Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Técnicas aplicables a la gestión del suelo

Geofísica Aplicada y Simulación Numérica para Caracterización de la contaminación del suelo

John Jairo Márquez Molina
Ing. Agrícola – UN Palmira – UNIVALLE
Mag. Ing. Recursos Hídricos - UNL
Dr. en Ciencias Agropecuarias – UBA
Correo: John.marquez@correounivalle.edu.co

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Situación Actual y Retos

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Aumento de la población (en los años próximos)

Demandaran:
- Servicios
- Recursos
- Alimentos

Agricultura + Agro-Industria

Fuente: https://sites.google.com/site/alexcologia/crecimiento-poblacional

Sin GSS

Degradación del Suelo
Física – Química - Biológica

Con GSS

Se reduce o
Se mitiga

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Importancia de la Gestión del Suelo

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

El uso y la gestión sostenible de los suelos están vinculados con numerosos ámbitos del desarrollo sostenible. Hay una necesidad urgente de detener la degradación de la tierra y el agotamiento de los nutrientes del suelo y establecer marcos para la gestión sostenible de la tierra y de los suelos (FAO, 2015).

Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura

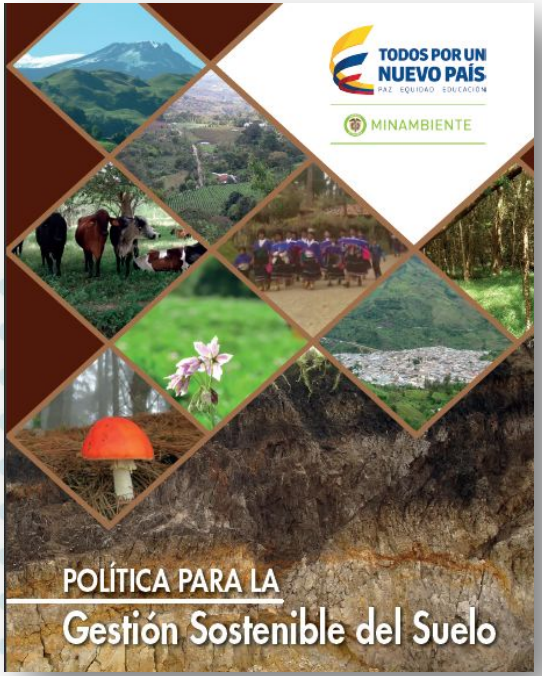
2015
Año Internacional de los Suelos

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Importancia de la Gestión del Suelo

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente



A nivel Nacional: Se establece un **Plan de acción para la gestión sostenible del suelo,** formulándose seis líneas estrategias, donde se destacan:

- ✔ **Línea estratégica 4**. Monitoreo y seguimiento a la calidad del suelo.
- ✔ **Línea estratégica 5**. Investigación, innovación y transferencia de tecnología.

Evaluación de la contaminación Agrícola ** Compleja**

- **Medio altamente variable en el espacio (suelo).**
- **Variabilidad espacial y temporal de los contaminantes.**
- **Costos económicos.**

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Evaluación de la contaminación en el suelo

- A **nivel internacional** existe un interés creciente en **investigar los efectos de la contaminación agrícola en suelos y el agua subterránea.**
- **Vacíos en la investigación** respecto a la distribución de estos contaminantes en la **zona no saturada**.
- **Necesidad de establecer cuál es la dinámica** de estos contaminantes y cuál sería su **impacto sobre el recurso suelo y agua.**
- Es necesario disponer de **datos completos** y de **alta calidad** para el uso de **modelos numéricos**, que sirvan en la **toma de decisiones sostenibles**.

Corregimiento de Berlín. Inicio [Página de Facebook]. Facebook.
Recuperado el 02/06/2021.
https://www.facebook.com/pg/berlintonasantander/posts/

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Aplicación de Técnicas - GSS

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

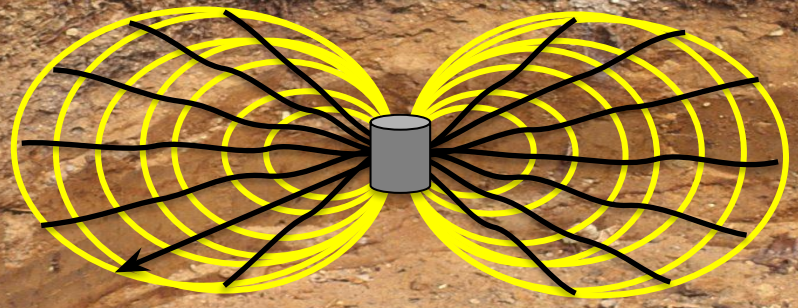
CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Contaminación del Suelo

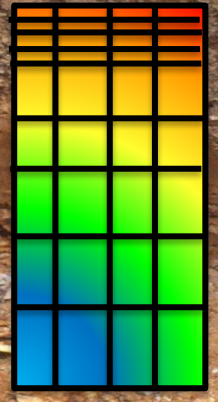
Variación
Prop. (físicas – Químicas)

Variación (X,Y,Z)
$\Delta\theta$ y Conc. (solutos)

Geofísicas



Modelos Numéricos



$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial z}\left[K(\theta)\frac{\partial \psi}{\partial z}\right] - \frac{\partial K(\theta)}{\partial z}$$

$$\frac{\partial \theta C}{\partial t} = -\frac{\partial qC}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z}\left(\theta D \frac{\partial C}{\partial z}\right)$$

