



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

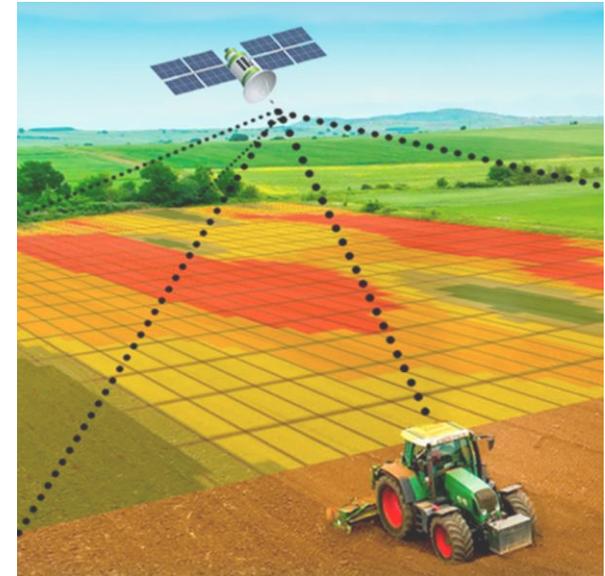
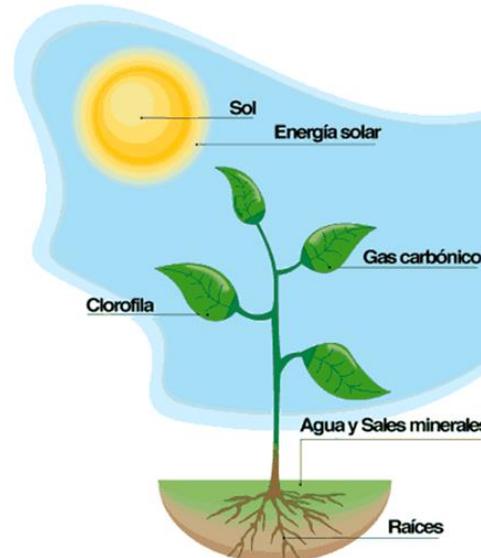
#MÁS CercadelaGente

Gestión del suelo con herramientas de Agricultura de Precisión

Carlos Mosquera. Ing. Agrónomo. Esp. SIG. MBA. CEO C.I. AGROAP SAS. 26-08-2022

Gestión del suelo con herramientas de Agricultura de Precisión

$$\text{Producción}_{(f)} = \{ \text{planta} + \text{suelo} + \text{agua} + \text{clima} + \$ + \text{manejo} \}$$



Como lo hacen los mejores



cenicaja

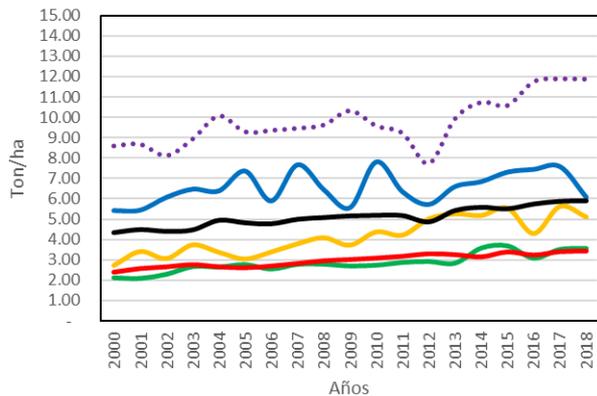
Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

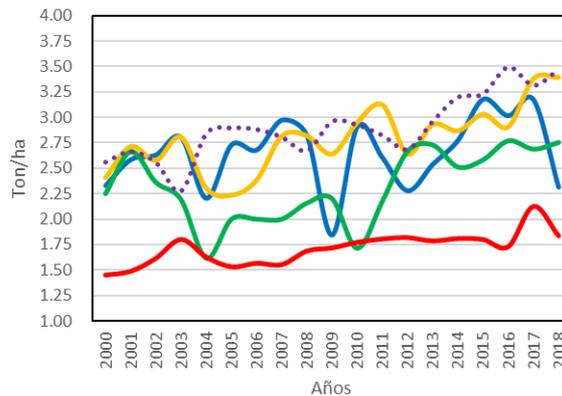
#MÁS CercadelaGente

Dinámica producción maíz (FAO, 2020)



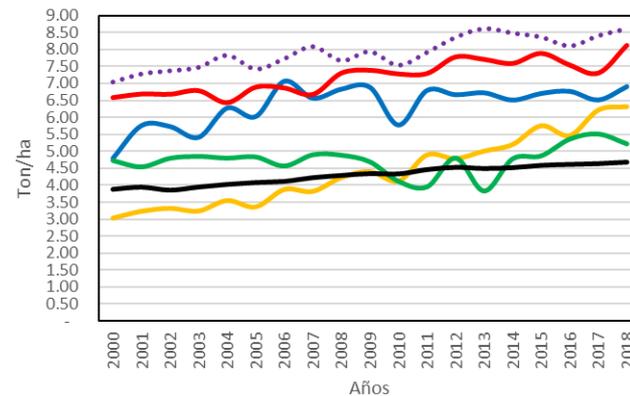
— Argentina — Brasil — Colombia
..... Estados Unidos — Perú — Mundo

Dinámica producción Soya (FAO, 2020)



— Argentina — Brasil — Colombia
..... Estados Unidos — Mundo

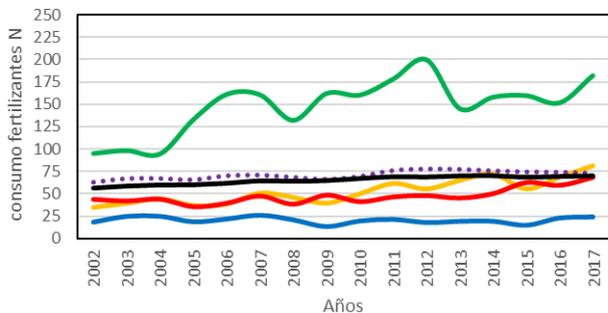
Dinámica producción arroz (FAO, 2020)



— Argentina — Brasil — Colombia
..... Estados Unidos — Perú — Mundo

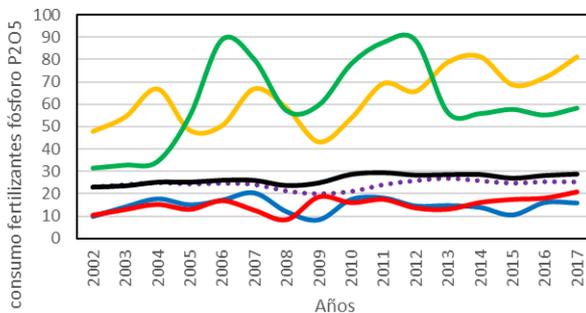
Uso de fertilizantes

Dinámica consumo Fertilizantes N (FAO, 2020)



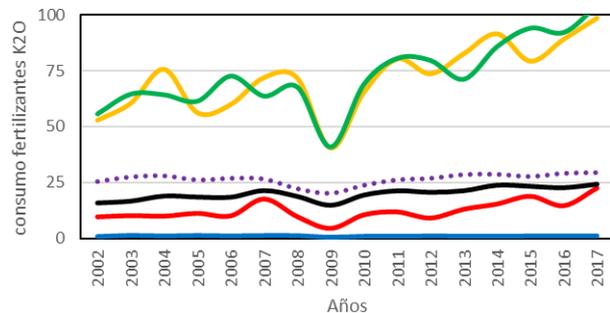
— Argentina — Brasil — Colombia
 Estados Unidos — Perú — Mundo

Dinámica consumo Fertilizantes P (FAO, 2020)



