

Manejo de la nutrición de caña de azúcar: La Experiencia en el Valle del Cauca (Colombia).

Fernando Muñoz Arboleda. PhD

Edafólogo

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CENICAÑA

2016

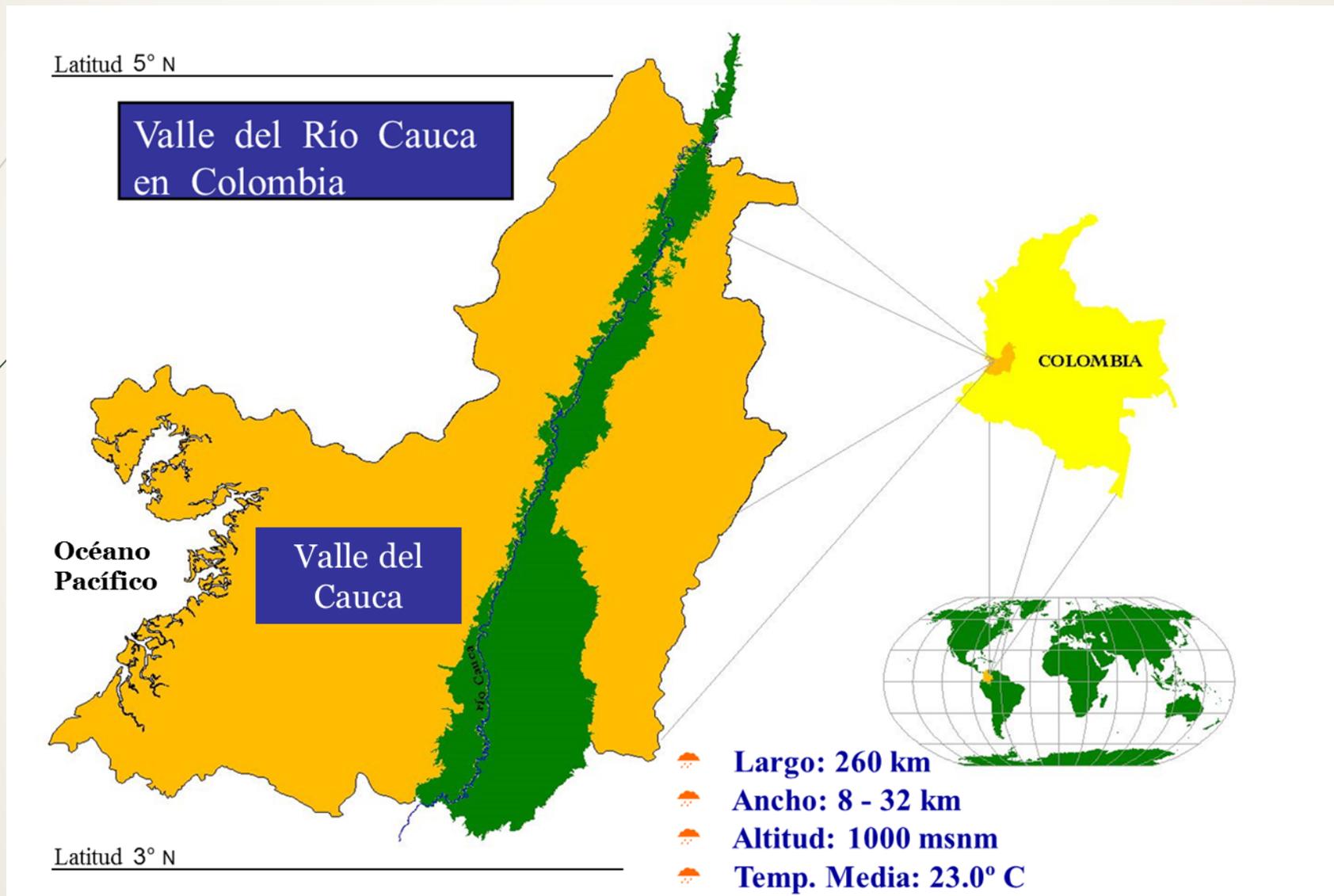
SECTOR DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA

- Asocaña
- 13 Ingenios
- 6 Destilerías de etanol (mezcla 8%)
- 12 plantas cogeneradoras de energía
- 3 Asociaciones de Cultivadores de Caña
- Cenicaña
- Tecnicaña
- Ciamsa

SECTOR DE LA AGROINDUSTRIA DE LA CAÑA DE AZÚCAR EN COLOMBIA

- 232,070 ha de caña de azúcar
- 75% de la tierra pertenece a 2750 proveedores de caña
- 65% de las unidades productoras tienen menos de 60 ha
- 15.5 toneladas/ha de azúcar (promedio 2011-2015)
- 24'285,000 toneladas de caña molida en 2015
- 2'400,000 toneladas de azúcar producidas en 2015
- 456 millones de litros de etanol producidos en 2015
- 237 MW de energía eléctrica

Localización de la zona productora



Diversidad ambiental

Estudio detallado de suelos (1:10,000):

- Área estudiada 217.533 ha
- Área neta en caña 205.000 ha
- 238 unidades puras identificadas

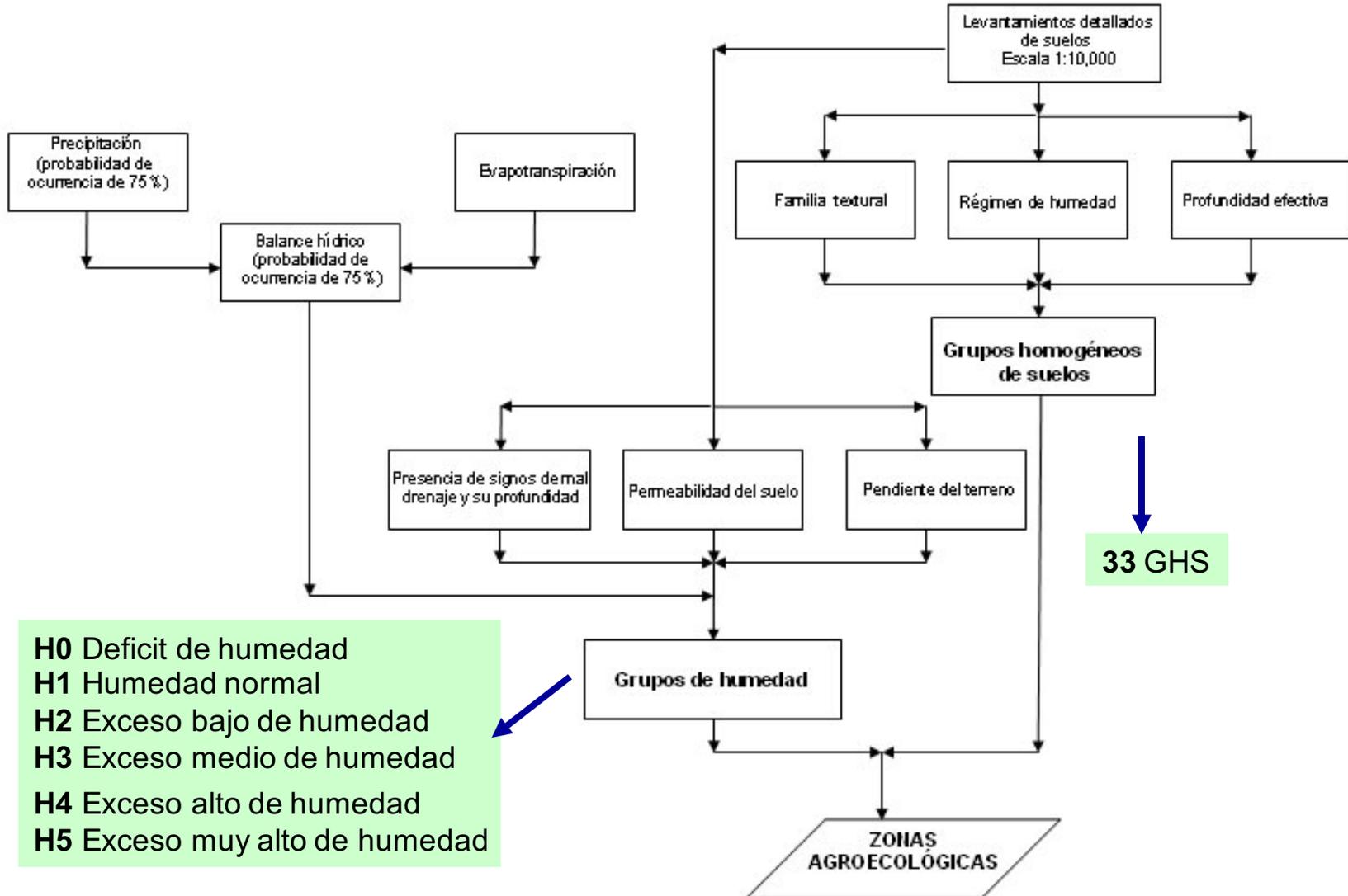
Grupos homogéneos de suelos:

- Factores de agrupación: Familia textural (35) y Régimen de humedad (3) en la sección control del perfil (25-100 cm) y Profundidad efectiva (2)
- 33 grupos

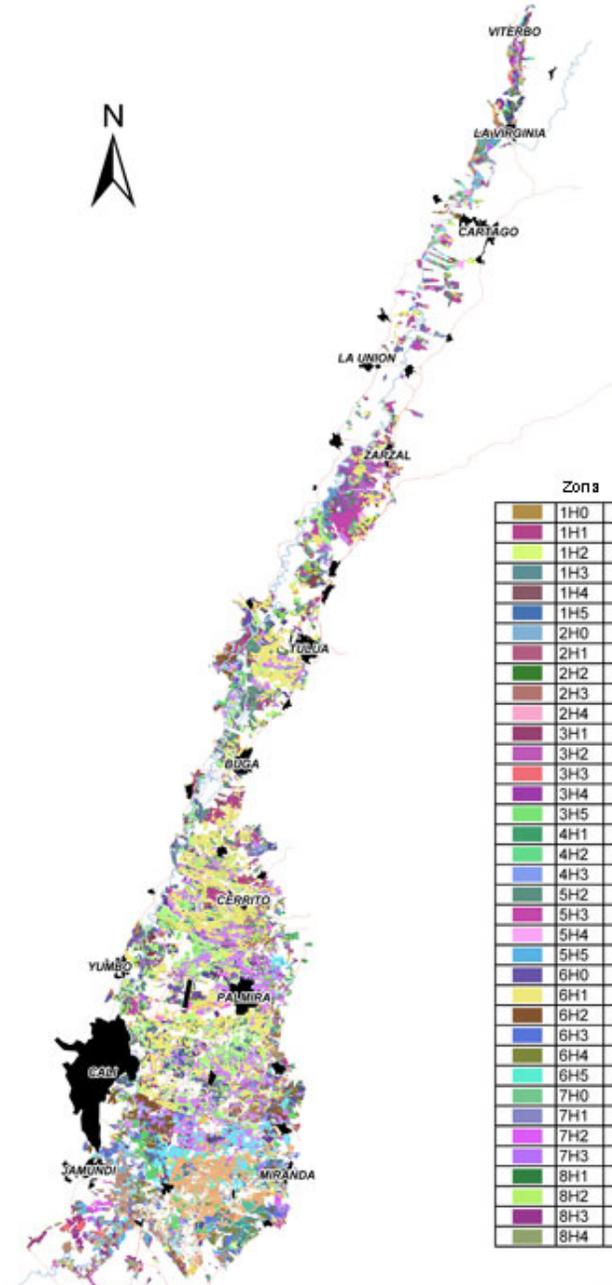
Zonificación agroecológica:

- Resulta de combinar 33 grupos homogéneos de suelos con 6 grupos de humedad
- 166 zonas agroecológicas

Diagrama metodológico con la secuencia de análisis de los factores utilizados para la zonificación agroecológica (cuarta aproximación)



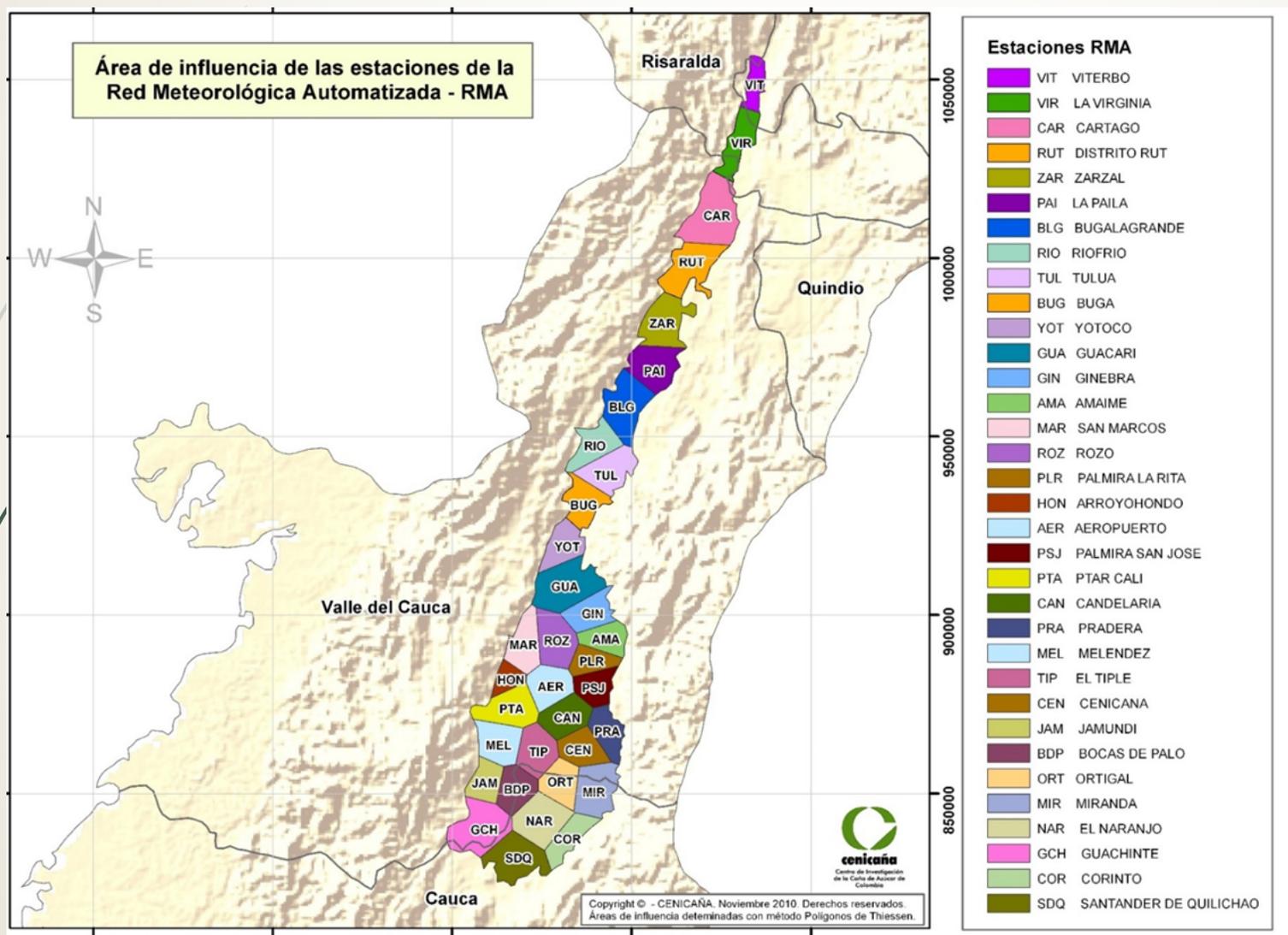
Zonificación agroecológica (cuarta aproximación)



