suerte

Registro de usuarios

Los servicios del Sistema de Información AEPS en web están abiertos para las personas naturales o jurídicas productoras de caña, azúcar y etanol donantes de Cenicaña y para sus representantes.

Las solicitudes de clave para el registro de donantes (propietario y/o representante legal) se reciben a través del Formulario de Registro para Donantes dispuesto en <www.cenicana.org/hoja_registro_pag.php>

Otras personas autorizadas deben ser presentadas por el propietario o el representante legal mediante carta dirigida por correo postal al Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología de Cenicaña, atención: Camilo H. Isaacs Echeverri, Calle 58 Norte # 3BN-110 (Cali), especificando: Nombre completo de la persona autorizada, cédula, cargo, e-mail, dirección postal, teléfono, ciudad, nombre de la(s) hacienda(s) relacionadas que puede consultar en el Servidor de Mapas y nombre de las demás herramientas AEPS que puede consultar. Los servicios actuales del Sistema de Información AEPS en web se materializan en diez herramientas de consulta y análisis de información geográfica, técnica y estadística, como se muestra a continuación.



Servidor de mapas

Sistema de Información Geográfica (SIG) con cartografía básica y mapas temáticos.



Datos históricos de producción

Consultas a registros por suerte de caña que datan de 1990.



Mapas meteorológicos

Mapas horarios, diarios, decadales, mensuales y anuales de las principales variables atmosféricas registradas en las estaciones de la RMA. Meteorología, climatología y anomalías.



Curvas de isoproductividad

Análisis comparativo según ingenio, zona agroecológica, variedad de caña, edad y número de corte.



Base de datos de la Red Meteorológica Automatizada (RMA)

Información en tiempo real y registros históricos de las principales variables atmosféricas.



SIMCES. Sistema de información para el manejo de caña específico por sitio

Evaluación de la eficiencia productiva y económica en grupos de suertes homogéneas.



Herramienta para la verificación del Grupo de Humedad

Una forma sencilla de verificar cuál es el Grupo de Humedad que mejor describe las condiciones de humedad del suelo en una suerte.



RENOVA. Modelo económico para apoyar la decisión de renovación de cultivos de caña de azúcar

Análisis por zona agroecológica y simulación económica.



Balance Hídrico v3.0

Cálculo del balance hídrico en el suelo como criterio para la programación de los riegos según la edad del cultivo.



SEF. Sistema experto de fertilización

Recomendaciones de dosis, épocas, fuentes y métodos de aplicación de fertilizantes y enmiendas con base en el análisis de suelo y los niveles críticos de nutrimentos para la caña.

1. Ingrese a la sección de AEPS en el sitio web de Cenicaña:
<<http://www.cenicana.org/aeaps/index.php>>

2. Escriba su nombre de usuario y su clave personal de acceso



3. Consulte el **Servidor de Mapas** para conocer la(s) zonas agroecológicas de influencia en cada suerte

Agricultura específica por sitio - AEPS
La agricultura específica por sitio se define como el arte de realizar

A través del Sistema de Información AEPS en web, Cenicaña ofrece a los cultivadores de caña de azúcar una serie de herramientas de consulta y análisis de datos que facilitan la adopción de prácticas sostenibles en las unidades productivas.

La zonificación agroecológica, fundamentada en el estudio detallado de los suelos y el balance hídrico regional, es el marco de referencia para la toma de decisiones de AEPS en las tierras cultivadas con caña de azúcar en el valle geográfico del río Cauca.

Conseguir que los agricultores incorporen en su estrategia organizacional de desarrollo productivo los principios y las aplicaciones disponibles acerca del enfoque de AEPS® es una meta de Cenicaña al 2014.

Herramientas:

- Servidor de mapas
- Curvas de isoproductividad
- RENOVA
- Mapas meteorológicos
- Base de datos RNA
- SIF
- Base de datos de producción
- SIMCES
- Balaceo Hídrico
- Verificación de grupos humedad
- Zonificación agroecológica
- Boletines diarios de la RNA
- Documentos relacionados
- Catálogo de biblioteca
- Catálogo de publicaciones

Tabla de referencia de la (LARA) para iniciar el Balance Hídrico
Valores de la lámina de agua rápidamente aprovechable (LARA) de acuerdo con el estudio detallado de suelos.

Estación base de referencia para el registro de datos con sistemas de posicionamiento global (GPS)
Para corregir datos de GPS móvil.
Más información...

Produktivität de variedades por zona agroecológica

AEPS® es una marca nominativa registrada por Cenicaña.

Servidor de Mapas

<www.cenicana.org/aeps/servidor_mapas.php>

Servicio de mapas temáticos sobre cartografía básica con coordenadas geográficas.

