



**CENTRO DE INVESTIGACIÓN  
DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA**

# ***Desarrollo de un sistema interactivo de información en Web con el enfoque de agricultura específica por sitio***

Camilo H. Isaacs Echeverry <sup>1</sup>  
Victoria Carrillo Camacho <sup>2</sup>  
Einar Anderson Acuña <sup>3</sup>  
Javier Carbonell González <sup>4</sup>  
Brenda V. Ortiz Uribe <sup>5</sup>

Cali, Colombia  
Febrero de 2004

---

1. Jefe Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología, Ingeniero Agrónomo <chisaacs@cenicana.org>.  
2. Especialista en Comunicación Técnica, Comunicadora Social <vecarrillo@cenicana.org>  
3. Jefe Servicio de Tecnología Informática, Ingeniero Industrial <eanderson@cenicana.org>  
4. Superintendente de la Estación Experimental, Ingeniero Agrícola, M.Sc. <jacarbonell@cenicana.org>  
5. Analista de Sistemas de Información Geográfica, Ingeniera Agrícola <bvortiz@cenicana.org>

Publicación CENICAÑA  
ISSN 0120-5846

CITA BIBLIOGRÁFICA

Isaacs E., C.H; Carrillo C., V.E.; Anderson A., E.; Carbonell G.; J.; Ortiz U., B.V.. 2004  
Desarrollo de un sistema interactivo de información en Web con el enfoque de agricultura  
específica por sitio. Cali, Cenicafña. 73 p.

COMITÉ EDITORIAL

Adriana Arenas Calderón  
Álvaro Amaya Estévez  
Carlos O. Briceño Beltrán  
Nohra Pérez Castillo

PRODUCCIÓN EDITORIAL

SERVICIO DE COOPERACIÓN TÉCNICA Y TRANSFERENCIA DE TECNOLOGÍA  
Coordinación editorial: Victoria Carrillo Camacho  
Diagramación: Margarita María Carvajal Vinasco  
Preprensa e impresión: Feriva S.A.  
Tiraje: 900 ejemplare  
Febrero de 2004

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) 260 66 11  
Fax: (57-2) 260 78 53  
[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)  
[buzon@cenicana.org](mailto:buzon@cenicana.org)

Publicación producida con recursos del proyecto “Agricultura Específica por  
Sitio. Segunda fase.” cofinanciado por Colciencias y Cenicafña.

# Contenido

	<b>Página</b>
<b>Resumen</b> .....	1
<b>Siglas y abreviaturas</b> .....	2
<b>Introducción</b> .....	3
<b>Agricultura específica por sitio (AEPS)</b> .....	4
Sistema de información AEPS .....	8
<b>Caracterización agroecológica de haciendas y suertes</b> .....	10
Estructuración de bases de datos y sistemas de información ...	17
Datos geográficos .....	20
Datos de producción comercial de caña y azúcar .....	22
Datos de la Red Meteorológica Automatizada .....	22
Zonificación agroecológica .....	25
Suelo .....	26
Grupos de manejo de suelos, estudio semidetallado .....	26
Clima .....	26
Zonificación climática por balance hídrico .....	27
Grupos de humedad .....	28
Conformación de las zonas agroecológicas, tercera aproximación .....	30
Avances de la cuarta aproximación: estudio detallado de suelos .....	32
<b>Tecnologías de producción en las zonas agroecológicas</b> .....	33
Variedades de caña .....	33
Prácticas agronómicas .....	36
Preparación de suelos .....	39
Manejo de residuos de cosecha .....	40

Manejo de aguas .....	40
Nutrición y fertilización .....	41
<b>Cooperación técnica y transferencia de tecnología .....</b>	<b>42</b>
<b>Desarrollo del sistema interactivo de información en web .....</b>	<b>44</b>
Información científica, técnica y económica .....	47
Documentación y publicaciones .....	51
Sistema de consulta a la base de datos bibliográfica SNICA .....	51
Sistema de consulta a la base de datos de publicaciones ...	51
Herramientas de información para la agricultura específica por sitio .....	53
Servidor de mapas .....	55
Sistema de consulta a la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada .....	58
Sistema de consulta a la base de datos de producción .....	60
Sistema Experto de Fertilización (SEF) .....	62
Sistema de balance hídrico (BH v.3.0) .....	64
Sistema de Información para el Manejo de Caña Específico por Sitio (SIMCES) .....	65
<b>Fortalecimiento de la infraestructura de informática .....</b>	<b>66</b>
<b>Comentarios finales .....</b>	<b>68</b>
<b>Agradecimientos .....</b>	<b>70</b>
<b>Referencias bibliográficas .....</b>	<b>71</b>

## Resumen

Cenicaña define la agricultura específica por sitio (AEPS) como el arte de realizar las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal de acuerdo con las condiciones espaciales y temporales del sitio donde se cultiva, para obtener de ella su máximo rendimiento potencial.

De acuerdo con este enfoque, el conocimiento preciso de las características agroecológicas de cada sitio de cultivo se utiliza como información de base para orientar los procesos de desarrollo tecnológico, productivo y económico de las empresas agroindustriales, el cual se complementa con información técnica e información comercial de referencia sobre la actividad productiva.

Para facilitar la adopción de la AEPS y a través de ella mejorar la productividad y la rentabilidad de la caña de azúcar cosechada por la industria azucarera en el valle del río Cauca, Cenicaña está desarrollando un sistema de información que actualmente integra componentes interactivos dispuestos en línea a través de Internet y Extranet.

En este documento se presentan los objetivos tenidos en cuenta para el diseño del sistema, los pasos seguidos para su desarrollo, el contenido de los medios interactivos en línea para la comunicación de los usuarios, y la infraestructura de informática establecida en esta etapa del proceso.

Palabras clave: agricultura específica por sitio, sistemas de información, bases de datos, tecnología, zonificación agroecológica, Extranet.

## Siglas y abreviaturas

AEPS	Agricultura Específica por Sitio
Asocaña	Asociación de Cultivadores de Caña de Azúcar de Colombia
BH	Balance Hídrico
Bida	Banco de Imágenes Digitales y Análogas
Cenicafé	Centro Nacional de Investigaciones de Café
Cenicaña	Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia
Ciat	Centro Internacional de Agricultura Tropical
Colciencias	Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas"
CVC	Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
Esri	Environmental Systems Research Institute
GPS	Sistema de posicionamiento global
Himat	Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (hoy Ideam)
Ideam	Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales
Igac	Instituto Geográfico Agustín Codazzi
PDF	Archivo de documento portátil
RMA	Red Meteorológica Automatizada
SCTT	Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología. Cenicaña
SEF	Sistema Experto de Fertilización
SEICA	Servicio de Información y Documentación de la Caña de Azúcar. Cenicaña
SIG	Sistema de Información Geográfica
SIMCES	Sistema para el Manejo de Caña Específico por Sitio

## Introducción

La industria agrícola del azúcar en Colombia es un sistema empresarial caracterizado por la unidad gremial y el logro de propósitos conjuntos en los campos social, tecnológico y comercial. Sus sistemas de información son objeto de atención permanente, tanto en las asociaciones de productores como en las empresas.

La industria está conformada por 14 ingenios azucareros con tierras distribuidas en los departamentos de Caldas, Cauca, Cesar, Risaralda y Valle del Cauca y una capacidad instalada de molienda de 77 mil toneladas de caña por día.

La mayor parte del área sembrada se encuentra en el valle geográfico del río Cauca (todos los departamentos anteriores, excepto Cesar), donde hay cerca de 200 mil hectáreas dedicadas al cultivo, de las cuales aproximadamente el 80% se cosechan cada año. En total existen 2518 haciendas cañeras y aproximadamente 1700 propietarios. El cultivo es manejado directamente por los ingenios en el 50% del área y por agricultores independientes en el otro 50%.

En 170,000 hectáreas cosechadas durante 2003, el promedio de la productividad en 12 ingenios fue de 126 toneladas de caña por hectárea y 11.7% de rendimiento en azúcar. En 14,724 hectáreas cosechadas en la zona agroecológica más representativa de la región se registraron entre 8.2 y 21 toneladas de azúcar por unidad de área.

A pesar de haber tenido una evolución continua en productividad, la agroindustria ve afectada su rentabilidad debido a costos de producción altos y fluctuaciones propias del mercado del azúcar.

La caracterización de los costos de producción y el uso de métodos unificados de medición son parte de las acciones coordinadas por Cenicaña en las empresas del sector, con el fin de apoyar la adopción de tecnologías limpias que contribuyan a reducirlos y a aumentar el margen operacional y la rentabilidad de la actividad productiva.

Desde el punto de vista agrícola, la estrategia es promover una cultura de desarrollo específico por sitio que contribuya a acercar la producción real de cada unidad productiva a su potencial. Las metas son caracterizar,

a través de aproximaciones sucesivas, las condiciones agroecológicas específicas por hacienda y suerte de caña (unidad de manejo); identificar la tecnología disponible y desarrollar nuevas tecnologías que se adapten a la realidad biofísica y socioeconómica de cada sitio; implementar estrategias de cooperación técnica y transferencia de tecnología con los productores de caña de azúcar con el objetivo de crear la cultura del desarrollo agrícola específico por sitio y facilitar su adopción; diseñar, desarrollar e implementar un sistema interactivo de información a través de la Web que facilite el intercambio de datos e información de referencia sobre el comportamiento de los factores de producción en sitios específicos.

Con estos fines Cenicaña comenzó a estructurar en el año 2000 el sistema de información para la agricultura específica por sitio, el cual integra actualmente bases de datos e información sobre las características agroecológicas y socioeconómicas de las haciendas y suertes de caña, información técnica sobre el cultivo y su procesamiento industrial, y medios de comunicación interactivos accesibles en línea a través de Internet y Extranet. El sistema se estructura en el marco de un modelo de desarrollo tecnológico orientado a satisfacer las demandas de los productores azucareros, y hace parte del proyecto Agricultura Específica por Sitio adelantado por Cenicaña.

En esta publicación se muestran los avances logrados en el proyecto, para los cuales se contó con recursos de financiación invertidos por Cenicaña y Asocaña, con cofinanciación del Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología “Francisco José de Caldas” (Colciencias). Se presenta el estado de desarrollo del sistema de información, el contenido de los medios interactivos en línea para la comunicación de los usuarios, y la infraestructura de informática establecida en esta etapa del proceso. El lanzamiento del sistema interactivo se realizó el 20 de noviembre de 2003; la dirección en Internet es <[www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)>

## **Agricultura específica por sitio (AEPS)**

Cenicaña define la agricultura específica por sitio como el arte de realizar las prácticas agronómicas requeridas por una especie vegetal de acuerdo con las condiciones espaciales y temporales del sitio donde se cultiva, para obtener de ella su máximo rendimiento potencial.

A través de la práctica de la AEPS se busca mejorar la productividad y la rentabilidad de la caña de azúcar cosechada por la industria azucarera en el valle del río Cauca, utilizando tecnología desarrollada localmente, con adaptación a las características espaciales y temporales de cada sitio de cultivo.

De acuerdo con los registros de información comercial disponibles en forma general desde 1960 y más detallados desde 1990, se estima que la AEPS apalancará un nuevo ciclo de desarrollo productivo y económico en la agroindustria, luego de dos ciclos de crecimiento asociados al uso de tecnología importada y tecnología generada localmente con referencias de homogeneidad agroecológica regional (Figura 1).

Con esta perspectiva Cenicaña adelanta el proyecto Agricultura Específica por Sitio, a través del cual promueve la cultura del desarrollo agrícola específico por sitio en el valle del río Cauca con el fin de asegurar la adopción y el impacto de tecnologías limpias que mejoren la competitividad del sector azucarero en el largo plazo y contribuyan al desarrollo económico de la región.

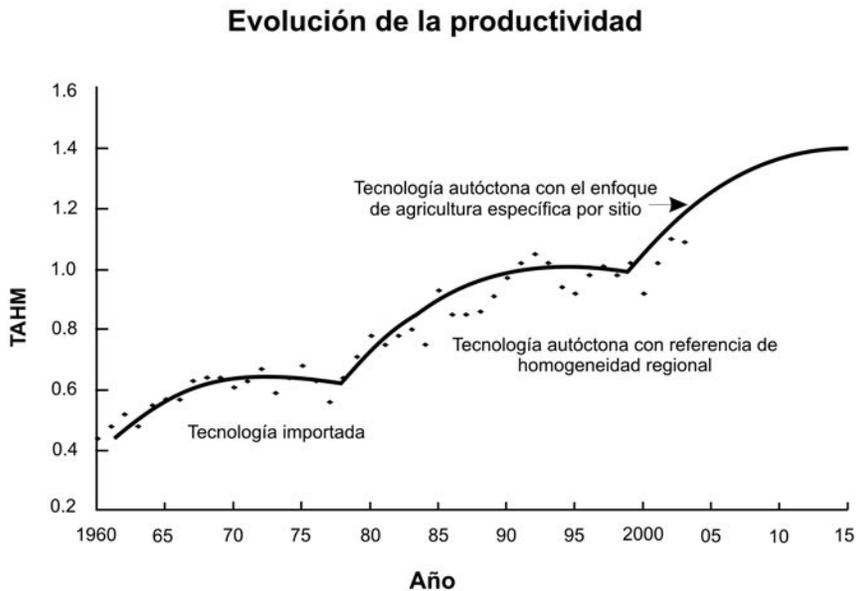


Figura 1. Evolución de la productividad en toneladas de azúcar por hectárea por mes (TAHM). Agroindustria azucarera colombiana, 1960-2003.

La cultura del desarrollo específico por sitio es una filosofía de gestión agrícola que se basa en el uso activo de información y tecnología generadas en el ámbito regional, derivadas tanto de la experiencia personal y de grupos como de las aplicaciones de la técnica y el método científico.

El principio de este enfoque señala que el conocimiento preciso de las características agroecológicas de cada sitio de cultivo, en particular las relaciones suelo-planta-agua-atmósfera-manejo, debe ser utilizado como información de base para orientar los procesos de desarrollo tecnológico, productivo y económico de las empresas agrícolas. La dinámica y el potencial de los factores que definen la producción y la rentabilidad del cultivo en cada sitio se identifican a través de aproximaciones sucesivas a la realidad agroecológica y el análisis sistemático de la actividad agroindustrial.

De acuerdo con lo anterior, el proyecto AEPS se lleva a cabo en cuatro etapas (Figura 2). Cada etapa ofrece sistemáticamente nuevos conocimientos, los cuales se integran de forma progresiva al producto final, es decir al sistema de información de gestión tecnológica diseñado para orientar la práctica de la agricultura específica por sitio en la agroindustria azucarera del valle del río Cauca.

#### Etapas del proyecto AEPS:

- Caracterización de las condiciones agroecológicas específicas por hacienda y suerte.
- Identificación de la tecnología disponible y desarrollo de nuevas tecnologías de producción de caña, variedades y prácticas agronómicas, que se adapten a la realidad biofísica y socioeconómica de cada sitio.
- Implementación de estrategias de cooperación técnica y transferencia de tecnología con los productores de caña y azúcar con el fin de promover la cultura del desarrollo agrícola específico por sitio y facilitar su adopción.
- Diseño, desarrollo e implementación de un sistema interactivo de información a través de la Web que facilite la práctica de la agricultura específica por sitio mediante el intercambio de datos e información de referencia sobre el comportamiento de los factores de producción en sitios específicos.

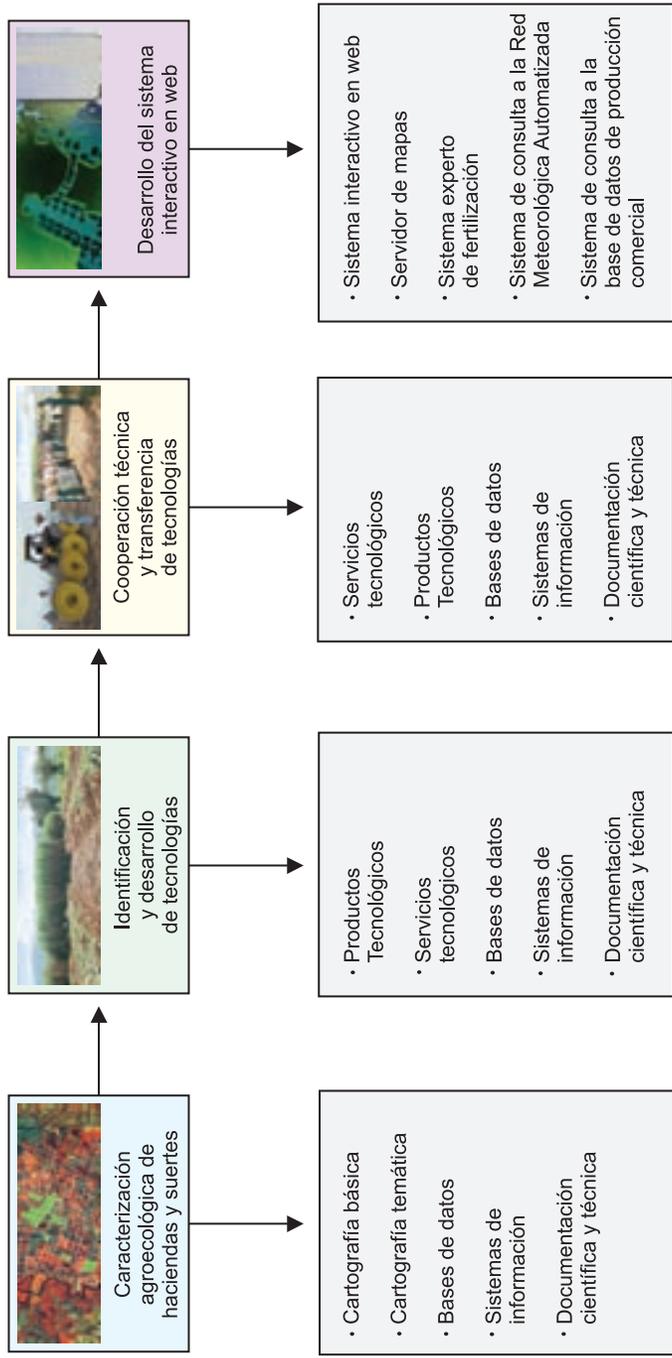


Figura 2. Etapas de desarrollo y productos esperados del sistema de información para la agricultura específica por sitio (AEPS).

## Sistema de información AEPS

Como señalan los antecedentes, en 1982 Cenicaña inició un proceso de caracterización biofísica y socioeconómica de las unidades productivas de caña y azúcar, con el propósito de ajustar los alcances de la investigación y la transferencia a las demandas tecnológicas de los productores localizados en el valle del río Cauca (Figura 3).

En la década de 1990 el proceso se caracterizó por la incorporación progresiva de información asociada con las unidades productivas, la conformación de bases de datos y el establecimiento del sistema de información geográfica digital (SIG).

<p>1980</p> <p>El Instituto Geográfico Agustín Codazzi (IGAC) publicó el estudio semidetallado de suelos realizado en cooperación con la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) en 375,494 hectáreas planas del valle del río Cauca.</p>	<p>1984</p> <p>Cenicaña publicó la primera aproximación de la zonificación agroclimática del valle del río Cauca a partir de los estudios semidetallados de suelos e información climática de distintas fuentes.</p>	<p>1986</p> <p>Cenicaña publicó la segunda aproximación de la zonificación agroclimática del valle del río Cauca a partir de los estudios semidetallados de suelos e información climática de distintas fuentes.</p>	<p>1991</p> <p>Fue publicado el estudio agroclimático del valle geográfico del río Cauca, contratado por Cenicaña y realizado por el Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras (HIMAT). El mismo año, Cenicaña presentó el software <i>Balance Hídrico v.1.0</i> y publicó los primeros análisis de la producción de caña y azúcar con base en datos por suerte de caña por ingenio.</p>
<p>1995</p> <p>Se llevó a cabo el censo de productores azucareros y se establecieron sistemas de caracterización de base y seguimiento dinámico de los factores socioeconómicos que influyen la adopción de tecnología y en la producción.</p>	<p>1996</p> <p>Cenicaña y los ingenios comenzaron a estructurar el Sistema de Información Geográfica (SIG) de la agroindustria. El mismo año los ingenios firmaron el primer convenio de producción limpia con las autoridades y las comunidades de influencia.</p>	<p>1999</p> <p>Se presentó al sector productivo el software <i>Seguitec</i> para el registro sistematizado del manejo técnico y la producción del cultivo en cada suerte de caña.</p>	<p>2000</p> <p>Se identificaron las áreas afectadas por déficit o exceso de humedad, las cuales fueron clasificadas en Grupos de Humedad. En el proceso se publicaron las recomendaciones para el manejo del cultivo de acuerdo con el régimen de humedad.</p>

Figura 3. Antecedentes cercanos de la caracterización agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca y otros aspectos relacionados con la agricultura específica por sitio en la región.