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

166 ZA

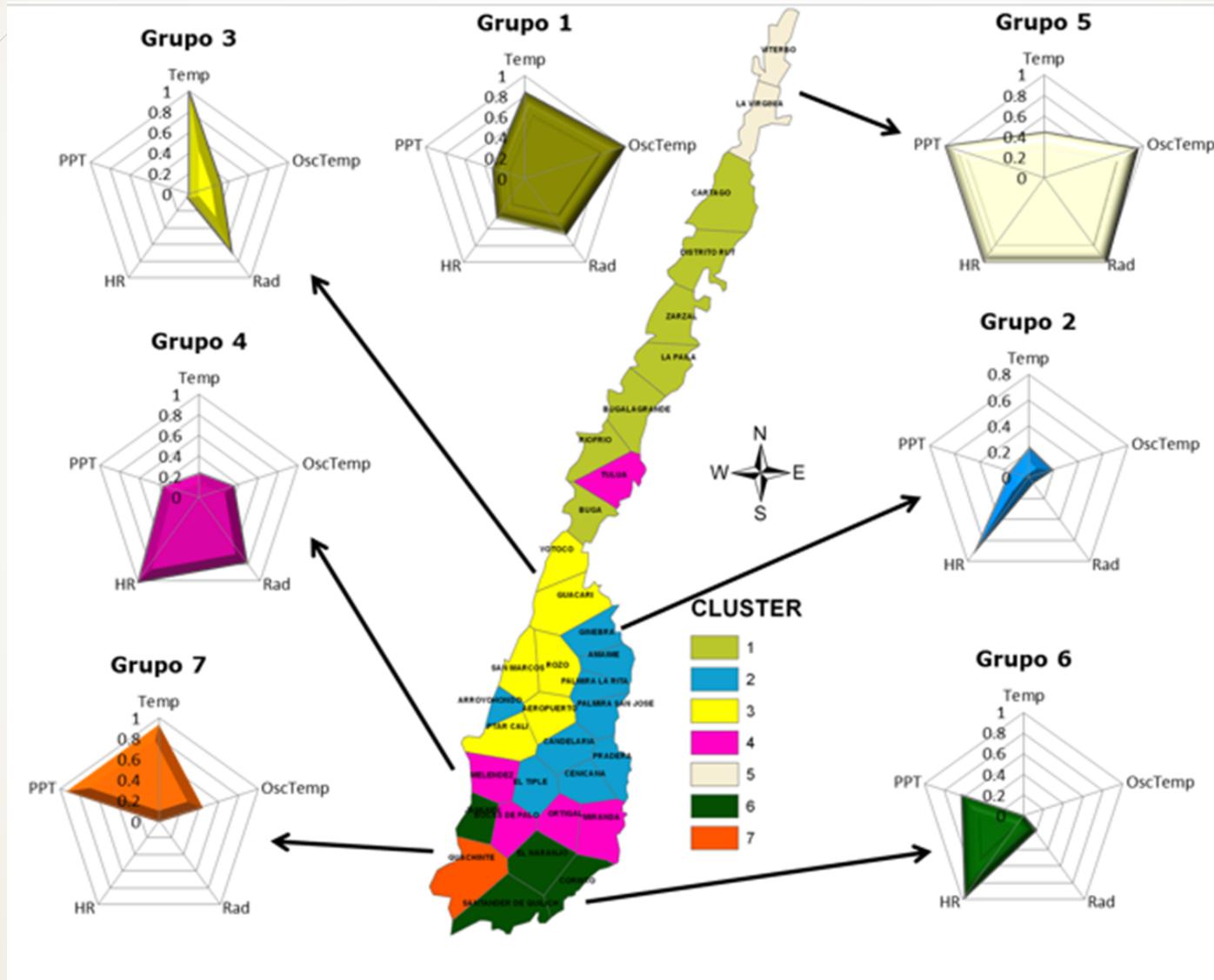
Red Meteorológica Automatizada



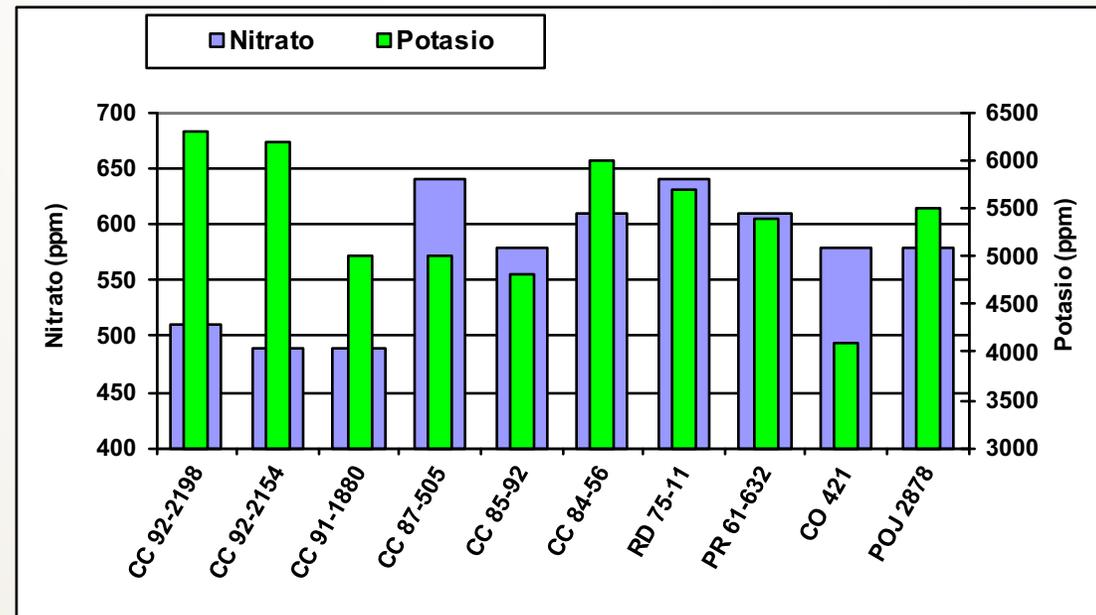
- Precipitación
- Radiación solar
- Dirección y velocidad del viento
- Temperatura
- Humedad relativa

Datos desde 1993

Zonas climáticas homólogas



Variabilidad genética de la caña de azúcar



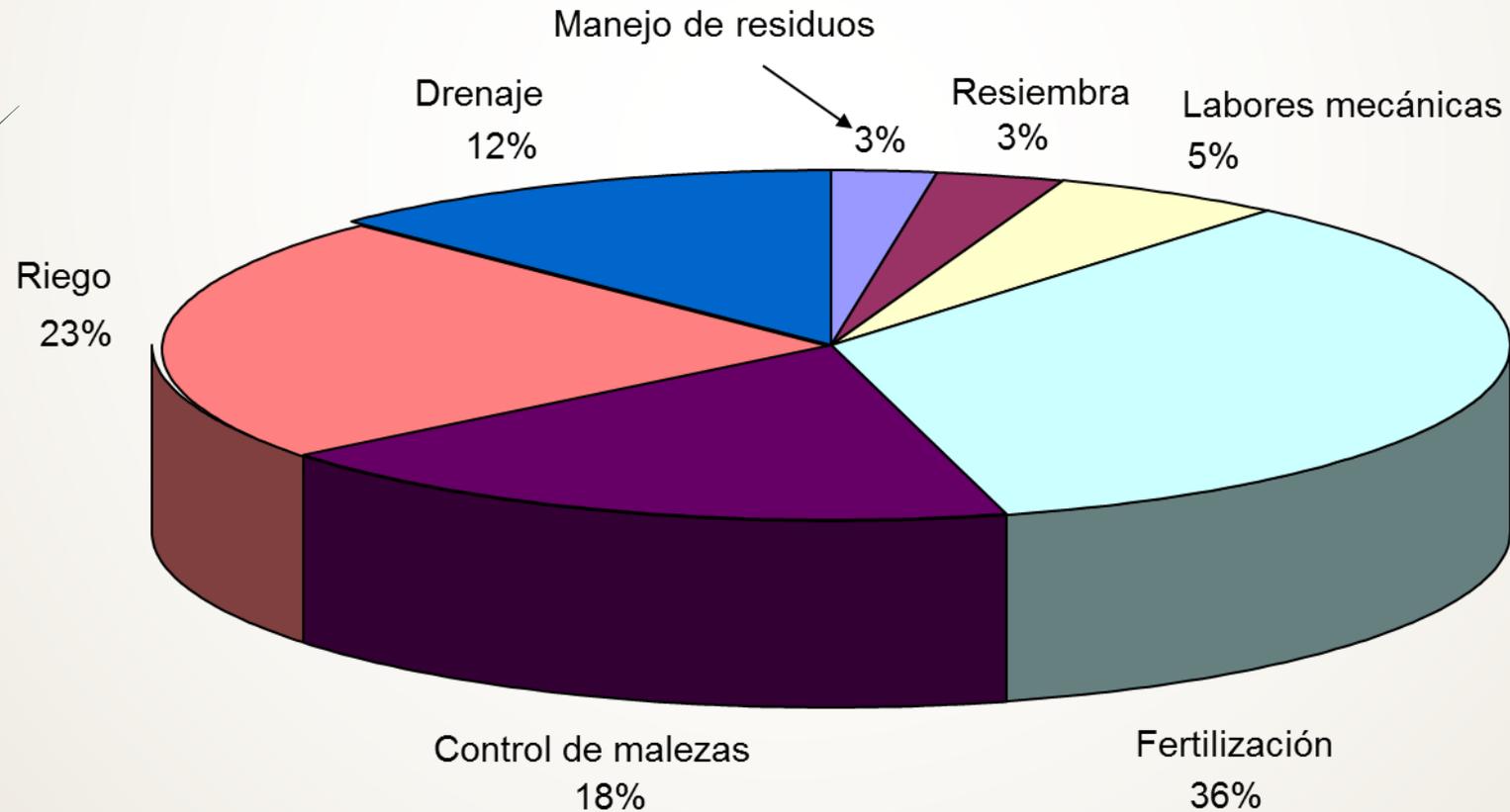
Fertilización en el valle del río Cauca

Extracción de elementos mayores y menores por cada 100 toneladas de caña

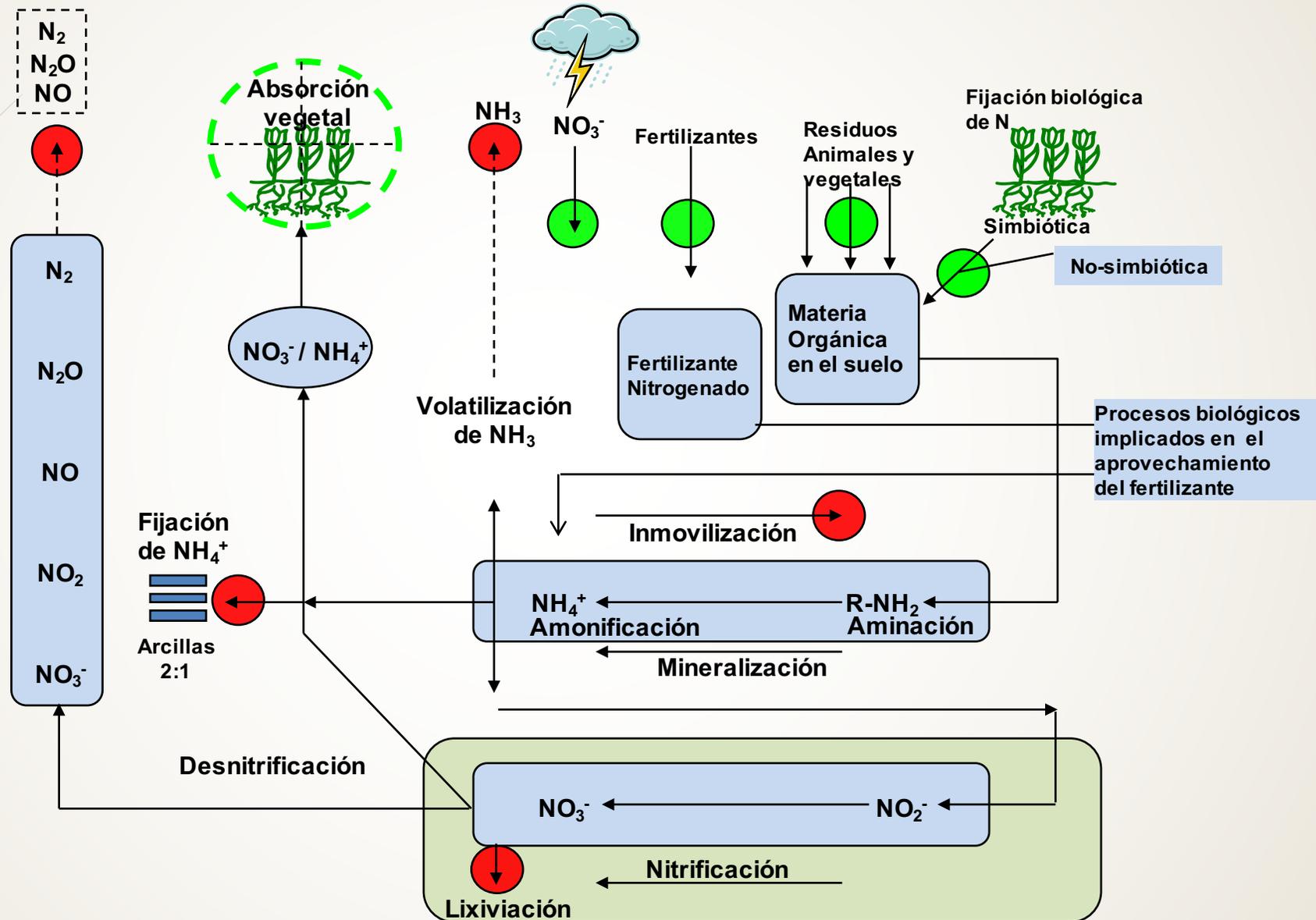
| Elemento (kg) | Tallos |
|----------------------|---------------|
| Nitrógeno | 61 |
| Fósforo | 19 |
| Potasio | 121 |
| Ca | 21 |
| Mg | 33 |
| Hierro | 3.96 |
| Manganeso | 0.63 |
| Zinc | 0.34 |
| Cobre | 0.10 |