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

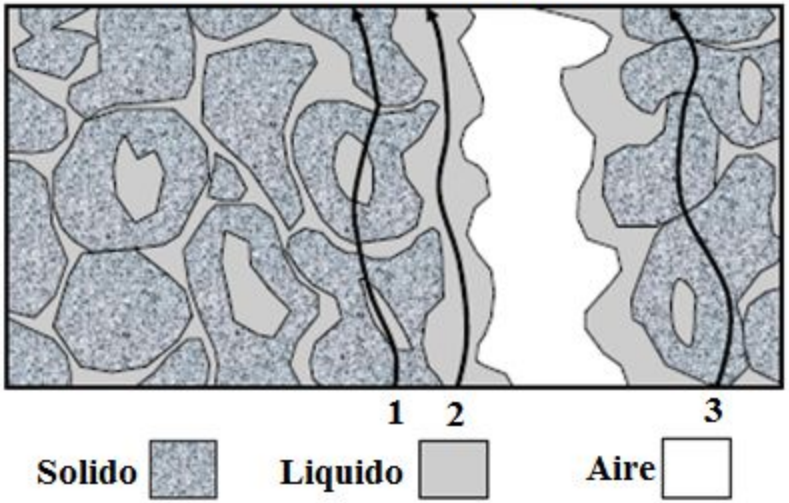
Geofísica Aplicada

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Conductividad eléctrica y relaciones con propiedades del suelo

Caminos de conducción eléctrica
sección transversal de un suelo



**Adaptado de Rhoades et al. (1989) y Corwin & Lesch (2003).

La CE se define para un medio heterogéneo como el suelo como CEa

Relación con propiedades del suelo:

- ✔**Salinidad de la solución,**
- ✔**Porcentaje de saturación,**
- ✔**Densidad aparente,**
- ✔**Contenido de agua volumétrica,**
- ✔**Textura**
- ✔**Concentración de sustancias en fase liquida**

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Métodos Geofísicos:

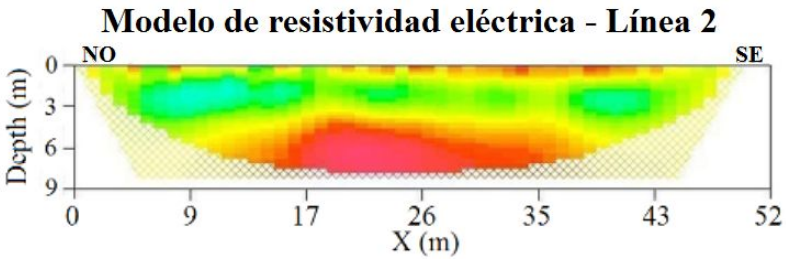
Métodos resistivos (TRE)

$$\rho = \frac{\Delta V}{I} \cdot \frac{2\pi}{\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} - \frac{1}{AN} + \frac{1}{BN}\right)}$$

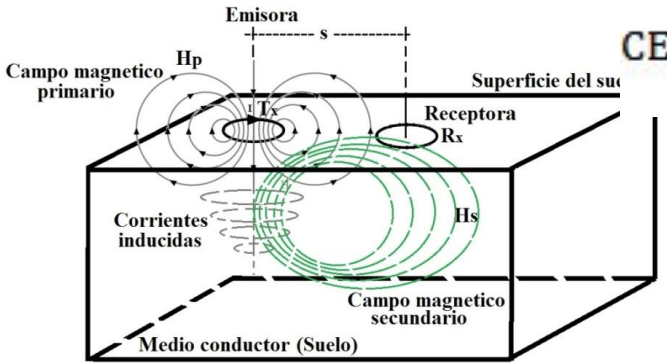
Dipolo - Dipolo

$k = \pi n(n+1)(n+2)a$

$$CE_{TRE} = \frac{1}{\rho}$$

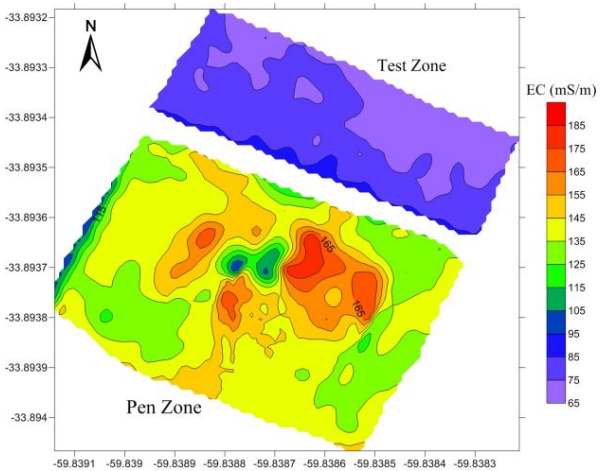


Métodos de inducción electromagnética (EMI)



$$CEa = \frac{4}{i\omega\mu_0 s^2} \cdot \left(\frac{H_s}{H_p}\right)$$

McNeil (1980)



Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

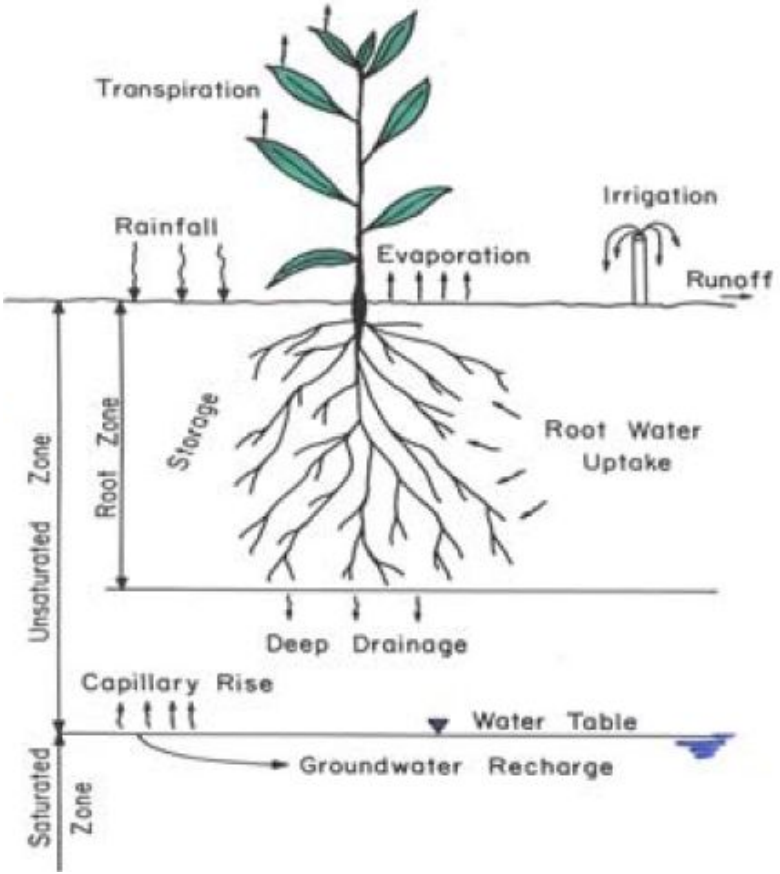
Aplicación Modelo Numéricos

cenicaña
Centro de Investigación de la

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

Aplicaciones en la Agricultura

- Precipitación
- Irrigación
- Escurrimiento superficial
- Evapotranspiración
- Extracción de agua por raíces
- Ascenso capilar
- Drenaje profundo
- Fertiirrigación
- Pesticidas
- Fumigaciones
- Coloides
- Patógenos

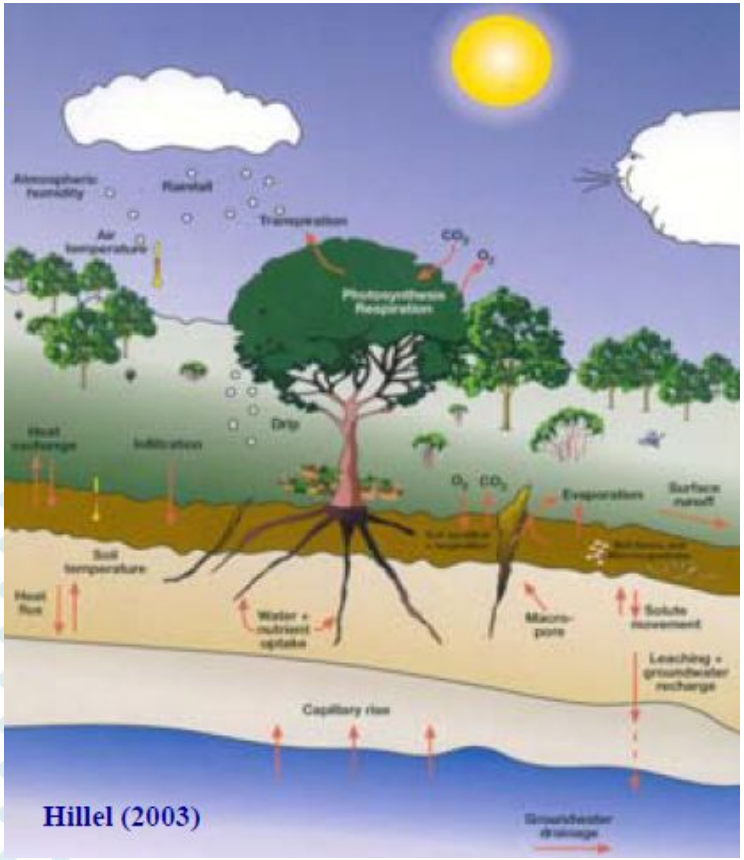


Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Aplicación Modelo Numéricos

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente



Aplicaciones Ambientales

- Flujos y balances de carbón
- Flujos e intercambio de calor
- Transporte de nutrientes
- Intercambio gaseoso
- Procesos microbiológicos
- Efectos del cambio climático
- Sistemas de humedales
- Interacción sistemas río-acuífero.

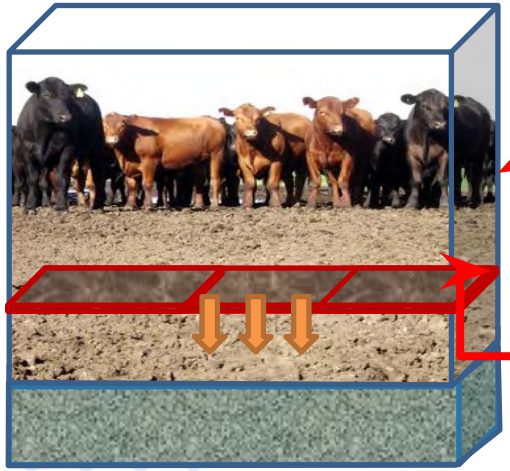
Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Ejemplo de Aplicación

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Impacto Ambiental de los feedlot en el suelo



Son sistemas complejos con una alta dinámica y grandes volúmenes de efluentes que aportan sustancias potencialmente contaminantes (nutrientes, patógenos, GEI y MTP)

A nivel de corral si bien es cierto que la presencia de una capa compacta limita la infiltración. No es menos cierto que dicha capa no es homogénea, razón por la cual se ve comprometida la calidad del suelo y el agua subterránea.

Se buscó pasar de una fase cualitativa a una cuantitativa, en cuanto lo que es el flujo y transporte de los posibles contaminantes.

Se **emplearon métodos geofísicos**, que no son usualmente utilizados en este tipo de estudios, pero que facilitan el conocimiento de la distribución espacial de los contaminantes.

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Desarrollo Metodológico

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Geofísica Aplicada

Hidro-Geofísica

Geofísica

Datos Geofísicos

Muestreo Dirigido

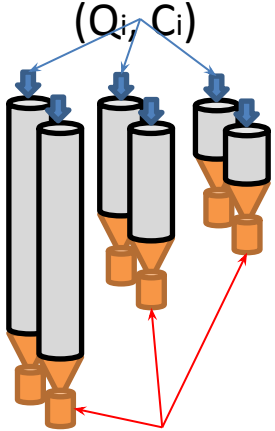
Patrones de Variabilidad CEa vs textura, humedad, N-NO_3 y P, sales.