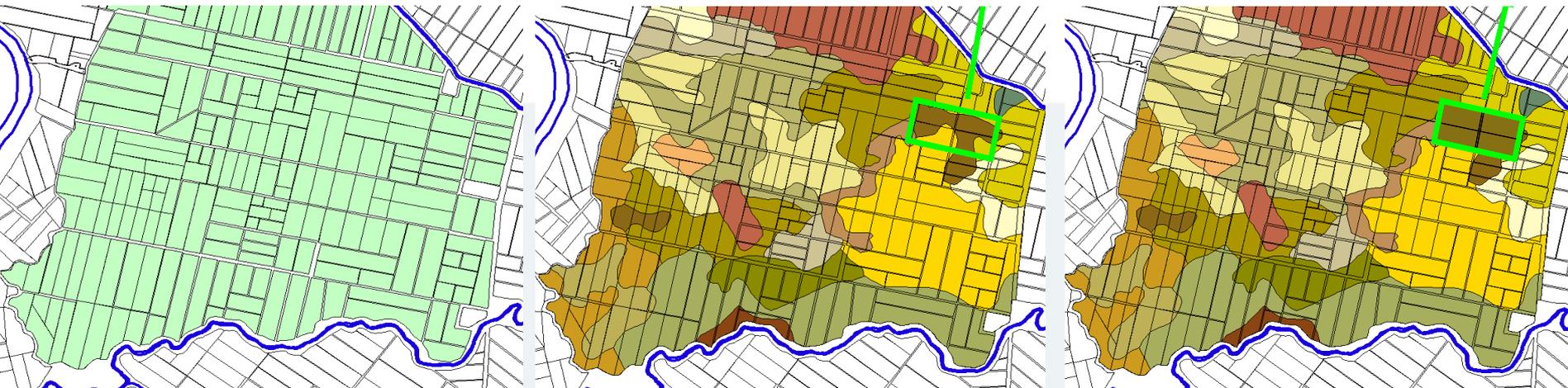
— Argentina — Brasil — Colombia
 Estados Unidos — Perú — Mundo

Dinámica consumo Fertilizantes K2O (FAO, 2020)



— Argentina — Brasil — Colombia
 Estados Unidos — Perú — Mundo

Como se percibía el espacio en AEPS Agricultura Específica por Sitio (1990s)



Precisión aproximada: 10ha

Conceptos



tecnicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



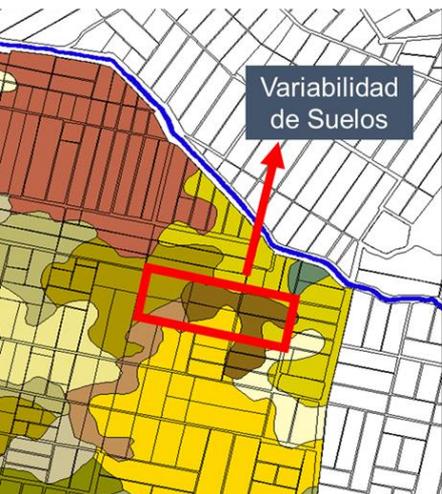
Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

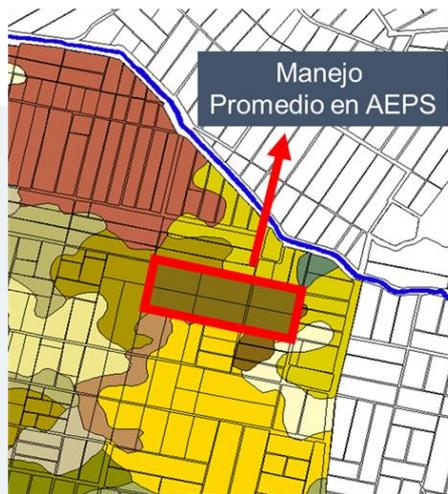
- ▶ Según Richard E. Plant 2001: AEPS o AP es la gestión de los cultivos agrícolas en una escala espacial más pequeña que la de un lote o unidad de manejo de un agricultor.
- ▶ Se puede utilizar cuando:
 - existe variabilidad espacial significativa en los factores que influyen en el rendimiento de los cultivos dentro de un lote o unidad de manejo.
 - las causas de esta variabilidad pueden ser identificados y medidos.
 - la información de estas medidas puede utilizarse para modificar las prácticas de manejo.

Como se percibía el espacio en AP Agricultura de Precisión (desde 2002)

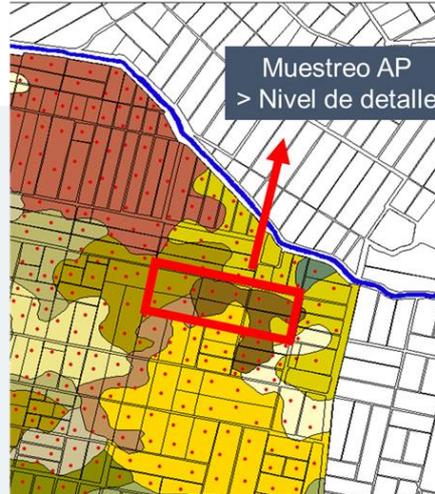
A.E.P.S



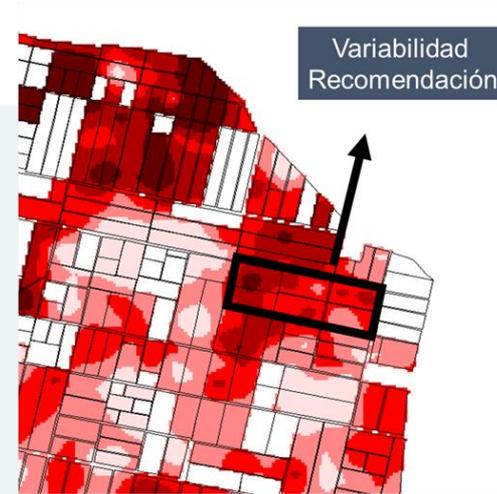
NIVEL DE DETALLE MÁX: Por lote



AGRICULTURA DE PRECISION



NIVEL DE DETALLE MÁX: Por 20x20m o 30x30m



Precisión aproximada: pixel 20x20m

Como muestrear? Grid Soil Sampling

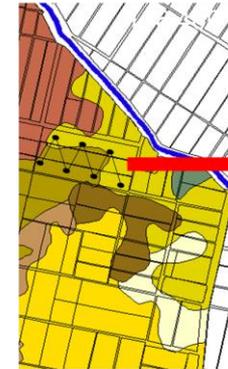
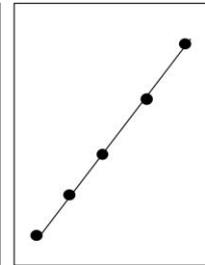
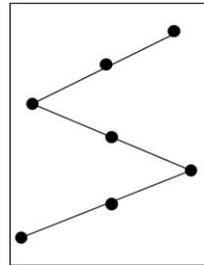


Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



#MÁSCercadelaGente

Como muestrear? Forma Tradicional



Se mezclan submuestras y se obtiene un valor promedio del lote

Origen de la Agricultura de Precisión?