Fertilización en el valle del río Cauca

Participación porcentual de las labores en el costo de levantamiento del cultivo

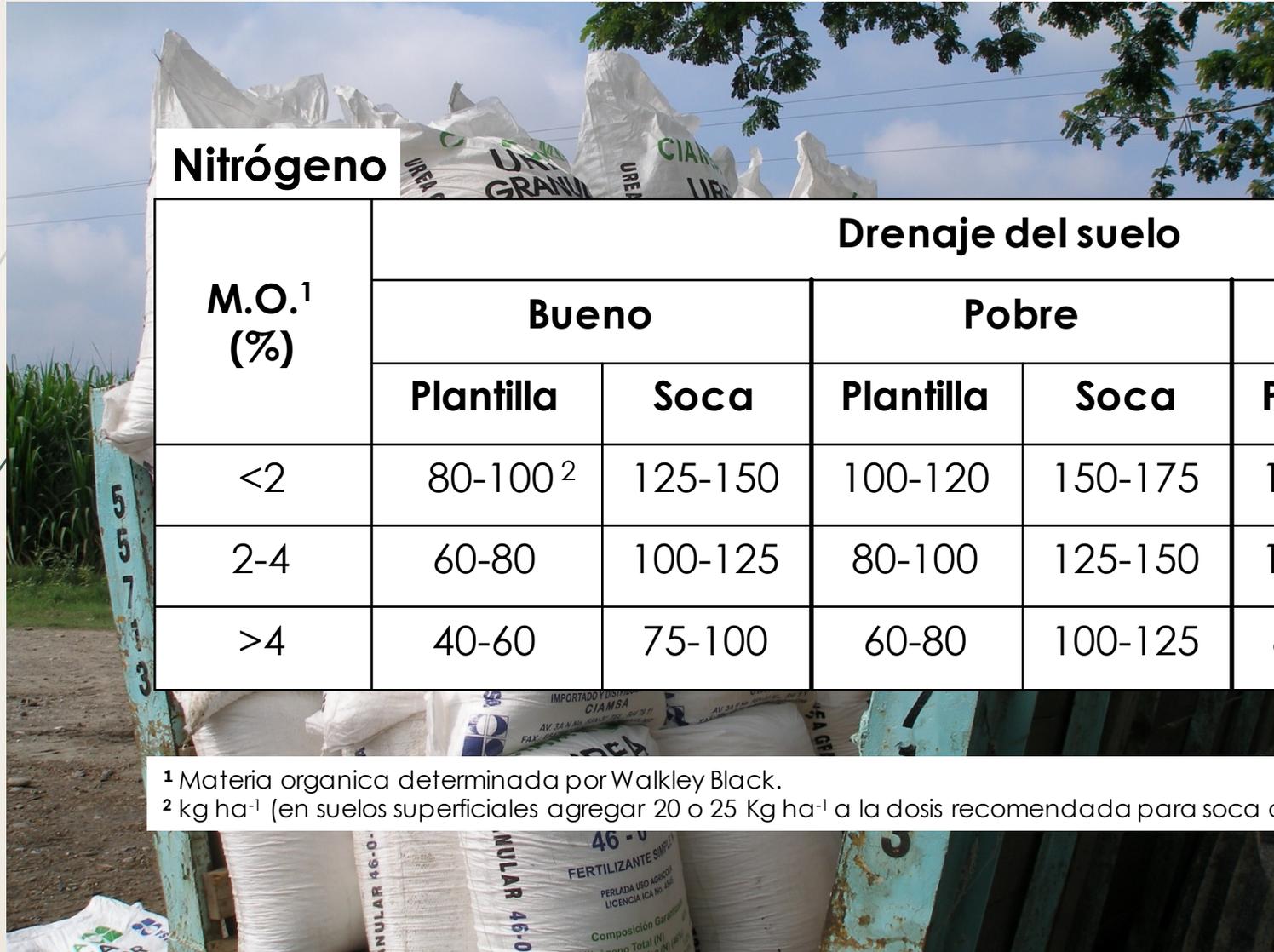


Ciclo del Nitrógeno



Havlin et al, 1999

Fertilización en el valle del río Cauca



| M.O. ¹ (%) | Drenaje del suelo | | | | | |
|--------------------------|---------------------|---------|-----------|---------|-----------|---------|
| | Bueno | | Pobre | | Muy pobre | |
| | Plantilla | Soca | Plantilla | Soca | Plantilla | Soca |
| <2 | 80-100 ² | 125-150 | 100-120 | 150-175 | 120-140 | 175-200 |
| 2-4 | 60-80 | 100-125 | 80-100 | 125-150 | 100-120 | 150-175 |
| >4 | 40-60 | 75-100 | 60-80 | 100-125 | 80-100 | 125-150 |

¹ Materia orgánica determinada por Walkley Black.

² kg ha⁻¹ (en suelos superficiales agregar 20 o 25 Kg ha⁻¹ a la dosis recomendada para soca o plantilla respectivamente).

Fertilización en el valle del río Cauca

Fósforo

| Contenido | P disponible (ppm) | Dosis P ₂ O ₅ kg ha ⁻¹ |
|-----------|--------------------|---|
| Bajo | <5 | 50 |
| Mediano | 5-10 | 25-50 |
| Alto | >10 | 0-25 |

Potasio

| Contenido | K disponible meq/100g | Dosis K ₂ O (kg ha ⁻¹) | |
|-----------|-----------------------|---|--------|
| | | Baja ³ | Alta |
| Bajo | <0.2 | 60-90 | 90-120 |
| Mediano | 0.2-0.4 | 30-60 | 45-90 |
| Alto | >0.4 | 0-30 | 0-45 |

¹ P disponible extraído por Bray 2.

² K extraído con acetato de amonio normal y neutro.

³ Dosis altas aplican para las variedades PR 61-632, RD 75-11, V 71-51, CC 84-56, CC 84-75 y CC 85-92. Dosis bajas el resto de variedades

Sistema experto de fertilización



Sistema Experto de Fertilización para caña de azúcar

versión 2009

Fernando Muñoz
Cambiar clave | Cerrar sesión

Abc ? [Printer] [Mobile] [Email]

Colombia, 25 de septiembre de 2011

Inicio | AEPS | Herramientas AEPS | SEF

Buscar [Magnifying Glass]

Ingresar al sistema



Talleres de capacitación:
Aprenda con nosotros a utilizar este sistema experto, contacte al [Servicio de Cooperación Técnica y Transferencia de Tecnología](#).

¿Problemas para ingresar?
Si tiene clave de usuario y ha tenido problemas para ingresar al SEF, desactive el bloqueador de elementos emergentes en su navegador. Ver las indicaciones [aquí](#).

¿Qué ofrece esta herramienta?
El Sistema Experto de Fertilización (SEF) es una herramienta que 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 Cenicaña.
El SEF ofrece recomendaciones de fertilizantes y enmiendas para las unidades productivas de caña con especificaciones sobre dosis, épocas, fuentes y métodos de aplicación. Las recomendaciones se generan por consociación de suelo y están basadas en los resultados del [análisis químico del suelo](#) (análisis completo o de caracterización) y algunas características físicas y del cultivo.
El sistema es muy sencillo y fácil de usar. Además de entregar resultados de forma inmediata, el SEF almacena los análisis de suelos y las recomendaciones generadas para cada suerte de caña conservando un archivo histórico de fertilización. El usuario puede ingresar los resultados de un análisis de suelos para obtener la recomendación del sistema o consultar los análisis y recomendaciones que ha solicitado a Cenicaña a partir de 2009.
El SEF entrega en forma detallada los resultados del análisis y las recomendaciones de fertilización o enmiendas por cada muestra de suelo. También entrega en forma resumida la cantidad total de fertilizantes recomendados para ser usados en el área muestreada. Esta última característica permite usar el SEF para la programación de la fertilización de múltiples suertes.

Sistema experto de fertilización



**Sistema Experto de Fertilización
para caña de azúcar**

versión 2009

Fernando Muñoz
Cambiar clave | Cerrar sesión

Abc ? [icon] [icon] [icon]

Colombia, 25 de septiembre de 2011

Inicio | AEPS | [Herramientas AEPS](#) | SEF

Buscar [input type="text"] [icon]

Para ingresar o consultar datos seleccione: Ingenio - Hacienda

RISARALDA [dropdown] [input type="text"] [dropdown]

[[Ingresar nuevo análisis](#)] [[Ver análisis registrados](#)]

| Registro (no.) | Suerte (cód.) | Muestras (no.) | Fecha de recepción (aaaa-mm-dd) | Tipo de análisis | Laboratorio | Generar recomendación | Resultados |
|----------------|---------------|----------------|---------------------------------|------------------|-------------|-----------------------|------------|
|----------------|---------------|----------------|---------------------------------|------------------|-------------|-----------------------|------------|

Nota: En este sistema se encuentran incorporados los resultados de los análisis de suelos que fueron realizados en el laboratorio de Cenicaña desde el primero de enero de 2009. Para generar recomendaciones de fertilizantes y enmiendas de análisis de suelos previos a 2009 es necesario ingresar los resultados de esos análisis desde la opción **Ingresar nuevo análisis**.

Cenicaña no se hace responsable por recomendaciones generadas por el Sistema Experto de Fertilización (SEF) a partir de análisis de suelos que hayan sido realizados con métodos de extracción y/o determinación diferentes a los usados por el laboratorio de Cenicaña. Las metodologías usadas por el laboratorio se mencionan en www.cenicana.org. Las reglas de decisión del SEF han sido formuladas para los suelos y las condiciones agroecológicas del valle geográfico del río Cauca; por lo tanto, no se recomienda usar el SEF para cultivos en otras regiones del país.

¿Inquietudes sobre SEF?
Consulte el [[Glosario de términos](#)]

Contacte a: Fernando Muñoz Arboleda, Ph.D. Edafólogo <fmunoz@cenicana.org>
Oscar García Esparza, Tecnólogo de Laboratorio de Química <ogarcia@cenicana.org>
Teléfono: (2) 687 66 11 – ext. 5146, 5149

Sistema Experto de Fertilización - SEF
Copyright© CENICAÑA 2003 - 2011. Derechos reservados.

[Quiénes somos](#) | [Investigación](#) | [Clima](#) | [Información comercial](#) | [Agricultura Específica por Sitio](#) | [Servicios](#) | [Biblioteca](#) | [Publicaciones](#) | [Cláusulas de confidencialidad](#)

Utilice Internet Explorer 5.0 ó superior. Resolución de 1024 x 768 píxeles. Visores para gráficos y archivos PDF:  Flash  Reader  SVG  Shockwave

Estación Experimental vía Cali-Florida km 26. Tel: (57) (2) 6876611 ext. 5168. Fax: (57) (2) 2607853. Dirección postal: Calle 58 norte No. 3BN-110 Cali - Colombia.
Copyright© CENICAÑA 2003 - 2011. Derechos reservados.

Sistema experto de fertilización



Resultado del análisis químico del suelo y recomendaciones de fertilizantes y enmiendas

| Descripción del análisis | | Métodos de extracción |
|---|-----------------------|-----------------------|
| Fecha del análisis: 2014-02-04 | Laboratorio: cenicana | |
| Registro: 34 | Ingenio: RS | |
| Tipo de análisis: Análisis de Caracterización | Hacienda: 000630 | |
| Observaciones: | | |

Resultado del análisis químico del suelo*

| Muestra | Suerte | Consociación | Área muestreada | pH | M.O. | P | K | Ca | Mg | Na | Al | Si | S | CE | PSI | CIC | Drenaje | Encharcamiento | M.P. | N.F. | Variedades | Corte | Arena | Arcilla | Limo | Textura |
|---------|--------|--------------|-----------------|-----|------|----|-----|----|----|----|----|----|---|----|-----|-----|--------------|----------------|----------|-------------|------------|-------|-------|---------|------|---------|
| 1 | 7 | CT | 5 | 6,5 | 2,33 | 45 | 0,3 | 6 | 3 | | | | | | | | Bien Drenado | Si | Profundo | Superficial | CC 85-92 | Soca | 15 | 65 | 20 | AR |

Recomendaciones de fertilizantes y enmiendas (dosis en kg)

[Vista detallada](#) [Vista resumen](#)

Muestra (no.): 1
Suerte (cód.): 7 Área: 5 ha

Nitrógeno (N): 146 kg/ha. En banda e incorporado al suelo. . Aplicar a los 45 días después del corte.