Parámetros hidrodinámicos (Ksat)

Muestreo representativo

Columnas de suelo "Seudo-Inalteradas"

(Q_i, C_i)



Ensayos de Lixiviación

(Q_f, C_f)

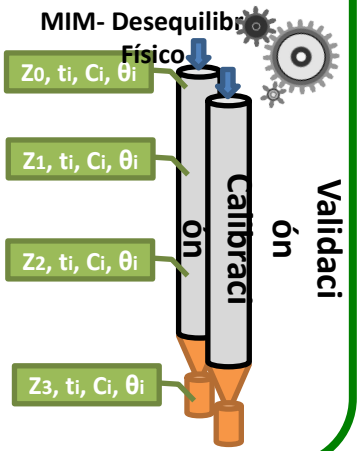
Variabilidad de las Prop. del suelo

ANVA

Aplicación Modelo de flujo y Transporte

Modelo HYDRUS-1D

MIM- Desequilibrio Físico



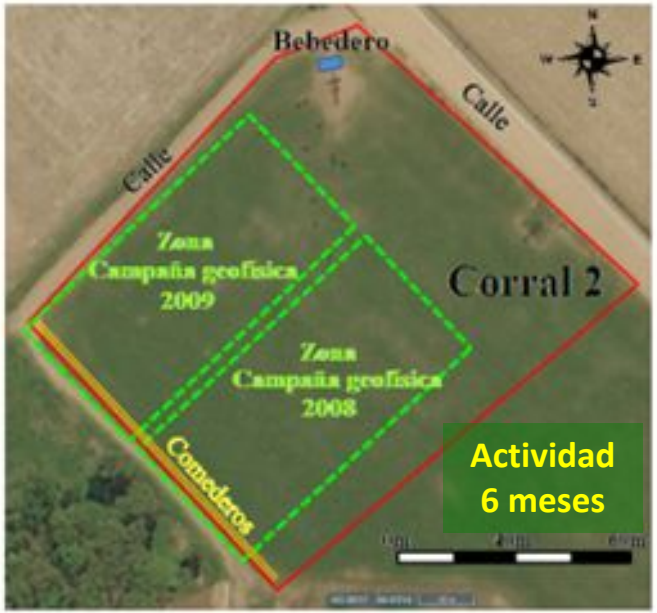
Simulación
Esc. manejo

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Desarrollo Metodológico

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente



Suelos:
Hapludoles énticos.
Textura: **franco arenosos**

P. media: 900 a 950 mm/año

Profundidad N.E:

C-1: 0.5 m a 3 m

C-2: 7 m a 11 m

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

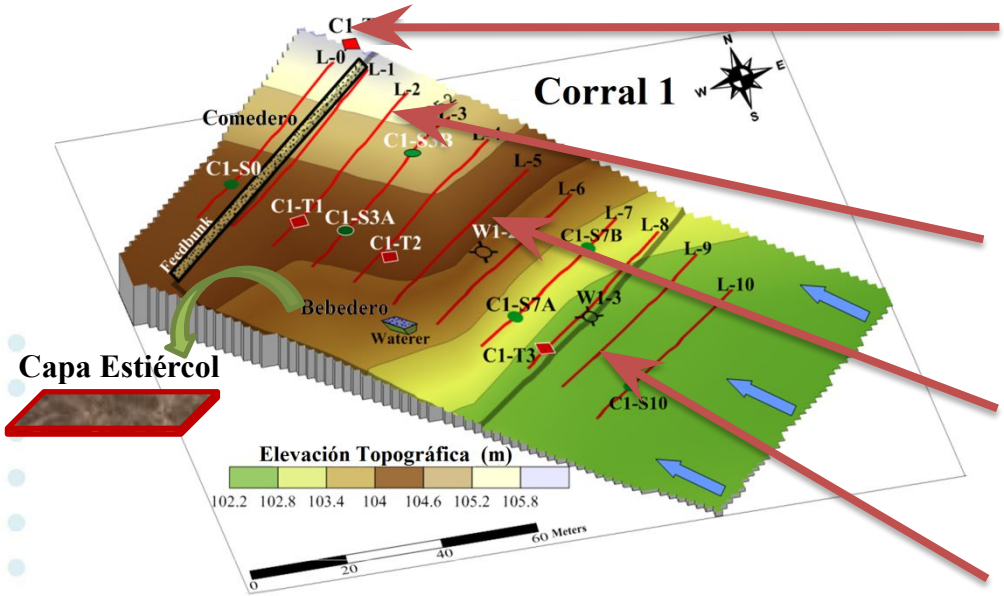
Síntesis de Resultados

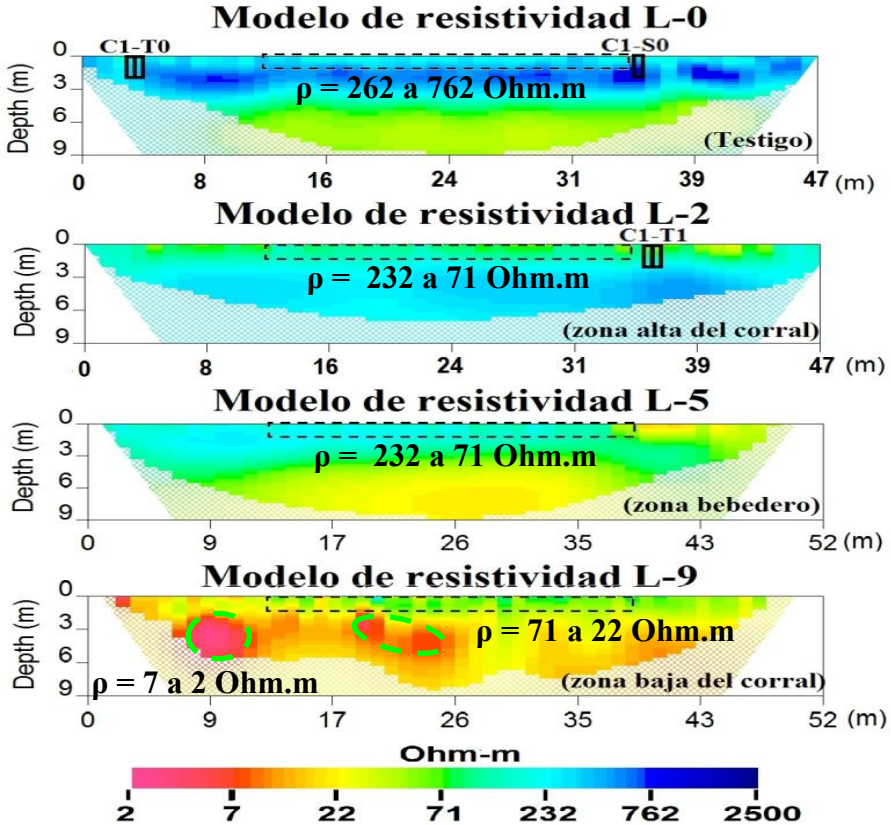
Evaluación geofísica – Caso Trenque Lauquen