En 2001, con la publicación impresa y digital de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (tercera aproximación) y la iniciación del proyecto sobre agricultura específica por sitio, Cenicaña comenzó a estructurar un sistema de información ordenado, constituido por bases de datos relacionales, procedimientos definidos de captura, procesamiento y análisis según la fuente y el tipo de datos, e interfaces para la comunicación en línea con los usuarios de la información. Las tareas están orientadas a fortalecer la capacidad de gestión tecnológica en las unidades productivas, Cenicaña y las instituciones azucareras, a través del uso de información generada y aplicada en condiciones definidas.

1992	1993	1994
Fue publicada por Cenicaña la agrupación de los suelos del valle del río Cauca con fines de manejo agronómico y ubicación de experimentos. Se caracterizaron diez Grupos de Manejo de Suelos con base en 21 unidades identificadas en el estudio semidetallado del IGAC.	Entró en operación la Red Meteorológica Automatizada (RMA) con 12 estaciones.	Se establecieron los primeros convenios de cooperación técnica entre Cenicaña y los ingenios para validar tecnologías promisorias en fincas piloto localizadas en zonas agroecológicas representativas del área de influencia del cultivo de la caña.

2001	2002	2003
Se publicó la tercera aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. El mismo año se publicó el Atlas Agroclimático y de Productividad de la Agroindustria Azucarera Colombiana, desarrollado con SIG y entregado en CD, y se comenzó a establecer la Red de Grupos de Transferencia de Tecnología con el enfoque de AEPS. Se comenzaron a desarrollar estudios detallados de suelos, capacidad de uso de tierras y pruebas físicas y químicas en el Valle del río Cauca.	Se ordenaron las bases de datos geográficos, comerciales y meteorológicos para ser utilizadas por los agricultores a través de un sistema interactivo en Web.	Se presentó el software <i>Balance Hídrico v.3.0.</i> y fue publicado en Internet y Extranet el sistema interactivo de información AEPS.

De acuerdo con la dinámica de la agricultura específica por sitio, los alcances del sistema se establecen por las precisiones progresivas acerca de los factores biofísicos de largo plazo que más influyen en el desarrollo del cultivo, los cambios en la dotación de infraestructura productiva en sitios específicos, las implicaciones de la investigación y la innovación tecnológica en las empresas de la agroindustria y las oportunidades de mercado.

Como consecuencia de lo anterior, el sistema se desarrolla sobre una infraestructura tecnológica de diseño modular, lo que denota capacidad de incorporar nuevos módulos de forma progresiva. Actualmente integra bases de datos e información sobre la caracterización agroecológica y socioeconómica de las haciendas y suertes de caña, el conocimiento científico y técnico sobre el cultivo y su procesamiento industrial, y medios de comunicación interactivos en línea a través de Internet y Extranet.

Los avances en el desarrollo del sistema de información han implicado el fortalecimiento de la infraestructura de tecnología informática de Cenicaña, incluyendo la capacitación de técnicos e investigadores y la dotación de recursos físicos de hardware y software. Las actividades suceden en el entorno de un modelo de comunicación social participativo con los usuarios internos y externos del sistema (Figura 4).

## **Caracterización agroecológica de haciendas y suertes**

La caracterización agroecológica de las unidades productivas es un requisito fundamental para la aplicación de la agricultura específica por sitio. De acuerdo con ello, Cenicaña ha promovido la digitalización y el levantamiento con referencia geográfica de la cartografía básica de cada hacienda y cada suerte de caña, de las vías, los drenajes, los ríos, la infraestructura, y mediante intersección con la cartografía temática regional se han venido identificando las condiciones agroecológicas de las unidades productivas.

Hasta febrero de 2004 se había integrado al SIG la cartografía básica de los predios distribuidos en 180,000 hectáreas con caña, en planos en escala 1:10,000 y 1:5000 (Figura 5).

Para la elaboración de la cartografía básica de los predios localizados en el departamento del Valle del Cauca los ingenios azucareros utilizan como base

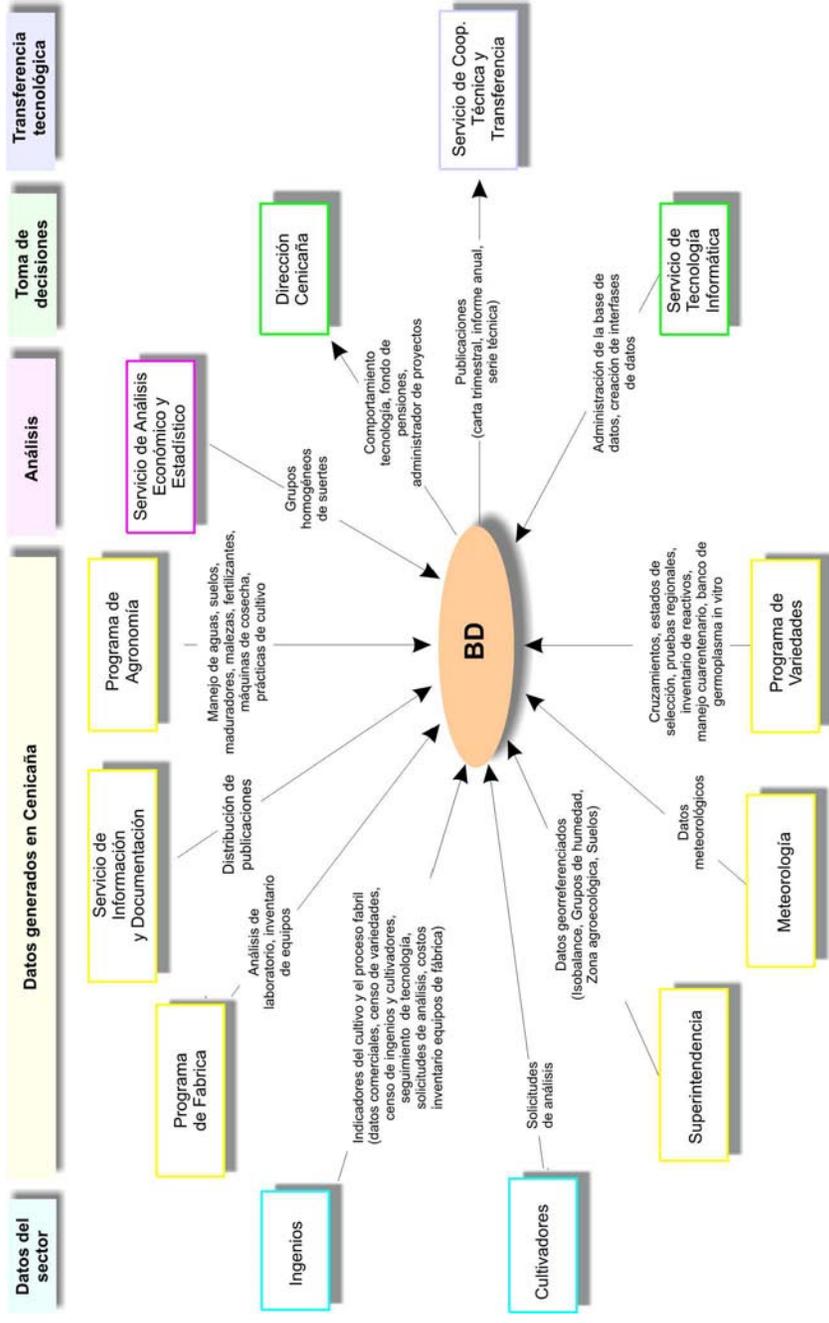


Figura 4. Diagrama de contexto de la base de datos institucional.

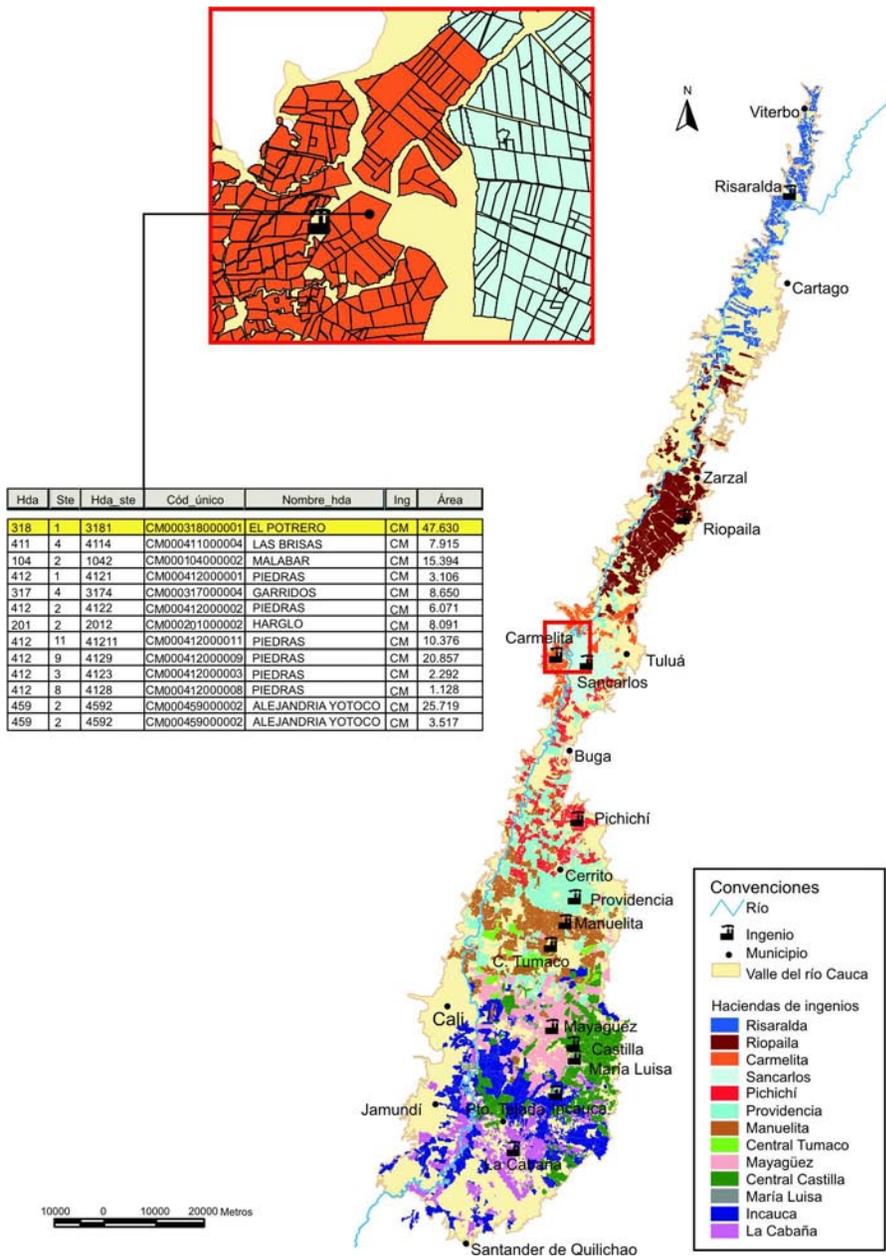


Figura 5. Cartografía básica de haciendas en el sistema de información geográfica (SIG).

la cartografía digital en escala 1:10,000 de la Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca (CVC) obtenida por restitución cartográfica de fotografías aéreas de 1998-1999, y cartografía digital en escala 1:5000 en áreas del Ingenio Central Tumaco. Los predios localizados en los departamentos de Risaralda y Caldas corresponden a levantamientos detallados con referencia a una red geodésica secundaria de sexto orden establecida por el Ingenio Risaralda y Cenicaña en el año 2001. Para los predios localizados en el departamento de Cauca se utiliza cartografía digital en escala 1:10,000 obtenida por restitución cartográfica de fotografías aéreas de 2003 y levantamientos cartográficos empleando sistema de posicionamiento global, GPS; Cenicaña y los ingenios del área han establecido redes geodésicas primarias y secundarias de tercero y sexto orden con el objetivo de georreferenciar posteriores levantamientos topográficos (Cuadro 1).

Cuadro 1. Distribución del área con cartografía básica y estudios detallados y semidetallados de suelos en los ingenios azucareros. Sistema de información geográfica, Cenicaña, febrero de 2004.

Ingenio	Cartografía básica de haciendas y suertes*		Estudios de suelos	
	(ha)	%	Detallado (ha)	Semidet. (ha)
Central Castilla	18000	90	10,645	20,740
Central Tumaco	3743	100	4210	3742
Incauca	39,319	90	7000	39,319
La Cabaña	17,547	100	-	17,547
Manuelita	25,766	100	-	25,766
María Luisa	2170	100	1060	2170
Mayagüez	18,907	100	-	18,907
Pichichí	13,627	100	-	13,627
Providencia	29,593	100	2340	29,593
Riopaila	22,636	100	19,164	22,636
Risaralda	12,413	100	13,816	12,413
Carmelita	7957	100	-	7957
Sancarlos	8125	100	-	8125

\* Las áreas reportadas provienen de la cartografía digital entregada por los ingenios a Cenicaña correspondiente a tierras propias y tierras de proveedores de caña. En muchos casos incluye áreas en callejones, guaduales, reservorios y potreros, entre otros.

Para la caracterización de haciendas y suertes, el SIG contiene información de estudios de suelos en nivel detallado en escala 1:10,000 (en proceso) y semidetallado en escala 1:50,000 (Igac, 1980); Grupos de Manejo de Suelos (Quintero y Castilla, 1992), Zonificación Climática por Balance Hídrico (Torres, *et al*, 2004), Grupos de Humedad (Torres, *et al*, 2000), Zonificación Agroecológica (tercera aproximación) (Carbonell, *et al*, 2001), y Grupos de Productores con unidades productivas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (Isaacs, *et al*, 2000). De forma complementaria, cuenta con la distribución espacial de las áreas de influencia de 29 estaciones que integran la Red Meteorológica Automatizada administrada por Cenicaña y operada por los ingenios azucareros; y el área de influencia de 28 estaciones que conforman la Red de Tanques de Evaporación y Pluviómetros, operadas por el Centro Internacional de Agricultura Tropical (Ciat), el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales (Ideam), seis ingenios azucareros, tres haciendas cañeras y Cenicaña (Figura 6).

Para la obtención de información climatológica, mediante comunicación en línea con la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada es posible consultar para cada estación el comportamiento de las principales variables en tiempo real o en periodos definidos por el usuario, así como observar la distribución espacial de las variables precipitación, radiación solar, temperatura media y oscilación de la temperatura en cada mes (anual y multianual desde 1993).

También es posible consultar los indicadores de la producción de caña (t/ha; t/ha/mes), la producción de azúcar (t/ha; t/ha/mes) y el rendimiento comercial (porcentaje de azúcar recuperado por tonelada de caña molida) en cada suerte de caña cosechada entre 1990 y 2003 por los ingenios azucareros, de acuerdo con la zona agroecológica, la variedad de caña, la edad de corte y el número de corte.

Con el fin de obtener una carta de suelos con unidades suficientemente homogéneas en su contenido edafológico y en las características internas y externas que inciden significativamente en la productividad de la caña de azúcar, desde 2001 se adelantan estudios detallados de suelos en aproximadamente 205,000 hectáreas. La información correspondiente se incorpora al SIG y es parte del conocimiento que está siendo colectado y procesado para la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica.

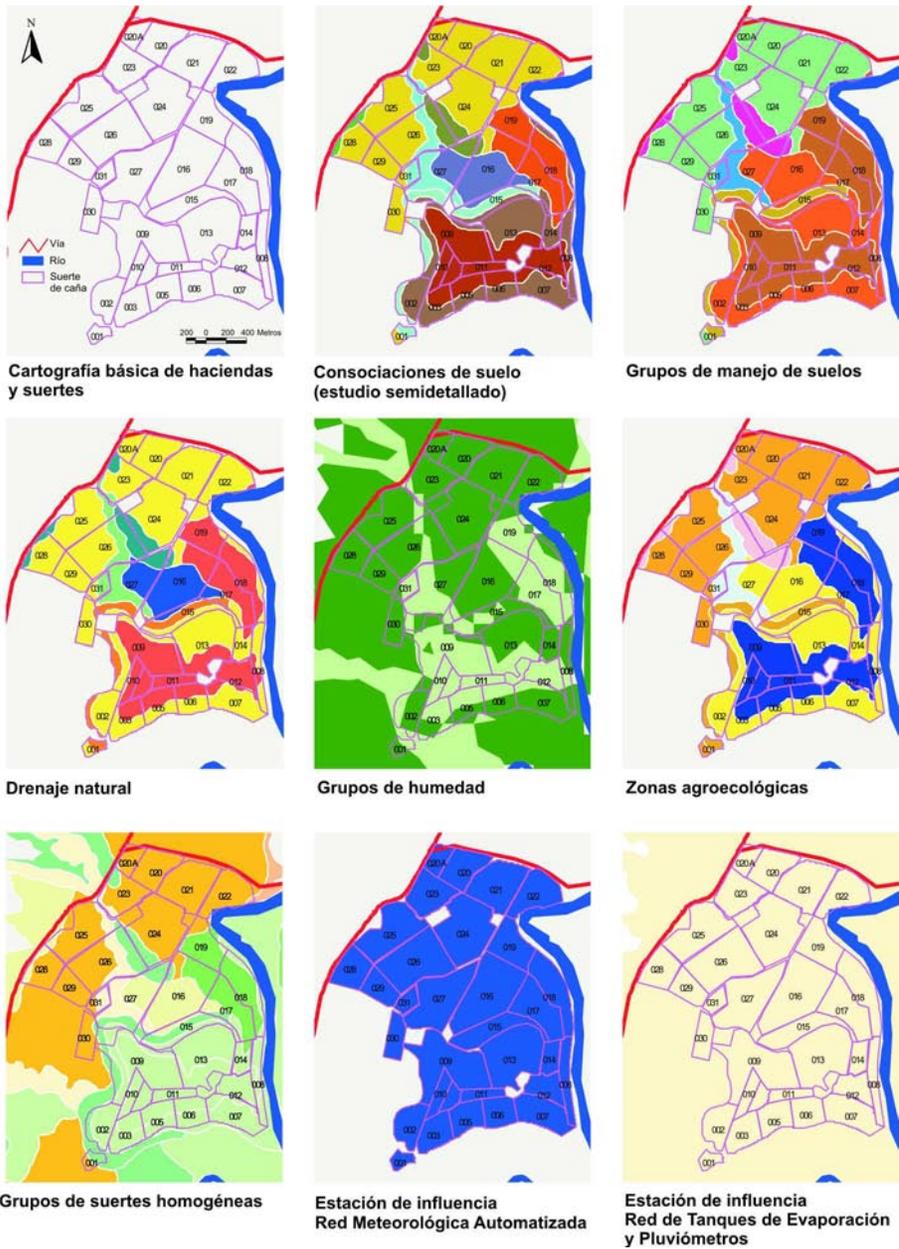


Figura 6. Caracterización de haciendas y suertes de caña a partir de la cartografía temática regional. Sistema de información geográfica (SIG).

Además de la información indicada antes, cada unidad productiva acopia en sus sistemas internos distintos tipos de datos e información que contribuyen al conocimiento de las características agroecológicas por sitio específico. Cenicaña ha desarrollado tres sistemas informáticos aplicados al manejo del cultivo, fundamentados en la conformación de bases de datos y la programación de reglas internas que permiten generar información confiable para asuntos operativos y estratégicos de las unidades productivas. El uso de estas herramientas, cuya descripción se presenta a continuación, ayuda a sistematizar la información agroecológica, tecnológica y de producción relativa a cada suerte de caña.

El sistema de balance hídrico automatizado (Balance Hídrico v.3.0) utiliza una base de datos con registros por suerte de caña para generar información sobre el balance hídrico en el suelo en un momento dado. Los datos registrados son edad y número de corte de la caña, constantes de humedad del suelo (capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente, densidad aparente y lámina de agua rápidamente aprovechable), precipitación, evaporación diaria y riegos aplicados. El sistema genera el programa para la aplicación de los riegos requeridos por el cultivo de acuerdo con las prioridades identificadas en la investigación, y ofrece información sobre los riegos aplicados y los demás datos consignados en el sistema. Está diseñado para ser usado en computadoras individuales y en redes locales independientes de Cenicaña, de manera que la alimentación y la administración de la base de datos son responsabilidades del usuario. La base de datos está diseñada para ser integrada a la estructura de la base de datos institucional.