Potasio (K2O): 53 kg/ha. En banda e incorporado al suelo . . A los 45 días del corte junto con el Nitrógeno .

* *Resultado del análisis químico del suelo:* **Muestra:** Número de la muestra. **Suerte:** Código de la suerte. **Consociación:** Símbolo de los suelos identificados en el estudio detallado de suelos. **Área muestreada:** Área muestreada en la suerte (ha). **pH:** pH. **M.O.:** Materia Orgánica (%). **P:** Fósforo (ppm). **K:** Potasio (meq/100g). **Ca:** Calcio (meq/100g). **Mg:** Magnesio (meq/100g). **Na:** Sodio. **Fe:** Hierro (ppm). **Mn:** Manganeseo (ppm). **Zn:** Zinc (ppm). **Cu:** Cobre (ppm). **B:** Boro (ppm). **Al:** Aluminio. **Si:** Silicio. **S:** Azufre. **CE:** Conductividad eléctrica (dS/m). **PSI:** Porcentaje de sodio intercambiable (%). **CIC:** Capacidad de intercambio catiónico (meq/100g). **Drenaje:** Drenaje del suelo. **Encharcamiento:** Encharcamiento periódico. **M.P.:** Material Parental. **N.F.:** Nivel Freático. **Variedad:** Variedad de caña sembrada. **Corte:** Número de Corte. **Arena, Arcilla, Limo (%)**. **Textura:** Textura del suelo. Proporción en que se encuentran las fracciones arena, limo y arcilla en un suelo. Existen 12 tipos de textura del suelo: arenoso (A), arenoso-franco (AF), franco-arenoso (FA), franco (F), franco-limoso (FL), limoso (L), francoarcillo-arenoso (FArA), franco-arcillo-limoso (FArL), franco-arcilloso (FAr), arcillo-arenoso (ArA), arcillo-limoso (ArL) y arcilloso (Ar).

Metodos de determinación: **pH:** Potenciométrico. **C.E:** Conductivimétrico (extracto de saturación). **M.O:** Colorimétrico (Walkley-Black). **Fósforo:** Espectroscopía de absorción atómica **Cationes intercambiables** (calcio, magnesio, sodio y potasio): espectroscopía de absorción atómica. **Azufre:** Turbidimétrico.

Nota: Cenicana no se hace responsable por recomendaciones generadas por el Sistema Experto de Fertilización (SEF) a partir de análisis de suelos que hayan sido realizados con métodos de extracción y/o determinación diferentes a los usados por el laboratorio de Cenicana. Las metodologías usadas por el laboratorio se mencionan en www.cenicana.org. Las reglas de decisión del SEF han sido formuladas para los suelos y las condiciones agroecológicas del valle geográfico del río Cauca; por lo tanto, no se recomienda usar el SEF para cultivos en otras regiones del país.

¿Inquietudes sobre SEF?

Consulte el [\[Glosario de términos\]](#)

Contacte a: Fernando Muñoz Arboleda, Ph.D. Edafólogo <fmunoz@cenicana.org>
Oscar García Esparza, Tecnólogo de Laboratorio de Química <ogarcia@cenicana.org>
Teléfono: (2) 687 66 11 – ext. 5146, 5149

OPTIMIZACION DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

- Aislamiento BFN:
Fijación de N y SPC
- Abonos verdes
- Vinaza, compost



- Sistema hidropónico
- Curvas de absorción

La disminución de 1 saco de urea (50 kg) en el área productora de caña representaría una disminución aproximada de **USD\$3.262.000** por ciclo en los costos del cultivo, además de la ganancia ambiental.



ISNT y DSD

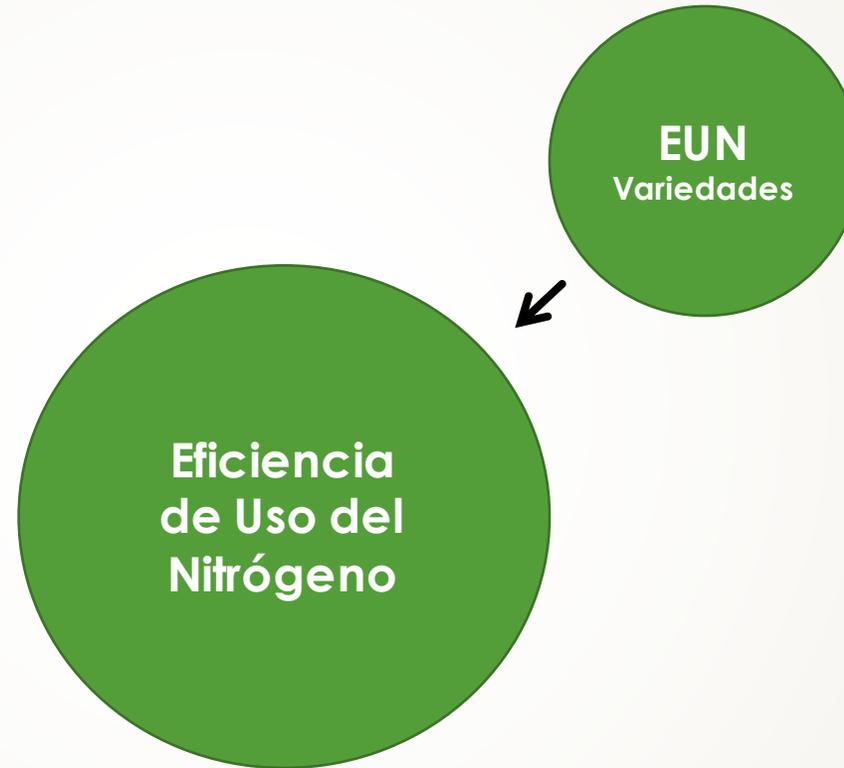


Optimización
de la
Fertilización

4R

- Dosis
- Fuente
- Tiempo
- Localización

OPTIMIZACION DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA DE LA CAÑA DE AZÚCAR



- Sistema hidropónico
- Curvas de absorción

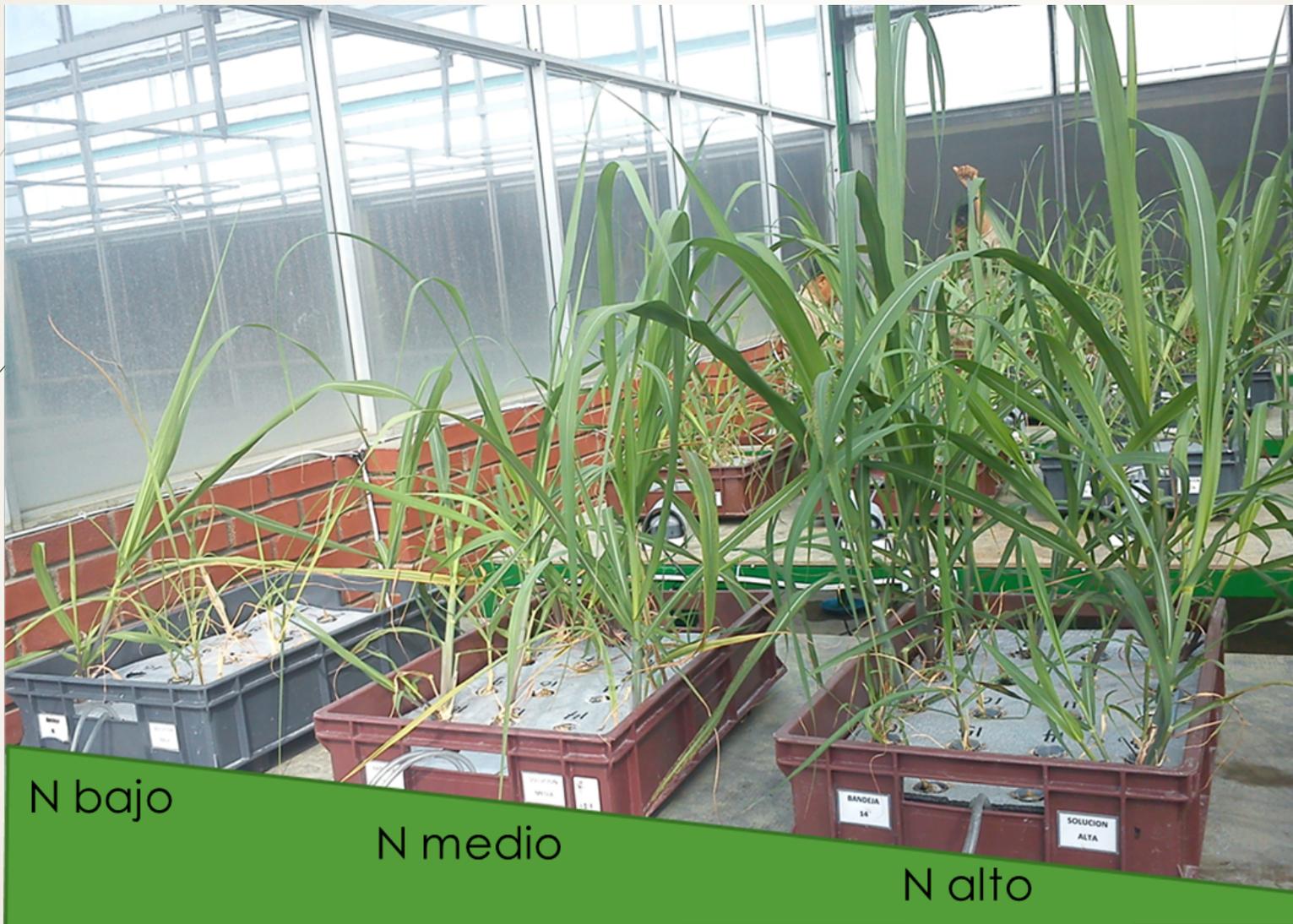
Eficiencia de uso de N de las variedades

TRATAMIENTOS

| N 10 mM | NO₃ | NH₄ |
|--------------|-----------------------|-----------------------|
| Sol 1 | 87.5% | 12.5% |
| Sol 2 | 50.0% | 50.0% |
| Sol 3 | 12.5% | 87.5% |