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente



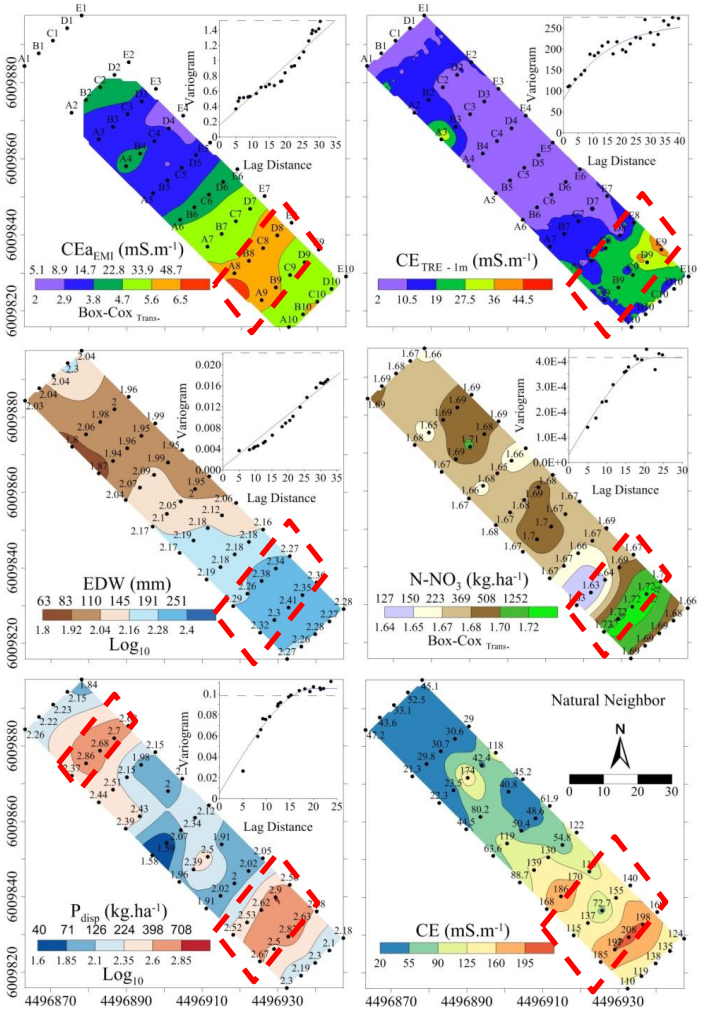


Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Correlaciones de la CEa y propiedades del suelo



Análisis de variabilidad espacial de la CEa$_{EMI}$ y CE$_{TRE}$ y su relación con la distribución de propiedades del suelo

Corral 1

Zonas de anomalía – muestreo profundo

Propiedad		r	Corral
CE$_{TRE}$	EDW	0,75	C1
	P$_{disp}$	0,84	
	EDW	0,81	C2
	N-NO$_3$	0,72	
	Topo	-0.61	

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Selección de columnas representativas

Tratamientos de Lixiviación

- T1: Sin carga de estiércol
- T2: Con carga de estiércol
- T3: Carga de estiércol + Dife. VP

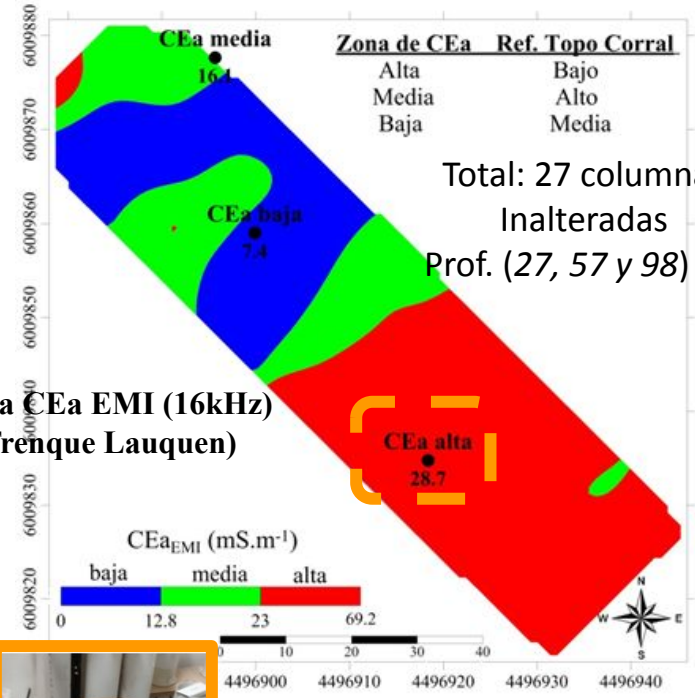
Factores de Variación

- Profundidad de columna
- Zona de CEa
- VP drenado

Mayores [ ] Parámetros	Diferencias significativas		
	Profundidad	**Zona CEa**	**VP**
N-NO3 CE	Superficial	Indiferente	Inicial
Psolu	Superficial y Profunda	Alta	Final
pH	Profunda	Alta	Final