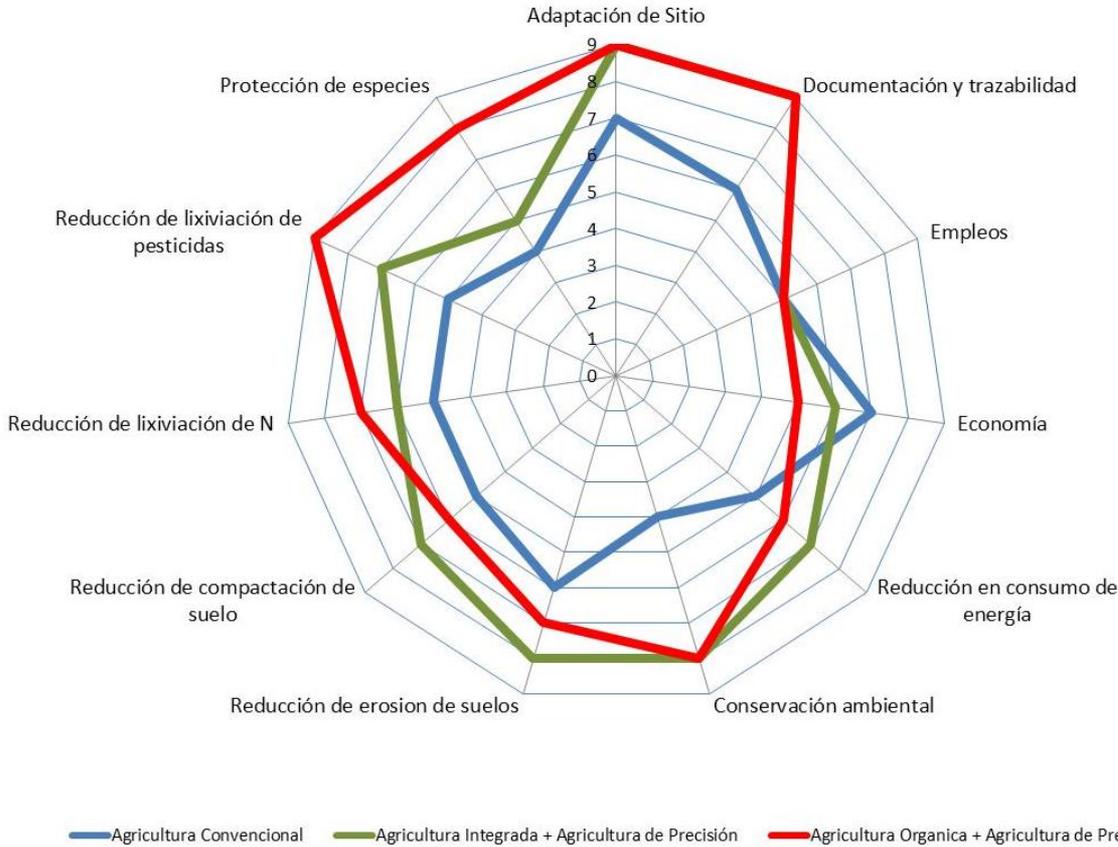


Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



#MÁS CercadelaGente

- Se origina en Europa seguida de EEUU, como una propuesta que buscaba una agricultura menos agresiva con respecto al medio ambiente.
- Se planteaba la necesidad de dosificar de forma inteligente los insumos que permitían maximizar la producción sin afectar condiciones del suelo y del agua.
- En un comienzo fue inaccesible por la carencia de sistemas de localización (GPS, SIG), mapeo de productividad, mapeo de la fertilidad.
- Se inicia con el posicionamiento de la productividad, y el seguimiento de costos, y labores en los lotes.
- Se pretende inicialmente la racionalización en el manejo de fertilizantes y herbicidas.



Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

Beneficios AP

¿Que es Agricultura de Precisión? (2006)



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



#MÁSCercadelaGente

- Actualmente se utiliza la agricultura por el promedio, de normas y estándares, en los mejores casos AEPS (agricultura específica por sitio).
- La Agricultura de Precisión es una forma diferente e innovadora de manejo de la productividad donde se considera que la plantación no es uniforme en el espacio.
- En consecuencia es un modelo que explota las ventajas de la heterogeneidad de la unidad productiva.

¿Que es Agricultura de Precisión? (2019)



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente

“La agricultura de precisión es una estrategia de gestión que reúne, procesa y analiza datos temporales, espaciales e individuales y los combina con otra información para respaldar las decisiones de gestión de acuerdo con la variabilidad estimada, para mejorar la eficiencia del uso de los recursos, la productividad, la calidad, la rentabilidad y la sostenibilidad de la producción agrícola”

Fuente: ISPA. 2019. Definición oficial.

Las 2 grandes vertientes de la Agricultura de Precisión



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente

- Variabilidad espacial

- Investigación y cartografía (muestreos, sensores, SIG)
- Gestión (uso de insumos localizados y en tasas variables)

- Tecnologías relacionadas al GPS

- Piloto automático, telemetría, control de tráfico, automatizaciones como el control automático de sesiones, etc... (“automatización de las máquinas”)

- Mayor complejidad
- Mas capacitación
- Más experiencia
- Menos expertos
- > Impacto producción

- Protocolos instalación
- Protocolos calibración y mantenimiento
- Casa comercial capacita
- > Impacto operación

Integración de herramientas



cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

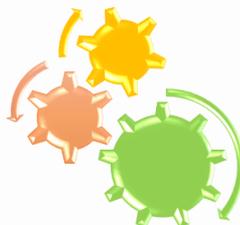
#MÁSCercadelaGente

Sistemas de Localización:

- ▶ **Sistemas de Información Geográfica SIG**
- ▶ **Sistemas de posicionamiento Global GPS**
- ▶ **Plataforma de proceso de datos AP**

Metodologías Análisis:

- ▶ **Geoestadística**
- ▶ **Redes neuronales artificiales RNA**
- ▶ Análisis multivariados, discriminantes, estadística.
- ▶ Procesamiento digital de imágenes
- ▶ **Análisis de componentes principales.**
- ▶ **Machine Learning**
- ▶ **Inteligencia Artificial**



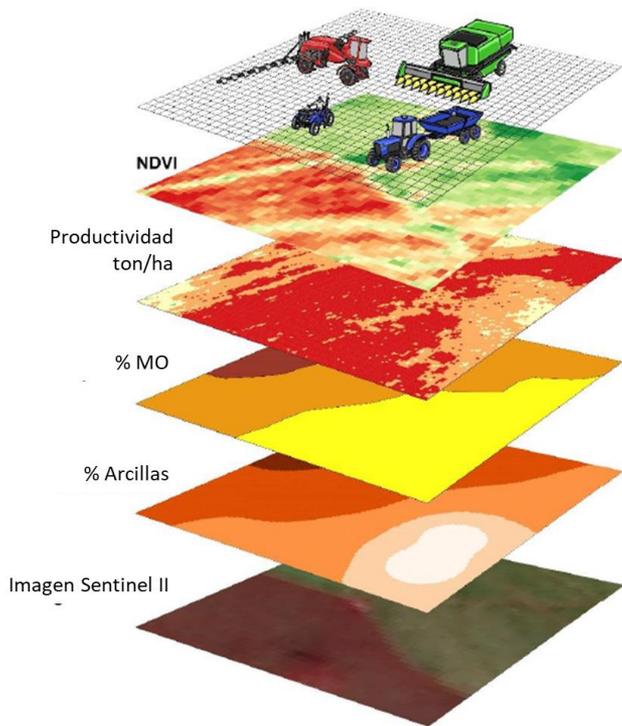
Análisis Variabilidad Espacial:

- ▶ **Mapas de fertilidad de suelo**
- ▶ Mapas de conductividad eléctrica
- ▶ **Mapas de recomendación de insumos**
- ▶ Mapas de productividad
- ▶ Mapas control y trazabilidad de aplicación
- ▶ Mapas NDVI, EVI, WSI
- ▶ Mapas de plagas y enfermedades

Aplicación de soluciones:

- ▶ **Monitor de aplicación en Tasa Variada TV o VRT**
- ▶ **Nivelación Tierras RTK, levantamiento GPS-Alta precisión**
- ▶ Piloto automático, barra de luces
- ▶ Sistemas Control Logístico maquinaria - transporte
- ▶ Monitores de productividad, sensores ópticos.
- ▶ **Sensores conductividad eléctrica**