Eficiencia de uso de N de las variedades

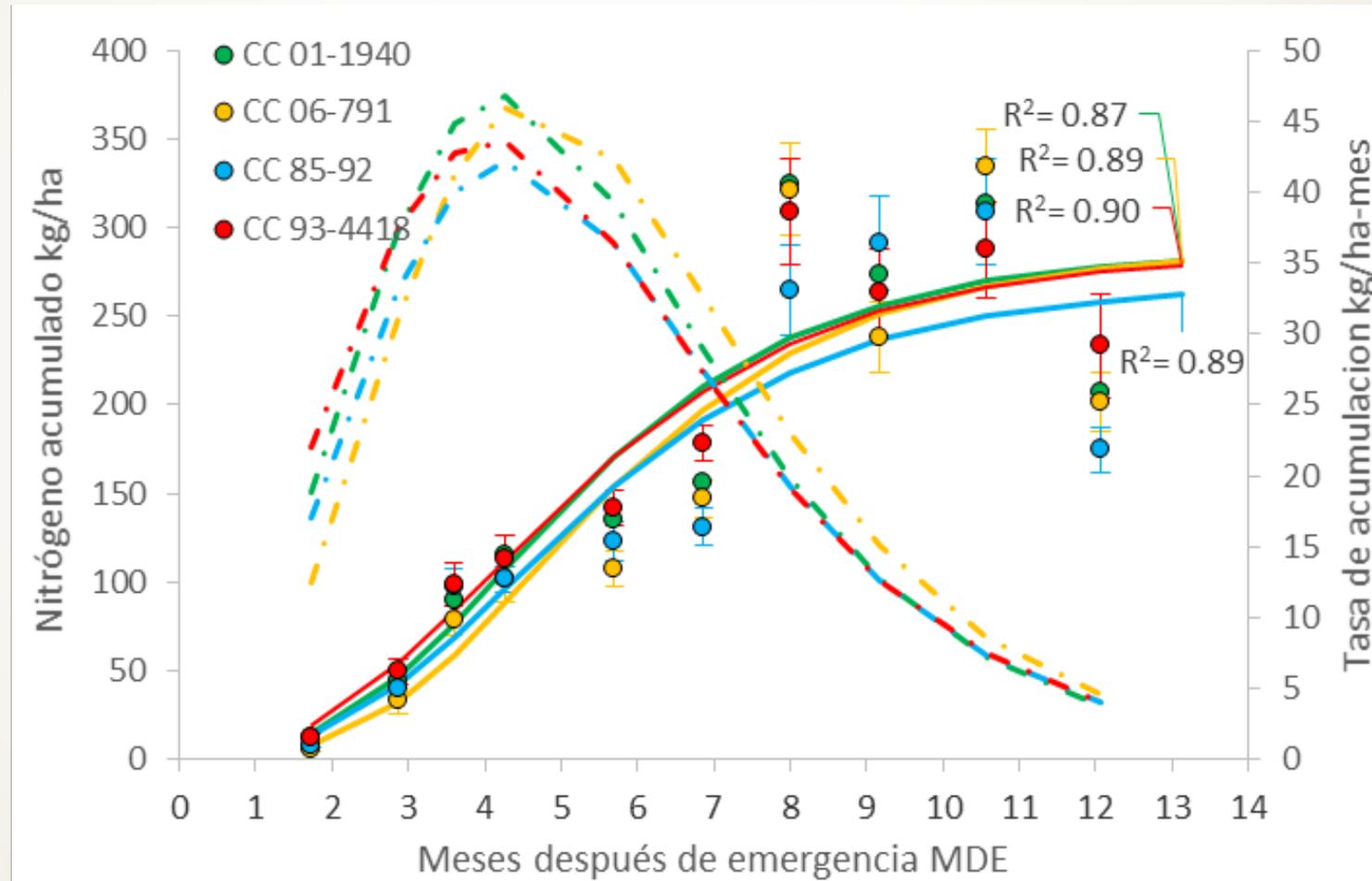


N bajo

N medio

N alto

Curvas de absorción de nutrimentos



OPTIMIZACION DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

- Aislamiento BFN:
Fijación de N y SPC
- Abonos verdes
- Vinaza, compost

Fijación
Biológica
de
Nitrógeno



Eficiencia
de Uso del
Nitrógeno

Fijación biológica de N



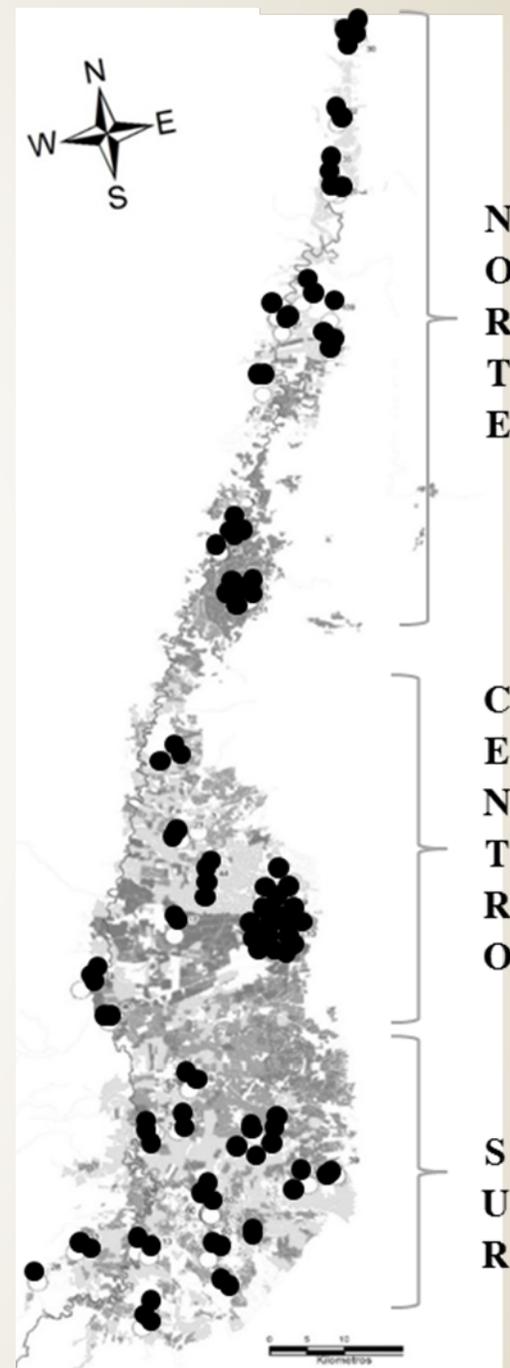
TALLOS



HOJAS



**RAICES Y
SUELO RIZOSFÉRICO**



Fijación biológica de N

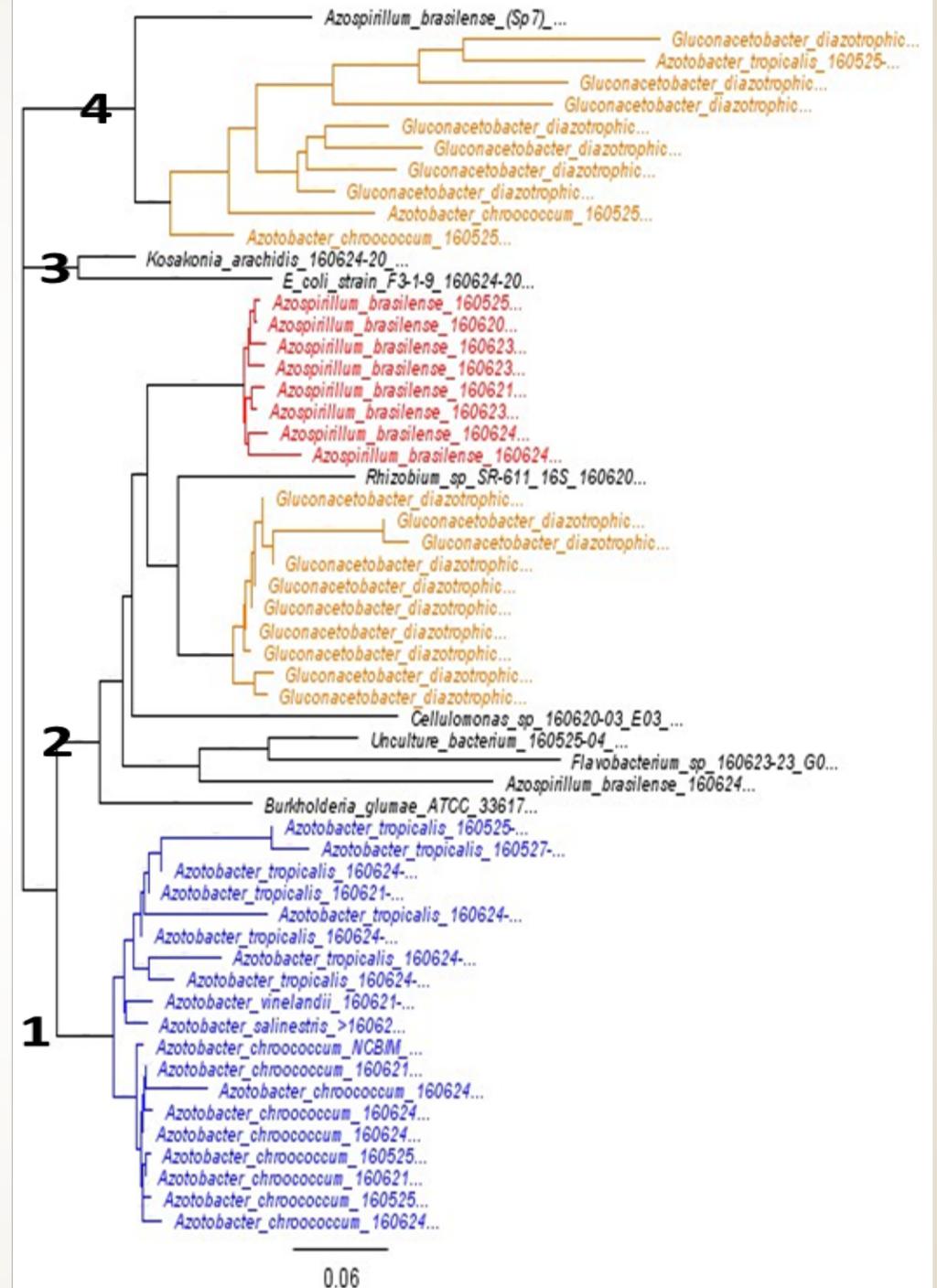


134 aislamientos de bacterias fijadoras de Nitrógeno

Fijación biológica de N

Identificación molecular

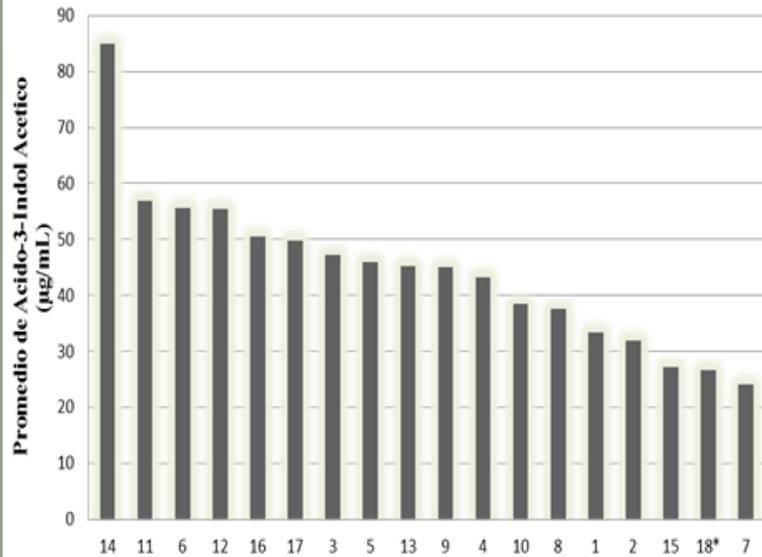
- **Cuatro (4) grupos Homólogos en la región 16S rDNA.**
- **Se confirma el genero y la especie bacteriana.**
- **Se han obtenido bacterias fijadoras de nitrógeno de otros géneros**



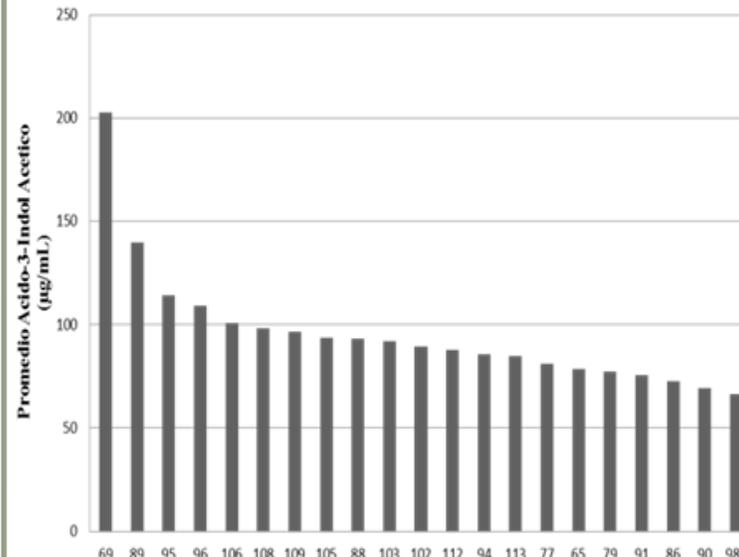
Producción de sustancias promotoras de crecimiento

Producción de ácido 3-indolacético

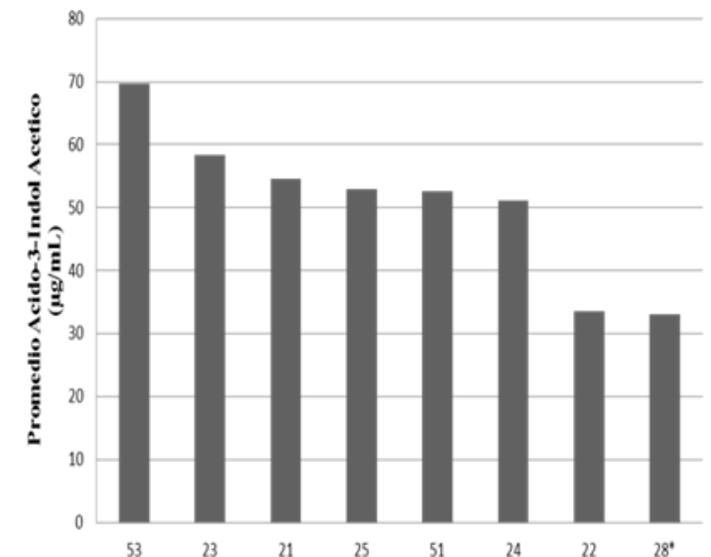
Azospirillum spp



Azotobacter spp



Gluconacetobacter spp



Abonos verdes

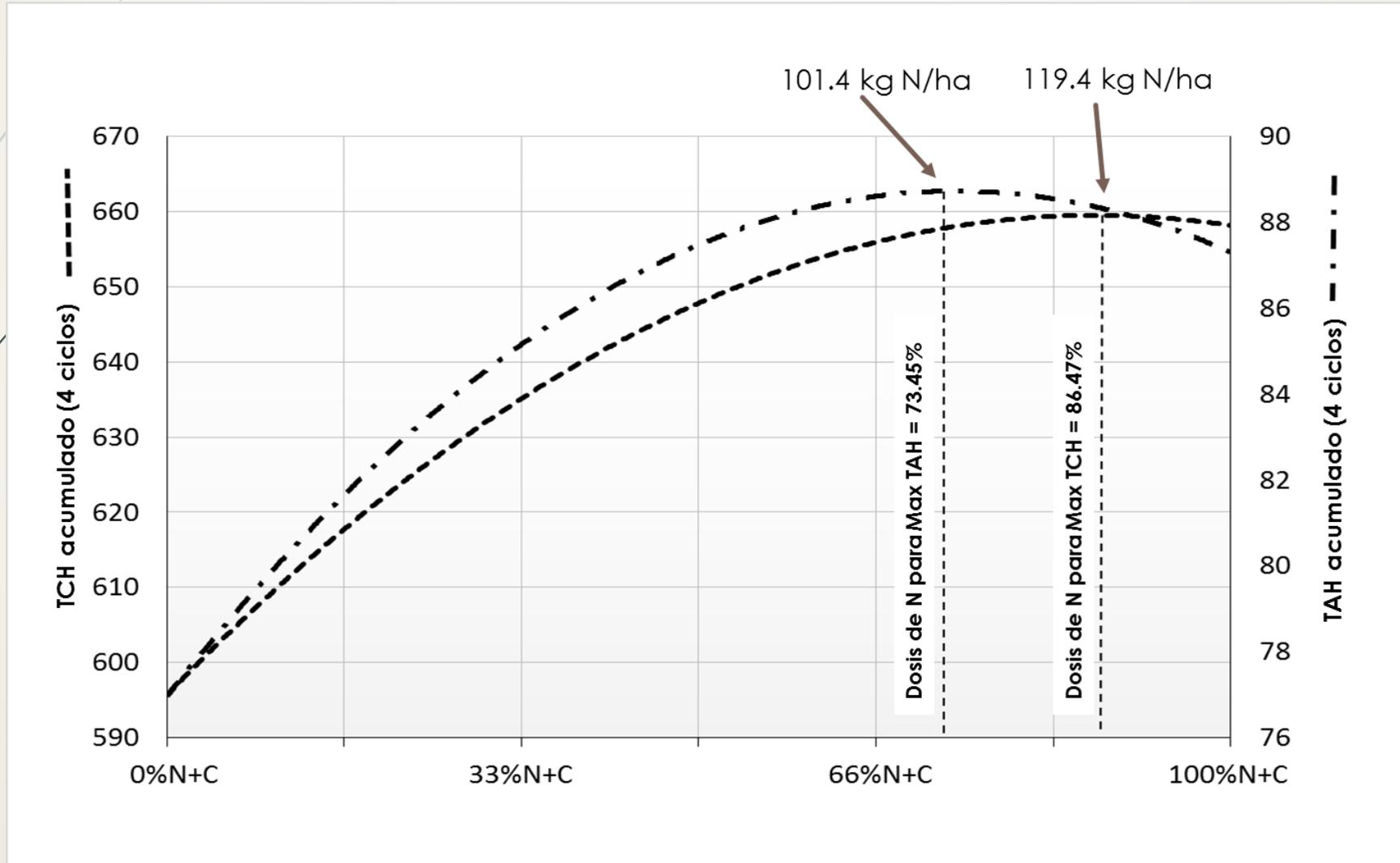
Caupí (*Vigna unguiculata*)