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca



Total: 27 columnas Inalteradas
Prof. (*27, 57 y 98*) cm

Mapa CEa EMI (16kHz) (Trenque Lauquen)

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

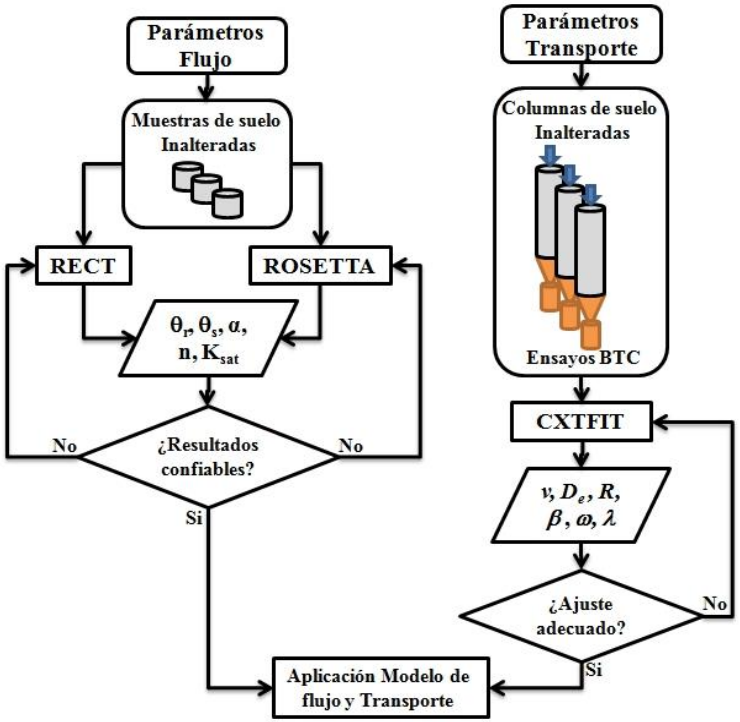
cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

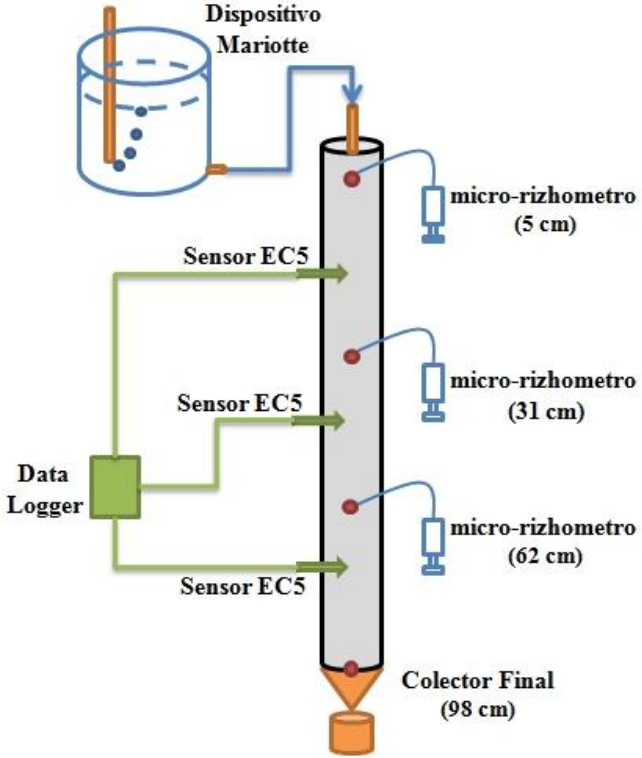
Síntesis de resultados

Calibración y Validación del modelo

Fase a) Estimación de Parámetros



Fase b) Ensayos de flujo y transporte



Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Síntesis de resultados

Calibración y Validación del modelo

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Condiciones de flujo impuestas en superficie

E1: Superficie saturada
Capa Estiércol (Acum. 1 año)
39 días consecutivos

E2 : Flujo en pulsos semanales
Capa Estiércol (Acum 1 año)
112 días consecutivos

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Síntesis de resultados

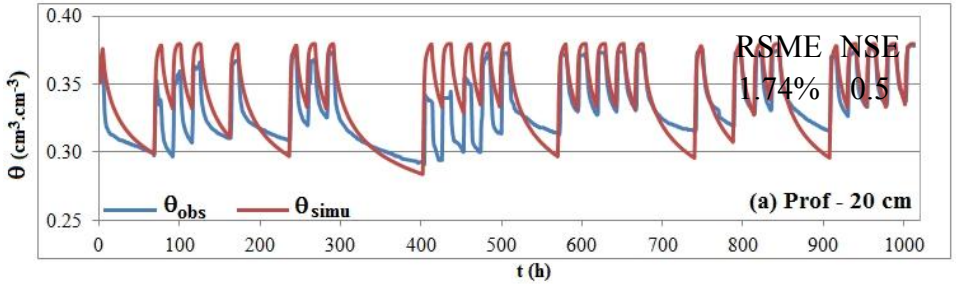
Calibración y Validación del modelo

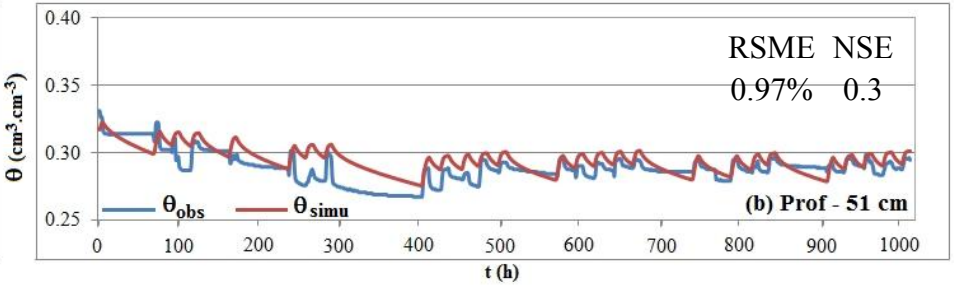
cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