Analizar, integrar, correlacionar: tratamiento



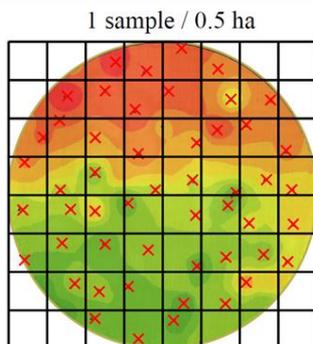
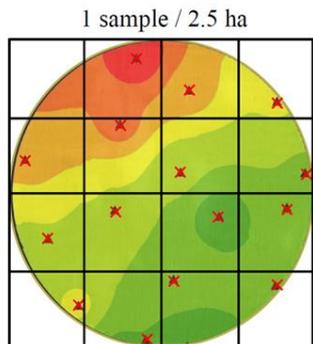
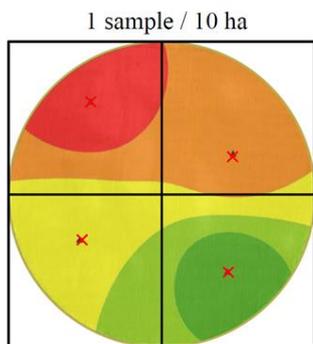
Nitrataustrag bei Precision Farming im Vergleich zu flächeneinheitlich

Reiche et al., 2003

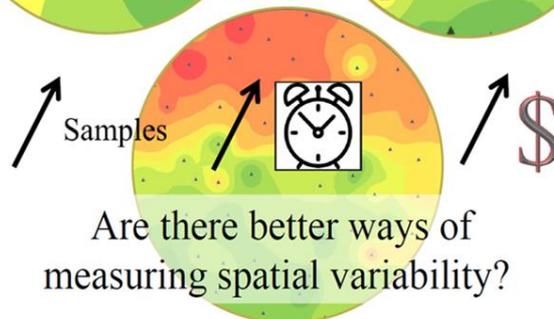
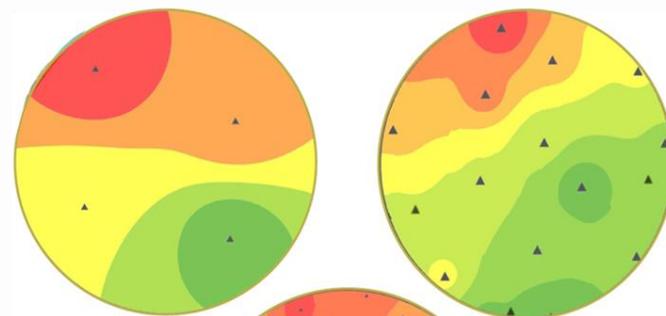
Contenido Arcillas % 0-60cm	Porcentaje de Área%	Tasa Variable		Tasa Constante	
		Nitrógeno Aplicado (kg N/ha*a ⁻¹)	Perdidas Lixiviación (kg N/ha*a ⁻¹)	Nitrógeno Aplicado (kg N/ha*a ⁻¹)	Perdidas Lixiviación (kg N/ha*a ⁻¹)
nördliches Mecklenburg-Vorpommern					
3	41	184	55	199	72
10	42	199	22	199	34
16	12	214	11	199	12
12	5	198	10	199	10
Peso Base	valores X	194,5 (98%)	33,6 (74%)	199 (100%)	45,7 (100%)
nordöstliches Schleswig-Holstein					
4	22	184	39	199	52
7	29	199	44	199	58
17	15	214	59	199	64
21	34	230	23	199	23
Peso Base	valores X	208,5 (99%)	38,0 (83%)	199 (100%)	45,7 (100%)

Como definir muestreo de suelo

- Por grilla – geoestadística
- Por zonas de variabilidad de la productividad
- Por zonas de variabilidad de los índices de vegetación
- Por zonas o ambientes definidos con C.E.
- Por zonas homogéneas
- Por consociaciones de suelos
- Por topografía del campo



FUENTE: InfoAg. Raj Khosla. 2018.



Como mecanizar el muestreo de suelos



cenicaña

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente



Simulación de Datos para Manejo de K



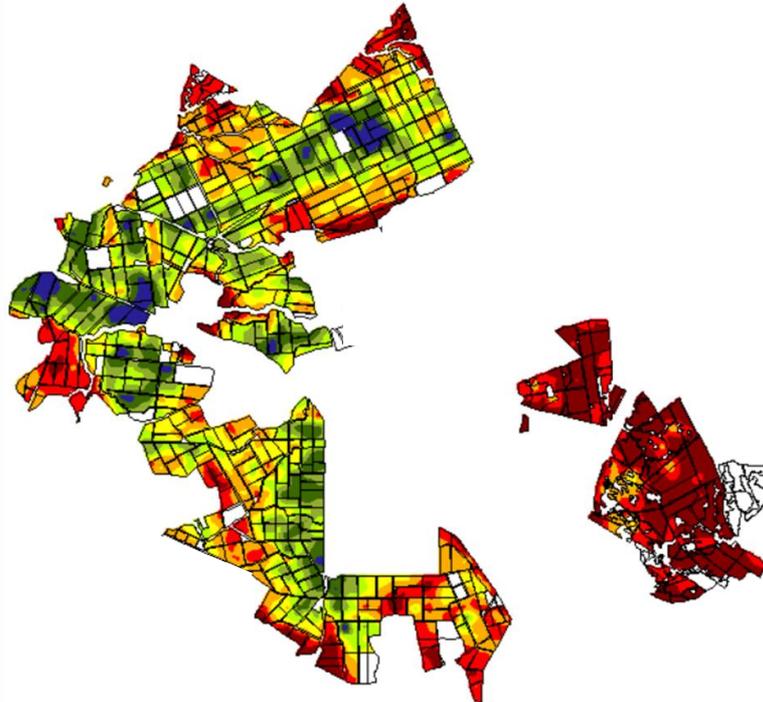
cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadeLaGente



K		
0.00 - 0.15	(818.1 ha. - 3.1%)	
0.15 - 0.32	(716.0 ha. - 2.7%)	
0.32 - 0.66	(902.1 ha. - 3.4%)	
0.66 - 1.03	(721.8 ha. - 2.8%)	
1.03 - 1.43	(628.1 ha. - 2.4%)	
1.43 - 1.84	(504.4 ha. - 1.9%)	
1.84 - 2.36	(394.2 ha. - 1.5%)	
2.36 - 3.54	(127.1 ha. - 0.5%)	

meq/100g suelo

Simulación de datos para manejo suelos



cenicaña

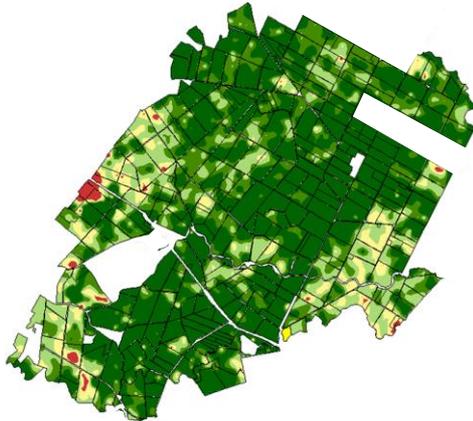
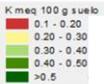
Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