Incorporación entre 45 y 50 días después de la siembra o corte

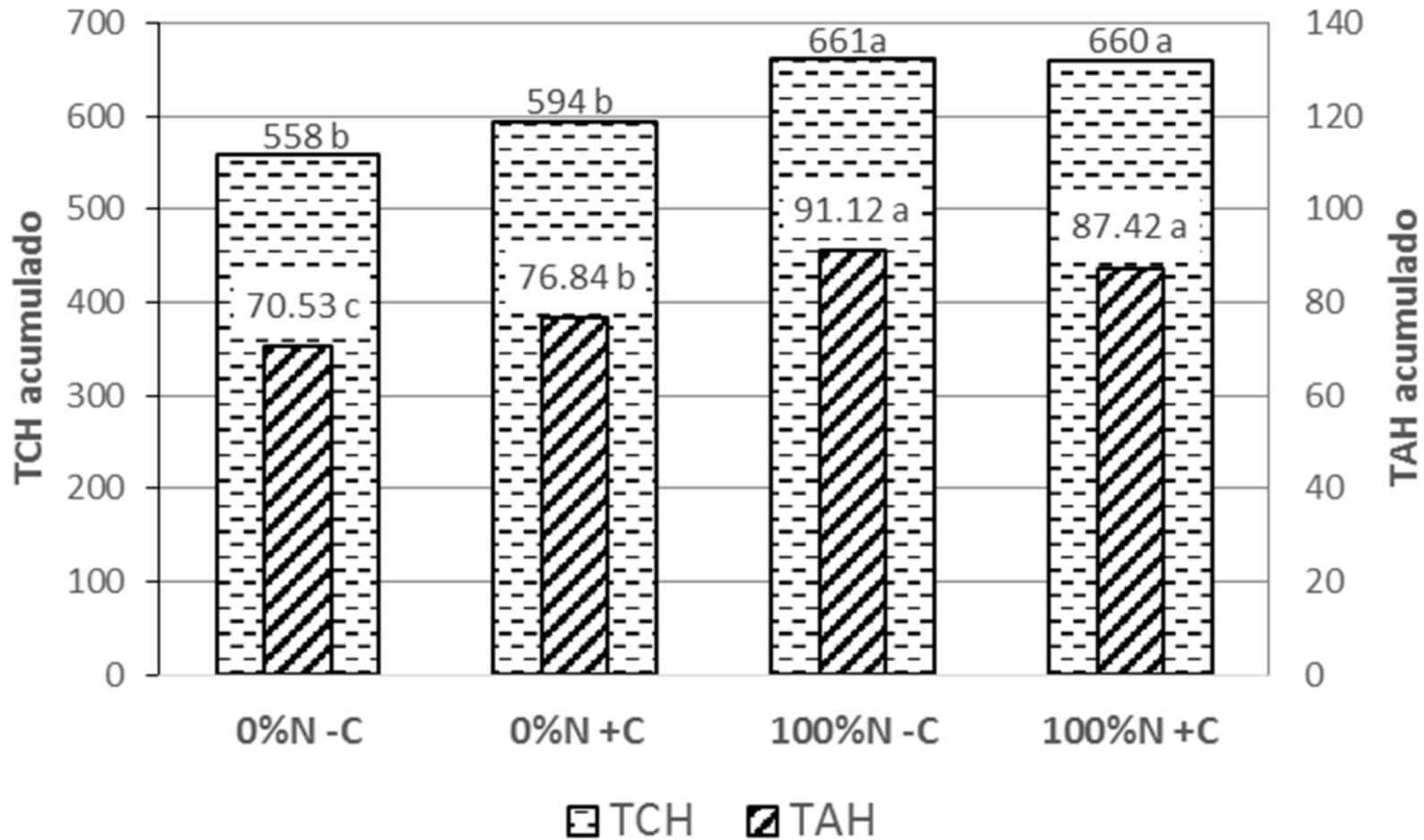


La biomasa del caupí incorporado estuvo entre 380 y 480 kg/ha m.s. y aportó entre 8.4 y 10.6 kg N/ha

Abonos verdes



Abonos verdes



Diferencias significativas al nivel del 5%

Vinaza



Aplicación manual

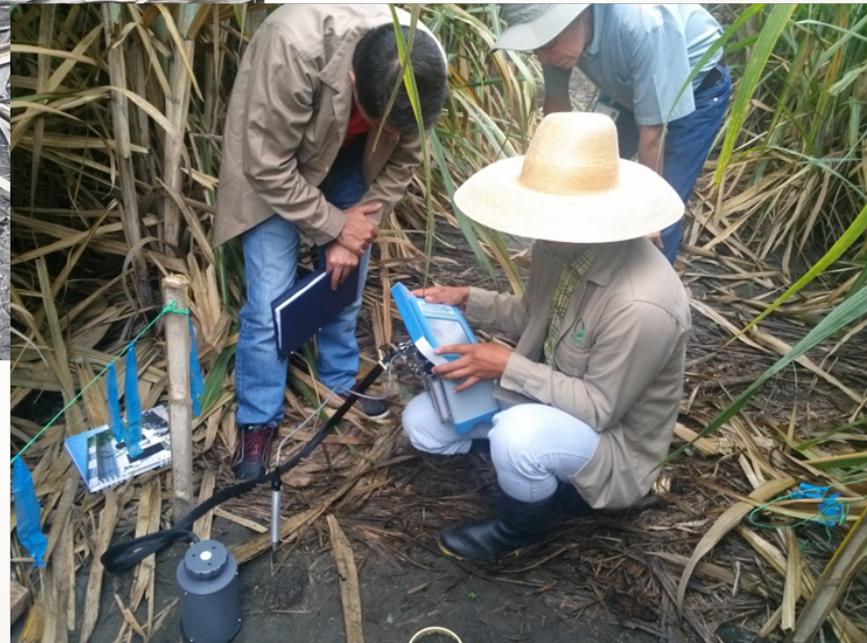


Aplicación mecanizada

- Actualmente la vinaza en mezcla con nitrógeno está siendo usada en el sector productor de la caña para aplicación directa al cultivo permitiendo aprovechar su calidad de fertilizante orgánico.

Vinaza

Medición de la respiración del suelo

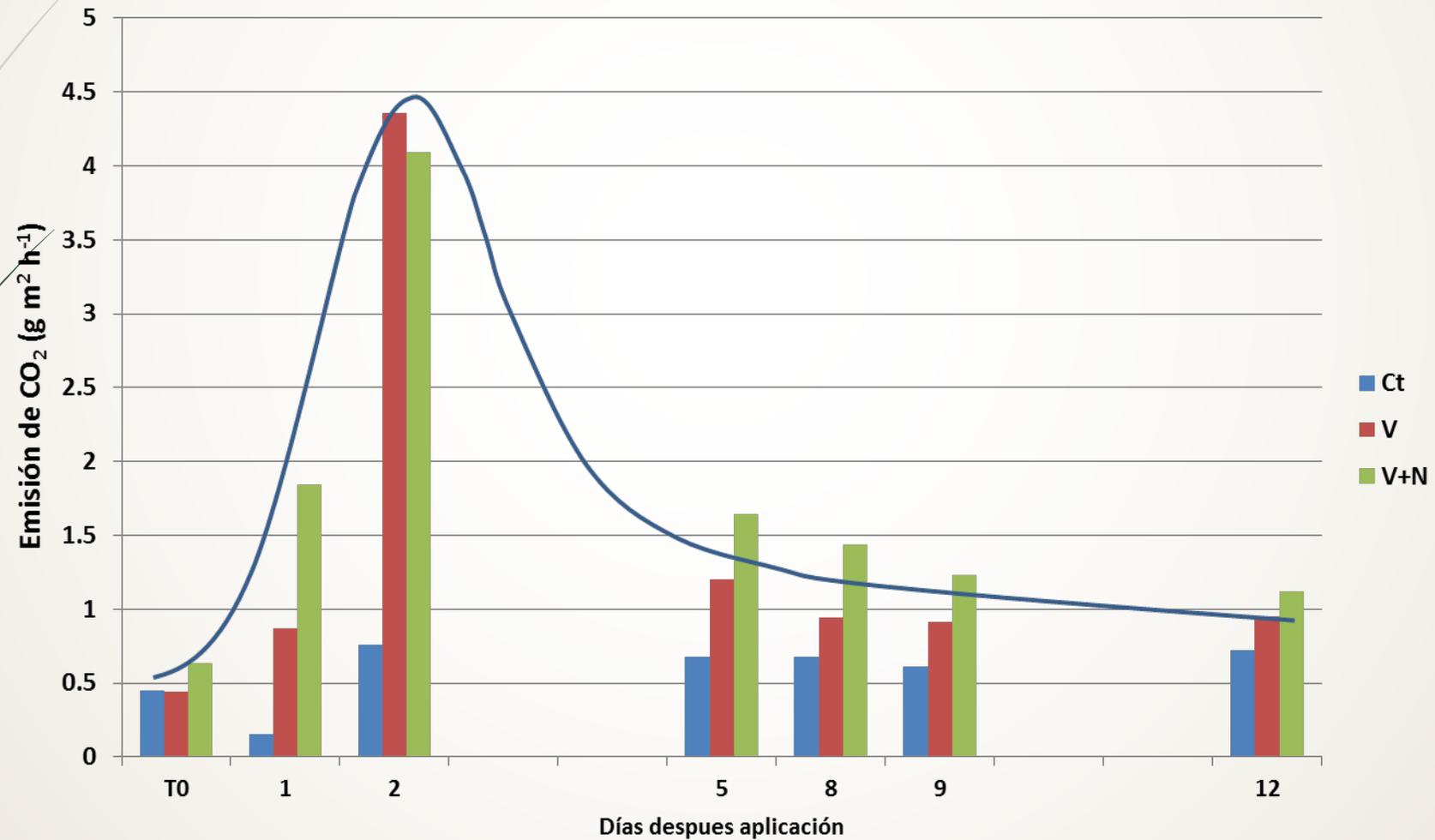


Tratamientos:

- Control
- Vinaza (9m³ ha)
- Vinaza+N (9m³ +190 kg/ha)