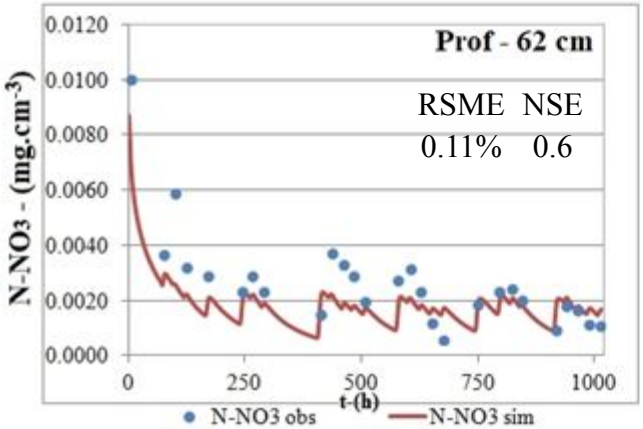
Ensayo de flujo superficie saturada

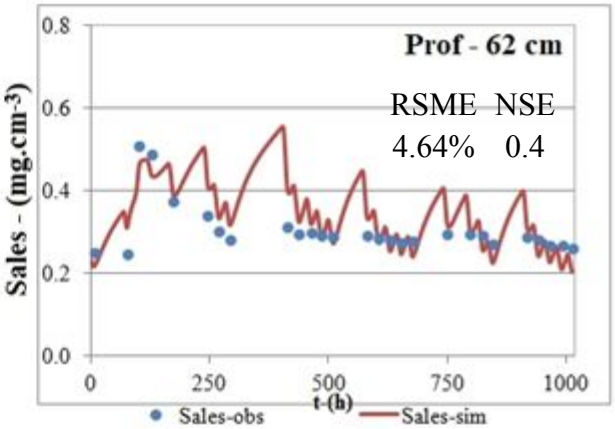
Humedad volumétrica Observada vs Simulada





Concentraciones Observadas vs Simuladas





Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Síntesis de resultados

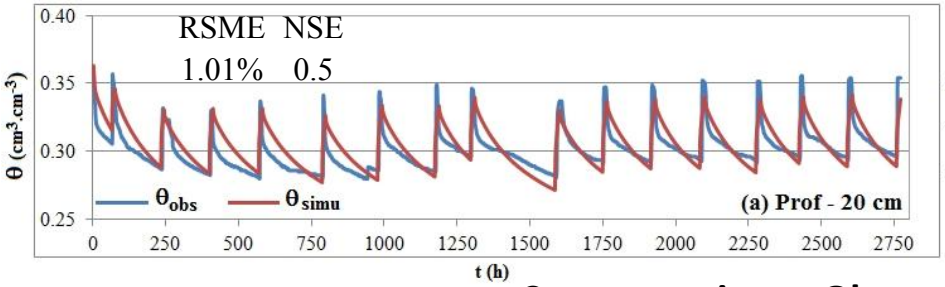
Calibración y Validación del modelo

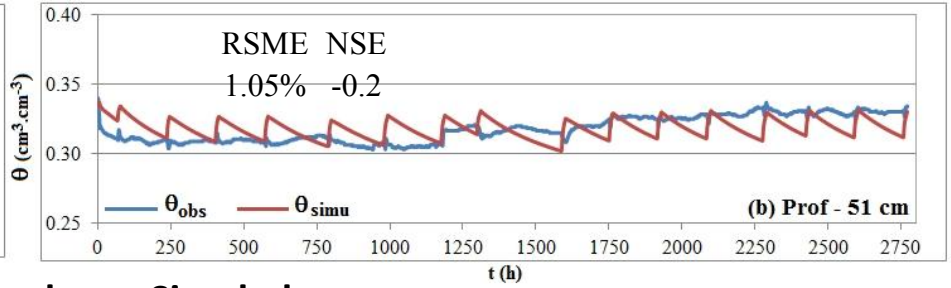
cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

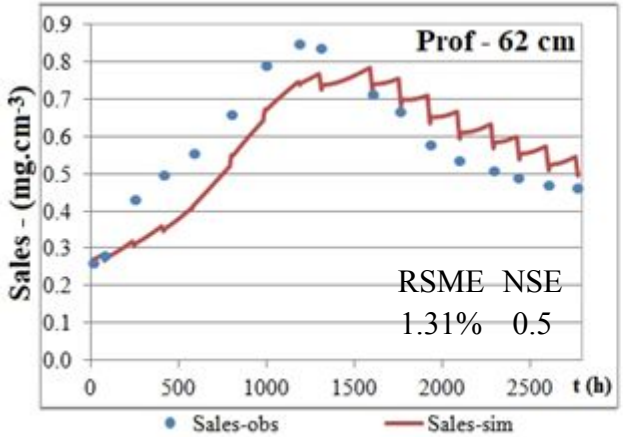
Ensayo de flujo por pulsos

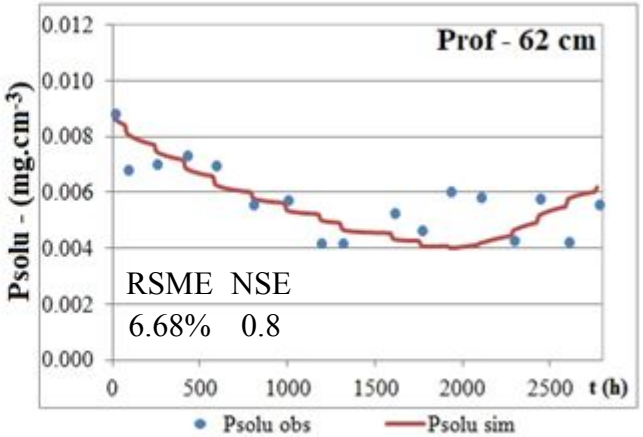
Humedad volumétrica Observada vs Simulada