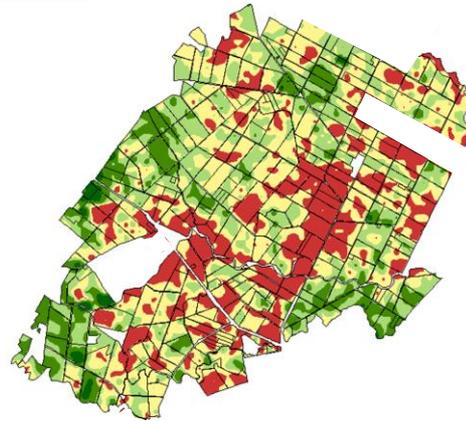
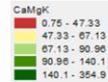
#MÁS CercadelaGente

Mapa de variabilidad de K



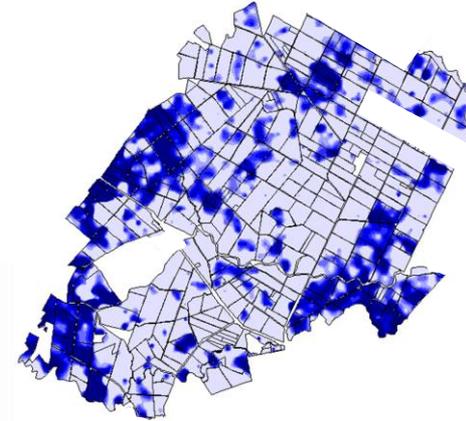
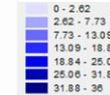
Mapa variabilidad Relación Ca+Mg/K

Disponibilidad de K



Mapa Recomendación Potasio – Vinaza m3/ha

Asumiendo 2.5% K



Metodologías de medición del suelo



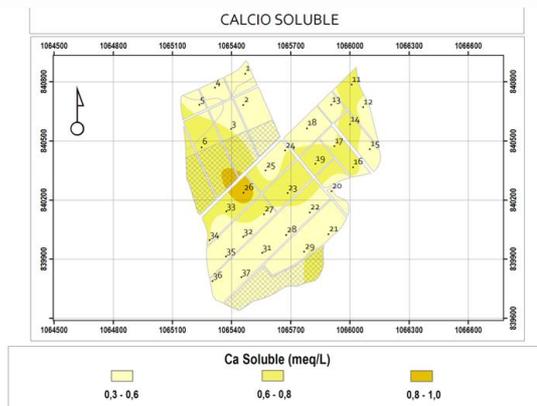
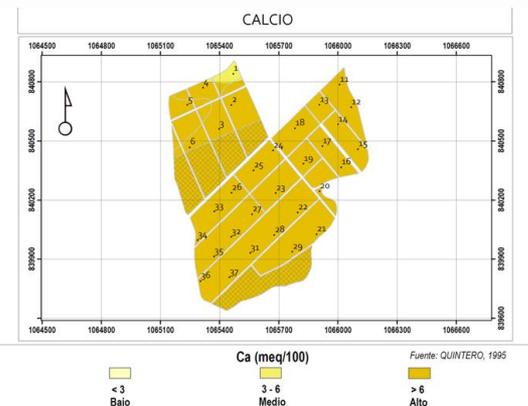
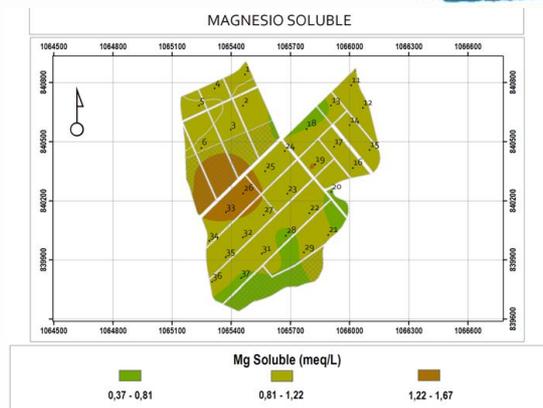
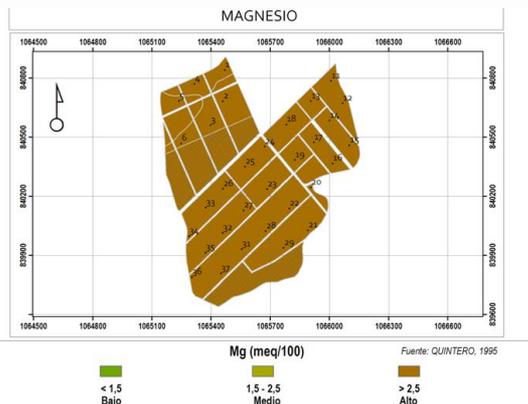
cenicaja

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente



Medición y manejo de la compactación



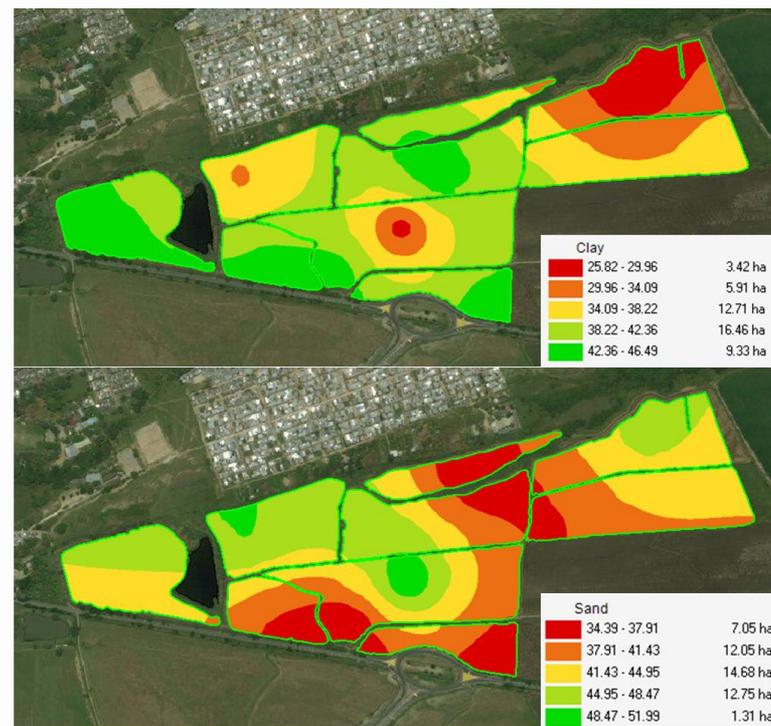
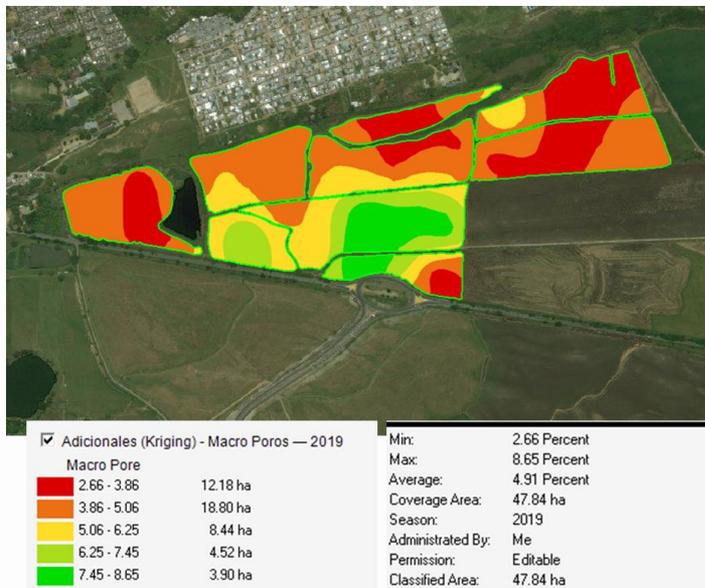
cenicaña