El Sistema Experto de Fertilización (SEF) ofrece recomendaciones de fertilizantes y enmiendas por suerte de caña con base en los resultados del análisis químico del suelo (análisis completo, de caracterización o de fertilidad) y algunas características físicas y del cultivo que deben ser registrados en el sistema. Se encuentra disponible en línea a través de Extranet; la base de datos es alimentada por cada agricultor, quien puede consultar los históricos de sus suertes. La administración del sistema está a cargo de Cenicaña y la base de datos está diseñada para ser integrada a la estructura de la base de datos institucional.

El Seguitech (seguimiento de tecnología) fue desarrollado para registrar las condiciones de uso de tecnología en cada suerte de caña a fin de contar con información precisa sobre el manejo del cultivo y analizar el comportamiento

de los factores de producción. Está diseñado para ser usado en computadoras o redes locales independientes de Cenicaña, de manera que la alimentación y la administración de la base de datos son responsabilidades del usuario. La base de datos está diseñada para ser integrada a la estructura de la base de datos institucional.

La caracterización agroecológica del área dedicada al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca es un proceso dinámico que se realiza mediante aproximaciones sucesivas y obedece al levantamiento de información nueva, a la inclusión y el análisis complementario de información existente, de acuerdo con los objetivos de la investigación y el desarrollo tecnológico de la agroindustria azucarera.

Para el efecto se han establecido bases de datos y sistemas de información operativos, funcionales y actualizados, que utilizan procesos automáticos de captura, análisis y publicación.

## **Estructuración de bases de datos y sistemas de información**

*La única manera de asegurarse, mantener y cosechar la información,  
es el empleo eficiente de la tecnología informática.*

*Gurley J. William,  
en Los Negocios en la Era Digital (Gates III, W.H., 1999)*

Las bases de datos integradas en el sistema de información para la agricultura específica por sitio han sido estructuradas paulatinamente de acuerdo con el desarrollo de la infraestructura de tecnología informática de Cenicaña, los ingenios azucareros, los cultivadores de caña y las instituciones cooperantes de ordenamiento territorial y estudios ambientales en los ámbitos regional, nacional e internacional.

De acuerdo con los objetivos del proyecto AEPS, los datos de interés para la caracterización agroecológica fueron organizados y relacionados con el fin de sumar eficiencia en los procesos de análisis y obtención de información. Como parte del proyecto se ordenaron las bases de datos geográficos, datos de producción comercial de caña y azúcar y datos de la Red Meteorológica Automatizada (Figura 7). De forma gradual, en paralelo con el establecimiento de las bases de datos se han adoptado y desarrollado aplicaciones informáticas que facilitan el análisis y la publicación de resultados en línea.

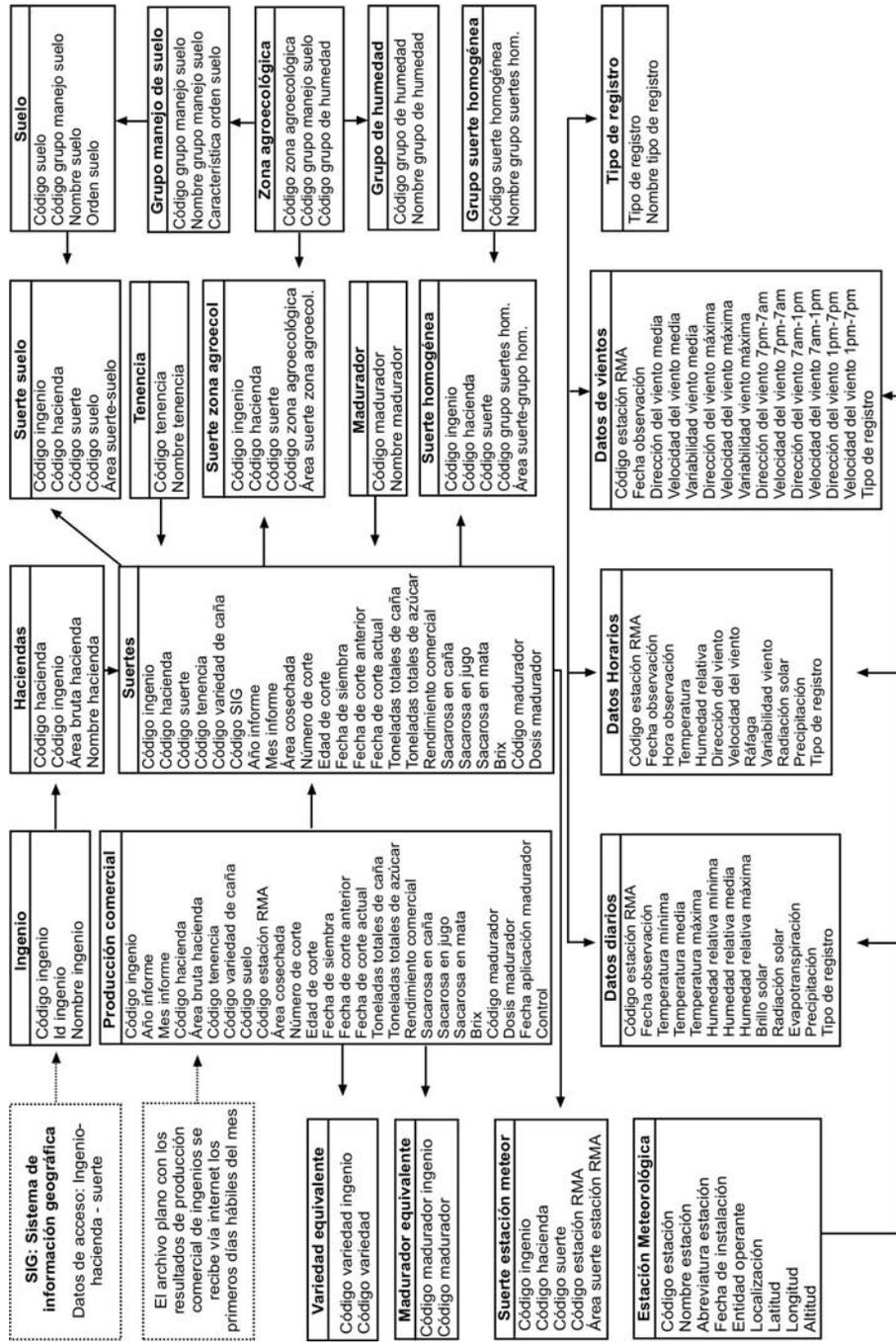


Figura 7. Diagrama entidad-relación de los datos geográficos, de producción comercial y de la Red Meteorológica Automatizada ordenados en la base de datos institucional.

El sistema de información geográfica (SIG) reúne aplicaciones complementarias y funcionales que utilizan datos e información de diferente naturaleza (numérica y alfanumérica) para señalar en el espacio físico aspectos de la realidad en un momento dado o en un periodo. Al tener como referencia las coordenadas geográficas de puntos sobre la Tierra, la precisión de la información generada depende principalmente de la cantidad y la calidad de los atributos seleccionados y de las metodologías de análisis utilizadas para interpretar la realidad. Las facilidades de estas herramientas para generar mapas, analizar y documentar el conocimiento disponible sobre sitios específicos, han motivado la incursión de los cañicultores en el sistema de la agricultura específica por sitio (Figura 8).

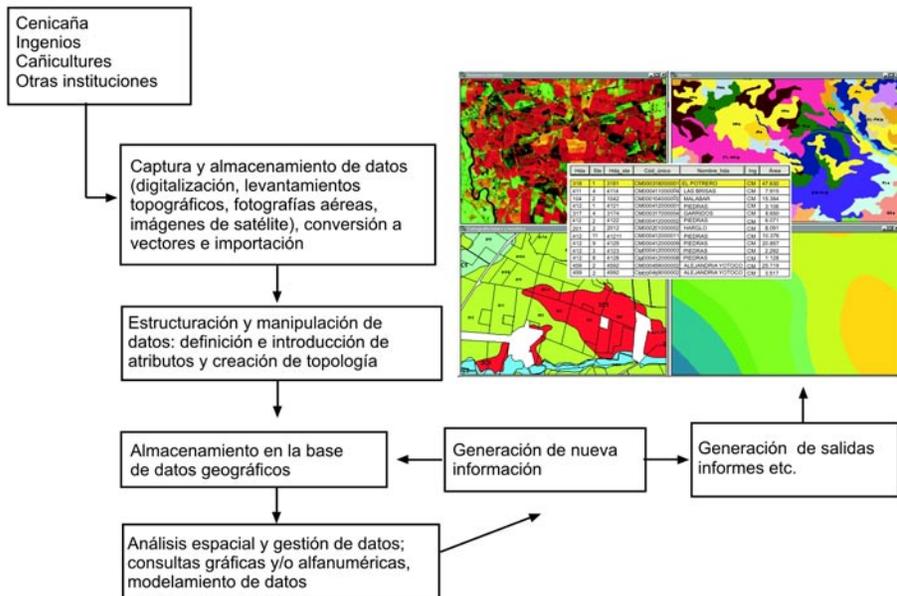


Figura 8. Diagrama de flujo de procesos en el sistema de información geográfica (SIG).

En la agroindustria azucarera colombiana se utilizan los programas de SIG desarrollados por el Esri (*Environmental Systems Research Institute*): ArcVIEW, ArcGIS, ArcINFO y ArcIMS. Para análisis estadístico y geoestadístico y procesamiento de imágenes de satélite y datos SIG se utilizan programas como SAS, GS+, Patfinder y Office Mobile Map, entre otros.

Las bases de datos utilizan como llave común los códigos de ingenio-hacienda-suerte para establecer comunicación en línea, y a través del SIG interactivo cada agricultor tiene acceso personalizado a la información temática disponible mediante superposición sobre la cartografía básica de su unidad productiva. También se cuenta con sistemas de información en línea, independientes del SIG, a los datos de producción comercial y la Red Meteorológica Automatizada.

De forma complementaria, Cenicaña ha progresado en el establecimiento de bases de información científica y técnica derivadas de sus actividades de investigación y transferencia de conocimientos. Anteriormente la información se consignaba en forma impresa; ahora se digitalizan datos desde la fuente y se estructuran sistemas de información que utilizan procesos automatizados para los análisis, y medios electrónicos para archivar y publicar la documentación pertinente.

### **Datos geográficos**

La base de datos geográficos comenzó a ser estructurada en 1996 y está constituida por objetos geográficos del área de influencia del cultivo de la caña georreferenciados con el sistema de coordenadas Igac. Dichos objetos están representados a través de puntos, líneas y polígonos con sus correspondientes atributos básicos y temáticos.

El área de cobertura de los datos equivale a 400,000 hectáreas en las que se encuentran la totalidad de las tierras dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (entre 3° y 5° de latitud norte y entre 76° 22' y 75° 31' de longitud oeste).

En 1996, al realizar el inventario de la información geográfica existente sobre el área en cultivo se encontró cartografía básica de diferente tipo, información planimétrica y cartografía temática de estudios agroclimáticos y de balance hídrico regional del valle geográfico del río Cauca en formato digital y en papel, sin referencia geográfica y con referencia geográfica en coordenadas reales y coordenadas arbitrarias. Se identificó que la cartografía

temática más utilizada por la agroindustria azucarera eran las unidades de suelo caracterizadas en el Estudio Semidetallado de Suelos del Valle Geográfico del río Cauca (Igac, 1980); el estudio se encontraba en planchas de papel a escala 1:50,000.

Cenicaña digitalizó las planchas del estudio semidetallado y la cartografía básica de algunos ingenios. Al mismo tiempo, los ingenios más avanzados en la sistematización de su información geográfica instalaron redes geodésicas primarias y secundarias de segundo y sexto orden (para facilitar la georreferenciación al momento de realizar la captura de datos) y digitalizaron la cartografía básica y temática de sus áreas de influencia.

Una vez digitalizado el estudio semidetallado de los suelos se generó el mapa temático de los Grupos de Manejo de Suelos definidos por Cenicaña (Quintero y Castilla, 1992).

A partir de los datos de la Red Meteorológica Automatizada y de los datos provenientes de 49 pluviómetros y 34 tanques de evaporación Clase A operados por el Centro Nacional de Investigaciones de Café (Cenicafé), el Ciat, el Ideam, la CVC y los ingenios azucareros, se elaboraron los mapas de la distribución espacial de la precipitación y la evaporación y a partir de ellos se calcularon las curvas de balance hídrico regional considerando un  $K=0.7$  como factor del cultivo. Se generó entonces la Zonificación Climática por Balance Hídrico para años normales, secos y húmedos con respecto a los registros climatológicos de precipitación.

A partir de la información disponible sobre el drenaje natural caracterizado en los estudios semidetallados y el balance hídrico regional se conformaron los Grupos de Humedad (Torres, *et al*, 2000), que junto con los Grupos de Manejo de Suelos fueron la base para generar en 2001 la tercera aproximación de la Zonificación Agroecológica (Carbonell, *et al*, 2001). La información geográfica se utiliza para caracterizar, mediante el uso de SIG, las condiciones agroecológicas específicas de cada una de las suertes sembradas con caña de azúcar.

Actualmente los ingenios Central Castilla, Central Tumaco, Incauca, La Cabaña, Manuelita, Mayaгүйez, Pichichí, Providencia y Riopaila poseen bases de datos geográficos y SIG, mientras los ingenios Carmelita, María Luisa, Risaralda y Sancarlos cuentan con el apoyo de Cenicaña para la actualización de la información.

El conjunto de la información se encuentra almacenada en la base administrada por Cenicaña. Para facilitar la normalización y el intercambio de datos, los ingenios y Cenicaña trabajan de acuerdo con el Catálogo de Objetos Geográficos Básicos del Sector Azucarero (Cenicaña, 1999) y cartografía básica en escala 1:10,000. Al estar integrada al SIG, la base de datos es actualizada mediante la automatización de tareas programadas con las herramientas del sistema. La transferencia de información de los ingenios hacia Cenicaña se realiza cada mes a través de Internet o discos compactos, utilizando un formato único de intercambio.

### **Datos de producción comercial de caña y azúcar**

La base de datos de producción comercial contiene registros de 22,000 suertes de caña cosechadas anualmente por la industria azucarera desde 1990.

La fuente de información son los ingenios azucareros. Los datos son remitidos a Cenicaña cada mes en archivos planos a través de Internet, utilizando un formato único de intercambio.

Para la actualización de la base de datos se diseñó un sistema automático de captura que valida la calidad de los datos mediante el control de valores según rangos definidos (Figura 9).

Como parte del proyecto AEPS se diseñó e implementó un sistema de consultas a esta base de datos a través de Extranet.

### **Datos de la Red Meteorológica Automatizada**

Las 29 estaciones meteorológicas de la Red cubren un área de 400,000 hectáreas y utilizan sensores que registran cada diez segundos los valores de las variables meteorológicas de influencia en la región. La base de datos contiene registros horarios y diarios desde 1993.

Los registros de todas las estaciones son capturados por Cenicaña en una computadora central a través de modem de radiofrecuencia.

Para la actualización de la base de datos se diseñó un sistema automático de captura que ordena los registros previa validación (Figura 10).

Como parte del proyecto AEPS se diseñó e implementó un sistema de consultas a esta base de datos a través de Extranet.

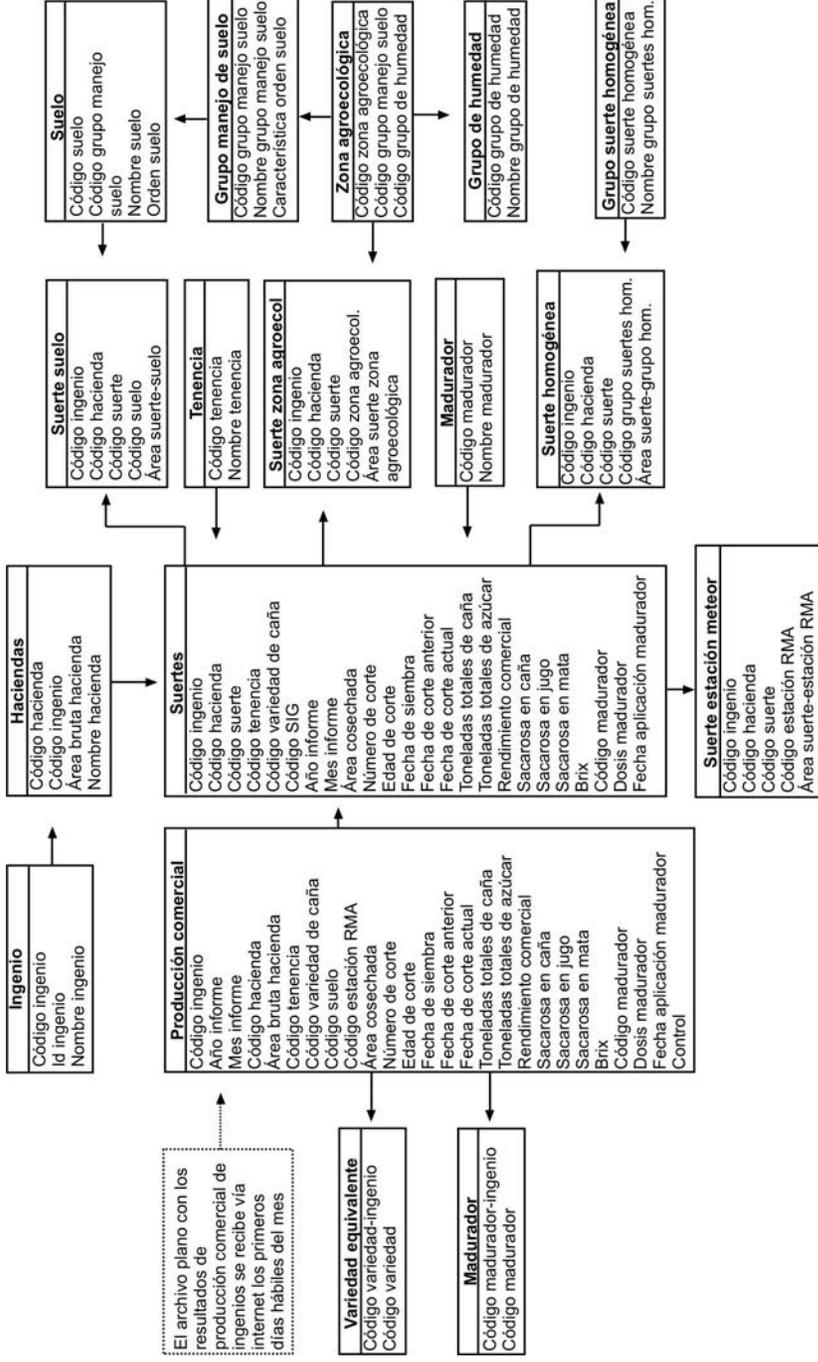


Figura 9. Diagrama de contexto del sistema de captura de datos comerciales de la producción de caña y azúcar.

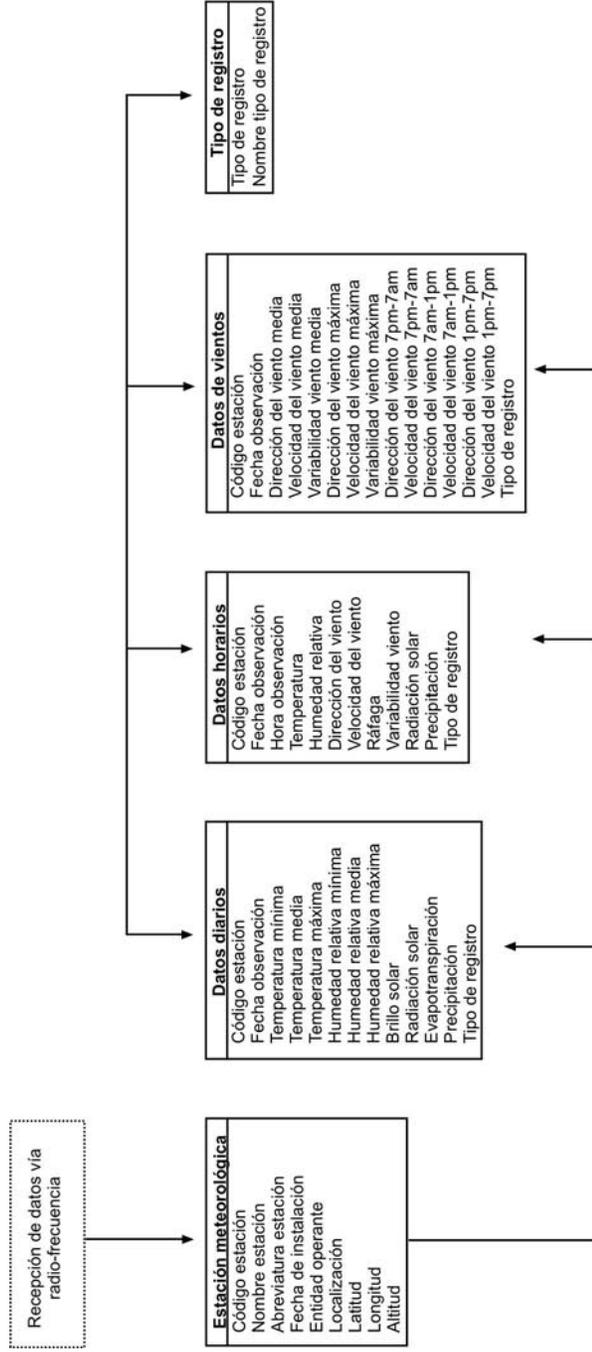


Figura 10. Diagrama de contexto del sistema de captura de datos de la Red Meteorológica Automatizada.