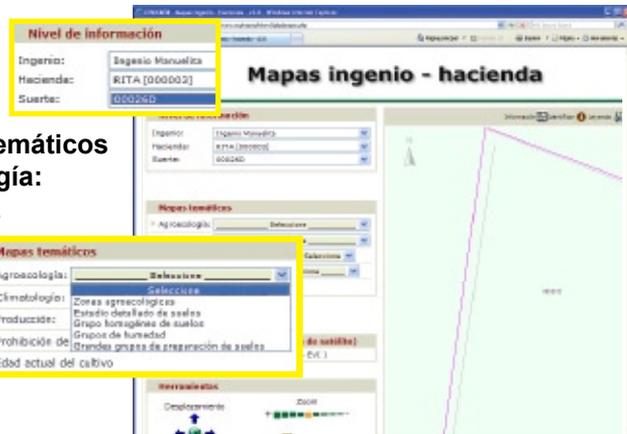
Colección de mapas temáticos por ingenio, hacienda y suerte:

Agroecología, Climatología, Historial de producción, Edad actual de la caña, Áreas de cosecha en verde, Seguimiento del cultivo con imágenes de satélite.

Cartografía básica y coberturas de vías, ríos, quebradas, bosques, construcciones, imagen Landsat y estado vegetativo de la caña (NDVI).

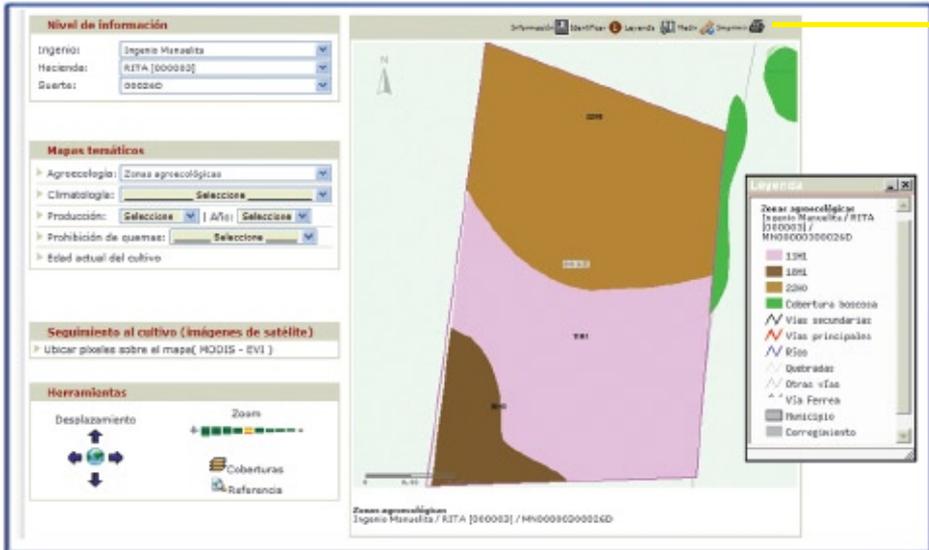
Para identificar la(s) zonas agroecológicas de influencia en una suerte:

1. Ingrese al **Servidor de Mapas** con su **clave de usuario** y luego pulse el botón **Ingenio - hacienda**.
2. Seleccione el **Ingenio**, la **Hacienda** y la **Suerte** que desea consultar.
3. En el menú de **Mapas temáticos** seleccione **Agroecología: Zonas agroecológicas**.



Zonas agroecológicas (mapa temático por suerte de caña)

Ventana típica del Servidor de Mapas



En el menú **Agroecología** se pueden consultar los siguientes mapas temáticos:

- Zonas agroecológicas
- Estudio detallado de suelos
- Grupos Homogéneos de Suelos
- Grupos de Humedad

Ejemplos de los mapas temáticos de agroecología en la página siguiente...

Información



Complementa la información del mapa temático visible, con enlaces a la descripción de los suelos identificados en el estudio detallado



Identificación

Proporciona información de un punto concreto en el mapa.



Leyenda

Despliega la leyenda o clave de lectura.



Medir

Indica la distancia entre dos puntos en el mapa.

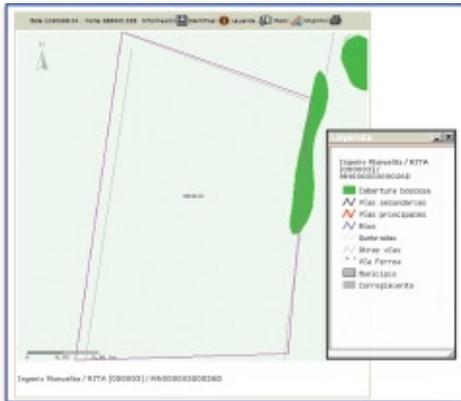


Imprimir

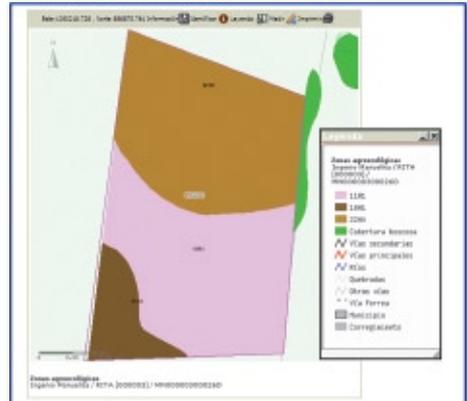
Muestra versión imprimible y opciones de ajuste de impresión.