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁSCercadelaGente



Medición y manejo de la compactación



cenicaña

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia

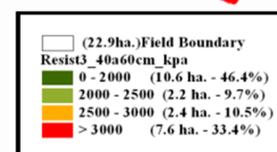
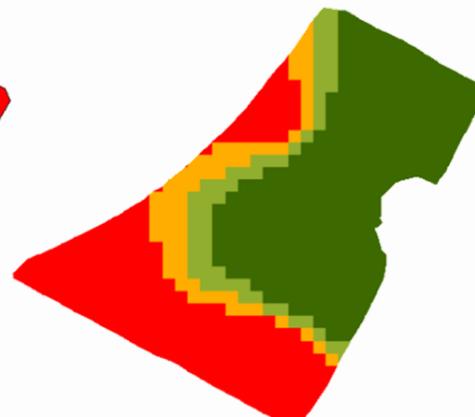
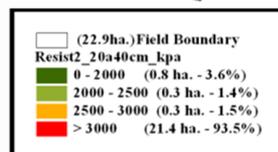
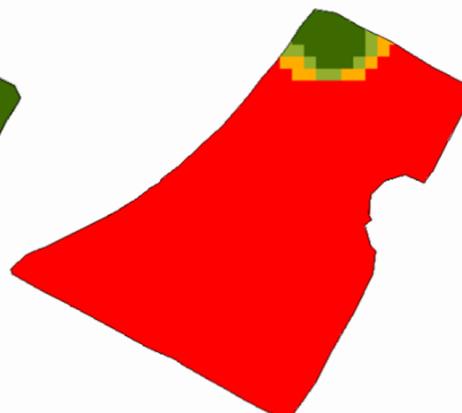
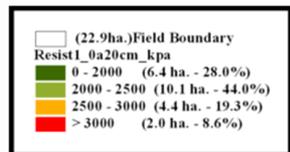
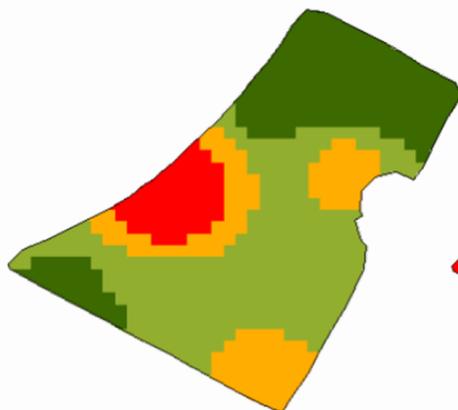


Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente

Resistencia a la penetración			
Tipo de suelo (% Arcillas)			
	< 20	20-50	> 50
Kpa			
Aceptable	< 2000	< 2000	< 2500
Intermedio	2500 - 3000	2000 - 3000	2500 - 4000
Crítico	> 3000	> 3500	> 4000

RESISTENCIA A LA PENETRACION



Manejo de la compactación



Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



#MÁSCercadelaGente



<https://risiberia.wordpress.com/2017/12/11/nueva-herramienta-geoprosector/#jp-carousel-1131>



https://www.youtube.com/watch?v=DTP2A0_uGUl

Medición Biología del Suelo vs pH



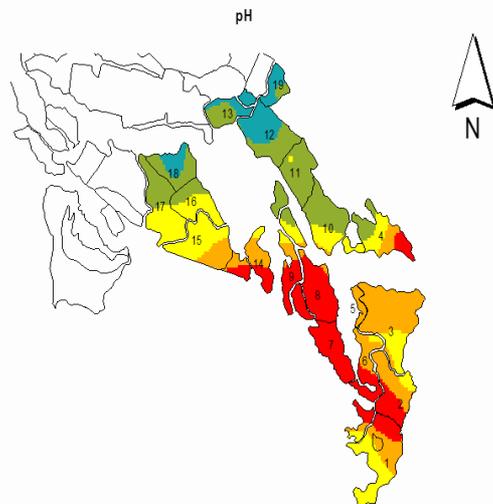
cenicaña

Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



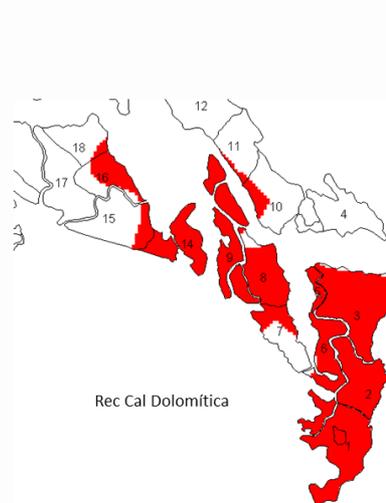
Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente



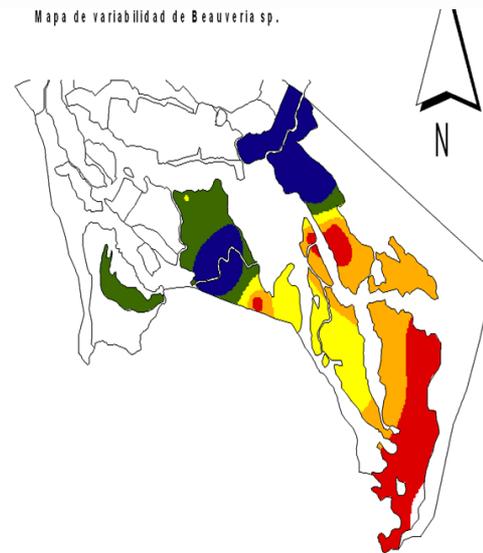
400 0 400 800 Meters

pH		pH	
3.0 - 4.3	(8.6 ha. - 16.8%)	Fu. ácido	0-5.5
4.3 - 4.5	(11.0 ha. - 21.5%)	Mo. ácido	5.5-6.0
4.5 - 4.7	(13.2 ha. - 25.9%)	Li. ácido	6.0-6.5
4.7 - 4.9	(11.3 ha. - 22.2%)	Neutro	6.5-7.4
4.9 - 5.2	(6.9 ha. - 13.5%)	Alcalino	7.4-8.0
		Muy alcalino	> 8.0



Rec Cal Dolomítica

Equation: cal_ermienda2
 Product: CAL_DOL
 Min. Rate: 50.0 Kg./ha.
 Max. Rate: 50.0 Kg./ha.
 Avg. Rate: 50.0 Kg./ha.
 Total CAL_DOL: 1320.87 Kg.
 Total Ca (21.6%): 285.3 Kg.
 Total Mg (13.1%): 173.0 Kg.
 Number of Hectares to be Applied: 26.42 ha.



Mapa de variabilidad de Beauveria sp.

500 0 500 1000 Meters

Beauveria sp wfc_g	
3.3 - 29326.3	(12.8 ha. - 22.1%)
29326.3 - 69088.3	(14.1 ha. - 24.4%)
69088.3 - 143256.2	(9.0 ha. - 15.6%)
143256.2 - 239351.3	(9.0 ha. - 15.6%)
239351.3 - 327393.1	(12.4 ha. - 21.4%)

Manejo de suelos en frutales



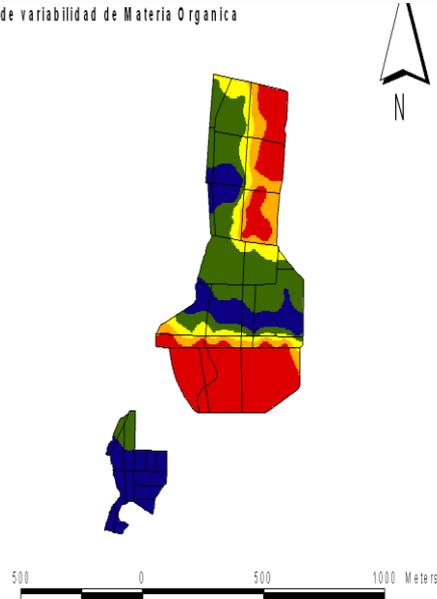
Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma Regional del Valle del Cauca