## Zonificación agroecológica

En la caracterización agroecológica de las áreas dedicadas al cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca se considera el conocimiento del suelo y el clima como información de base para establecer el potencial de producción del cultivo en sitios específicos según un manejo agronómico.

A través de la zonificación agroecológica se identifican zonas relativamente homogéneas en relación con la respuesta del cultivo en producción, caracterizadas por factores biofísicos de largo plazo relativamente estables.

De acuerdo con lo anterior Cenicaña generó la tercera aproximación de la zonificación agroecológica para el cultivo de la caña en el valle del río Cauca (Carbonell *et al*, 2001), la cual se utiliza desde entonces como referencia para elegir los sitios donde se llevan a cabo los procesos de selección de variedades de caña y la investigación agronómica.

En esta tercera aproximación se identificaron 51 zonas agroecológicas presentes en años con precipitaciones normales. El ordenamiento espacial de las zonas estuvo determinado por la combinación de cartografía digital con la distribución de los Grupos de Manejo de Suelos (Quintero y Castilla, 1992) y los Grupos de Humedad (Torres *et al*, 2000); ambas agrupaciones fueron realizadas por Cenicaña con base en estudios semidetallados de suelos e información climática entre 1970 y 2001 proveniente de distintas fuentes y procesada por el Centro.

Durante 2003 se avanzó en el levantamiento detallado de los suelos por hacienda, información básica para la cuarta aproximación de la zonificación agroecológica.

Para complementar la caracterización de las condiciones específicas por sitio de cultivo, en el sistema de información se incorpora el conocimiento disponible sobre el perfil tecnológico y la estructura socioeconómica de los productores y sus unidades productivas (Isaacs, *et al*, 2000). El conjunto de la información agroecológica y socioeconómica se utiliza para identificar y cuantificar áreas con determinadas cualidades, evaluar la aptitud de tierras para el cultivo de la caña, tener un punto de referencia para caracterizar las variaciones espaciales y temporales de la producción y, en general, sumar eficiencia en los procesos de investigación, transferencia y adopción de tecnologías orientados al desarrollo agrícola específico por sitio.

## **Suelo**

Para efectos de la zonificación agroecológica (tercera aproximación) se utilizó información de los estudios semidetallados realizados por el Igac y la CVC en 375,494 hectáreas (Igac, 1980) y por el Ingenio Risaralda en su área de influencia equivalente a 9490 hectáreas. Las planchas originales en escala 1:50,000 fueron digitalizadas e integradas al SIG.

Los estudios semidetallados ofrecen información sobre clasificación taxonómica del suelo, posición geomorfológica, régimen de humedad, familia textural y drenaje interno, externo y natural. Las unidades de mayor detalle son las consociaciones, las asociaciones y los complejos de suelos.

### ***Grupos de manejo de suelos, estudio semidetallado***

Con el fin de apoyar la selección de sitios experimentales y orientar la investigación agronómica para el cultivo de la caña en el valle del río Cauca, Cenicafé conformó diez Grupos de Manejo de Suelos utilizando como referencia las unidades de suelo identificadas en el estudio semidetallado publicado por el Igac en 1980.

Los criterios de agrupación se basan en las características del suelo que pueden llegar a definir un manejo agronómico similar, con la expectativa de obtener resultados comparables en términos de la producción potencial del cultivo (Quintero y Castilla, 1992).

En la tercera aproximación de la zonificación agroecológica se integraron 106 consociaciones de suelos clasificadas en los diez grupos de manejo establecidos. Las características descriptivas de cada grupo de manejo de suelos y la distribución del área con caña se presentan en el Cuadro 2.

## **Clima**

El clima es la tendencia cuantitativa de las condiciones de la atmósfera en el largo plazo en una región geográfica, definida por los valores de las variables climatológicas.

En la tercera aproximación de la zonificación agroecológica se utilizaron registros diarios de evaporación colectados en 34 tanques de evaporación Clase A entre 1970 y 1998 y registros de precipitación atmosférica colectados en 49 pluviómetros (1970-1998) y 12 estaciones automáticas (1993-2001) operados por Ciat, Cenicafé, Ideam, CVC, ingenios azucareros y Cenicafé.

Cuadro 2. Características descriptivas y distribución del área en caña en los Grupos de Manejo de Suelos definidos por Cenicaña. Datos a febrero de 2004.

Grupo de manejo	Características principales	Área sembrada con caña	
		ha	%
1	Suelos profundos, bien drenados y de alta fertilidad (Mollisols secos)	15,485	7.0
2	Suelos moderadamente profundos, bien drenados y de alta fertilidad (Mollisols e Inceptisols secos)	45,711	20.8
3	Mollisols secos, superficiales y de mediana a baja fertilidad	6309	2.9
4	Mollisols secos, arenosos y superficiales	7200	3.3
5	Mollisols húmedos, profundos pero con horizontes inferiores masivos	24,088	11.0
6	Suelos arcillosos, imperfectamente drenados y de alta fertilidad (Vertisols secos)	51,759	23.6
7	Suelos arcillosos, moderadamente profundos y pobremente drenados (Vertisols húmedos)	7433	3.4
8	Suelos moderadamente profundos, con grietas, imperfectamente drenados y de fertilidad mediana a alta (Inceptisols secos)	15,593	7.1
9	Suelos superficiales, con grietas, pobremente drenados y de baja fertilidad (Inceptisols y Entisols muy húmedos)	34,015	15.5
10	Suelos superficiales limitados por horizontes compactados superficiales (Alfisols)	12,077	5.5

La evaporación depende de la interacción de otras variables climatológicas como la radiación solar, la velocidad del viento y la temperatura del aire, de manera que constituye un buen indicador del clima regional. Cuando se usa el tanque Clase A, el valor de evaporación equivale a la cantidad total de agua evaporada a la atmósfera desde una superficie de agua libre durante un día.

### **Zonificación climática por balance hídrico**

El balance hídrico de una región se define como el balance entre la precipitación y la evaporación. Cuando se utiliza para caracterizar las condiciones de manejo de un cultivo, la evaporación se reemplaza por la evapotranspiración actual de dicho cultivo.

En la tercera aproximación de la zonificación agroecológica se utilizó el SIG para generar curvas de isobalance hídrico mensual (intervalos de 30 mm) y anual (intervalos de 200 mm) a partir de los registros de precipitación y los valores de evapotranspiración obtenidos de multiplicar la evaporación media mensual por el factor  $K=0.7$  que se usa para estimar el consumo de agua de la caña en el período de rápido crecimiento.

Los cálculos se realizaron para años normales en sus registros de precipitación y evaporación (probabilidad de 50%), años secos (75%) y años húmedos (25%) (Torres, *et al*, 2004).

Los mapas con la zonificación climática para el cultivo de la caña por medio del balance hídrico identifican las épocas secas y las épocas húmedas, cuando el cultivo se ve sometido a déficit o exceso de humedad, así como la distribución de las áreas afectadas en cada caso. Son de gran ayuda para evaluar los recursos hídricos y los requerimientos de infraestructura de riego y drenaje de la región.

### **Grupos de humedad**

Con el propósito de identificar la distribución y la magnitud de las áreas afectadas por diferentes grados de humedad en el valle del río Cauca y precisar las condiciones de manejo en cada sitio y situación, Cenicaña conformó seis Grupos de Humedad mediante la combinación de información sobre la zonificación climática por balance hídrico y la permeabilidad de los suelos.

Para el efecto, los suelos fueron clasificados según tres niveles de permeabilidad (alto, medio, bajo) definidos mediante equivalencias a partir de la caracterización del drenaje natural realizada en los estudios semidetallados de suelo.

Así, los suelos con drenaje natural entre bueno y moderadamente bueno se equipararon con una permeabilidad alta; drenaje entre imperfecto y moderadamente imperfecto, con una permeabilidad media; y drenaje entre pobre y muy pobre, con una permeabilidad baja. La permeabilidad del suelo está directamente relacionada con las características de drenaje y la posición del nivel freático en cada sitio (Torres, *et al*, 2000).

Las características descriptivas de cada grupo de humedad y la distribución del área con caña en un año de precipitaciones normales se presentan en el Cuadro 3.

Cuadro 3. Características descriptivas y distribución del área en caña de los Grupos de Humedad.

Grupo de humedad	Características principales	Área sembrada con caña	
		ha	%
C0 Déficit de humedad	Áreas con déficit de humedad y suelos de permeabilidad media a alta donde con frecuencia hay presencia de sales	58,561	26.9
C1 Humedad normal	Áreas con exceso de humedad inferior a 200 mm/año y áreas donde, a pesar de presentar déficit de humedad, pueden ocurrir encharcamientos debido a la poca pendiente del terreno o a la existencia de suelos de permeabilidad baja.	76,667	35.2
C2 Humedad baja	Áreas con exceso de humedad entre 200 mm/año y 400 mm/año y suelos de permeabilidad media a alta; se incluyen también áreas con excesos inferiores a 200 mm/año y suelos de permeabilidad baja.	42,174	19.4
C3 Humedad media	Áreas con exceso de humedad entre 400 mm/año y 600 mm/año y suelos de permeabilidad media a alta; también, áreas con exceso entre 200mm/año y 400 mm/año y suelos de permeabilidad baja.	26,368	12.1
C4 Humedad alta	Áreas con exceso de humedad superior a 600 mm/año y suelos de permeabilidad alta; se incluyen también áreas con exceso entre 400 mm/año y 600 mm/año donde predominan los suelos arcillosos de permeabilidad baja y relieve plano.	8438	3.9
C5 Humedad muy alta	Áreas con exceso de humedad superior a 600 mm/año donde predominan los suelos arcillosos de permeabilidad baja a media y el relieve es plano.	5573	2.6

### Conformación de las zonas agroecológicas, tercera aproximación

La zonificación agroecológica definida en la tercera aproximación es el resultado de unir los Grupos de Manejo de Suelos y los Grupos de Humedad (Figura 11).

En la Figura 12 se muestra la zonificación para un año de precipitaciones normales, la cual se usa como referencia para identificar las zonas agroecológicas de influencia en cada hacienda y cada suerte de caña y para hacer más eficientes los procesos de investigación, transferencia y adopción de tecnologías.

A través del análisis de la productividad en las zonas agroecológicas es posible observar diferencias entre variedades en términos de biomasa, contenido de sacarosa y producción de azúcar, estimar el potencial de productividad según niveles de insumos e identificar las prácticas de cultivo que contribuyen a incrementar el rendimiento en cada sitio, entre otros.

En el camino de precisar cada vez más las características agroecológicas de suertes y haciendas, durante 2001 se comenzó a ejecutar un estudio detallado de suelos en 205,000 hectáreas del valle del río Cauca, el cual se utiliza como información de base para la cuarta aproximación.

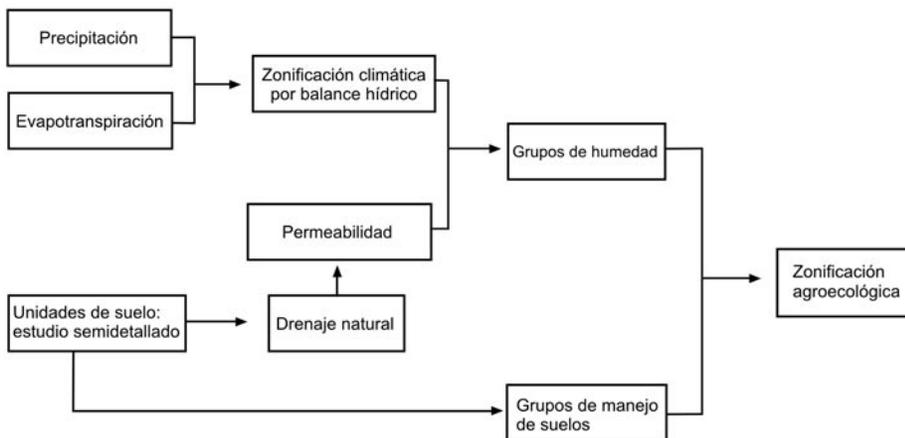
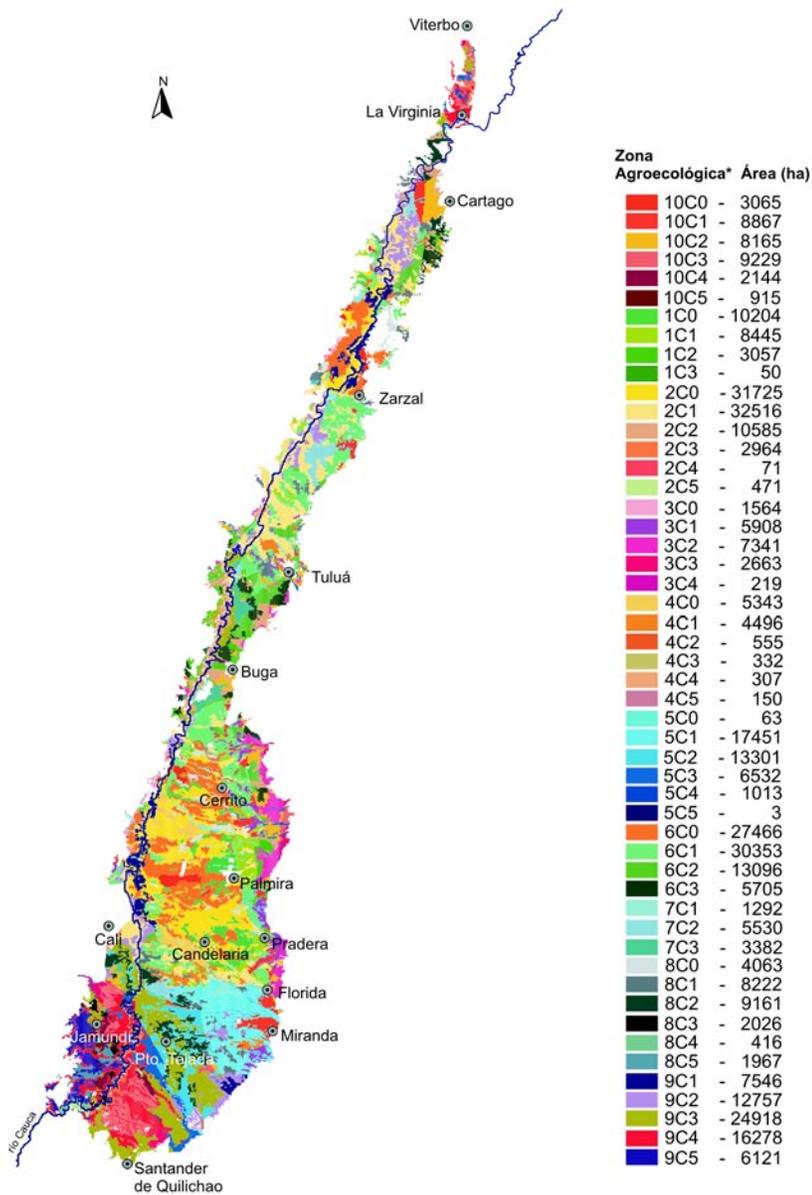


Figura 11. Secuencia de análisis y componentes de la zonificación agroecológica.



\* En la nomenclatura, el número inicial (de 1 a 10) se refiere al Grupo de Manejo de Suelo, y la letra "C" con su respectivo número (de 0 a 5) indican el Grupo de Humedad. Por ejemplo, la zona 6C1 (30,353 hectáreas en el valle del río Cauca), posee suelos clasificados en el grupo de manejo no.6 y condición de humedad C1 que se caracterizan por ser arcillosos, imperfectamente drenados y de alta fertilidad (Vertisols secos, de las consociaciones Galpón, Esneda, Corintias, Herradura, La Victoria, Las Fuentes, Piedras, Ricaurte y Tablazo principalmente) en áreas con excesos de humedad inferiores a 200 mm/año y áreas donde, a pesar de presentar déficit de humedad, pueden ocurrir encharcamientos debido a la poca pendiente del terreno o a la existencia de suelos de permeabilidad baja.

Figura 12. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca (tercera aproximación).

### **Avances de la cuarta aproximación: estudio detallado de suelos**

Dada la conveniencia de precisar la zonificación agroecológica a través de aproximaciones sucesivas, en 2001 se comenzaron a ejecutar levantamientos detallados de suelos que incluyen estudios de capacidad de uso de tierras, pruebas físicas y químicas y levantamientos de cartografía básica en el área de influencia del cultivo de la caña en el valle del río Cauca.

Los estudios detallados son útiles para la planificación de empresas agropecuarias, agricultura intensiva, planificación en finca y para el desarrollo de proyectos de riego y drenaje. Sus resultados contribuirán a precisar con mayor detalle la ubicación y el conocimiento de los suelos presentes en cada unidad productiva.

Los estudios se realizan mediante un proyecto cooperativo entre Cenicaña, los ingenios azucareros y los cultivadores de caña en un área de 205,000 hectáreas. La información se detalla por hacienda mediante la caracterización de unidades mínimas de mapeo de una hectárea (1 ha) en escala 1:10,000.

Los objetivos de este estudio detallado de suelos son:

- Elaborar una carta de suelos en escala 1:10,000, con unidades suficientemente homogéneas en su contenido edafológico y en las características internas y externas.
- Realizar el estudio de capacidad de uso de las tierras con caña de azúcar.
- Caracterizar física, química y mineralógicamente los suelos del área en estudio.
- Realizar la clasificación taxonómica de los suelos hasta el nivel categórico de familia, de acuerdo con el Sistema Taxonómico Americano (SSS, 1999).
- Integrar la información al SIG y elaborar la cartografía temática de suelos derivada del estudio.

## **Tecnologías de producción en las zonas agroecológicas**

Para abordar el propósito de identificar la tecnología disponible y desarrollar nuevas tecnologías que se adapten a la realidad biofísica y socioeconómica de cada sitio de cultivo, Cenicaña orienta la investigación y la transferencia de conocimientos hacia la práctica de la agricultura específica por sitio. Con este enfoque ha estructurado programas sistemáticos de investigación y comunicación que propician el intercambio de experiencias sobre las oportunidades tecnológicas en condiciones definidas.

Cenicaña también coordina el diseño y la construcción de una matriz que precisa las recomendaciones de manejo agrícola y agronómico validadas en cada zona agroecológica, de acuerdo con los resultados de la investigación y el conocimiento experto de investigadores, técnicos y productores de la agroindustria y otros sectores relacionados. Además realiza el inventario de la tecnología utilizada en las unidades productivas de ingenios y proveedores (Isaacs y Raigosa, 2001; Isaacs y Uribe, 2002a y 2002b; Isaacs, Valencia y Uribe, 2003; Isaacs y Valencia, 2003; Isaacs y Franco, 2003; Isaacs y Andrade, 2003).

Las aproximaciones sucesivas de la realidad agroecológica en las unidades de manejo agrícola, las suertes de caña, contribuyen con información científica al conocimiento de las tierras vinculadas al cultivo, y esta información es un insumo valioso para diseñar las estrategias de investigación y desarrollo agroindustrial en la agroindustria en la región.

A continuación se presentan algunos ejemplos del desarrollo de tecnologías de producción de caña con el enfoque de agricultura específica por sitio.

### **Variedades de caña de azúcar**

La zonificación agroecológica es utilizada en el programa de selección de variedades de Cenicaña para identificar las características y la localización de los sitios donde se lleva a cabo la experimentación.

Empleando el SIG, las zonas agroecológicas fueron agrupadas en unidades cartográficas que identifican las áreas caracterizadas por condiciones

semisecas, húmedas y de piedemonte, y en sitios representativos se ubican los experimentos de variedades y se llevan a cabo procesos específicos de selección (Figura 13).