Vinaza

Respiración del suelo



Compost

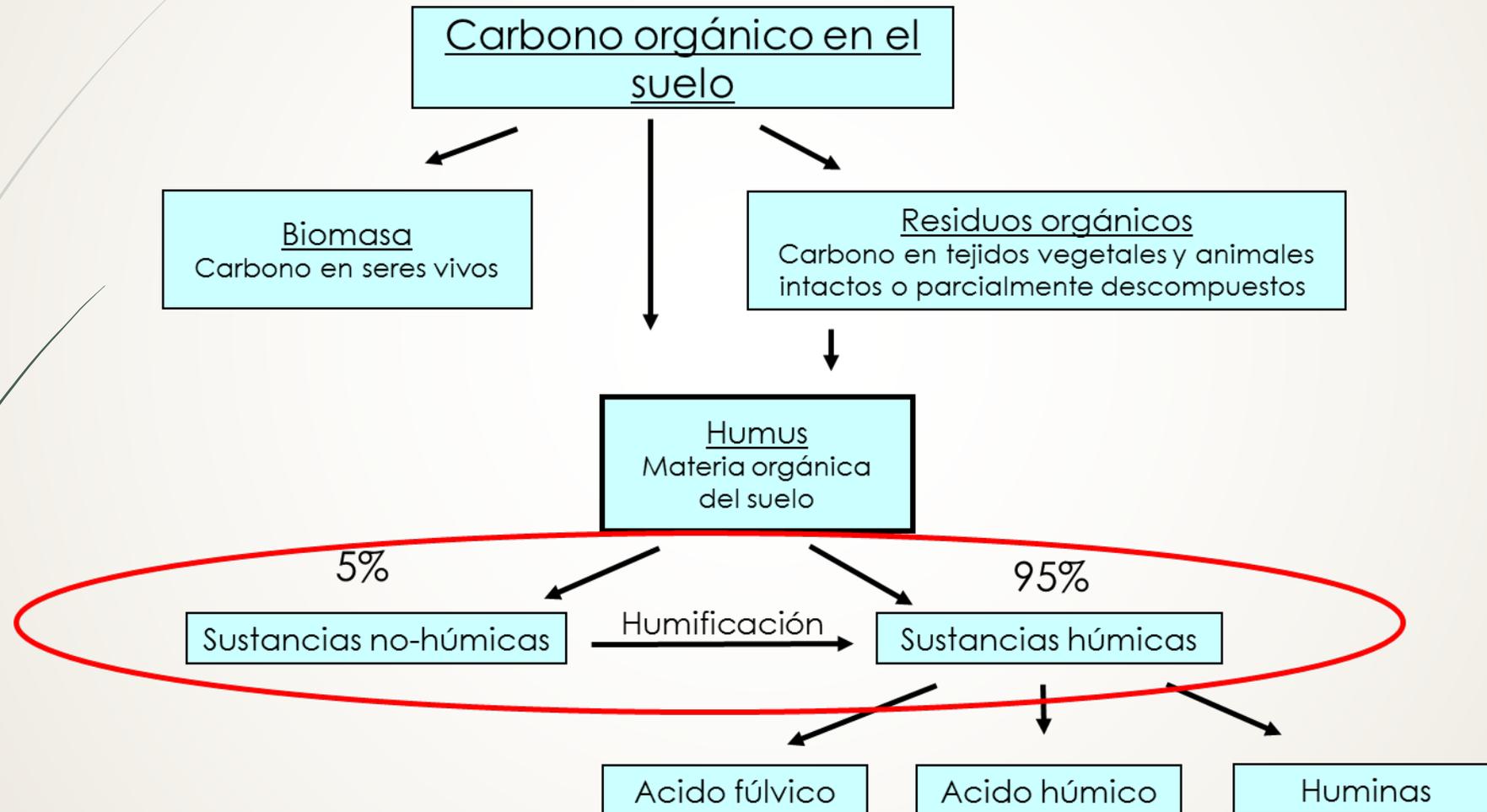


OPTIMIZACION DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

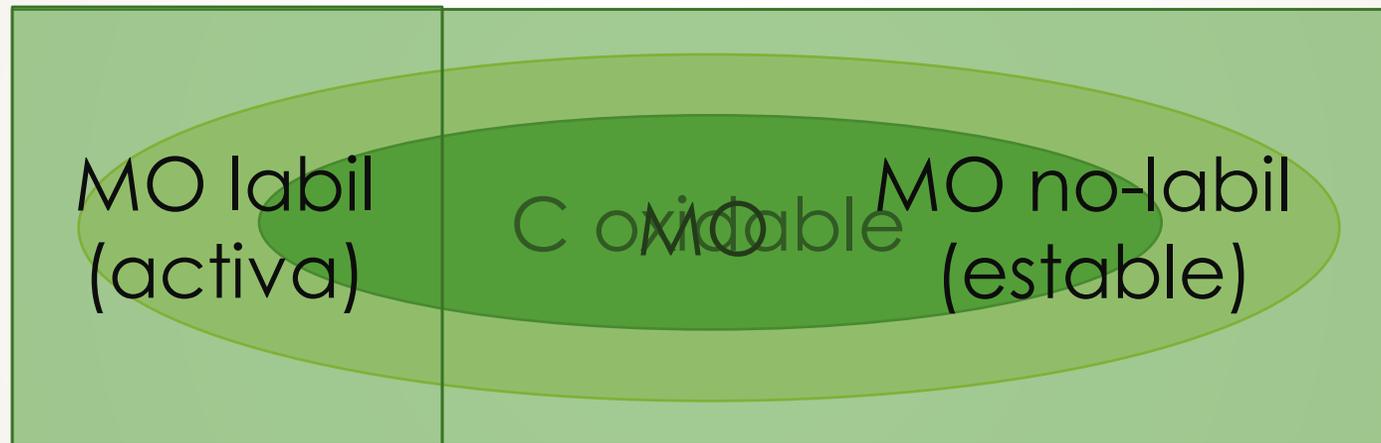


ISNT y DSD

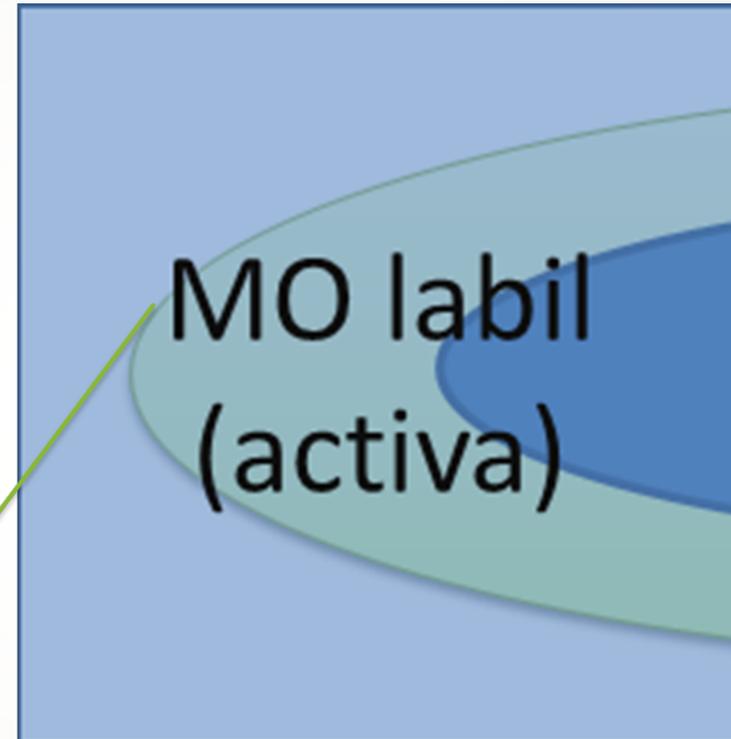
La materia orgánica y sus fracciones



Determinación de N disponible



Determinación de N disponible

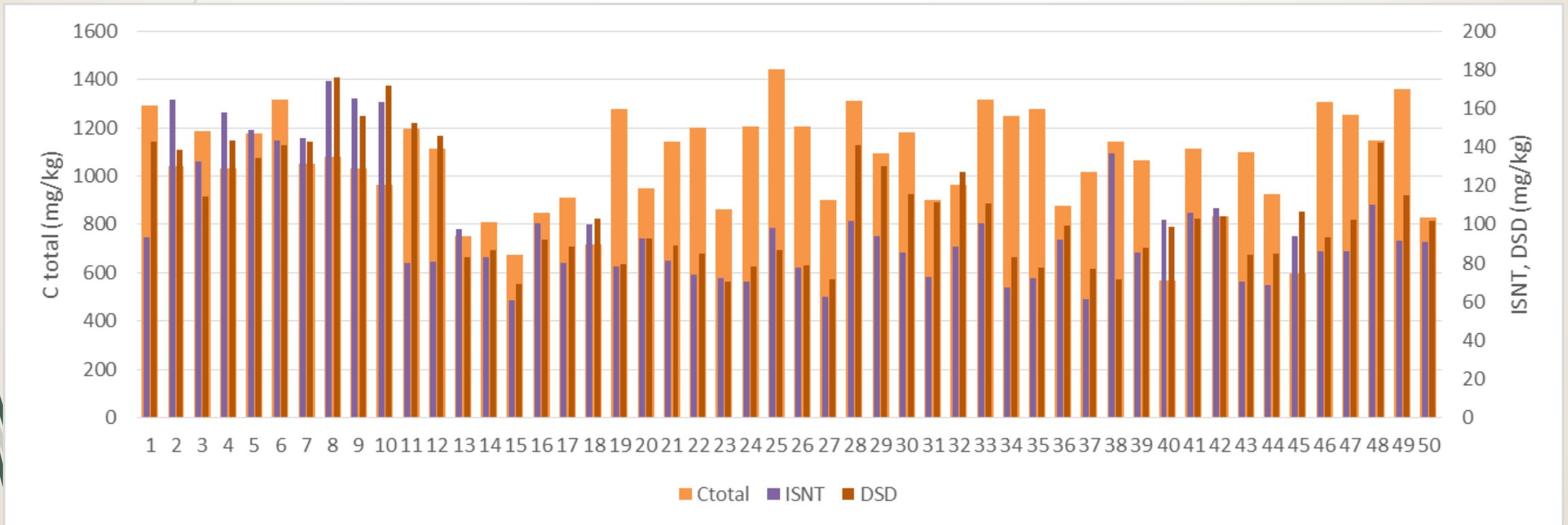


N labil

(rapidamente mineralizable)

Illinois Soil Nitrogen Test (ISNT)
Direct Steam Distillation (DSD)

Metodologías para la determinación del N rápidamente mineralizable: ISNT y DSD



OPTIMIZACION DE LA NUTRICIÓN NITROGENADA DE LA CAÑA DE AZÚCAR

Eficiencia
de Uso del
Nitrógeno

Fertilización

4R

- Dosis
- Fuente
- Tiempo
- Localización

El gran reto es caracterizar la gran variabilidad espacial de nuestros suelos

- En el valle del río Cauca se identificaron 238 suelos
- Los suelos se pueden encontrar mezclados en patrones muy variables en áreas relativamente pequeñas.
- El establecimiento de experimentos en condiciones de suelos tan variables es un gran inconveniente
- La determinación del manejo agronómico comercial adecuado bajo condiciones tan variables se hace muy complejo

Caracterización espacial del suelo

Profiler EMP-400 GSSI

Inducción electromagnética

Conductividad eléctrica aparente

- Asociada con humedad
- Salinidad
- Textura



CENICAÑA Lote 24

Suelo Florida (Entic Haplustoll)

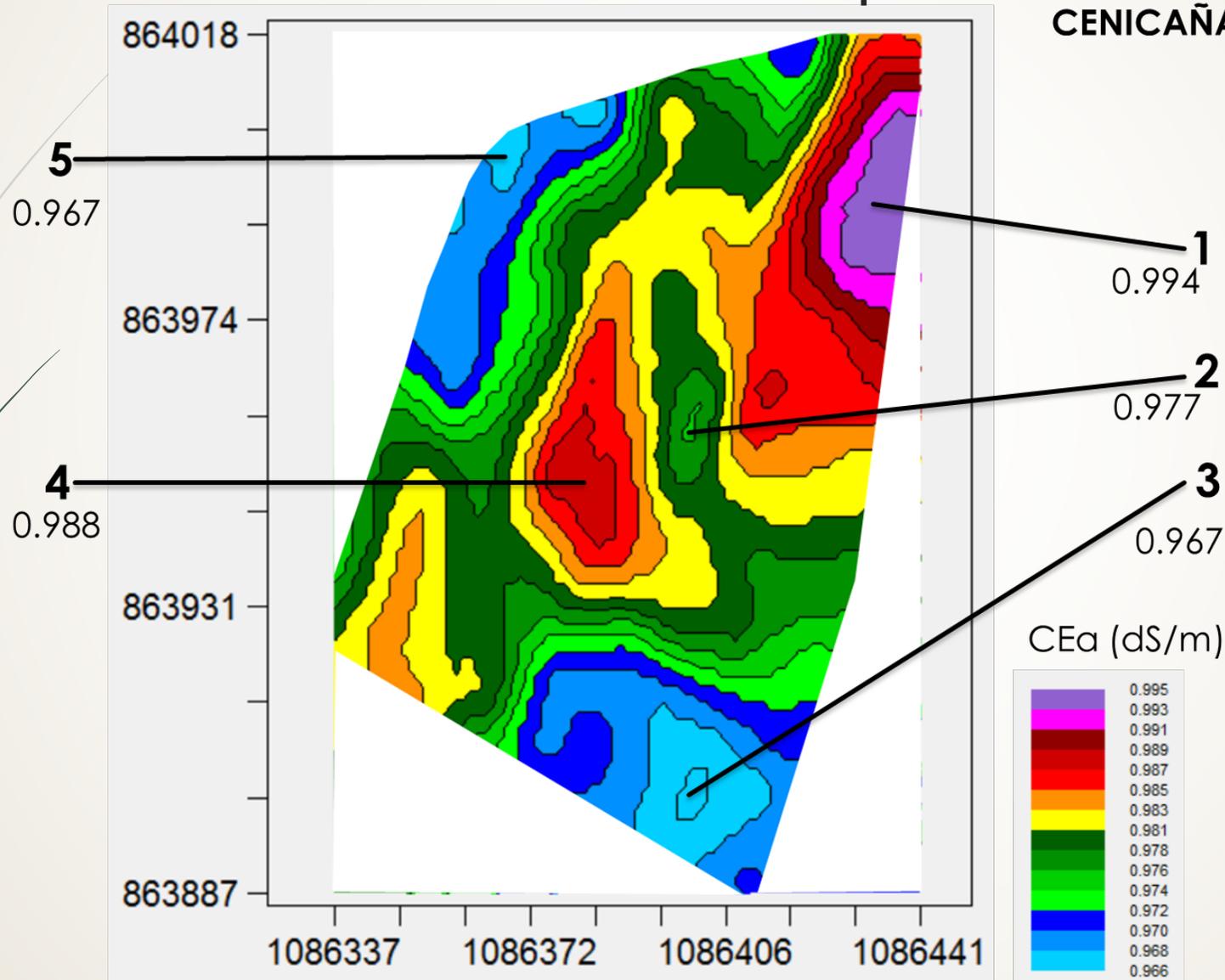


Suelo Cantarina (Pachic Vertic Haplustoll)