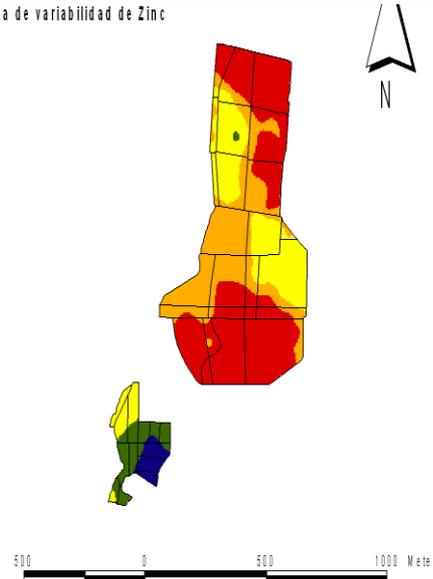
#MÁS CercadelaGente

Mapa de variabilidad de Materia Orgánica



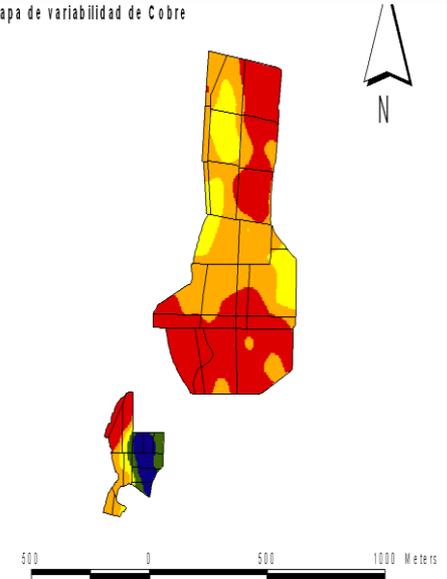
MO porcentaje	
(249.1ha.) Field Boundary	
2 - 2.3	(72.6 ha. - 29.2%)
2.3 - 2.6	(27.9 ha. - 11.2%)
2.6 - 3	(21.1 ha. - 8.5%)
3 - 3.3	(71.0 ha. - 28.5%)
3.3 - 3.7	(56.2 ha. - 22.6%)

Mapa de variabilidad de Zinc



Zn ppm	
(249.1ha.) Field Boundary	
0 - 10.3	(106.0 ha. - 42.6%)
10.3 - 17.2	(66.6 ha. - 26.8%)
17.2 - 26.9	(55.6 ha. - 22.3%)
26.9 - 39	(13.8 ha. - 5.5%)
39 - 68.8	(6.9 ha. - 2.8%)

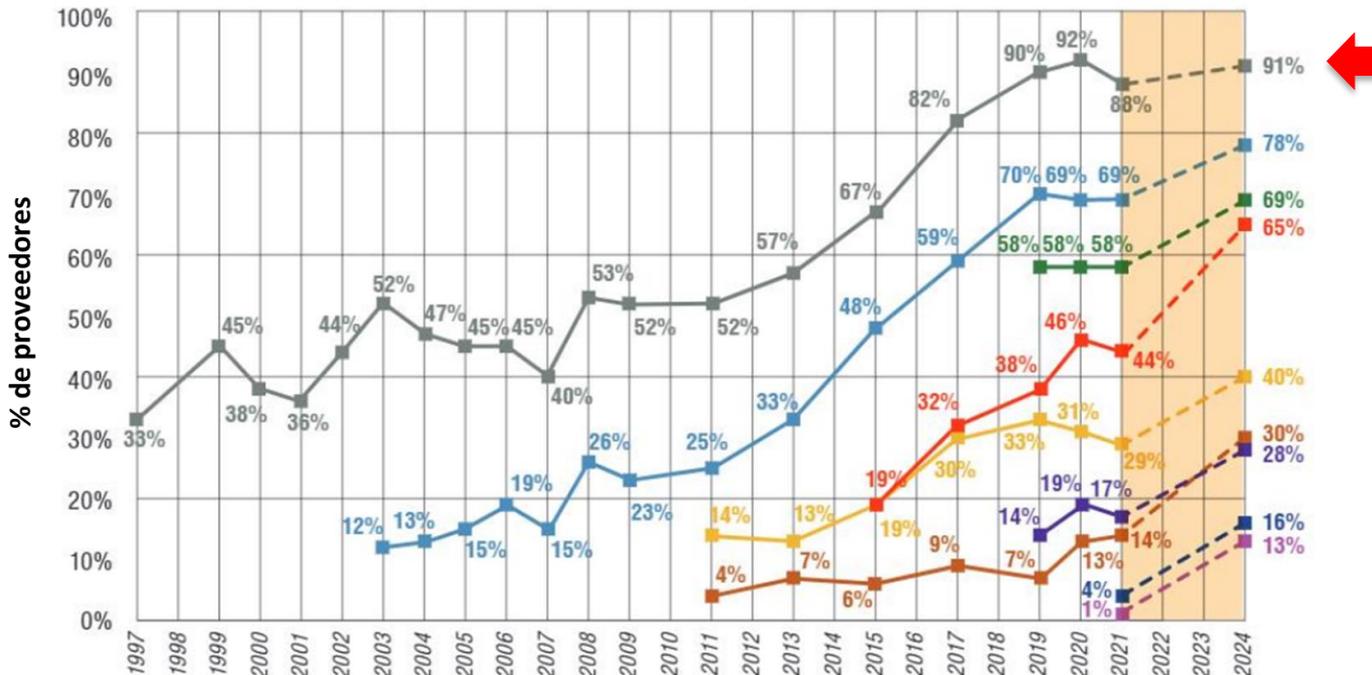
Mapa de variabilidad de Cobre



Cu ppm	
(249.1ha.) Field Boundary	
2.4 - 6.7	(110.2 ha. - 44.3%)
6.7 - 9.3	(91.6 ha. - 36.8%)
9.3 - 13.3	(34.5 ha. - 13.9%)
13.3 - 17.5	(5.1 ha. - 2.1%)
17.5 - 22.5	(7.4 ha. - 3.0%)