Los mejores clones seleccionados en los estados iniciales localizados en sitios específicos se siembran finalmente en pruebas regionales tratando de cubrir con las mismas variedades las principales zonas agroecológicas del grupo respectivo. Posteriormente, las variedades promisorias en pruebas regionales son caracterizadas de acuerdo con sus requerimientos hídricos,

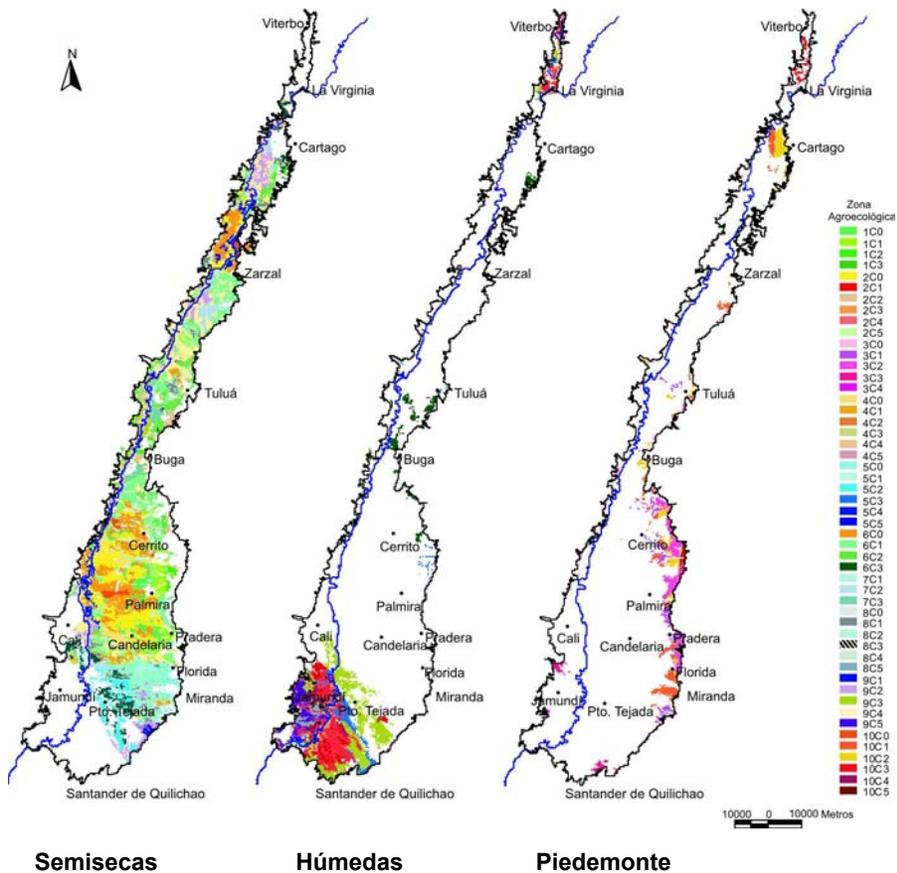


Figura 13. Distribución de zonas agroecológicas agrupadas por condición en función de la selección de variedades.

nutricionales y de maduración con el fin de determinar las prácticas agronómicas de manejo del cultivo que generen la mayor rentabilidad de cada variedad en los sitios para los cuales ha sido seleccionada. La distribución de las zonas agroecológicas en cada grupo caracterizado para la selección de variedades se resume en el Cuadro 4.

Cuadro 4. Distribución de las principales zonas agroecológicas agrupadas en función de la selección de variedades. Área a febrero de 2004.

Condiciones semisecas		Condiciones húmedas		Condiciones de piedemonte	
Zona agroecológica	Área en caña (ha)	Zona agroecológica	Área en caña (ha)	Zona agroecológica	Área en caña (ha)
6C1	22,257	9C3	11,784	10C1	4390
2C0	22,190	9C4	7502	3C1	3595
6C0	18,904	6C3	2898	3C2	2278
2C1	16,189	5C3	2642	10C2	1568
5C1	12,890	2C3	1904	10C3	924
1C0	7854	9C5	1551	3C3	372
5C2	7803	10C3	1178	3C0	330
6C2	7766	8C5	983	3C4	48
9C2	6388	8C3	949	-	-
1C1	6361	10C4	855	-	-
8C2	5928	10C5	423	-	-
8C1	4932	5C4	335	-	-
2C2	4690	2C4	317	-	-
7C2	4608	5C5	286	-	-
9C1	4400	2C5	285	-	-
4C0	3756	4C4	153	-	-
4C1	2873	4C3	120	-	-
8C0	2785	3C5	23	-	-
7C3	1834	4C5	15	-	-
10C0	1828	8C4	9	-	-
1C2	1277	-	-	-	-
7C1	994	-	-	-	-
4C2	284	-	-	-	-
10C2	153	-	-	-	-
5C0	16	-	-	-	-
<b>Total</b>	<b>168,960</b>		<b>34,212</b>		<b>13,505</b>

Los resultados del proceso de selección son difundidos en el sector productivo precisando las condiciones en las cuales fueron obtenidos e identificando las variedades comerciales utilizadas como testigos. El propósito es ofrecer a los agricultores información completa de referencia sobre la ventaja relativa de las nuevas variedades con respecto a las variedades comerciales cultivadas en sitios específicos.

Para complementar las recomendaciones varietales, Cenicaña publica periódicamente el análisis del comportamiento de las variedades cosechadas por la agroindustria a escala comercial en cada zona agroecológica. Los resultados se presentan en curvas de isoproductividad y son una guía para apoyar las decisiones sobre las variedades que pueden ser utilizadas en la renovación de las plantaciones (Figura 14).

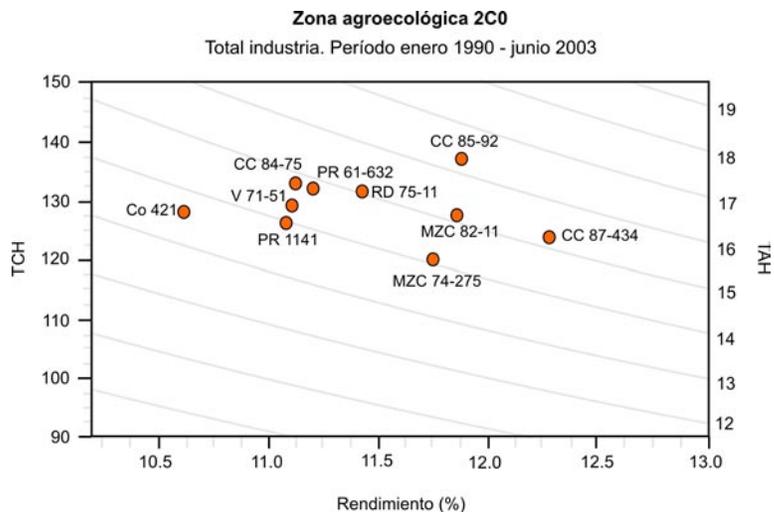


Figura 14. Curvas de isoproductividad de variedades en la zona agroecológica 2C0. Promedios para el total cosechado por la agroindustria azucarera colombiana entre enero de 1990 y junio de 2003.

### Prácticas agronómicas

Las características de los suelos y el clima en cada sitio de cultivo definen los requerimientos de infraestructura agrícola y las prácticas de manejo agronómico que se necesitan para obtener de las variedades sembradas el máximo rendimiento potencial esperado en el sitio.

De acuerdo con las áreas de intervención de Cenicaña, en el proceso de investigación agronómica se han desarrollado tecnologías y se han generado recomendaciones para la adecuación y el diseño de los campos, las labores de preparación de los suelos, y las prácticas culturales para el manejo de las aguas, la sanidad y la nutrición del cultivo, los residuos de cosecha, el control de la maduración y la cosecha.

Actualmente se adelanta el diseño y la construcción de una matriz que precisa las recomendaciones de manejo agrícola y agronómico validadas en cada zona agroecológica, de acuerdo con los resultados de la investigación y el conocimiento experto de la agroindustria y otros sectores relacionados.

A partir de la caracterización del valle del río Cauca en Grupos de Humedad se identificaron las áreas afectadas por diferentes grados de humedad debido al efecto combinado del drenaje natural, la permeabilidad de los suelos y el balance hídrico regional. Para cada condición se difunden las siguientes recomendaciones de manejo (Torres, *et al*, 2000):

- a) En sitios con suelos de permeabilidad entre media y alta (drenaje natural entre bueno y moderadamente imperfecto) donde con frecuencia hay presencia de sales y el cultivo puede estar sometido a déficit de humedad se recomienda instalar drenaje subterráneo a fin de evitar la presencia de niveles freáticos superficiales que pueden aumentar los riesgos de salinización. Sitios clasificados en el grupo de humedad C0, distribuidos a febrero de 2004 en 58,561 hectáreas.
- b) En sitios con suelos de permeabilidad entre media y alta donde se pueden presentar excesos de humedad inferiores a 200 mm/año, así como en sitios con suelos de permeabilidad baja (drenaje natural entre pobre y muy pobre) donde la poca pendiente del terreno puede causar encharcamientos en los períodos húmedos a pesar de presentar déficit de humedad, se recomienda realizar nivelación y aporcar las plantas. Sitios clasificados en el grupo de humedad C1, distribuidos en 76,667 hectáreas.
- c) En sitios con suelos de permeabilidad entre media y alta y excesos de humedad entre 200 mm/año y 400 mm/año, así como en sitios con suelos de permeabilidad baja y niveles de exceso inferiores a 200 mm/año, se recomienda realizar nivelación, diseñar un sistema

adecuado de canales de drenaje y aporcar las plantas. Sitios clasificados en el grupo de humedad C2, distribuidos en 42,174 hectáreas.

- d) En sitios con suelos de permeabilidad entre media y alta donde se presentan excesos de humedad entre 400 mm/año y 600 mm/año, así como en sitios con suelos de permeabilidad baja y excesos entre 200 mm/año y 400 mm/año, se recomienda realizar nivelación de precisión, hacer canales colectores profundos para evacuar los excesos de agua de escorrentía, instalar drenajes entubados y trazar drenes topo (estos últimos en los suelos de permeabilidad baja). Además de sembrar variedades seleccionadas para sitios húmedos, es conveniente aporcar alto las plantas y aplicar dosis adicionales de nitrógeno de acuerdo con el análisis de fertilidad del suelo y el estado del cultivo. Sitios clasificados en el grupo de humedad C3, distribuidos en 26,368 hectáreas.
- e) En sitios con suelos de permeabilidad alta y excesos de humedad superiores a 600 mm/año, así como en sitios donde predominan los suelos arcillosos de permeabilidad baja, relieve plano y excesos de humedad entre 400 mm/año y 600 mm/año, se recomienda realizar nivelación de precisión, trazar surcos cortos hasta de 120 m, sistema de drenaje entubado combinado con drenaje topo, canales colectores abiertos y profundos y sistema de bombeo de aguas de drenaje donde existan limitaciones para la evacuación por gravedad. Además de sembrar variedades que toleren la humedad, es conveniente la siembra en el lomo de los surcos, el aporque alto de las plantas, el uso de dosis suplementarias de nitrógeno de acuerdo con el análisis de fertilidad del suelo y el estado del cultivo y la realización de la cosecha sólo en períodos secos. Sitios clasificados en el grupo de humedad C4, distribuidos en 8438 hectáreas.
- f) En sitios donde predominan los suelos arcillosos de permeabilidad entre baja y media, relieve plano y excesos de humedad superiores a 600 mm/año, se recomienda garantizar la nivelación de precisión, trazar surcos cortos con menos de 120 m, construir sistema de canales abiertos para el drenaje subterráneo en combinación con drenajes topo. En los sitios con limitaciones para la evacuación por gravedad se sugiere contar con un sistema de canales colectores profundos y estaciones de bombeo de aguas de drenaje interno y superficial.

Además de sembrar variedades que toleren la humedad, se justifica la siembra en el lomo del surco, el aporque alto de las plantas, la aplicación de dosis suplementarias de nitrógeno de acuerdo con el análisis de fertilidad del suelo y estado del cultivo, y la realización de cosecha manual sólo en períodos secos. Sitios clasificados en el grupo de humedad C5, distribuidos en 5573 hectáreas.

### **Preparación de suelos**

Las labores de preparación del suelo mejoran las condiciones físicas del suelo las cuales están relacionadas con la estructura que determina la difusión en el intercambio gaseoso y la cantidad de agua que puede ser almacenada por el medio. De otra parte, la estructura obra como regulador de la textura, dado que cuando se agrupan las partículas primarias en agregados se pueden cambiar las propiedades desfavorables causadas por texturas muy gruesas o muy finas, haciéndolas más aptas desde el punto de vista agrícola. La textura puede determinar el tipo de implemento a utilizar y la cantidad y clase de preparación. Para la conservación de la estructura es básico tener en cuenta el estado de humedad del suelo al momento de la preparación.

En la determinación de las necesidades de preparación se ha tenido como fundamento el estado de la estructura (tipo, clase y grado), especialmente la distribución por tamaño y la estabilidad de las fracciones. A medida que un suelo tenga un mayor número de agregados entre 1 mm y 3 mm y éstos estén distribuidos en forma tal que la capa no sea completamente homogénea, las relaciones de intercambio gaseoso son mejores y el suelo puede adquirir y conservar mayor cantidad de agua (Malagón, 1976).

Los grupos de manejo de suelos definidos por Cenicafía (Quintero y Castilla, 1992), se basan en las características del suelo que definen un manejo similar, con la expectativa de obtener resultados comparables en términos de la producción potencial del cultivo.

En la caña de azúcar las labores de preparación de suelos se realizan con la finalidad de propiciar la germinación óptima y el buen desarrollo del cultivo, por lo cual es indispensable controlar su calidad. Incluyen, en su orden, la incorporación de los residuos de cosecha (cuando ésta se realizó en verde), la descepada, el subsolado, la arada, la rastrillada y el surcado, cuyas especificaciones se definen de acuerdo con la textura del suelo y su contenido de humedad, la profundidad y el grado de compactación, así como

por la disponibilidad de maquinaria y equipos de labranza. Las especificaciones incluyen el tipo de implemento según la labor, profundidad de laboreo, número de pases, velocidad de operación y dirección de recorrido.

### **Manejo de residuos de cosecha**

El encalle de los residuos de cosecha es una práctica que se realiza inmediatamente después del alce de la caña para despejar las cepas y organizar los residuos en las calles de manera que se puedan realizar las labores de levantamiento de las socas en la mayor parte del campo. Las especificaciones de la labor, que puede ser manual y/o mecanizada, están determinadas por el régimen de humedad, el sistema y la modalidad de cosecha (verde o quemada; manual o mecanizada) y la variedad de caña (según producción de residuos). Incluyen el tipo de implemento, el número de pases y la velocidad de operación en el caso del encalle mecanizado. La modalidad de encalle utilizada para acomodar los residuos en el campo influye el laboreo del campo, la forma de aplicación del riego por surcos y la fertilización.

### **Manejo de aguas**

Los aspectos relacionados con el manejo de aguas incluyen la evacuación de los excesos por medio de drenaje y la aplicación de riego para suplir las demandas hídricas del cultivo que no alcanzan a cubrir las precipitaciones ni el agua disponible en el suelo en un momento dado.

En el caso del drenaje, para definir las características de los sistemas por implementar se requiere reconocer y diagnosticar el problema en el sitio a través de estudios básicos de suelos, precipitación, aguas superficiales y subterráneas, nivel freático, balance de agua subterránea y conductividad hidráulica, principalmente. Las especificaciones dependen del sistema de drenaje que se requiere construir, si es superficial y/o subterráneo.

Con respecto al riego, las investigaciones se han concentrado en definir los requerimientos hídricos del cultivo en las condiciones del valle del río Cauca y a partir de ellas se han desarrollado sistemas de programación y medición del agua, métodos de aplicación y control administrativo de la labor.

En relación con los sistemas de programación, Cenicafña desarrolló un programa de computadora que calcula el balance hídrico en el suelo en un momento dado y, de acuerdo con las prioridades identificadas en la investigación, señala la necesidad de aplicar riego para suplir las demandas

hídricas del cultivo. Para el cálculo, el sistema de balance hídrico automatizado (Balance Hídrico v.3.0) utiliza una base de datos con registros por suerte acerca de la edad y el número de corte de la caña, las constantes de humedad del suelo determinadas en el sitio de cultivo (capacidad de campo, punto de marchitamiento permanente, densidad aparente y lámina de agua rápidamente aprovechable), la precipitación, la evaporación diaria y los riegos aplicados. Hasta febrero de 2004 esta tecnología había sido adoptada en el 80% de las unidades productivas con manejo directo de los ingenios azucareros y en el 25% de las unidades productivas con manejo de proveedores de caña.

En el caso de los métodos de aplicación se han definido recomendaciones para la aplicación de riego por surcos en campos con residuos de cosecha, con especificaciones sobre el número de surcos por regar en épocas secas y en épocas con alta probabilidad de lluvias. El método de aplicación por surco alterno se utiliza como referencia para el diseño de nuevas formas de aplicación del agua debido los resultados obtenidos especialmente en la reducción del consumo de agua.

### **Nutrición y fertilización**

Cenicaña ha realizado investigaciones para determinar las necesidades nutricionales de la caña de azúcar en las condiciones de producción del valle del río Cauca. A través de experimentación científica se han definido los niveles críticos de los principales nutrimentos requeridos por el cultivo, considerando factores físicos y químicos del suelo, estado de la plantación, variedad de caña y propósito productivo (equilibrio biomasa/sacarosa).

Para asegurar la nutrición del cultivo, las investigaciones contribuyen a definir métodos de muestreo y laboratorio para análisis de suelos y foliar; enmiendas de suelo en sitios específicos, fuentes, épocas, dosis y métodos de aplicación.

Como parte del proyecto AEPS se desarrolló el Sistema Experto de Fertilización (SEF) el cual ofrece recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para cada suerte de caña con base en los resultados del análisis químico del suelo (análisis completo, de caracterización o de fertilidad) y algunas características físicas y del cultivo que se deben registrar en la base de datos del sistema. Cenicaña además capacita a los cañicultores en la toma de muestras para análisis, presta el servicio de laboratorio y enseña los criterios tenidos en cuenta para definir las recomendaciones.

## Cooperación técnica y transferencia de tecnología

Para apoyar la difusión de los conceptos relacionados con la adopción de la agricultura específica por sitio y promover la interacción y el intercambio de información técnica entre investigadores, técnicos y productores, se han establecido mecanismos de comunicación y cooperación.

Las fincas piloto y la red de grupos de transferencia de tecnología (GTT) facilitan el intercambio de conocimientos específicos por sitio y la participación activa de los productores en la gestión de información para el desarrollo y la innovación tecnológica en las unidades productivas.

Las fincas piloto son un mecanismo de cooperación técnica a través del cual Cenicaña y los ingenios comparten experiencias en torno a los problemas que enfrenta el agricultor, deciden probar alternativas de solución y valoran en conjunto las ventajas relativas de cada una para recomendar su adopción. Obedecen a una estrategia de comunicación para la transferencia de tecnología que busca articular y ordenar los procesos de validación, prueba, ajuste y adopción de paquetes tecnológicos para el cultivo de la caña en fincas de los productores. Son áreas modelo de calidad agronómica, muy útiles como áreas demostrativas, localizadas en zonas agroecológicas de importancia para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.

El establecimiento de las fincas piloto se realiza mediante convenios con los ingenios azucareros. Actualmente se tienen dos fincas con el propósito de validar tecnologías (variedades, manejo agrícola y agronómico) en sitios con condiciones difíciles de exceso de humedad en el suelo. El convenio tiene un periodo equivalente a cuatro cortes de la caña (plantilla y tres socas) y las decisiones se definen en reuniones de un comité técnico conformado por representantes del ingenio, Cenicaña, cañicultores e ingenios del área de influencia de la finca.

A través del proyecto GTT, en el que participan actualmente ocho ingenios y 850 haciendas, desde 2001 se adelantan programas integrales de comunicación con el fin de compartir información de uso práctico acerca de soluciones tecnológicas implementadas para afrontar las dificultades comunes que encuentran los productores en el manejo y el desarrollo de sus unidades productivas. Se trata de fomentar entre los cañicultores el uso de tecnologías específicas para cada condición y generar la cultura de la AEPS.

Cada GTT está integrado por cañicultores con unidades productivas que tienen al menos el 70% del área ubicada en una o dos zonas agroecológicas comunes. La metodología de comunicación es grupal y personal, y actualmente participan en la red ochocientos cañicultores; treinta y dos profesionales en ingeniería agrícola y agronómica de ocho ingenios azucareros; cinco ingenieros agrónomos del Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología y doce profesionales de los programas de investigación de Cenicaña. Durante 2003 un total de cuarenta y tres cañicultores innovadores fueron anfitriones de los eventos de transferencia (Figura 15).

El área de influencia de la red es de 180,000 hectáreas y se proyecta en el corto plazo cubrir el 100% del área con caña en el valle del río Cauca.



Figura 15. Actividades en los Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT).