Ejemplos de mapas temáticos: Agroecología

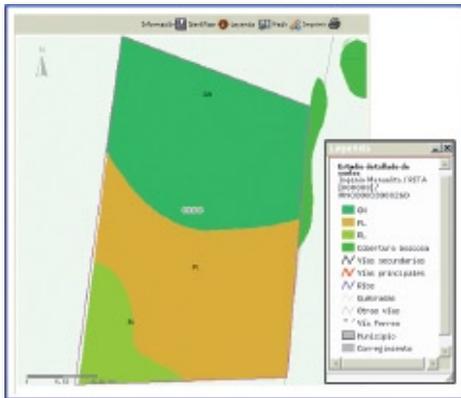
Cartografía básica



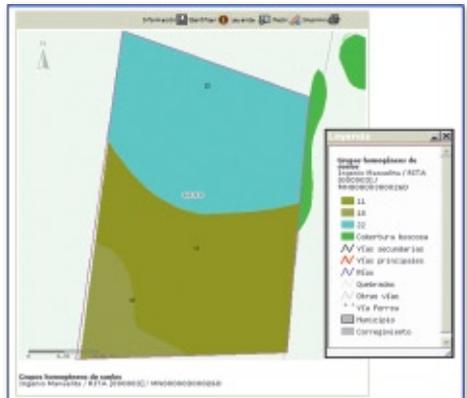
Zonas agroecológicas



Estudio detallado de suelos



Grupos Homógenos de Suelos



Grupos de Humedad



Contáctenos para enseñarle
cómo aprovechar los servicios del
Sistema de Información AEPS
www.cenicana.org/aeps/index.php

Talleres de navegación
Consultorio tecnológico
Capacitación en Balance Hídrico

Dirija su solicitud al correo
<admin_web@cenicana.org>

Herramienta para la verificación del Grupo de Humedad

<www.cenicana.org/aeps/valida_gh.php>

Una forma sencilla de verificar cuál es el Grupo de Humedad que mejor describe las condiciones de humedad del suelo en una suerte.



Ingrese los siguientes datos

Grupo de humedad actual:

Signos de mal drenaje:

Profundidad de los signos de mal drenaje:

Profundidad del nivel freático:

Valor de la pendiente:

Resultado de la corrección

Nuevo grupo de humedad:

Copyright© CENICASA 2010. Derechos reservados.
Resolución recomendada 1024 x 768 píxeles. Internet Explorer 5.0 o superior

Pasos para la verificación (ventana única de la herramienta):

1. Seleccione el **Grupo de Humedad** de acuerdo con la zona agroecológica de influencia en la suerte (identifique la zona agroecológica en el Servidor de Mapas).
2. Califique los siguientes **parámetros de verificación**: Signos de mal drenaje (gleysado y moteado), profundidad de los signos de mal drenaje, profundidad del nivel freático y pendiente del terreno.
3. Pulse el botón **Calcular** para verificar el Grupo de Humedad de influencia en la suerte.

El Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia (Cenicaña) es una corporación privada sin ánimo de lucro, fundada en 1977 por iniciativa de la Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia (Asocaña) en representación de la agroindustria azucarera localizada en el valle del río Cauca.

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

Cenicaña desarrolla programas de investigación en Variedades, Agronomía y Procesos de Fábrica, y cuenta con servicios de apoyo en Análisis Económico y Estadístico, Información y Documentación, Tecnología Informática, Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología. Presta servicios de análisis de laboratorio, administra las estaciones de la red meteorológica automatizada y mantiene actualizada la cartografía digital del área cultivada.

Los recursos de financiación del Centro se basan principalmente en donaciones directas realizadas por los ingenios azucareros Carmelita, Central Tumaco, Incauca, La Cabaña, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichi, Providencia, Riopaila Castilla (dos plantas), Risaralda y Sancarlos, y por sus proveedores de caña.

La Estación Experimental está ubicada en el corregimiento de San Antonio de los Caballeros (Florida, Valle del Cauca), donde se encuentran las oficinas de administración e investigación, la biblioteca, los invernaderos y los laboratorios. La estación ocupa 62 hectáreas localizadas a 3° 21' de latitud norte, 76° 18' de longitud oeste y 1024 metros sobre el nivel del mar. La temperatura media anual en este sitio es de 23.3 °C, precipitación media anual de 1141 mm y humedad relativa de 80%.

Las investigaciones sobre el cultivo se realizan en la Estación Experimental y en predios de los ingenios azucareros y los cultivadores de caña. Las investigaciones de fábrica se llevan a cabo en plantas industriales consideradas como ingenios piloto.

Cita bibliográfica

Carbonell González, J.A.; Quintero Durán, R.; Torres Aguas, J.S.; Osorio Murillo, C.A.; Isaacs Echeverri, C.H. y Victoria Kafure, J.I. 2011. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (cuarta aproximación). Principios metodológicos y aplicaciones. Cali, Cenicaña. 119 p. (Serie Técnica No. 38)