Concentraciones Observadas vs Simuladas





Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Síntesis de resultados

Simulación de distintos escenarios de manejo

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

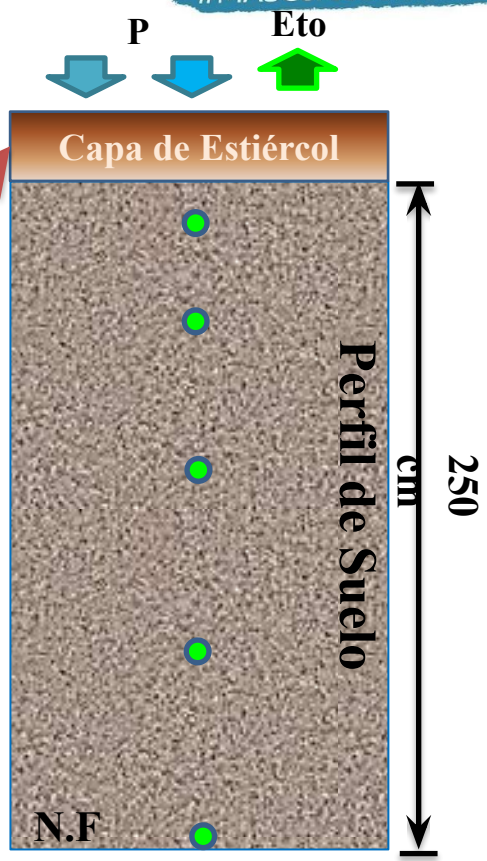
CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Tiempo de la simulación: 365 días
3 Ciclos de engorde (119 días)
Inicio: (Marzo – zafra de terneros en la Argentina)
Se realizan operaciones del remoción de estiércol (OPR)
Disminución por OPR (-75% de concentraciones)

EA1 - Capa de estiércol
Concentraciones ($N\text{-}NO_3$ y P_{solu}) = Ensayo por pulsos.
Variación en el tiempo (Tipo Lineal)

EA3 - Corral Abandonado – Capa de estiércol
Concentraciones ($N\text{-}NO_3$ y P_{solu}) = Ultimo muestreo C-1

Situación Testigo
Concentraciones en el perfil de suelos ($N\text{-}NO_3$ y P_{solu})
Datos iniciales del Ensayo por pulsos.



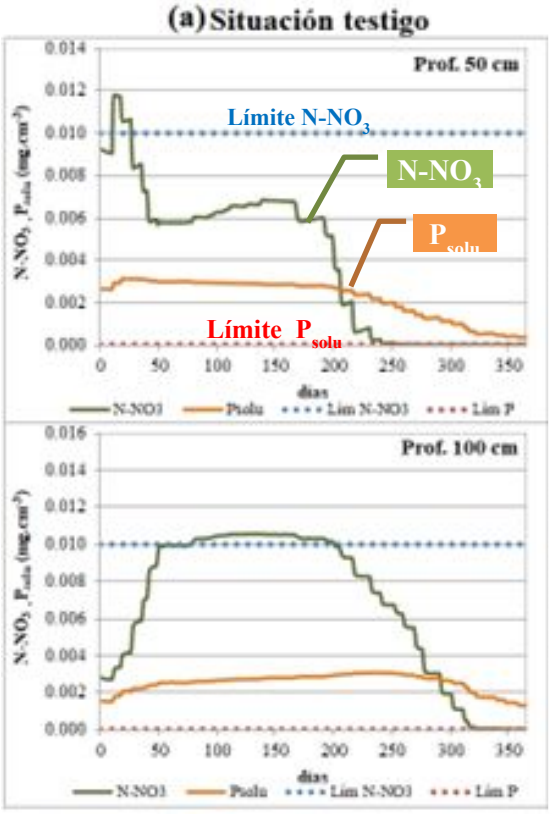
Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

Síntesis de resultados

Simulación de distintos escenarios de manejo

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente



Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Conclusiones:

- ✔ *La aplicación de la geofísica permitió el reconocimiento de sectores críticos a nivel del corral asociados con los elementos contaminantes.*
- ✔ *Se puede concluir que la CEa puede ser un buen indicador de la distribución espacial del contenido de agua, en ambos suelos (Hapludoles). Ambos métodos geofísicos (TRE y EMI) resultaron complementarios.*
- ✔ *En **Trenque Lauquen** la CEa fue buena indicadora, para el N-NO_3^-, P_{disp}, y sales, en este casos con una lámina de agua equivalente cercana al 48% de la capacidad de campo.*
- ✔ *Las anomalías de CEa alta, coincidente con los mayores valores de humedad del suelo, CE, N-NO_3^- y P_{disp} permiten identificar adecuadamente zonas en los corrales, en los que las características físico-químicas del suelo y del agua subterránea pueden verse afectadas negativamente.*

Conclusiones:

- ✔ *La presencia de sales solubles en los sectores de CEa alta, contribuye al aumento del pH, que favorecería la solubilidad del fósforo. De esta manera el sector de CEa alta corresponde a la situación más crítica respecto a la movilización de elementos contaminantes.*

- ✔ *Se validó el modelo HYDRUS-1D, para la simulación de procesos de flujo y transporte de $N\text{-}NO_3$ y P_{solu} en los corrales de engorde en suelos Hapludoles.*

- ✔ *La condición de flujo en la superficie del c**orral** (lluvias periódicas o encharcamiento continuo) influye sobre la lixiviación de elementos contaminantes. Se evidenció que **en la condición bajo pulsos** se favoreció el aumento de las concentraciones del $N\text{-}NO_3$ y **bajo la condición de superficie saturada** se vio favorecida la movilidad del P_{solu}, debido al aumento del pH.*

Gestión del Suelo Sostenible
Seminario Internacional

cenicaña
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

CVC
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca
#MÁSCercadelaGente

Gracias