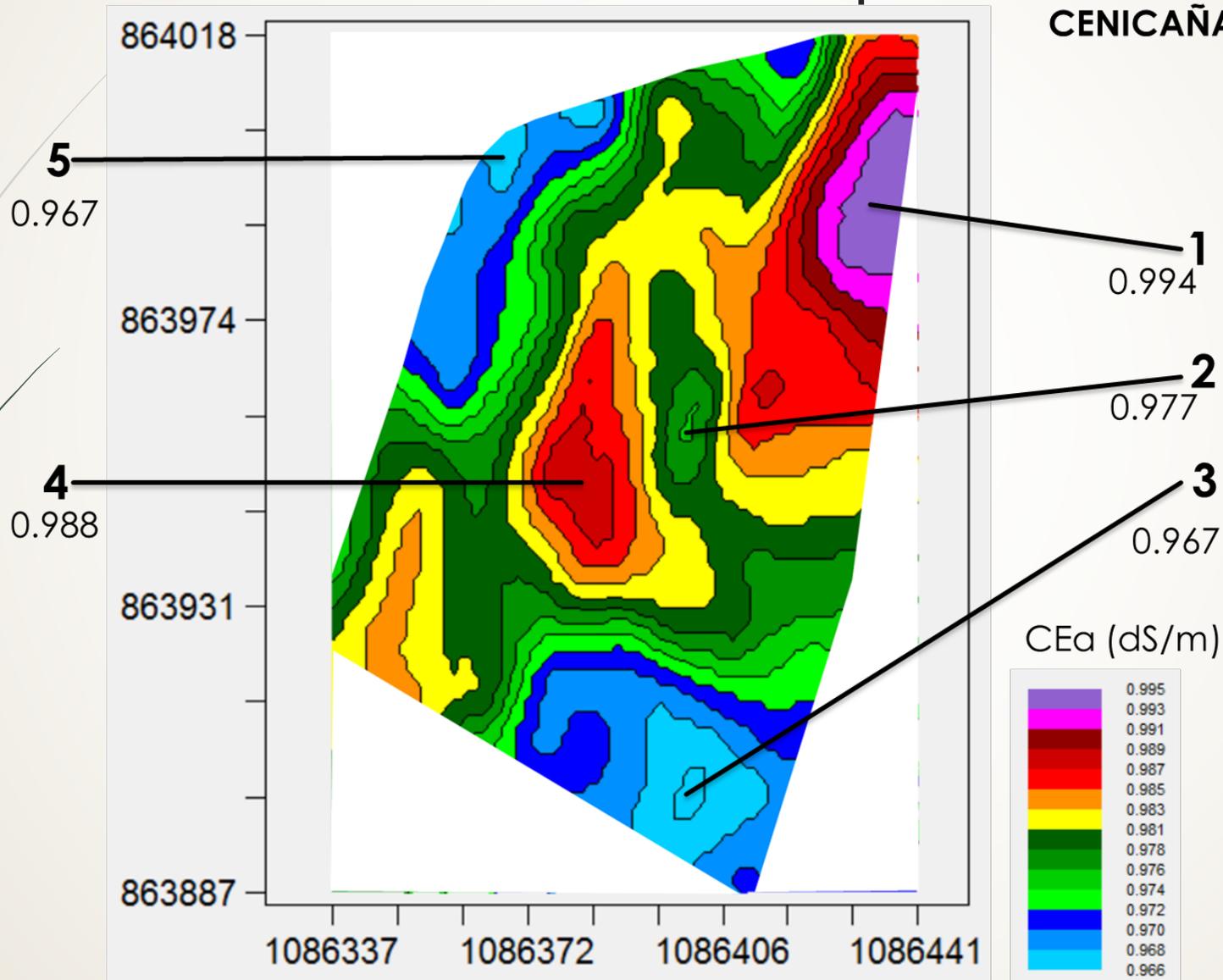
Caracterización espacial del suelo

CENICAÑA Lote 24



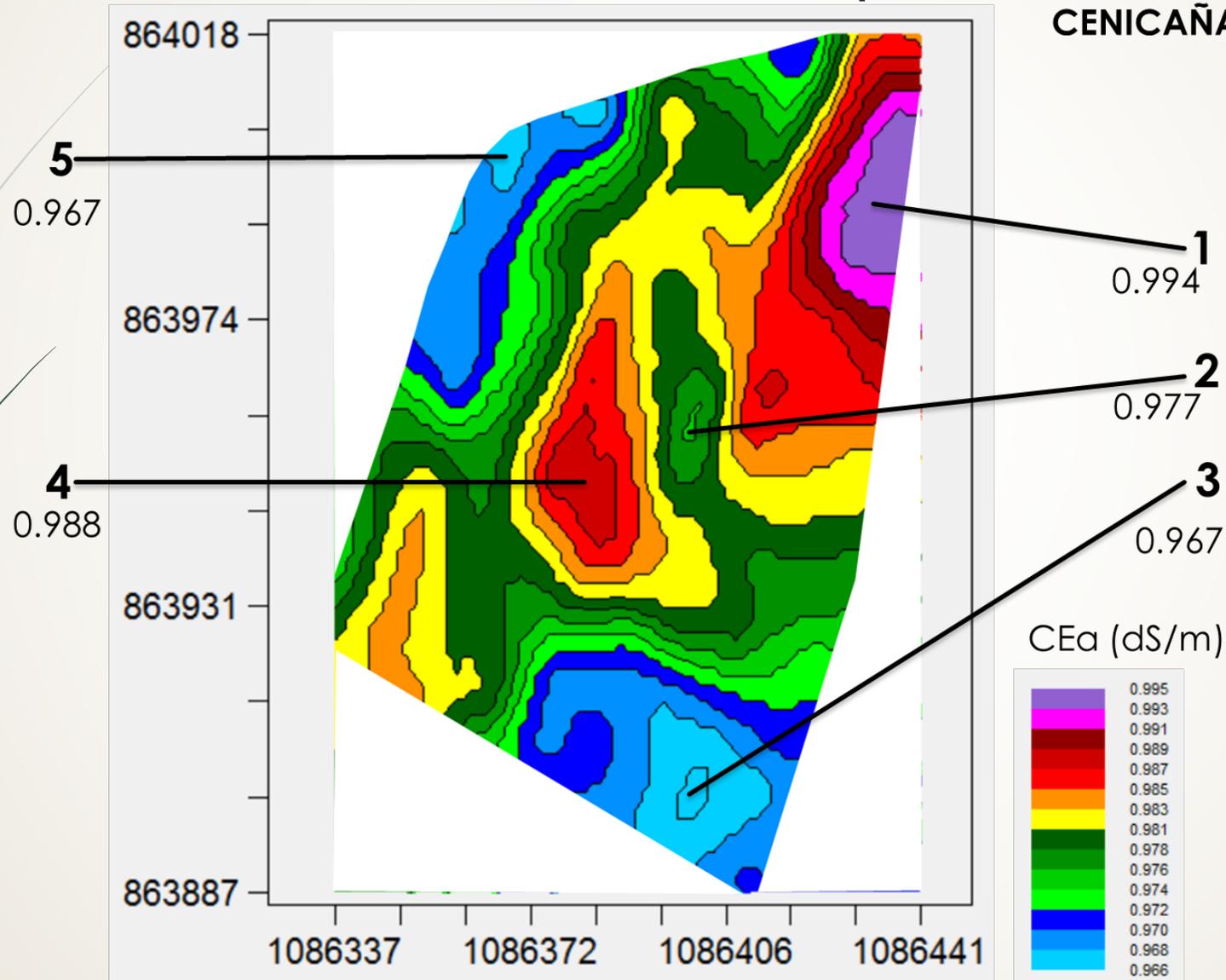
Caracterización espacial del suelo

CENICAÑA Lote 24



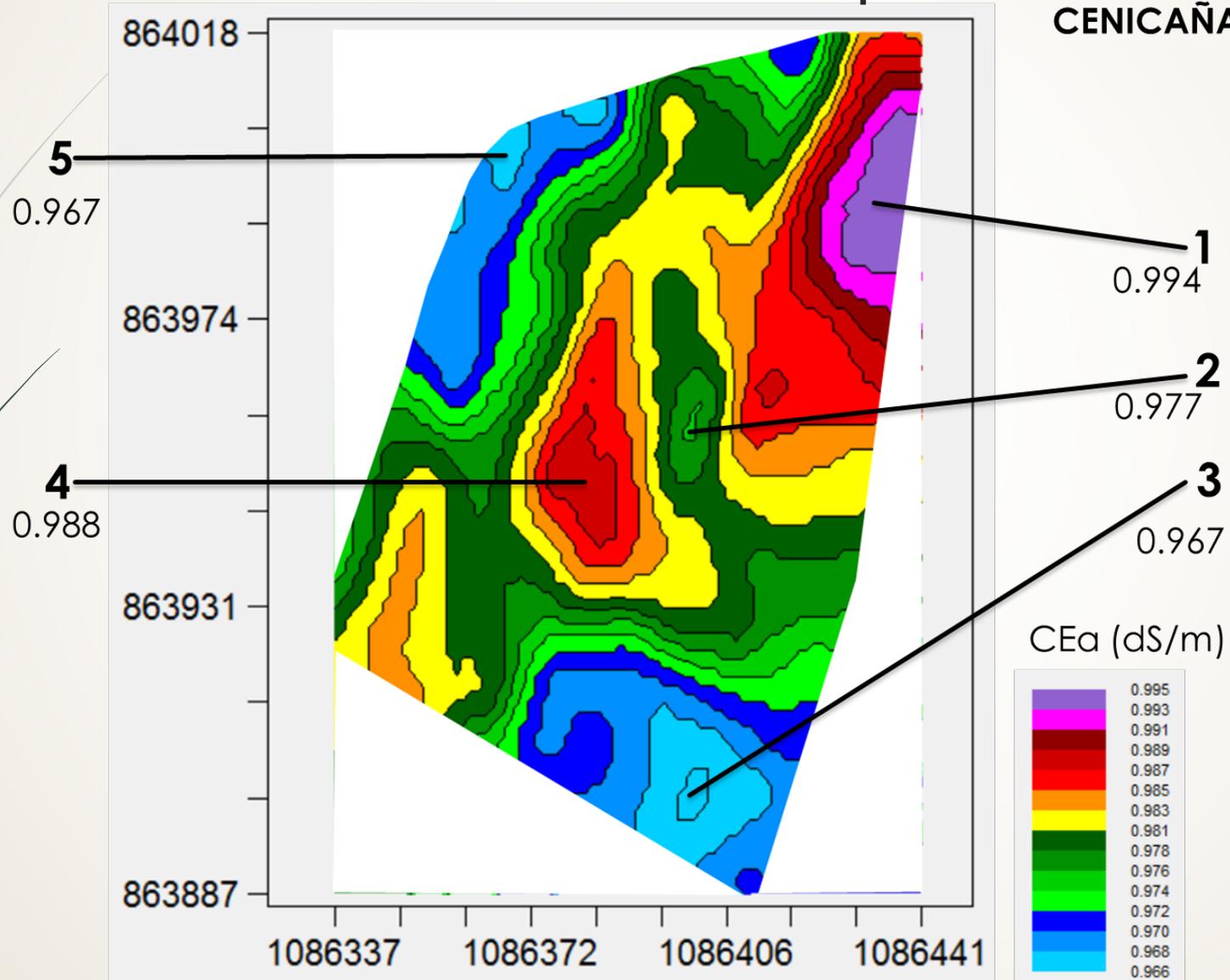
Caracterización espacial del suelo

CENICAÑA Lote 24



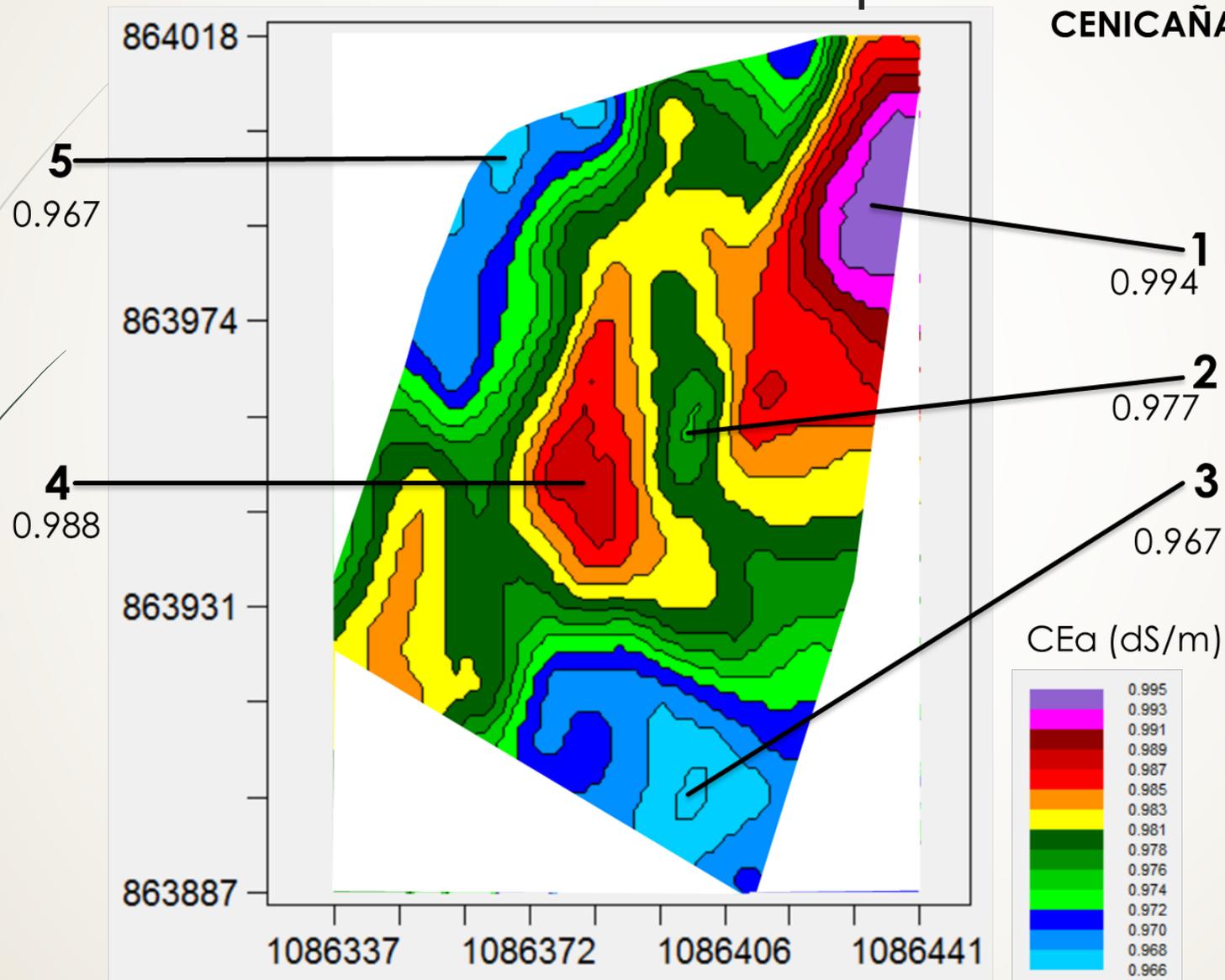
Caracterización espacial del suelo

CENICAÑA Lote 24



Caracterización espacial del suelo

CENICAÑA Lote 24





cenicaña

Centro de Investigación
de la Caña de Azúcar de
Colombia