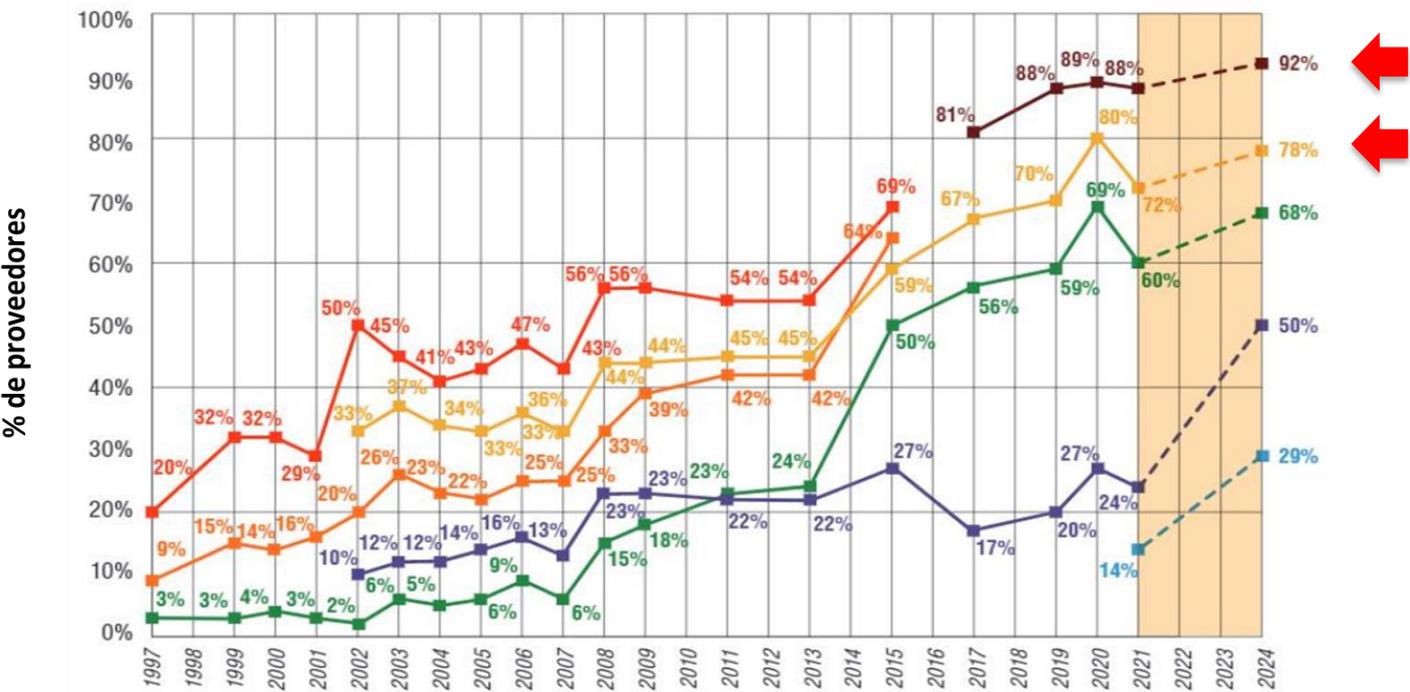
Evolución de oferta de tecnologías a lo largo del tiempo y proyección a 2024

- Muestreo de suelos en grilla
- Imagen aérea y satélite
- Imágenes drone
- Grilla o zona de muestreo de tejidos
- Mapeo de conductividad eléctrica
- Sensorica, redes.
- Exploración robótica de cultivos.
- Control de malezas – robot.
- Clorofilómetros, sensores de verdor



Evolución de oferta de tecnologías a lo largo del tiempo y proyección a 2024

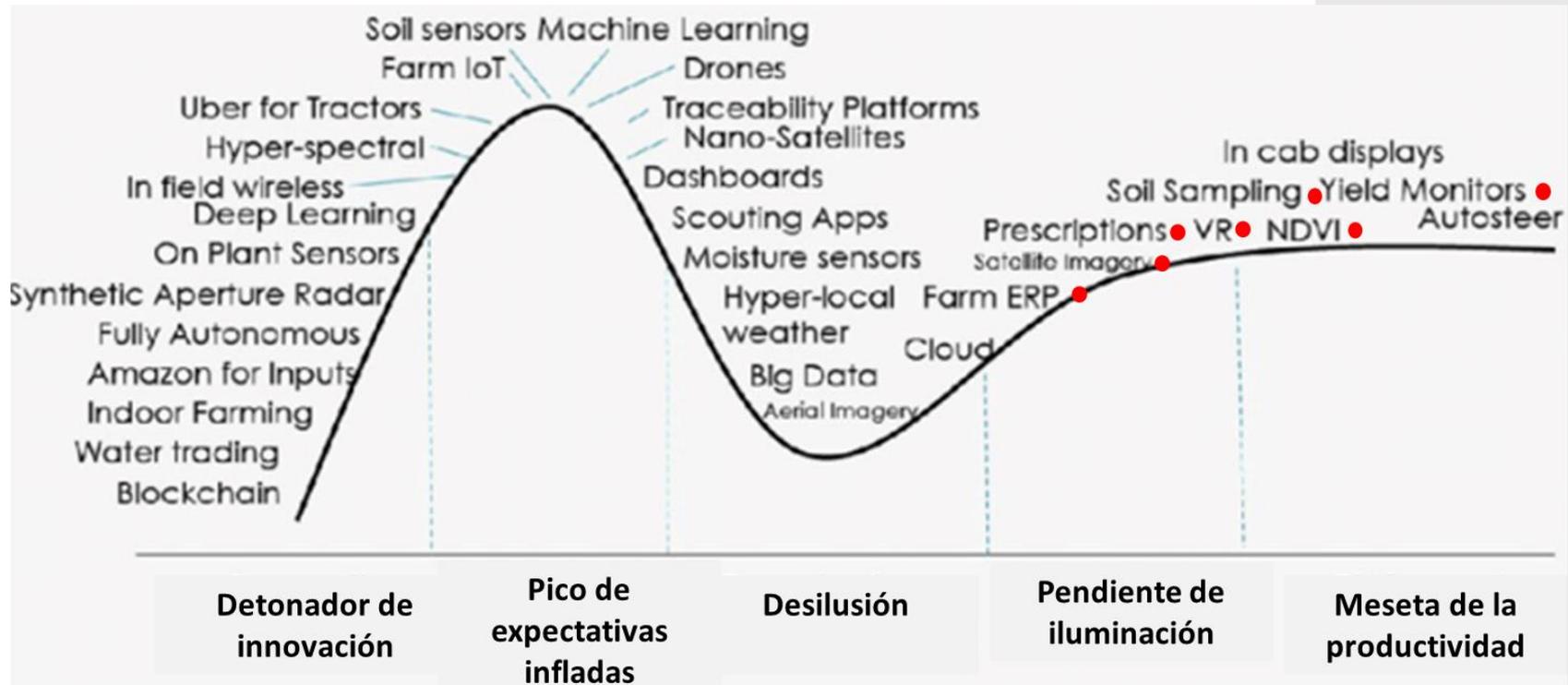
- Aplicación fertilizantes en tasa variable
- Aplicación TV 1 solo nutriente
- Aplicación TV Multiple nutrientes
- Aplicación enmiendas TV
- Aplicación pesticidas TV
- Recomendación semilla TV
- Aplicación insumos drone



Source: CropLife. 2021. Universidad Purdue.

Curva ampliada de la innovación en agricultura

Es esto preciso? Que se esta perdiendo? Que necesidades deben ser removidas?



Consideraciones

1. Las metodologías de muestreo de suelos tradicionales son ambiguas espacialmente
2. Baja frecuencia de análisis de suelos y/o ausencia de toma de análisis de suelos
3. Popularidad recomendar fertilizantes sin considerar las condiciones del suelo
4. Recomendación de fertilizantes por personas no calificadas técnicamente
5. Sobredosificación de fertilizantes (10-20%) en algunos cultivos, en algunas regiones y zonas.
6. Ética: juez y parte en las recomendaciones de fertilizantes y enmiendas
7. Costo de fertilizantes 20-40% del costo de levantamiento de cultivos
8. Creencia que el fertilizante compensa las fallas en el manejo de cultivo
9. Búsqueda del producto milagroso



Conclusiones

1. Herramientas de Agricultura de Precisión como el muestreo de suelos geo-referenciado y recomendación de fertilizantes y/o enmiendas en tasa variada son tecnologías eficientes para optimizar el uso de insumos, mantener la fertilidad del suelo, aumentar la productividad, realizar mediciones objetivas y reducir el impacto ambiental.
2. La medición objetiva de las condiciones del suelo argumenta técnicamente contra creencias, temores y especulaciones.
3. En las herramientas de AP hay una oportunidad para actualizar criterios de manejo de suelos, actualizar recomendaciones de suelos (60s,70s,90s), creación de fertilizantes con fuentes mas eficientes, aprovechar mejor fuentes de nutrientes orgánicas, aprovechar mejoradores de suelo.





cenicaña

Centro de Investigación de la
Caña de Azúcar de Colombia



Corporación Autónoma
Regional del Valle del Cauca

#MÁS CercadelaGente

Gracias

C.I. AGROAP SAS.

www.agroap.com

informacion@agroap.com