## Desarrollo del sistema interactivo de información a través de la Web

*Un sistema es una totalidad percibida cuyos elementos se “aglomeran”  
porque se afectan recíprocamente a lo largo del tiempo  
y operan con un propósito común.*

*La palabra deriva del verbo griego sunístánai,  
que originalmente significaba “causar una unión”.*

*Como sugiere este origen, la estructura de un sistema incluye  
la percepción unificadora del observador.*

*Definición de sistema redactada por Art Kleiner,  
en La Quinta Disciplina en la Práctica  
(Peter Senge, et al, Barcelona, 1994).*

El sistema interactivo que Cenicaña ha puesto a disposición de sus donantes a través de Internet y Extranet fue desarrollado con el propósito de facilitar el acceso a información técnica y datos de referencia sobre la producción de caña y azúcar en el valle del río Cauca como apoyo para la práctica de la agricultura específica por sitio en las unidades productivas.

Para cumplir este objetivo, el sistema integra una serie de productos interactivos clasificados en tres componentes básicos de acuerdo con la naturaleza de la información que ofrecen al usuario:

(a) Información científica, técnica y económica:

- Información institucional acerca de Cenicaña.
- Información general de la agroindustria y enlaces con las instituciones del sector.
- Información científica, técnica y económica de referencia: áreas temáticas de intervención de los programas de investigación y los servicios de apoyo institucional.
- Oferta de servicios técnicos para ingenios y cañicultores.

(b) Documentación y publicaciones:

- Sistema de consulta a la base de datos bibliográfica SNICA.
- Sistema de consulta a la base de datos de publicaciones.
- Producción de material divulgativo.

- (c) Herramientas de información para la agricultura específica por sitio (sistemas de consulta a bases de datos de la agroindustria y otras aplicaciones de apoyo que usan y/o alimentan bases de datos):
- Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca.
  - Servidor de mapas: consultas al SIG .
  - Sistema de consulta a la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada (RMA).
  - Sistema de consulta a la bases de datos de la producción comercial de caña y azúcar.
  - Sistema Experto de Fertilización (SEF).
  - Sistema de balance hídrico (BH v.3.0) para la programación de los riegos.
  - Sistema para el Manejo de Caña Específico por Sitio (SIMCES): calificación de los resultados productivos y económicos en cada suerte de caña con respecto a las demás suertes con igual consociación de suelo dentro de la misma zona agroecológica.

El sistema en Web publica páginas de acceso libre (Internet) y páginas privadas (Extranet) con permisos controlados por Cenicaña mediante el registro de usuarios con contraseña.

La estructura del sitio considera el acceso rápido desde todas las páginas a las herramientas de AEPS, las bases de datos de publicaciones y referencias bibliográficas, el clima, el comportamiento comercial de la agroindustria y los enlaces con las instituciones del sector azucarero nacional.

La estructura de la información científica y técnica está organizada de forma mixta (lineal y jerárquica) de acuerdo con las áreas de intervención de los programas de investigación y los servicios de apoyo de Cenicaña; las páginas de entrada a cada programa o servicio pueden ser vistas en dos pasos desde todas las páginas del sitio (Figura 16).

El objetivo de comunicación tenido en cuenta para el diseño de la estructura fue promover la gestión de información aplicada al desarrollo de la agricultura específica por sitio a través de contenidos ordenados de forma coherente, operativa y funcional.

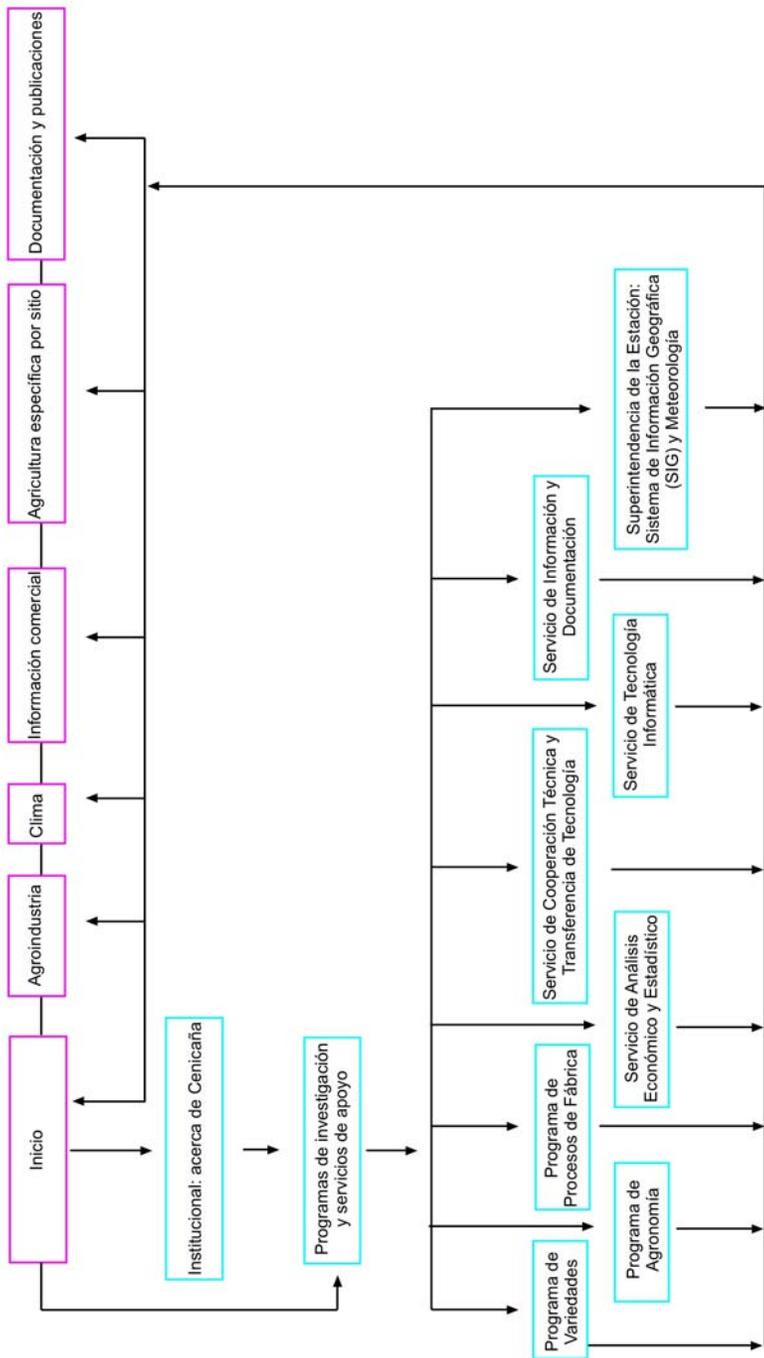


Figura 16. Estructura del sistema de información en [www.cenicana.org](http://www.cenicana.org)

El contenido de cada producto interactivo obedeció a objetivos específicos definidos de acuerdo con el propósito general del sistema. La metodología genérica para el desarrollo de los productos fue:

- a) Diseño de la información: se realiza con el fin de precisar los objetivos comunicativos del sistema y organizar su contenido en un diseño que sirva para lograr esos propósitos. Tareas: definición de público, objetivos, contenido, diagrama de flujo, escritura.
- b) Diseño de la interacción: el objetivo de las tareas es convertir el diagrama de flujo en un guión que muestre los textos y el contenido propio de cada página, las opciones de navegación y los controles que puede manejar el usuario para interactuar con el sistema. Tareas: definición de la navegación, tipos de interacción y controles, tipos y niveles de acceso, funcionalidad, elaboración de guión.
- c) Diseño de la presentación: la finalidad de esta etapa es definir el estilo y el diseño de los elementos de la pantalla o interfaz para crear un prototipo con los elementos (requerimientos) del guión. Tareas: definición de estilo y diseño gráfico de los elementos del guión, producción editorial, programación, integración al sistema.
- d) Pruebas de funcionamiento y operación: se realizan con el fin de asegurar que todas las pantallas conserven la unidad estilística definida y que los controles sean funcionales y operativos. Tareas: revisión, corrección y ajustes.
- e) Publicación, registro de usuarios y mantenimiento: su finalidad es disponer el sistema interactivo en un servidor de páginas Web, asegurar la calidad y la funcionalidad de los servicios para el usuario, alimentar y mejorar continuamente el sistema. Tareas: publicación, control de acceso, control de emisión, actualización, formulación de nuevos proyectos.

## **Información científica, técnica y económica**

Los proyectos de este componente fueron la base para definir la estructura general del sistema interactivo en Web. Se estableció que todo el contenido de información técnica estaría dirigido a las empresas productoras de caña y azúcar donantes de Cenicaña, registradas y con clave de acceso a la Extranet: propietarios, productores, técnicos y administradores de las unidades productivas.

El diseño de cada producto consideró el perfil de los usuarios (Isaacs, *et al*, 2000) y estuvo dirigido a facilitar la identificación de interrelaciones dentro del sistema y la interacción permanente del usuario con los distintos componentes.

Objetivos de comunicación que orientaron el diseño de la información:

- Informar acerca de los avances de la investigación adelantada por Cenicaña en sus áreas de intervención.
- Enseñar conceptos fundamentales en torno al uso de tecnologías específicas.
- Ofrecer documentación complementaria de referencia acerca de los temas expuestos.
- Ofrecer información sobre el desarrollo y el uso de tecnologías en sitios específicos.
- Presentar la oferta de servicios técnicos de Cenicaña.
- Promover la práctica de la agricultura específica por sitio en las unidades productivas.

En reuniones con los equipos de trabajo de cada programa y servicio adscrito a Cenicaña se construyeron las matrices o árboles de contenido temático (Cuadro 5) y los diagramas de flujo, se reconocieron las fuentes de información y se establecieron las pautas para la redacción de los textos por publicar; la versión original de los textos fue redactada de los investigadores de cada programa y servicio. Como complemento de la información técnica se decidió ofrecer en cada página temática acceso a documentos completos de los escritos publicados por Cenicaña en sus series impresas.

Los contenidos de la información institucional y el programa de investigación en variedades se adelantaron en primera instancia y en consecuencia fijaron las pautas para el diseño de la interacción y el diseño de la presentación del sistema en Web. Las ventanas típicas fueron elaboradas con dos modelos de diseño que contienen elementos normalizados para facilitar la navegación (Figuras 17 y 18).

El material fotográfico se tomó principalmente del Banco de Imágenes Digitales y Análogas (Bida) de Cenicaña, el cual contiene imágenes de baja resolución clasificadas por áreas temáticas y temas, con información asociada sobre autor, fecha, soporte físico o análogo, usos y palabras clave.

Cuadro 5. Ejemplos de árboles de contenido temático elaborados en la etapa de diseño de la información: www.cenicana.org

<b>Programa de Variedades</b>	<b>Programa de Agronomía</b>	<b>Programa de Procesos de Fábrica</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>● Macroproyecto, proyectos y actividades permanentes</li> <li>● Variedades de caña de azúcar               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Introducción de variedades</li> <li>- Obtención de variedades CC</li> <li>- Evaluación comercial de variedades</li> <li>- Ubicación de variedades por zona agroecológica.</li> <li>- Censo de variedades comerciales</li> </ul> </li> <li>● Sanidad vegetal               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Enfermedades</li> <li>- Plagas</li> </ul> </li> <li>● Biotecnología               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Consorcio Internacional de Biotecnología de la Caña de Azúcar</li> <li>- Cultivo in vitro</li> <li>- Caracterización de variedades</li> <li>- Plantas transgénicas</li> </ul> </li> <li>● Semilleros de caña de azúcar               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipos y manejo de semilleros</li> <li>- Tratamiento térmico</li> </ul> </li> <li>● Servicios de evaluación de material libre de patógenos de enfermedades               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visita técnica de evaluación sanitaria</li> <li>- Diagnóstico de enfermedades</li> <li>- Toma de muestras y envío al laboratorio</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Macroproyecto, proyectos y actividades permanentes</li> <li>● Diseño de los campos</li> <li>● Manejo de aguas               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de programación de riego</li> <li>- Medición del agua</li> <li>- Métodos de aplicación del riego</li> <li>- Control administrativo del riego</li> <li>- Caracterización del área en grupos de humedad</li> <li>- Drenaje</li> </ul> </li> <li>● Nutrición vegetal y fertilización               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Agrupación de los suelos del valle del río Cauca</li> <li>- Sistema experto para recomendar fertilizantes y enmiendas</li> <li>- Fertilización con N, P, K</li> <li>- Fertilización con elementos menores</li> <li>- Abonos orgánicos</li> <li>- Servicios de análisis de suelos y foliar</li> </ul> </li> <li>● Prácticas culturales               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Labores de preparación de suelos</li> <li>- Labores de cultivo</li> <li>- Labranza reducida</li> </ul> </li> <li>● Maduración y calidad de caña               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Productos maduradores</li> <li>- Dosis</li> <li>- Secuencia para la aplicación de maduradores</li> </ul> </li> <li>● Cosecha               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Manual</li> <li>- Mecanizada</li> </ul> </li> <li>● Manejo de residuos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>● Macroproyecto, proyectos y servicios</li> <li>● Reducción de pérdidas de sacarosa</li> <li>● Química de los procesos agroindustriales               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Impacto de la materia extraña</li> </ul> </li> <li>● Ingeniería de procesos químicos y mecánicos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Estandarización de mediciones</li> <li>- Procesos fisicoquímicos</li> <li>- Procesos fisicoquímicos</li> </ul> </li> <li>● Estudios ambientales               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistemas de limpieza de caña</li> <li>- Dispersión de partículas</li> </ul> </li> <li>● Servicios analíticos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Laboratorio de Química</li> <li>- Análisis fisicoquímicos</li> </ul> </li> <li>● Servicios técnicos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Auditorías energéticas</li> <li>- Seguimiento y análisis de sistemas de preparación y mollienda</li> <li>- Seguimiento y análisis de sistemas de semillamiento y agotamiento</li> <li>- Balances de masa y energía</li> <li>- Medición de esfuerzos</li> </ul> </li> <li>● Apoyo en ingeniería de proyectos               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Análisis de falla en equipos y procesos</li> <li>- Interventoría de proyectos de mejoramiento industrial y adaptación tecnológica</li> <li>- Desarrollo de software para proyectos industriales</li> <li>- Modelamiento estructural y cinemático de sistemas mecánicos</li> </ul> </li> <li>● Apoyo a proyectos sectoriales               <ul style="list-style-type: none"> <li>- Alcohol</li> <li>- Cogeneración con enfoque ESCO.</li> </ul> </li> </ul>



Figura 17. Modelo de ventana de información: menú en secciones de contenido simple, con uno o dos niveles de información.



Figura 18. Modelo de ventana de información: menú en secciones de contenido compuesto, con tres o más niveles de información.

## **Documentación y publicaciones**

La recuperación y la difusión de información bibliográfica sobre el cultivo de la caña de azúcar y su procesamiento industrial, así como la sistematización de los documentos de trabajo acerca de las actividades y resultados de la investigación realizada por Cenicaña, son tareas adelantadas desde 1978 por el Servicio de Información y Documentación de la Caña de Azúcar (SEICA).

La producción editorial de publicaciones está a cargo del Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología (SCTT) desde 1986, luego de ser coordinada por el SEICA durante ocho años.

Los escritos más recientes publicados en las series impresas se ofrecen en las páginas temáticas de información técnica a través de enlaces a archivos de documento portátil (PDF) sistematizados en la base de datos de publicaciones. En la página titulada Producción de Material Divulgativo se publican los títulos de cada serie y los documentos completos en PDF.

### **Sistema de consulta a la base de datos bibliográfica SNICA**

Este servicio se encuentra disponible en Internet desde 1998. La base de datos contiene información sobre el cultivo y el procesamiento de la caña de azúcar publicada en libros, revistas, tesis, folletos, boletines e informes.

El sistema de búsqueda bibliográfica permite hacer consultas en formato de expresiones booleanas arbitrarias con los signos: \$ (truncar), \* (y), + (o), ^ (no). Los resultados muestran el registro completo (cita, resumen y palabras clave) o cada componente de forma individual, según la opción seleccionada por el usuario (Figura 19).

Los documentos completos pueden ser consultados en la sala de lectura de la biblioteca Guillermo Ramos Núñez en la Estación Experimental de Cenicaña o mediante la solicitud de fotocopias.

### **Sistema de consulta a la base de datos de publicaciones**

Con el propósito de contar en forma electrónica con los documentos técnicos publicados por Cenicaña en sus series impresas, en 2002 el SCTT se dedicó a recuperar, revisar y complementar los archivos disponibles, elaborar los PDF respectivos (incluyendo la información legal y bibliográfica en cada uno) y las fichas de catalogación con título, autor, año, número, resumen, palabras clave, número de páginas, tamaño y nombre del archivo.



Figura 19. Ventanas típicas del sistema de consulta a la base de datos bibliográfica SNICA.

Cada documento fue clasificado en un área temática, un tema y un subtema definidos en función de los criterios de búsqueda establecidos para facilitar la consulta por parte de los usuarios. Para realizar la consulta se selecciona un área temática (campo, cosecha y poscosecha, fábrica, economía y estadística, medio ambiente) y luego el tema de interés; los resultados muestran los títulos disponibles en orden cronológico a partir del más reciente. Al seleccionar el título de interés se abre una pantalla nueva donde se indican autor(es), resumen y palabras clave, se ofrece el enlace al documento completo en PDF y la opción de ver títulos relacionados con el subtema específico del documento (Figura 20).

Con fines de complementar la base de datos de publicaciones se recuperan los archivos electrónicos de los documentos de trabajo elaborados por las distintas dependencias de Cenicaña y que se encuentran en papel en la biblioteca del Centro, así como las presentaciones con diapositivas que contienen información de interés en los distintos temas.



Figura 20. Ventanas típicas del sistema de consulta a la base de datos de publicaciones.

## Herramientas de información para la agricultura específica por sitio

Las herramientas que se presentan a continuación han sido desarrolladas con el propósito de facilitar la gestión de datos e información de referencia sobre las características agroecológicas de las unidades productivas de caña de azúcar, el manejo del agua y la nutrición del cultivo, y el comportamiento en la cosecha según unos factores de producción conocidos. Cada herramienta constituye un subsistema de información para apoyar a los agricultores en los análisis de su empresa productiva (Figura 21).

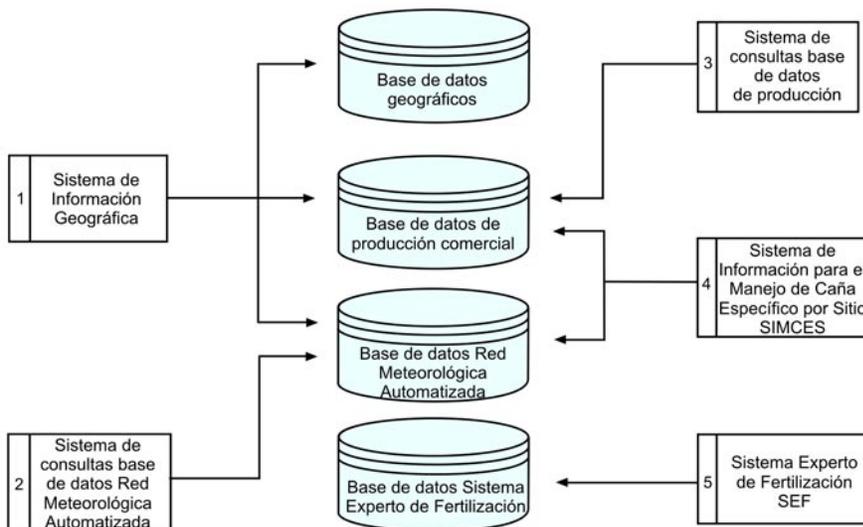


Figura 21. Herramientas de información para la agricultura específica por sitio.

Con el uso de las herramientas de información se busca:

- a) Facilitar la caracterización agroecológica de cada suerte de caña a través del intercambio ordenado de información entre el agricultor, el ingenio y Cenicaña.
- b) Fomentar el uso de información meteorológica para el manejo diario del cultivo y la caracterización agroecológica de cada unidad productiva.
- c) Ofrecer información de referencia sobre la productividad de la agroindustria como apoyo para los análisis periódicos en las unidades productivas.
- d) Facilitar el análisis de la productividad y la rentabilidad de la caña de azúcar mediante la comparación de eficiencias entre sitios similares desde el punto de vista agroecológico.
- e) Familiarizar al cañicultor con la información cartográfica espacial y temporal de su unidad productiva, a fin de sumar velocidad y elementos de juicio en las decisiones de manejo técnico y administrativo.
- f) Contribuir a reducir los costos de producción de caña y azúcar mediante tecnologías limpias que aseguren el manejo agroecológico de los recursos naturales en cada sitio de cultivo.

## Servidor de mapas

El Servidor de Mapas es una aplicación del SIG para la visualización de mapas a través de Internet. Los servicios son personalizados para los propietarios del cultivo mediante el registro de las haciendas relacionadas.

La ventana típica y las opciones de información complementaria se presentan en las Figuras 22 y 23. El sistema se encuentra disponible en línea a través de Extranet.

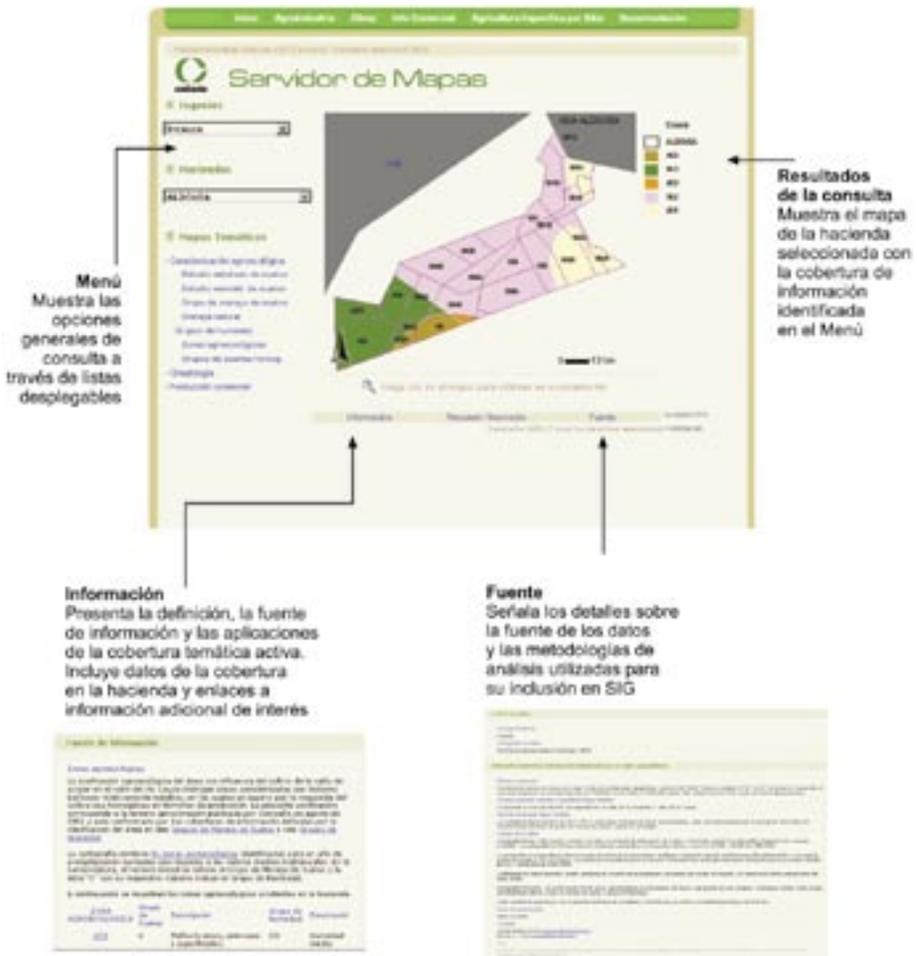


Figura 22. Ventana típica del Servidor de Mapas.

Luego de seleccionar el ingenio y la hacienda, el usuario puede ver uno a uno los siguientes mapas temáticos:

### **Caracterización agroecológica**

- Estudio detallado de suelos
- Estudio semidetallado de suelos
- Grupos de manejo de suelos
- Drenaje natural
- Grupos de humedad
- Zonas agroecológicas
- Grupos de suertes homogéneas

### **Meteorología y climatología**

- Área de influencia estaciones Red Meteorológica Automatizada (RMA)
- Área de influencia estaciones Red de Tanques de Evaporación y Pluviómetros
- Precipitación anual, mensual y climatológica (RMA)
- Radiación solar anual, mensual y climatológica (RMA)
- Temperatura media anual, mensual y climatológica (RMA)
- Oscilación de temperatura anual, mensual y climatológica (RMA)

### **Producción comercial por suerte de caña**

- Variedades cosechadas por año
- Edad de corte
- Número de corte
- Toneladas de caña por hectárea
- Toneladas de caña por hectáreas por mes
- Toneladas de azúcar por hectárea
- Toneladas de azúcar por hectárea por mes
- Rendimiento comercial

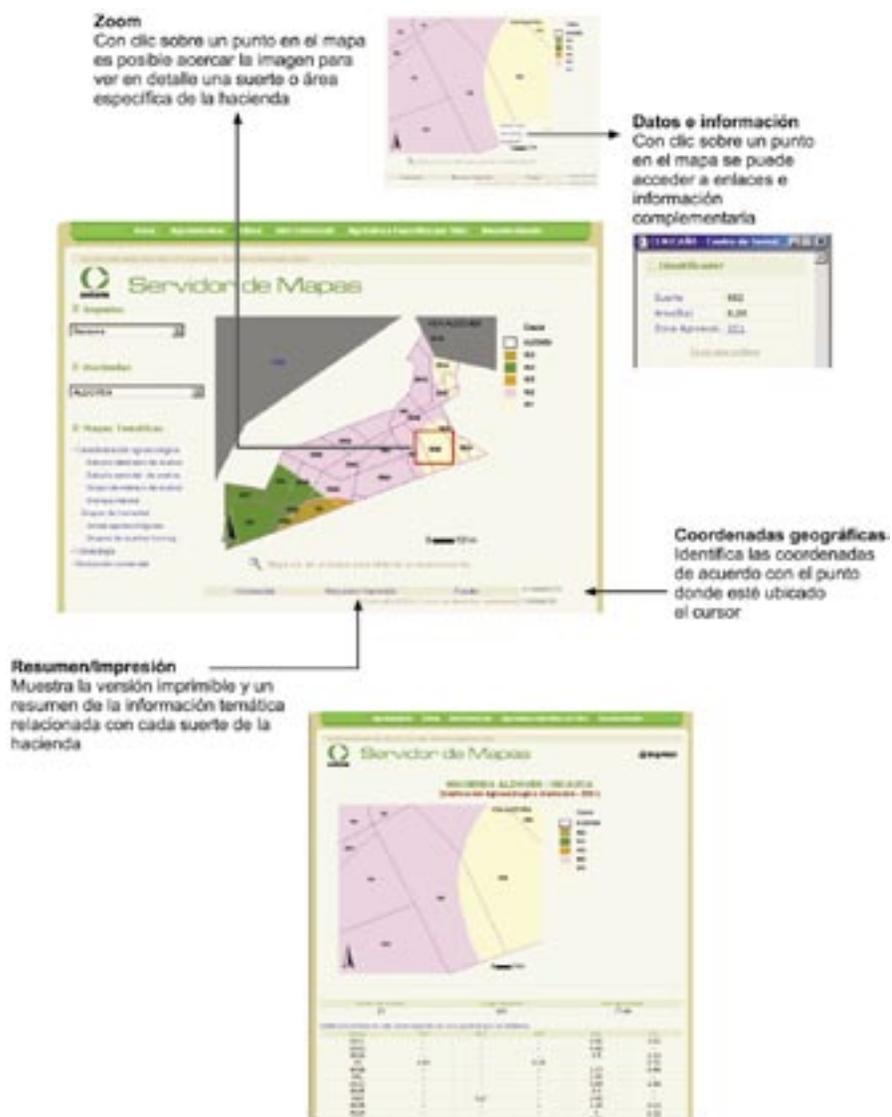


Figura 23. Opciones complementarias Servidor de mapas.

## Sistema de consulta a la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada (RMA)

Este sistema de información ofrece, además de información histórica y climatológica, datos horarios y diarios en tiempo real de las variables: temperatura, humedad relativa, radiación solar, precipitación, dirección del viento, ráfaga y variabilidad de la dirección del viento. Las ventanas típicas se presentan en la Figura 24.

El sistema se encuentra disponible en línea a través de Extranet.

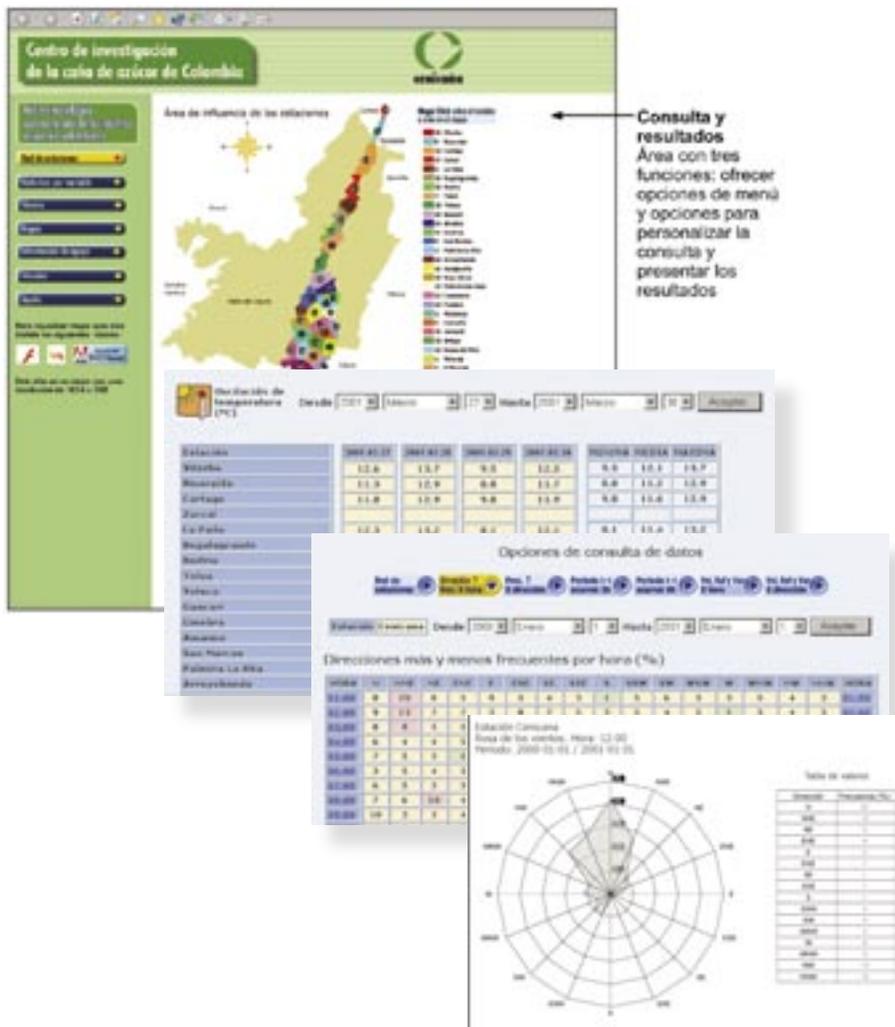


Figura 24. Ventanas típicas del Sistema de Consulta a la Base de Datos de la Red Meteorológica Automatizada.

Las opciones de consulta son:

**Red de estaciones:** datos por estación

- Identificación de la estación.
- Hoy: datos horarios del día cuando se realiza la consulta, actualizados en la base de datos cada tres horas.
- Últimos 5 días: datos diarios de los cinco días previos a la consulta.
- Últimos 30 días: datos diarios de los treinta últimos días (tabla y gráfica).
- Históricos: datos diarios en el período seleccionado (día/mes/año).
- Climatológicos: datos mensuales que muestran la tendencia de cada variable durante el período de operación de la estación.

**Históricos por variable:** datos diarios por estación de acuerdo con el período (día/mes/año) seleccionado por el usuario:

- Temperatura mínima, media y máxima; oscilación diaria de temperatura; humedad relativa; radiación solar; precipitación.

**Vientos por estación:** datos de medición de variables y porcentajes de frecuencia de ocurrencia de eventos de acuerdo con el período (día/mes/año) seleccionado por el usuario:

- Dir.+/- frec. x hora: porcentaje de eventos de viento registrados durante el período analizado para cada hora del día según la dirección del evento.
- Frec. +/- x dirección: porcentaje de eventos de viento registrados durante el período analizado para cada dirección del evento según la hora.
- Período >< ocurren. 3h: períodos de mayor y menor ocurrencia de las direcciones de viento en rangos de tres horas.
- Período >< ocurren. 6h: períodos de mayor y menor ocurrencia de las direcciones de viento en rangos de seis horas.
- Vel., Raf. y Var. x hora: velocidad media, ráfaga y variabilidad de la dirección del viento por hora.
- Vel., Raf. y Var. x dirección: velocidad media, ráfaga y variabilidad de la dirección del viento por dirección.



### **Área cosechada (%) y productividad**

- Según edad y corte por ingenio: el usuario selecciona un número de corte y un período para ver el porcentaje de área con cañas en ese número de corte y su productividad.
- Según corte por ingenio: selecciona un período para ver el porcentaje de área por número de corte y la productividad.
- Según variedad y corte por ingenio: selecciona una variedad y un período para ver el porcentaje de área con la variedad según el número de corte y su productividad.
- Según edad por ingenio: selecciona un período para ver el porcentaje de área según la edad en cada ingenio y su productividad.

### **Resultados de producción**

- Según variedad por ingenio: selecciona una variedad y un período para ver resultados de producción de la variedad en cada ingenio.
- Por ingenio: selecciona un período para ver resultados de producción en cada ingenio y en las suertes con mayor producción.

**Curvas de isoproductividad:** muestra la combinación de toneladas de caña por hectárea y rendimiento en azúcar con la cual se obtuvieron las toneladas de azúcar por hectárea.

- Isoproductividad por hectárea, variedad y zona agroecológica en cada ingenio: usuario selecciona variedad, zona agroecológica y período.
- Isoproductividad por hectárea y zona agroecológica según variedades: usuario selecciona zona agroecológica y período.
- Isoproductividad por hectárea y zona agroecológica en cada ingenio: usuario selecciona zona agroecológica y período.
- Isoproductividad en cada ingenio: usuario selecciona período.
- Isoproductividad por hectárea y variedad en cada zona agroecológica: usuario selecciona variedad y período.

### **Resultados de productividad**

- Por zona agroecológica
- Por variedad

### **Estadísticas generales de producción**

## Sistema Experto de Fertilización (SEF)

El SEF ofrece recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para cada suerte de caña, con especificaciones sobre dosis, épocas, fuentes y métodos de aplicación. Las recomendaciones se basan en los resultados del análisis químico del suelo (análisis completo, de caracterización o de fertilidad) y algunas características físicas y del cultivo. El sistema almacena los análisis de suelo y las recomendaciones generadas para cada suerte de caña, y entrega una versión imprimible con los datos del análisis, las condiciones de la suerte y las recomendaciones de fertilización o enmiendas (Figuras 26).

Esta herramienta reúne el conocimiento experto sobre los requerimientos nutricionales de la caña de azúcar en el valle del río Cauca, establecidos en el proceso de investigación adelantado por Cenicafña (Figura 27). El sistema se encuentra disponible en línea a través de Extranet.

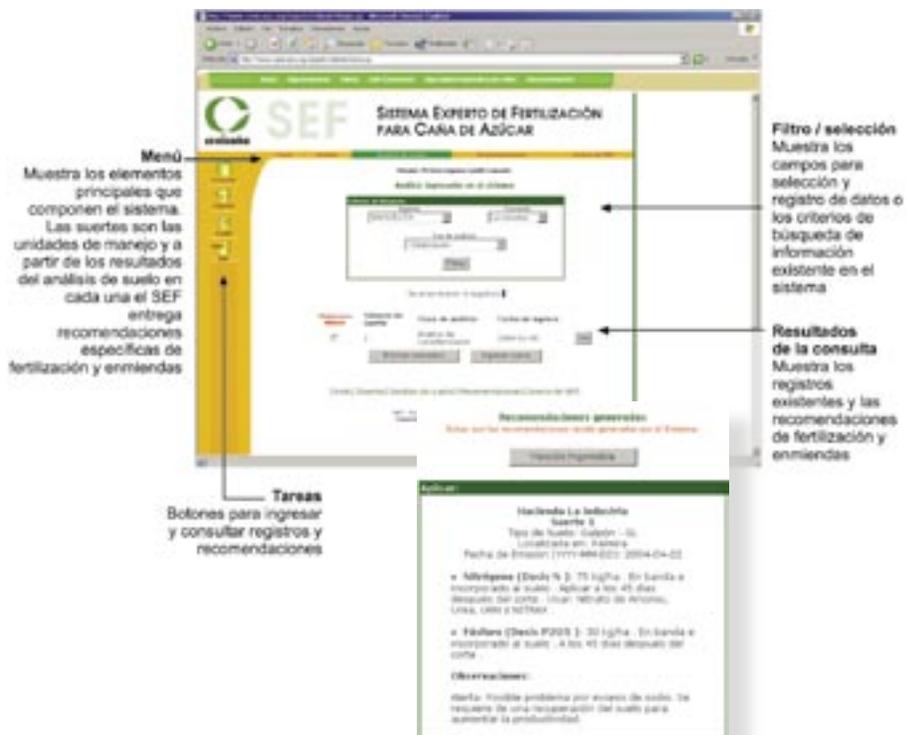


Figura 26. Ventana típica del Sistema Experto de Fertilización (SEF).

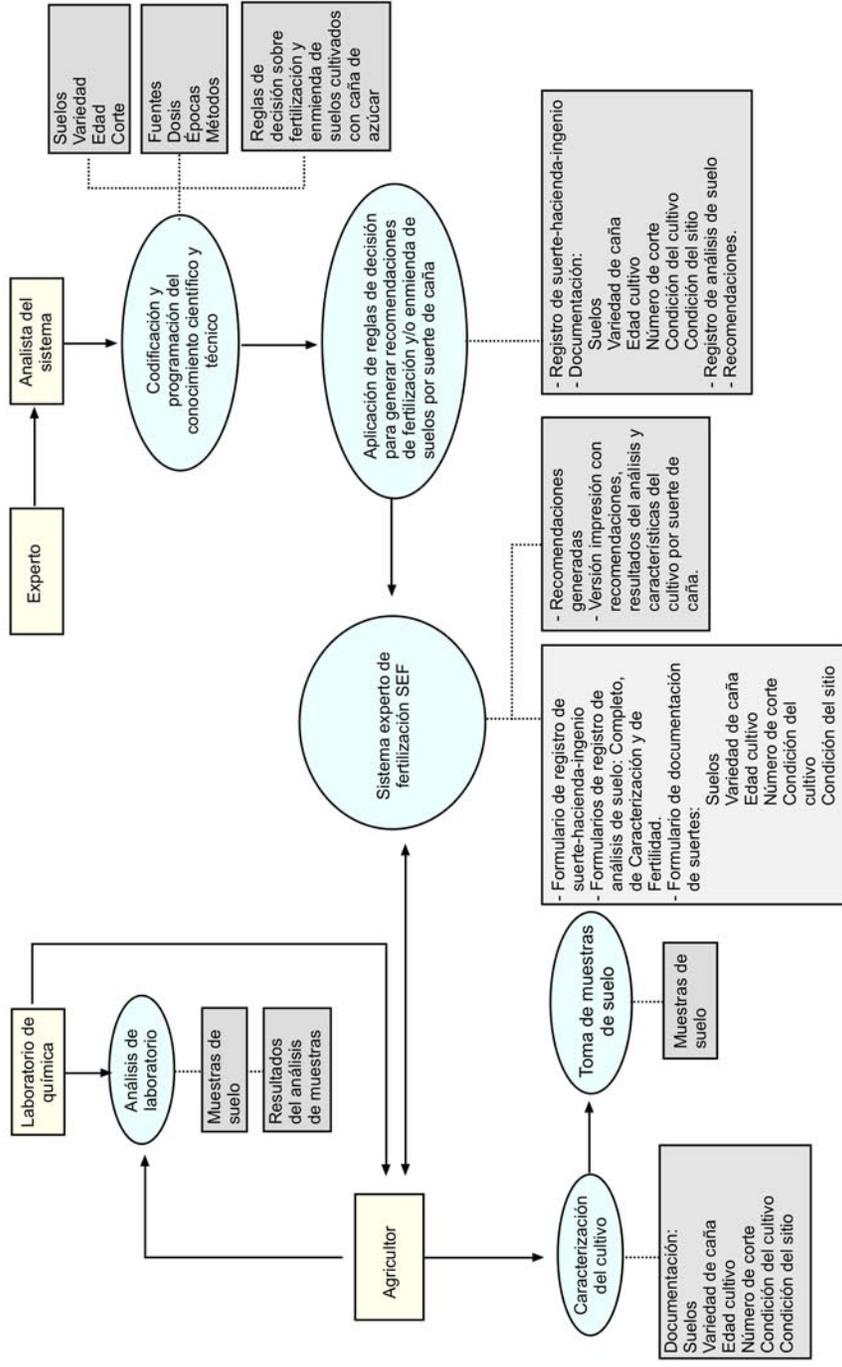


Figura 27. Diagrama de flujo de procesos e información del Sistema Experto de Fertilización (SEF).

### Sistema de balance hídrico (BH. v.3.0)

Los archivos de instalación de esta herramienta para el manejo del agua se encuentran disponibles en línea a través de Extranet. Las ventanas típicas se presentan en la Figura 28.

Hasta febrero de 2004 esta tecnología había sido adoptada en el 80% de las unidades productivas con manejo directo de los ingenios azucareros y en el 25% de las unidades productivas con manejo de proveedores de caña. Ver más información en la página 40, manejo de aguas.



Figura 28. Ventanas típicas del sistema de Balance Hídrico v.3.0.

### **Sistema de Información para el Manejo de Caña Específico por Sitio (SIMCES)**

El SIMCES se basa en una metodología de análisis diseñada para apoyar las decisiones de uso de tecnología asociada con la agricultura específica por sitio, la cual involucra conceptos estadísticos y económicos, datos experimentales y datos de resultados de producción comercial. Ofrece indicadores de eficiencia productiva y económica en una suerte específica, con base en la calificación de los resultados en comparación con los obtenidos en suertes similares. Para el efecto, las suertes son clasificadas en Grupos de Suertes Homogéneas, es decir suertes con igual consociación de suelo dentro de una zona agroecológica.

La herramienta está siendo desarrollada para ofrecer los servicios de análisis en línea a través de Extranet.

Para determinar el desempeño productivo de una suerte en un período determinado el sistema integra un componente de calificación que genera tres niveles o rangos (bajo, medio, alto) con base en el concepto estadístico de cuartiles. Los resultados de productividad de una suerte son comparados con los resultados históricos de producción comercial del grupo de suertes homogéneas al que pertenece.

Con los datos existentes se derivan otros análisis que utilizan los niveles de productividad en cada grupo homogéneo:

- Variedad(es) con mayor cantidad de suertes en el nivel alto de productividad.
- Edad de cosecha y número de corte con mayor participación de suertes en el nivel alto.
- Distribución de suertes por grupo homogéneo y por ingenio para cada nivel de productividad, con información asociada sobre la variedad cosechada, las condiciones del clima en las etapas del cultivo y la cosecha anterior, el nivel de productividad, los costos y el margen operacional.

Además de los análisis descriptivos, el sistema utiliza la técnica de los modelos lineales para determinar la contribución de cada factor (variedad, edad, corte y clima) sobre la variación de la productividad y la rentabilidad en cada grupo homogéneo.

## Fortalecimiento de la infraestructura de informática

Como parte del proyecto AEPS se seleccionaron e instalaron los recursos físicos necesarios para el soporte de las aplicaciones informáticas (hardware y software) (Figura 29) y se desarrollaron sistemas para la captura, validación, análisis y publicación de datos e información.

Las herramientas utilizadas para el desarrollo del sistema interactivo en Web se describen a continuación (Cuadro 6):

**Dreamweaver MX 2004:** incorpora utilitarios para la creación de sitios y aplicaciones en Web con herramientas visuales de disposición, características de desarrollo de aplicaciones y soporte para la edición de código.

**PHP:** siglas de *Personal Home Page*, es un lenguaje de programación pensado en la Web, ideal para la creación de páginas dinámicas.

**ArcIMS:** herramienta para publicación de mapas, datos y metadatos a través de Internet.

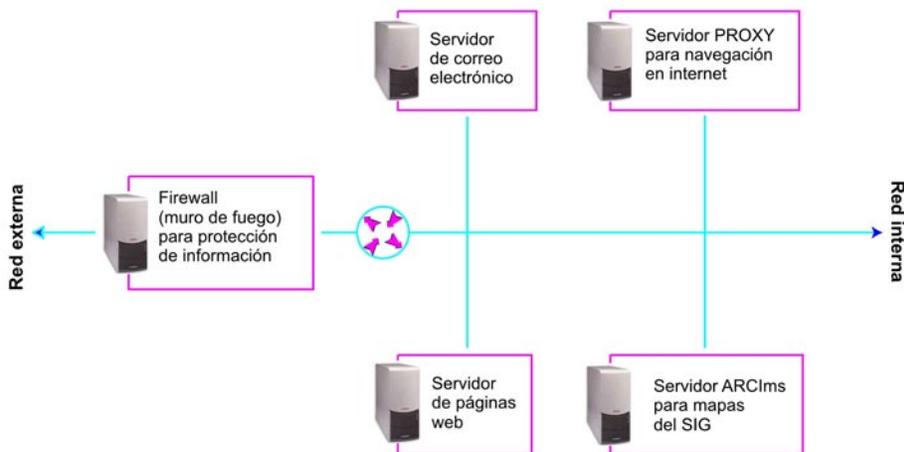


Figura 29. Plataforma informática de Cenicaña, febrero 2004.

Cuadro 6. Herramientas de tecnología informática. Sistema AEPS en Web.

Subsistema de información AEPS	Herramienta de informática
Sitio Web	Dreamweaver MX 2004 PHP
Servidor de mapas	ARCIms Java
Sistema de consultas a la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada	Java J-Evolution
Sistema de consultas a la base de datos comercial de producción de caña y azúcar	Java J-Evolution Python
Sistema Experto de Fertilización (SEF)	
Sistema de Información para Manejo de Caña Específico por Sitio (SIMCES)	Python
Base de datos bibliográfica SNICA	CD/ISIS ( Bireme )
Base de consulta a la base de datos de publicaciones	Java J-Evolution
Sistema de seguridad y autenticación de usuarios del sitio	PHP
Motor de la base de datos institucional	Informix Foundation 2000

**JAVA:** lenguaje de programación orientado a objetos que emplea elementos de otros lenguajes OOP, como C++, que facilitan la programación.

**J-EVOLUTION:** software para el desarrollo de aplicaciones (RAD) de negocios electrónicos. Usa como base de su arquitectura la plataforma J2EE de Sun Microsystem, está construida en JAVA e integra el XML/XSL como estándar para el intercambio de datos e información.

**PYTHON:** lenguaje de programación interpretado, compilado, interactivo y orientado a objetos (lenguaje de *scripting*).

**CD/ISIS:** registro de documentos con información estructurada en fichas con datos textuales.

**Informix Foundation 2000:** motor de la base de datos sobre la cual se hace el registro de la información del cultivo de la caña de azúcar para ser desplegada vía Internet mediante las herramientas antes citadas.

---

## Comentarios finales

Como ha sido expresado en este documento, el enfoque de agricultura específica por sitio adoptado por Cenicaña se basa en el conocimiento preciso de las características agroecológicas de cada sitio de cultivo, en particular las relaciones suelo-planta-agua-atmósfera-manejo, para orientar los procesos de desarrollo tecnológico, productivo y económico en el sector agroindustrial de la caña de azúcar. La dinámica y el potencial de los factores que determinan la producción y la rentabilidad del cultivo en cada sitio se identifican a través de aproximaciones sucesivas a la realidad agroecológica y el análisis sistemático de la actividad agroindustrial.

De acuerdo con lo anterior, la información utilizada para definir la clasificación agroecológica del área en cultivo se precisa de forma progresiva, asegurando su calidad. Para el efecto, en paralelo con la investigación aplicada se avanza en el levantamiento detallado de información acerca de la estructura productiva de los predios agrícolas, incluyendo las características de suelo, clima, recursos naturales, infraestructura e innovación tecnológica.

Los estudios detallados de los suelos que se adelantan desde 2001 en los predios vinculados con los ingenios azucareros del valle del río Cauca proporcionan información básica sobre la estructura de los suelos y las condiciones de drenaje, lo que contribuirá a delimitar la clasificación del área en grupos de humedad. El grado de pendiente del terreno, la presencia y la profundidad del nivel freático, la instalación o presencia de sistemas de drenaje artificial y las mejoras en la nivelación del terreno y en el sistema de evacuación de aguas superficiales constituyen información complementaria que se requiere actualizar.

El conocimiento detallado del clima regional, tanto en escalas de tiempo como en el espacio, es el segundo aspecto que debemos mejorar. Con este fin, se utiliza la base de datos de la Red Meteorológica Automatizada y se propone recuperar y coleccionar sistemáticamente información pluviométrica y de otras variables climáticas registrada en estaciones operadas por diferentes entidades; el sector azucarero cuenta con más de 1000 pluviómetros con datos diarios de diferentes períodos, los cuales deben ser organizados en una base de datos que contribuya a precisar la caracterización climática del valle del río Cauca y la zonificación por balance hídrico para la caña de azúcar.

De otra parte, es conocido que existen factores determinantes de la producción, no controlables, como el contenido de CO<sub>2</sub> del aire, la radiación solar, la temperatura del aire, el fotoperíodo y algunas características propias del cultivo como su fisiología, fenología, arquitectura del follaje que hacen que un cultivo tenga una producción potencial. Factores limitantes como el agua, los nutrientes, la compactación, la salinidad y la infiltración que generan una producción obtenible. Y factores como la población de malezas, la presencia de enfermedades y plagas, los contaminantes y las calamidades (quemadas accidentales, inundaciones, precios bajos) que son reductores de la producción y que dependiendo de cuándo, cómo y cuánto se controlen así mismo influyen en la producción actual del cultivo.

En un análisis sobre el potencial de producción de la variedad CC 85-92 cosechada por un ingenio (año 2001) en suertes de caña con la misma consociación de suelo y la misma zona agroecológica, se encontraron tres niveles de productividad (alto, medio y bajo). Lo anterior sugiere que existe una producción obtenible que se puede lograr al eliminar los factores limitantes que intervienen o afectan la productividad.

Así, el tercer aspecto por atender consiste en identificar dónde, cuándo y cómo afectan la productividad y la rentabilidad del cultivo los factores limitantes y los factores reductores de la producción. Este conocimiento es útil para apoyar las decisiones antes de la siembra y la cosecha, durante el levantamiento de las socas, el desarrollo de la plantación y en la cosecha. Cenicaña proyecta experimentar con el uso de la percepción remota, un conjunto de técnicas que se caracteriza por la capacidad de cubrir grandes áreas rápida y repetidamente para producir información sobre las condiciones del suelo y el cultivo en un momento o período definidos. Una vez conocida y cuantificada la variabilidad de la información colectada, los pasos siguientes son conocer las causas de esa variabilidad, caracterizar o patronar su manifestación en el tiempo (continuidad o no), identificar las alternativas de corrección o ajuste, y analizar la relación beneficio-costado que implica su manejo a fin de implementarlo.

De forma complementaria, se continúa con la construcción de la matriz tecnológica en la cual se identifican las variedades y las prácticas de manejo agrícola y agronómico adecuadas para cada zona agroecológica, con el fin de suministrar información técnica a los cañicultores para la práctica de la agricultura específica por sitio.

A partir de las consideraciones anteriores, Cenicaña se propone desarrollar una tercera fase del proyecto Agricultura Específica por Sitio con los siguientes productos esperados: nuevas aproximaciones de la zonificación agroecológica, la agrupación de suelos, los grupos de humedad y la zonificación climática por balance hídrico; el patronamiento de los factores limitantes de la producción; y la matriz tecnológica por sitio específico.

## **Agradecimientos**

A todos los ingenieros agrónomos y agrícolas de la industria azucarera colombiana, a los productores de caña de azúcar, los investigadores de Cenicaña, los miembros del Comité de Investigación de Campo y a las empresas desarrolladoras de software MCM International Services (Colombia), Web Media Colombia Ltda., y Nuevos Medios S.A. (Colombia) quienes con sus ideas y aportes contribuyeron al desarrollo del sistema de información en Web con el enfoque de agricultura específica por sitio.

Además, a todos los colaboradores de Cenicaña que participaron en la construcción del sistema, en especial a Alberto Palma Zamora, Enrique Cortés Betancourt, Carlos Andrés Osorio Varela, Rafael Quintero Durán, Jorge Ignacio Victoria Kafure, Jorge Torres Aguas, Carlos Omar Briceño Beltrán, Hernán Felipe Silva Cerón, Jaime Hernán Caicedo Ángel y Alcira Arias Villegas.

Agradecimientos al doctor James H. Cock, director general de Cenicaña entre 1990 y 2000, por sus contribuciones en la formulación de este proyecto.

## Referencias bibliográficas

- Carbonell González, J.; Amaya Estévez, A.; Ortiz Uribe, B.V.; Torres, J.S.; Quintero Durán, R.; Isaacs Echeverry, C.H. 2001. Zonificación agroecológica para el cultivo de la caña de azúcar en el valle del río Cauca. Tercera aproximación. Cali, Cenicaña, 59p. (Serie Técnica, no.29)
- Cenicaña. Cali. 1984. Primera aproximación agroclimática del valle del río Cauca. En: Cenicaña, Informe Anual 1983. Cali, Cenicaña, p.73-81. Mapa.
- Cali. 2003. Balance Hídrico v.3.0. Manual del usuario. Cali, Cenicaña, 50p. (incluye CD)
- Cali. 1999. Catálogo de Objetos Geográficos Básicos del Sector Azucarero Colombiano. Cali, Cenicaña, 20p.
- Cali. 1993. Establecimiento de una red de estaciones climatológicas en el valle geográfico del río Cauca para el sector azucarero. Cali, Cenicaña, 10p. (Documento de trabajo, no.266)
- Cali. 1986. Zonificación agroclimática del valle del río Cauca (segunda aproximación). Cali, Cenicaña, 8p. (Documento de trabajo, no.181)
- Cruz Valderrama, R. 2000. Control administrativo del riego asistido por computador. Carta Trimestral Cenicaña (Colombia). v.22, no.4, p.7-9.
- Gates III, W.H. 1999. Los negocios en la era digital. Cómo adaptar la tecnología informática para obtener el mayor beneficio. Barcelona, Plaza y Janés.
- Instituto Colombiano de Hidrología, Meteorología y Adecuación de Tierras. Bogotá. 1991. Estudio agroclimático del valle geográfico del río Cauca. Santafé de Bogotá, Himat, 275p. Mapa.
- Instituto Geográfico Agustín Codazzi. Bogotá (Colombia). 1980. Estudio semidetallado de suelos del valle geográfico del río Cauca. Bogotá, Igac, 582p. (Anexo 22 mapas).
- Isaacs E., C.H.; Anderson A., E.; Carbonell G., J.; Ortiz U., B.V. 2001. Agricultura Específica por Sitio. Primer informe técnico. Primera fase. Contrato Colciencias-Cenicaña. Proyecto 254-2000. Cali, Cenicaña. 79p.
- ; Anderson A., E.; Carbonell G., J.; Ortiz U., B.V. 2001. Agricultura Específica por Sitio. Segundo informe técnico. Primera fase. Contrato Colciencias-Cenicaña. Proyecto 254-2000. Cali, Cenicaña. 79p.
- ; Anderson A., E.; Carbonell G., J.; Ortiz U., B.V. 2002. Agricultura Específica por Sitio. Informe técnico final. Primera fase. Contrato Colciencias-Cenicaña. Proyecto 254-2000. Cali, Cenicaña. 70p.
- ; Carrillo C., V.E.; Anderson A., E.; Carbonell G., J.; Ortiz U., B.V. 2003. Agricultura Específica por Sitio. Primer informe técnico. Segunda fase. Contrato Colciencias-Cenicaña. Proyecto 254-2000. Cali, Cenicaña. 70p.

- ; Carrillo C., V.E.; Anderson A., E.; Carbonell G., J.; Ortiz U., B.V.. 2003. Agricultura Específica por Sitio. Segundo informe técnico. Segunda fase. Contrato Colciencias-Cenicaña. Proyecto 254-2000. Cali, Cenicaña. 42p.
- ; Carrillo C., V.E.; Caicedo M., G.H.; Paz, H.G.; Palma Z., A. 2000. Los clientes de la nueva tecnología. Censo y tipificación de productores de caña de azúcar en la industria azucarera colombiana, 1998. Cali, Cenicaña, 64p. (Serie Técnica, no.27)
- ; Andrade S., L.P. 2003. Proyecto Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT). Caracterización de base de los grupos en Incauca S.A. (Adopción de tecnología). Cali, Cenicaña, 53p. (Documento de trabajo, no.525)
- ; Franco, M.M. 2003. Proyecto Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT). Caracterización de base de los grupos en el Ingenio Central Castilla S.A. (Adopción de tecnología). Cali, Cenicaña, 60p. (Documento de trabajo, no.523)
- ; Raigosa V., J.P. 2001. Proyecto Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT). Caracterización de base de los grupos en el Ingenio Risaralda S.A. (Adopción de tecnología). Cali, Cenicaña, 50p. (Documento de trabajo, no.520)
- ; Uribe J., P.T. 2002a. Proyecto Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT). Caracterización de base de los grupos en el Ingenio Manuelita S.A. (Adopción de tecnología). Cali, Cenicaña, 55p. (Documento de trabajo, no.513)
- ; Uribe J., P.T. 2002b. Proyecto Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT). Caracterización de base de los grupos en el Ingenio Providencia S.A. (Adopción de tecnología). Cali, Cenicaña. 54p. (Documento de trabajo, no.512)
- ; Valencia, P.M. 2003. Proyecto Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT). Caracterización de base de los grupos en el Ingenio Pichichí S.A. (Adopción de tecnología). Cali, Cenicaña. 53p. (Documento de trabajo, no.522)
- ; Valencia, P.M.; Uribe J., P.T. 2003. Proyecto Grupos de Transferencia de Tecnología (GTT). Caracterización de base de los grupos en el Ingenio Mayagüez S.A. (Adopción de tecnología). Cali, Cenicaña. 58p. (Documento de trabajo, no.521)
- . 1999. Seguitec. Seguimiento de tecnología. Carta Trimestral Cenicaña (Colombia). v.21, no.1, p.25-29.
- Kristof, R.; Sastran, A. 1998. Diseño interactivo. Madrid, Anaya Multimedia. 136 p.
- Malagón Castro, D. 1976. Propiedades Físicas de los Suelos. Segunda edición. Bogotá, Igac, 622p.

- Ortiz Uribe, B.V.; Carbonell González, J. 2001. Atlas agroclimático y de producción de la agroindustria. Un sistema de información geográfica al alcance de todos. Carta Trimestral Cenicaña (Colombia). v.23, no.2, p.6-7.
- Quintero Durán, R.; Castilla, C. 1992. Agrupación de los suelos del valle geográfico del río Cauca. Cali, Cenicaña. 20p. (Serie Técnica, no.8)
- Senge, P.M.; Kleiner, A.; Roberts, C.; Ross, R.B.; Smith, B.J. 1995. La quinta disciplina en la práctica. Barcelona, Granica. p.94
- Soil Survey Staff (SSS). 1999. Soil taxonomy. A basic sistem of soil classification for making and interpreting soil surveys. 2<sup>a</sup>. Ed. Agriculture Handbook No.436. SSS. USDA. Washington D.C. 869p.
- Torres, J.S.; Cruz V., R.; Villegas T. F. 2004. Avances técnicos para la programación y el manejo del riego en caña de azúcar. Segunda edición. Cali, Cenicaña. p.39-44. (Serie Técnica, no.33)
- ; Carbonell González, J.; Ortiz Uribe, B.V.; Daza, O.H.; Cruz Valderrama, R.; Villegas T., F. 2000. Grupos de humedad para el manejo del cultivo en condiciones difíciles. Cali, Cenicaña, 16p. (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)

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 por medio de la investigación, evaluación y divulgación de tecnología y el suministro de servicios especializados al desarrollo de un sector eficiente y competitivo, de manera que éste juegue un papel importante en el mejoramiento socioeconómico y en la conservación de un ambiente productivo, agradable y sano en las zonas azucareras.

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.

Los recursos de financiación durante 2004 corresponden a donaciones directas realizadas por los ingenios azucareros Carmelita, Central Castilla, Central Tumaco, Incauca, La Cabaña, Manuelita, María Luisa, Mayagüez, Pichichí, Providencia, Riopaila, Risaralda, Sancarlos y Sicarare, y por sus proveedores de caña. Desde 1996 adelanta proyectos cofinanciados por otras entidades, principalmente en el marco de programas coordinados por el Instituto Colombiano para el Desarrollo de la Ciencia y la Tecnología "Francisco José de Caldas" (COLCIENCIAS).

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 de servicios analíticos. Ocupa 62 hectáreas localizadas a 3°21' de latitud norte, 76°18' de longitud oeste y 1024 metros sobre el nivel del mar. En este sitio la temperatura media anual es de 23.5 °C, precipitación media anual de 1160 mm y humedad relativa de 77%.

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 seleccionadas como ingenios piloto.